

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM  
SAÚDE AMBIENTAL E SAÚDE DO TRABALHADOR**

**MIRNA DE MELO MACEDO**

**PERFIL DE SAÚDE DOS TRABALHADORES NOS TERRITÓRIOS DA  
ATENÇÃO BÁSICA DO DISTRITO SANITÁRIO SUL, EM UBERLÂNDIA/MG**

**UBERLÂNDIA**

**2017**

MIRNA DE MELO MACEDO

**PERFIL DE SAÚDE DOS TRABALHADORES NOS TERRITÓRIOS DA  
ATENÇÃO BÁSICA DO DISTRITO SANITÁRIO SUL, EM UBERLÂNDIA/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, (PPGAT/UFU), como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre.

Linha de Pesquisa: Saúde do Trabalhador.

Orientador: Prof. Dra. Rosuita Fratar Bonito.

UBERLÂNDIA

2017



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M141p  
2017

Macedo, Mirna de Melo, 1963-  
Perfil de saúde dos trabalhadores nos territórios da atenção básica  
do distrito sanitário sul, em Uberlândia/MG / Mirna de Melo Macedo. -  
2017.

122 f. : il.

Orientadora: Rosuila Fratari Bonito.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Saúde Ambiental e Saúde do  
Trabalhador.

Inclui bibliografia.

1. Geografia médica - Teses. 2. Saúde e trabalho - Teses. 3. Pessoal  
da área médica - Teses. 4. Saúde pública - Uberlândia (MG) - Teses. I.  
Bonito, Rosuila Fratari, 1957-. II. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Saúde Ambiental e Saúde do  
Trabalhador. III. Título.

---

CDU: 910.1:61

MIRNA DE MELO MACEDO

**PERFIL DE SAÚDE DOS TRABALHADORES NOS TERRITÓRIOS DA  
ATENÇÃO BÁSICA DO DISTRITO SANITÁRIO SUL, EM UBERLÂNDIA/MG**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre no Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador do Instituto de Geografia, da Universidade Federal de Uberlândia, (PPGAT/UFU), pela banca examinadora formada por:

Uberlândia, 30 de março de 2017.

---

Profa. Dra. Rosuila Fratari Bonito, UFU/MG

---

Profa. Dra. Leila Bitar Moukachar Ramos, UFU/MG

---

Prof. Dr. Walber Carrilho da Costa, POLITÉCNICA/MG

*Com muito carinho, dedico este trabalho aos meus queridos familiares, pelo apoio constante e principais responsáveis por minhas conquistas. Aos profissionais do Centro de Referência em Saúde do Trabalhador e a Atenção Primária à Saúde do Distrito Sul, que permitiram a realização da pesquisa com dados secundários, sem a qual não teria sido possível o reconhecimento das reais potencialidades do CEREST no apoio matricial das equipes da Atenção Básica, particularmente sobre temas do universo da Saúde do Trabalhador.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, em agradecimento por tão grande bênção concedida, pois a Tua mão poderosa esteve sobre mim, em todos os momentos, me guiando e fortalecendo nessa caminhada. Receba meu louvor e gratidão... que eu nunca me esqueça de que, Aquele que me deu a vitória, é infinitamente maior e mais importante do que a vitória em si. Dedico a Ti, em primeiro lugar, esta graça alcançada. “Porque Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas”. Rom.11:36 a.

À família agradeço pelo amor, apoio, confiança e motivação em meio às lutas e desafios, o que tem me impulsionado a prosseguir em direção às metas planejadas. Em especial, agradeço a minha mãe Ruth de Melo Rodrigues, pelo incentivo e ao meu cunhado André Teles Rodrigues, pela consultoria na tabulação dos dados e o aprendizado.

Aos colegas do CEREST, agradeço as várias colaborações importantíssimas ao acesso de dados secundários, no planejamento e realização das atividades de coleta de dados.

A minha amiga Roseli Aparecida Muniz, pela presença constante ajudando, contribuindo e incentivando a não desistir.

À minha orientadora, Rosuita Fratar Bonito, agradeço pelos ensinamentos, orientações e contribuições. Também pelas palavras de incentivo e superação, em momentos difíceis desta caminhada, que tiveram importância fundamental para o renovo das forças e prosseguimento da jornada.

Ao professor Andre Luis Teles Rodrigues pela contribuição na consolidação dos dados estatísticos.

Aos professores membros da banca de qualificação, agradeço pelas sugestões e correções na fase tão importante da pesquisa; e da banca examinadora, por terem atendido ao convite de desempenhar este papel, dispondo de seu tempo e conhecimento para analisar este trabalho.

Aos queridos professores, amantes da saúde do trabalhador, que diariamente contribuem para o fortalecimento da PNSTT no Brasil. Quão grande privilégio foi vivenciar riquíssimos momentos de aprendizado. Agradeço a oportunidade.

Colegas do mestrado, agradeço pelo companheirismo e amizade e declaro minha alegria em tê-los conhecido. Em especial, Rafael Lemes de Aquino, por me ouvir sempre nas demandas e necessidades, me orientando e compartilhando suas experiências acadêmicas. Por nos representar no colegiado com muito compromisso e responsabilidade.

Àqueles que colaboraram com os resultados desta pesquisa, agradeço pela responsabilidade, comprometimento e envolvimento com que abraçaram esta causa. Que os frutos desses esforços possam ser refletidos na melhoria da qualidade de vida da população trabalhadora, inicialmente do território pesquisado, e quem sabe, ultrapassando suas fronteiras.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram com a realização desta pesquisa e do mestrado profissional, meus sinceros agradecimentos.

*“Peça a Deus que abençoe os seus planos e eles darão certo”.*

Provérbios 16:3

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo identificar o perfil de saúde dos trabalhadores e os processos produtivos nos territórios das Unidades Básicas de Saúde da Família, em Uberlândia. Trata-se de uma análise epidemiológica transversal do tipo descritivo e quantitativo. O universo de Unidades de Atenção Primária em Saúde da Família é de 74 Equipes de Saúde da Família da Rede SUS do Município de Uberlândia, urbana e rural e são responsáveis por uma cobertura de 43% da população. Os dados desse estudo referem-se a 05 Unidades de Atenção Primária do Distrito Sanitário Sul. A fonte de dados foi o Centro de Referência em Saúde do Trabalhador- CEREST Regional, localizado em Uberlândia nos relatórios de Consolidado do Perfil Ocupacional da ESF/PACS, das Unidades de Saúde objeto deste estudo. O diagnóstico situacional trouxe informações do território em estudo relativas aos dados de atividades produtivas e indicadores de saúde, sendo identificado a prevalência de atividades domiciliares informais nos vários ramos de atividade (Comércio/vendas, Cabeleireira/Manicure/Salão de beleza, Costureiras e atividades domiciliares no ramo de Alimentos). Com relação à ocupação individual e sua conseqüente relação com a saúde, pode-se destacar que as principais ocupações são os Serviços Gerais e as Domésticas e considerou-se prioritária a intervenção nestas ocupações devido aos riscos e agravos relacionados à atividade. Desta forma, identificados os principais fatores de riscos e agravos e discutidas as propostas de possíveis soluções aos problemas relacionados aos agravos ocupacionais, considerados prioritários. Conclui-se que a análise do perfil produtivo e epidemiológico no território é uma poderosa ferramenta de planejamento e execução das ações de promoção, prevenção e atenção integral à saúde dos trabalhadores.

**Palavras-chave:** Atenção Primária. Saúde do Trabalhador. Perfil Produtivo.

## ABSTRACT

The present study aimed to identify the health profile of workers and the productive processes in the territories of the Basic Units of Family Health, in Uberlândia. This is a cross-sectional epidemiological analysis of the descriptive and quantitative type. The universe of Primary Care Units in Family Health is 74 SUS Family Health Teams, urban and rural and are responsible for a coverage of 43% of the population. Data from this study refer to five Primary Care Units of the Southern Sanitary District, in the city of Uberlândia. The data source was the Reference Center on Occupational Health - CEREST Regional, located in the Municipality, in reports of Consolidated Occupational Profile of the ESF / PACS, of the Health Units object of this study. The situational diagnosis provided information on the territory under study related to the data of productive activities and health indicators. The prevalence of informal household activities in the various branches of activity (Trade / sales, Beauty salon, Dressmakers and domiciliary activities in the Branch of Food). With regard to individual occupation and its consequent relation with health, it is possible to highlight the main occupations are the General and Domestic Services, it was considered a priority the intervention in these occupations due to the risks and injuries related to the activity. In this way, the main risk factors and aggravated and discussed the proposals of hypotheses for solutions to the problems related to occupational diseases, considered as priority have been identified. It is concluded that the analysis of the productive and epidemiological profile in the territory is a powerful tool of planning and execution of the actions of promotion, prevention and integral attention to the health of the workers.

**Keywords:** Primary attention. Worker's health. Productive Profile.



## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo identificar el perfil de salud de los empleados y los procesos de producción en los territorios de las Unidades Básicas de Salud Familiar en Uberlândia. Este es un análisis epidemiológico transversal de tipo descriptivo y cuantitativo. El universo de unidades de atención primaria de salud de la familia es de 74 equipos de salud SUS Red Familia, urbano y rural, y son responsables de una cobertura de población del 43%. Los datos de este estudio se refieren a 05 Unidades de Atención Primaria de la Salud del Sur Distrito, la ciudad de Uberlândia. La fuente de datos fue el Centro de Referencia de Salud del trabajador CEREST-regional, con sede en Uberlândia en los informes consolidados de la FSE Perfil Ocupacional / PACS, el objeto de las Unidades de Salud de este estudio. diagnóstico de la situación provocó la zona de estudio en relación con los datos de las actividades productivas y los indicadores de salud, identificó la prevalencia de las actividades del hogar informales en los diversos campos de la actividad (comercio / ventas, Peluquería / Manicura / Salón de belleza, Costureras y actividades en el hogar en industria alimentaria). En cuanto a la ocupación individual y su consecuente relación con la salud, se pueden destacar las principales ocupaciones son los Servicios Generales y de inicio, se consideró una intervención prioritaria en estas ocupaciones debido a los riesgos y peligros relacionados con la actividad. Por lo tanto, cómo los principales factores de riesgo y enfermedades identificadas y discutidas las soluciones hipótesis propuestas a los problemas relacionados con las enfermedades profesionales, la prioridad. Llegamos a la conclusión de que el análisis de la producción y el perfil epidemiológico en el territorio es una potente herramienta de planificación y ejecución de la promoción, la prevención y los trabajadores de atención integral de la salud.

**Palabras- clave:** Atención primario. Salud Ocupacional. Perfil productivo.

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ACS – Agente Comunitário de Saúde

AED – Atividade Econômica Domiciliar

AIDS – Síndrome da Imunodeficiência Adquirida

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

APS – Atenção Primária à Saúde

ATG – Acidente de Trabalho Grave

CAAE – Certificado de Apresentação para Apreciação Ética

CBO – Classificação Brasileira de Ocupações

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CEREST – Centro de Referência em Saúde do Trabalhador

CGSAT – Coordenação Geral de Saúde do Trabalhador

CID – Classificação Internacional de Doenças

CIST – Comissão Inter-setorial de Saúde do Trabalhador

CLT – Consolidação das Leis Trabalhistas

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CNES – Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde

CNS – Conferência Nacional de Saúde

CNST – Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador

CONASEMS – Conselho Nacional de Secretários Municipais de Saúde

CONASS – Conselho Nacional de Secretários Estaduais de Saúde

COPESA – Comissão Permanente de Saúde, Ambiente, Produção e

Desenvolvimento Sustentável

CRST – Centro de Referência em Saúde do Trabalhador

CTNBIO – Comissão Nacional de Biossegurança

DATASUS – Banco de Dados do Sistema Único de Saúde

DIESAST – Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisa de Saúde e dos Ambientes de Trabalho

DSAT – Diretoria de Saúde do Trabalhador

DTA – Doenças Transmitidas por Alimentos

EPI – Equipamento de Proteção Individual

ESF – Estratégia Saúde da Família

ESF – Equipe de Saúde da Família

FASTMEDIC – Sistema de Gestão em Saúde

GEISAT – Grupo Executivo Interministerial em Saúde do Trabalhador

HIV – Vírus da Imunodeficiência Humana

IAP – Instituto de Aposentadoria e Pensões

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INAMPS – Instituto de Assistência Médica da Previdência Social

INPS – Instituto Nacional de Previdência Social

INSS – Instituto Nacional de Seguridade Social

LER/DORT – Lesão por Esforços Repetitivos/Distúrbio Osteomuscular Relacionado ao Trabalho

MPAS – Ministério da Previdência e Assistência Social

MS – Ministério da Saúde

NEA/SEMAD – Núcleo de Emergência Ambiental/ Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

OIT – Organização Internacional do Trabalho

OPAS – Organização Pan Americana de Saúde

PACS – Programa de Agentes Comunitários de Saúde

PIA – População em Idade Ativa

PNDA – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNST – Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora

RAS – Rede de Atenção à Saúde

RDC – Resolução de Diretoria Colegiada

RENAST – Rede Nacional de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador

RTM-ST – Referência Técnica Municipal em Saúde do Trabalhador

SAT – Seguro Acidente do Trabalho

SES/MG – Secretaria Estadual de Saúde de Minas Gerais

SIAB – Sistema de Informação da Atenção Básica

SINAN – Sistema de Informação de Agravos de Notificação

SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola

SMS/DAIS – Secretaria Municipal de Saúde - Diretoria de Atenção Integral à Saúde

SUS – Sistema Único de Saúde

UBSF – Unidade Básica de Saúde da Família

VISAT – Vigilância em Saúde do Trabalhador

VS – Vigilância em Saúde

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Ações da área de Saúde do Trabalhador contempladas nos elencos do Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde.

Quadro 2. Distribuição dos Distritos Sanitários segundo números de equipes, números de micro áreas, números de ACS e população - Uberlândia-MG, 2015.

Quadro 3. Distribuição das UBSFs do Distrito Sanitário Sul, segundo nome das equipes, número das áreas, quantidade de micro áreas, população e o número de Agentes Comunitários de Saúde, Uberlândia-MG, 2015.

Quadro 4. Distribuição das Unidades Básicas de Saúde, do Distrito Sanitário Sul, segundo data de implantação, população, número de micro áreas e número de Agentes Comunitários de Saúde, Uberlândia-MG, 2015.

Quadro 5. Distribuição de famílias e pessoas cadastradas nas UBSFs no ano de 2013.

Quadro 6. Distribuição de famílias entrevistadas e número de pessoas em idade ativa nas UBSFs no ano de 2013.

Quadro 7. Distribuição de atividade domiciliar formal e informal nas UBSFs, no ano de 2013.

Quadro 8. Número de manipulação de produtos químicos, de beleza e de alimentos no domicílio nas UBSFs, no ano de 2013.

Quadro 9. Distribuição de plantações no terreno do domicílio nas UBSFs, no ano de 2013.

Quadro 10. Distribuição das principais atividades domiciliares nas UBSFs, no ano de 2013

Quadro 11. Distribuição das principais ocupações individuais dos trabalhadores do território nas UBSFs, no ano de 2013.

Quadro 12. Doenças segundo a CID – 10 das cinco Unidades de Saúde da Família do Distrito Sanitário Sul- listadas em 2013 e 2014.

Quadro 13. Classificação das Doenças Segundo sua Relação com o Trabalho.

Quadro 14. Riscos à saúde dos trabalhadores dos salões de beleza do território da Região Sul do município de Uberlândia – MG

Quadro 15. Riscos à saúde dos trabalhadores de Serviços Gerais do território da região sul do município de Uberlândia-MG

## SUMÁRIO

	<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1	Histórico da Saúde do Trabalhador.....	28
2.2	O modelo de Atenção à Saúde do Trabalhador.....	32
2.3	A Política Nacional de Saúde do Trabalhador.....	37
2.4	A Saúde do Trabalhador na Atenção Básica.....	39
2.5	Vigilância em Saúde do Trabalhador.....	45
2.6	O perfil produtivo ocupacional familiar .....	47
2.7	Fortalecimento da Vigilância em Saúde .....	51
<b>3</b>	<b>PERCURSO METODOLÓGICO.....</b>	<b>57</b>
3.1	Tipo de estudo.....	57
3.2	Cenário do estudo.....	58
3.3	População/amostragem.....	59
3.4	Coleta de dados.....	61
3.5	Aspectos éticos.....	62
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXO A- Instrumento de Consolidado do Perfil Ocupacional.....</b>	<b>122</b>

## APRESENTAÇÃO

A pesquisa intitulada “Perfil de saúde dos trabalhadores nos territórios da atenção básica do distrito sanitário sul, em Uberlândia – MG”, surge a partir do conhecimento das diretrizes e ações desenvolvidas pelo Centro de Referência em Saúde do Trabalhador- CEREST Regional, situado no município de Uberlândia, sendo inspirada pelo Mestrado Profissional em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

Pretende contribuir com a implementação da Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora no SUS, a partir do debate sobre a importância do diagnóstico estratégico situacional entendido como perfil produtivo e epidemiológico, o qual subsidia o planejamento das ações em Saúde do Trabalhador.

Com o intuito de contribuir com o avanço da organização dessas ações, no Programa Saúde da Família, e sobre as diretrizes do Fortalecimento da Vigilância em Saúde do Trabalhador e a integração dos demais componentes da Vigilância em Saúde, destacados nos objetivos da Política Nacional de Saúde do trabalhador (PNST-SUS), em sintonia com a Portaria 3.252/2009, que se torna importante este debate no campo da Saúde do Trabalhador.

A Vigilância em Saúde é na atualidade um dos grandes desafios do SUS, e deve ser articulada com a Vigilância Epidemiológica, Sanitária, Ambiental e da Saúde do Trabalhador. Uma das ações que deve ser incorporada pelas equipes da Atenção Primária em Saúde, é o mapeamento dos processos produtivos do território e assim identificar os riscos e perigos à saúde associados às atividades laborais, bem como situações de vulnerabilidade da população.

Baseando-se nesse contexto, esta pesquisa pretende debater a importância da categoria “território” no planejamento das ações de saúde do trabalhador, a fim de compreender o processo saúde-trabalho-doença no território, contribuindo com a sensibilização das equipes envolvidas e com o adequado planejamento das ações de saúde. Tal pretensão surge considerando que a proposta de territorialização é um mecanismo poderoso no

planejamento das ações de promoção e de atenção integral à saúde, uma vez que os projetos nascem das necessidades identificadas no território estudado, com a participação da comunidade.

Percebe-se na análise de identificação do usuário trabalhador e o estabelecimento da relação entre o agravo e o adoecimento e o trabalho, uma poderosa ferramenta de contribuição para o planejamento e execução das ações de promoção, prevenção e atenção integral à saúde dos trabalhadores.

Inicialmente apresenta-se uma breve contextualização teórica e histórica sobre a Saúde do Trabalhador enquanto um campo em movimento, a seguir é descrito sobre a criação da Rede Nacional de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador - Renast, criada em 2002, por meio da Portaria no 1.679/GM, com objetivo de disseminar ações de saúde do trabalhador, articuladas às demais redes do Sistema Único de Saúde, SUS.

Com a definição da Política Nacional de Saúde do Trabalhador em 2005, a Renast passou a ser a principal estratégia da organização da Saúde do Trabalhador- ST no SUS, sob a responsabilidade da então Área Técnica de Saúde do Trabalhador do Ministério da Saúde.

Abordamos sobre a Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora a qual tem como finalidade definir os princípios, as diretrizes e as estratégias a serem observados pelas três esferas de gestão do Sistema Único de Saúde (SUS), para o desenvolvimento da atenção integral à saúde do trabalhador, com ênfase na vigilância, visando a promoção e a proteção da saúde dos trabalhadores e a redução da morbimortalidade decorrente dos modelos de desenvolvimento e dos processos produtivos.

Abordamos também, a Saúde do Trabalhador na Atenção Básica, descrevendo a importância da Atenção Básica como ordenadora das Redes de Atenção à Saúde e coordenadora do cuidado na Saúde do Trabalhador, bem como os desafios da Atenção Primária frente às novas questões e novas demandas relacionadas a saúde e ao trabalho.

Fizemos um breve relato sobre o conceito da Vigilância em Saúde do Trabalhador (VISAT), como um componente do Sistema Nacional de Vigilância em Saúde, que visa à promoção da saúde e à redução da morbimortalidade da população trabalhadora, por meio da integração de ações que intervenham nos



agravos e seus determinantes decorrentes dos modelos de desenvolvimento e dos processos produtivos. Finalizando uma reflexão teórica sobre o Perfil Produtivo Ocupacional e sobre o projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde – Estratégias de Ações de Vigilância à Saúde do Trabalhador na Atenção Primária à Saúde.

Apresentamos uma discussão e análise dos dados, dividida nas seguintes partes: (1) Número de famílias e pessoas cadastradas em Equipe de Saúde da Família, (2) Número de famílias entrevistadas e número de pessoas em idade ativa, (3) Número de atividade domiciliar formal e informal, (4) Número de locais de manipulação de produtos químicos, de beleza e de alimentos no domicílio, (5) Número de plantações em terreno do domicílio, (6) Principais atividades domiciliares nas UBSFS no ano de 2013, (7) Principais ocupações individuais dos trabalhadores do território das cinco Unidades de Saúde da Família do Distrito Sul no ano de 2013, em Uberlândia, (8) Doenças segundo a CID – 10 das cinco Unidades de Saúde da Família do Distrito Sanitário Sul- listadas em 2013 e 2014.

Ao final, algumas considerações que sintetizam as principais conclusões extraídas do estudo, incluindo indicações de outros possíveis desdobramentos a fim de aprofundar sobre a Saúde do Trabalhador na Atenção Primária e a contribuição das equipes, a partir do conhecimento do perfil de saúde dos trabalhadores e dos processos produtivos, bem como os principais agravos e situações de riscos relacionados ao trabalho formal e informal nos territórios das Unidades e a sua incorporação no planejamento das ações.

## 1. INTRODUÇÃO

A determinação da Saúde da Família como estratégia de reorganização da Atenção Primária em Saúde, remete a desafios, entre os quais o de implantar e/ou implementar a Política Nacional de Saúde do Trabalhador e Trabalhadora. Essa necessidade tem sido valorizada por gestores, e no caso no município de Uberlândia o Centro de Referência em Saúde do Trabalhador (CEREST) tem um grande papel enquanto suporte nas ações de supervisão aos profissionais da rede de serviços e de práticas conjuntas de intervenção especializada, incluindo a Vigilância em Saúde.

Este estudo busca aprofundar sobre a Saúde do Trabalhador na Atenção Primária à Saúde (APS), haja visto que é a porta de entrada preferencial do usuário do SUS, bem como apresentar o modelo de organização da Saúde do Trabalhador a partir do Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde, com o elenco da Saúde do Trabalhador, o qual tem como uma das metas a identificação das necessidades da população adscrita no território e relacioná-las às atividades produtivas para planejar e executar as ações de saúde.

A Resolução nº 3.152 de fevereiro de 2012, descreve que o planejamento é essencial para a gestão do SUS, propiciando resposta oportuna e efetiva às demandas e necessidades da população. Esta programação realizada é um processo contínuo e deve ser feito de acordo com a capacidade instalada do município e necessidades do campo de Saúde do Trabalhador.

Ainda segundo esta resolução, o diagnóstico estratégico situacional, entendido como perfil produtivo e epidemiológico, permite conhecer quantos são, quem são, o que fazem e de que adoecem e morrem os trabalhadores. Este subsidia o planejamento das ações em Saúde do Trabalhador no município.

Considerando a importância de se estabelecer o elenco de ações de Saúde do Trabalhador que deverão ser desenvolvidas e definidas a partir do diagnóstico da situação de saúde baseada no perfil produtivo e epidemiológico dos agravos relacionados ao trabalho, justifica-se a realização de uma

pesquisa que pode contribuir para o mapeamento do território de atuação das equipes, identificando as atividades produtivas desenvolvidas e os agravos, ocorrências de risco e perigos à Saúde do Trabalhador no território das Unidades de Atenção Primária em Saúde.

Os resultados deste estudo poderão possibilitar maior compreensão do problema em questão e, posteriormente, subsidiará o planejamento de ações em Saúde do Trabalhador, visando o aprimoramento da assistência e atendimento às medidas sugeridas pela Política de Saúde do Trabalhador.

A hipótese que norteou este estudo é a de que predomina nos territórios de atuação das equipes por distritos sanitários, riscos potenciais em relação às atividades produtivas domiciliares e às ocupações. Estas ações produtivas, bem como os riscos para a saúde delas decorrentes e o perfil epidemiológico da população trabalhadora, devem ser consideradas no planejamento das ações de vigilância e assistência à saúde, pelas Unidades de Saúde.

Com base nisto, buscou-se responder ao longo deste estudo às seguintes questões: Quais são as atividades produtivas/econômicas desenvolvidas na região? Quais são os possíveis riscos e perigos à saúde dos trabalhadores relacionados às atividades profissionais?

Com esta perspectiva posta, o presente estudo teve como objetivo identificar o perfil de saúde dos trabalhadores e os processos produtivos, bem como os principais agravos e situações de riscos relacionados ao trabalho formal e informal nos territórios das Unidades Básicas de Saúde da Família.

## 2. MARCO TEÓRICO

O conceito de Atenção Primária nos leva a entender que a mesma ocupa um papel de grande resolutividade, pois organiza ações e serviços de saúde com base nas necessidades da população, com atenção integral, respeitando o sujeito em sua singularidade, dando um enfoque na promoção e prevenção de doenças.

A Atenção Primária é aquele nível de um sistema de serviços de saúde que oferece a entrada no sistema para todas as novas necessidades e problemas, fornece atenção sobre a pessoa (não direcionada para a enfermidade) no decorrer do tempo, fornece atenção para todas as condições, exceto as muito incomuns ou raras, e coordena ou integra a atenção fornecida em outro lugar ou por terceiros.” (STARFIELD, 2002, p. 28).

A Atenção Primária à Saúde deve cumprir três funções essenciais, segundo Mendes (2002), a *resolução*, que visa solucionar a grande maioria dos problemas de saúde da população, a *organização*, que objetiva sistematizar os fluxos e contra fluxos dos usuários pelos diversos pontos de atenção à saúde, no sistema de serviços de saúde e a *responsabilização*, que se compromete pela saúde dos usuários em quaisquer pontos de atenção à saúde em que estejam.

Segundo o Conselho Nacional de Secretários Estaduais de Saúde (CONASS) a Atenção Primária é:

[...] um conjunto de intervenções de saúde no âmbito individual e coletivo que envolve promoção, prevenção, diagnóstico, tratamento e reabilitação. É desenvolvida por meio de exercício de práticas gerenciais e sanitárias, democráticas e participativas, sob forma de trabalho em equipe, dirigidas a populações de territórios (território-processo) bem delimitados, das quais assumem responsabilidades. Utiliza tecnologias de elevada complexidade e baixa densidade tecnológica, que devem resolver os problemas de saúde de maior frequência e relevância das populações. É o contato preferencial dos usuários com o sistema de saúde. Orienta-se pelos princípios da universalidade, acessibilidade (ao sistema), continuidade, integralidade, responsabilização, humanização, vínculo, equidade e participação social. A Atenção Primária deve

considerar o sujeito em sua singularidade, complexidade, integralidade e inserção sócio-cultural, e buscar a promoção de sua saúde, a prevenção e tratamento das doenças e a redução dos danos ou sofrimentos que possam estar comprometendo suas possibilidades de viver de modo saudável.” (CONASS, 2004, p. 7)

Starfield (2002) ressalta que a Atenção Primária à Saúde – APS deve ser orientada pelos seguintes princípios: primeiro contato, longitudinalidade, integralidade, coordenação, abordagem familiar e enfoque comunitário. Para a autora, o princípio do primeiro contato refere-se à APS como a porta de entrada, ou seja, o ponto de entrada de fácil acesso ao usuário para o sistema de serviços de saúde.

Para Donabedian (1973), o acesso pode ser classificado em sócio organizacional e geográfico. O primeiro diz respeito aos recursos que facilitam ou atrapalham (barreiras) os esforços dos cidadãos de chegarem ao atendimento. O segundo envolve as características relacionadas à distância e ao tempo necessário para alcançar e obter os serviços.

A acessibilidade pode ser analisada através da disponibilidade, comodidade e aceitabilidade do serviço pelos usuários. A disponibilidade diz respeito à obtenção da atenção necessária ao usuário e sua família, tanto nas situações de urgência/emergência quanto de eletividade (DONABEDIAN, 1973).

Além disso, a comodidade pauta-se no tempo de espera para o atendimento, a conveniência de horários, a forma de agendamento, a facilidade de contato com os profissionais, o conforto dos ambientes para atendimento, entre outros. A aceitabilidade é concernente à satisfação dos usuários quanto à localização e à aparência do serviço, à aceitação dos usuários quanto ao tipo de atendimento prestado e, também, à aceitação dos usuários quanto aos profissionais responsáveis pelo atendimento (DONABEDIAN, 1973).

Contudo, a definição da APS como centro ordenador das redes de atenção à saúde no SUS muda, na essência, o modelo de organização do SUS. Nessa perspectiva, a APS deixa de ser o primeiro nível da rede para assumir a responsabilidade pela coordenação do cuidado integral à saúde da população adscrita em um dado território. Para se entender o alcance dessa

afirmação é importante resgatar a definição de modelos de atenção, que contempla a organização de redes de atenção à saúde, no que concerne à soma dos equipamentos e os agentes que auxiliam dentro deste processo (MENDES, 2002).

Assim como as combinações tecnológicas, na concepção de Mendes (2002), incluem o uso de recursos das tecnologias duras (equipamentos), as leve dura (saberes disciplinares) e as leves (relações humanas). Pode-se dizer que o modelo de atenção está relacionado à forma de organização dos recursos tecnológicos para identificação e resposta aos problemas de enfermidade da população nos serviços de saúde.

Nesse sentido, não cabe mais a classificação de baixa complexidade atribuída à APS. Conceitualmente, considerar a APS enquanto centro ordenador da atenção à saúde no SUS significa atribuir-lhe grande complexidade e pressupõe estreita articulação com os níveis do sistema que incorporam mais recursos tecnológicos, anteriormente denominados “de média e alta complexidade”, de modo a garantir a integralidade e respostas adequadas às necessidades dos usuários.

Mendes (2009) destaca que esta visão equivocada de complexidade contribui para que os gestores, políticos e profissionais de saúde valorizem mais as práticas desenvolvidas nos níveis secundários e terciários da atenção à saúde.

Em outras palavras, a proposta de articulação entre os níveis de cuidado caracteriza a organização da atenção à saúde em redes, que podem ser entendidas como a interligação entre vários agentes envolvidos na questão relacionada à saúde de modo colaborativo.

Dessa maneira, a substituição do modelo hierárquico piramidal tradicional, pela formatação das redes de atenção à saúde na forma poliárquica pressupõe que todos os pontos de atenção à saúde são igualmente importantes, guardadas as diferenças quanto às densidades tecnológicas que os caracterizam (MENDES, 2009).

A concepção do sistema vigente no SUS se pauta no nível hierárquico, piramidal e formatado segundo níveis de complexidades, no qual a atenção básica ocupa posição de menor complexidade, muda-se para a concepção das

redes de atenção à saúde. Esta rede se estrutura em torno de um conjunto de pontos de atenção contínua e integral a uma população definida, tendo como centro coordenador a APS.

Para prover atenção integral, a rede se organiza em vários componentes, dentre eles: o centro de comunicação (a própria APS); os pontos de atenção à saúde, secundários e terciários; os sistemas de apoio (assistência farmacêutica, apoio diagnóstico e terapêutico e sistemas de informação em saúde); os sistemas logísticos (prontuário de família, cartão de identificação dos usuários, central de regulação e sistemas de transporte sanitário) e o sistema de governança, exercido pelos gestores e pelo controle social (MENDES, 2009, p.125).

Nesse entendimento, a APS dentro das redes de atenção à saúde assume o papel de centro de comunicação, coordenador dos fluxos e contra fluxos de toda a rede e deve ser entendida como: “uma forma singular de apropriar, recombina, reorganizar e reordenar os recursos do sistema para satisfazer as necessidades, demandas e representações da população” (MENDES, 2009, p. 163).

Sobretudo, a organização da atenção à saúde dos trabalhadores a partir da Atenção Primária à Saúde reveste-se de especial importância, quando se considera a capilaridade do sistema e a possibilidade de fazer a atenção integral à saúde chegar o mais próximo de onde as pessoas vivem e trabalham e o potencial desses serviços para identificar as necessidades de saúde da população adscrita no território e relacioná-las às atividades produtivas para planejar e executar as ações.

Entretanto, observa-se que no cotidiano da APS, o papel do trabalho enquanto determinante do processo saúde-adoecimento-cuidado dos indivíduos e do coletivo e dos impactos no meio ambiente não está incorporado de forma sistemática nas práticas de saúde.

Estudos sobre a Saúde do Trabalhador demonstram que, apesar de os profissionais compreenderem a importância desta temática, a abordagem deficiente de temas relacionados à área saúde e ao trabalho na formação profissional, a falta de suporte técnico para o desenvolvimento das ações e a dificuldade de encaminhamento para os serviços especializados em Saúde do Trabalhador são fatores que limitam a atenção à saúde dos trabalhadores na APS (CHIAVEGATTO, 2010).

Em conformidade com a Política Nacional de Atenção Básica - PNAB (BRASIL, 2006), a Atenção Básica tem como fundamentos efetivar a integralidade em seus vários aspectos, a saber: integração de ações programáticas e demanda espontânea; articulação das ações de promoção à saúde, prevenção de agravos, vigilância à saúde, tratamento e reabilitação, trabalho de forma interdisciplinar e em equipe, e coordenação do cuidado na rede de serviços; sendo assim espera-se que os serviços da APS desenvolvam ações de Saúde do Trabalhador, o que é um desafio.

A rigor, o papel do trabalho, enquanto determinante do processo saúde-doença-cuidado deve ser considerado em qualquer ponto da rede de atenção à saúde. Em cada nó de rede ou ponto de atenção, o trabalhador que demanda o serviço deve ser reconhecido como tal e deve ser considerada sua inserção no processo produtivo, ou seja, a possibilidade ou o modo como seu trabalho afeta sua saúde.

Nas ações de vigilância busca-se o aumento das notificações, melhoria da qualidade das informações, a análise do perfil de agravos à saúde relacionados ao trabalho, em articulação com a Vigilância Epidemiológica e Ambiental e o reconhecimento dos riscos para a saúde, gerados nos processos de trabalho, em articulação com a Vigilância Sanitária e Ambiental.

A Rede Nacional de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador, Renast, foi criada em 2002, por meio da Portaria no 1.679/GM, com objetivo de disseminar ações de saúde do trabalhador, articuladas às demais redes do SUS. Com a definição da Política Nacional de Saúde do Trabalhador em 2005 (Brasil, 2005), a Renast passou a ser a principal estratégia da organização da ST no SUS, sob a responsabilidade da então Área Técnica de Saúde do Trabalhador do Ministério da Saúde, hoje Coordenação Geral da Saúde do Trabalhador, [CGSAT](#).

A Renast compreende uma rede nacional de informações e práticas de saúde, organizada com o propósito de implementar ações assistenciais, de [vigilância](#), prevenção, e de promoção da saúde, na perspectiva da ST. Em sua atual formatação institucional prevista na Portaria nº 2.728 de 11 de novembro de 2009, a Renast deve integrar a rede de serviços do SUS por meio de Centros de Referência em Saúde do Trabalhador ([CEREST](#)). Além disso, elaboram protocolos, linhas de cuidado, e instrumentos que favorecem a integralidade das



ações, envolvendo a atenção básica, de média e alta complexidade, serviços e municípios sentinela. Essa Portaria também estabelece que a Renast seja implementada de forma articulada entre o Ministério da Saúde (MS), as Secretarias de Saúde dos estados, o Distrito Federal, e os municípios, com o envolvimento de outros setores também participantes da execução dessas ações. Definida dessa forma, a Renast se constitui em uma complexa rede que se concretiza com ações transversais, que incluem a produção e gestão do conhecimento, e todos os níveis e ações definidas. Grandes esforços e avanços têm sido feitos para a institucionalização da rede, e para a formalização de mecanismos de funcionamento, bem como a relação entre seus componentes (BRASIL, 2005, p.225).

Considerando a importância da melhoria da informação sobre os agravos à saúde relacionados ao trabalho, foi publicada a Portaria nº. 777, em 28 de abril de 2004, definindo a notificação compulsória de um conjunto de 11 agravos, a partir da rede de serviços sentinela, que teria a capacidade presumida de diagnosticar e estabelecer a relação com o trabalho e registrá-los no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN-NET) do SUS. Para apoiar estas ações foram preparados protocolos para o cuidado diferenciado aos Agravos mencionados na Portaria, porém estes não contemplam de forma satisfatória, as ações a serem desenvolvidas na APS (BRASIL, 2004).

Outro marco para instituir uma política de Saúde do Trabalhador foi a 3ª Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador, realizada em 2005, envolvendo ampla participação social, que discutiu avanços e dificuldades encontrados para consolidação do campo de Saúde do Trabalhador no SUS.

E entre as recomendações da Conferência está a incorporação nas agendas de saúde, em nível nacional, estadual e municipal, das ações de Saúde do Trabalhador na Atenção Primária à Saúde e nos serviços de Urgência e Emergência enquanto portas de entrada do sistema e no cuidado de média e alta complexidade (BRASIL, 2005).

Apesar das muitas dificuldades e contradições, observa-se o movimento bem definido na direção de se desenvolver ações de Saúde do Trabalhador na Atenção Primária a Saúde. Assim, os CEREST Regionais têm desenvolvido atividades de matriciamento das equipes de Saúde da Família para a notificação de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho e o apoio aos

processos de descentralização da assistência em Saúde do Trabalhador do CEREST para a APS (POÇO, 2008).

O CEREST é um ponto de atenção da rede que possui como principal atribuição o matriciamento das ações de Saúde do Trabalhador. A rede sentinela está organizada a partir dos pontos de atenção considerados sensíveis para identificação dos agravos relacionados ao trabalho.

Em 2012, a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES-MG) publicizou a todo Estado, a 1ª edição do “Instrutivo para a Execução e Avaliação das Ações de Vigilância em Saúde”, o objetivo era de que este fosse um guia para as equipes municipais na qualificação das ações assumidas perante o edital SES-MG 01/2012. Em 2013, foi publicada a segunda edição do Instrutivo para execução e avaliação das ações de Vigilância em Saúde, o Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde em Minas Gerais, resolução SES no 3.717/2013 (LAGUARDIA, 2014).

Certamente, tal documento configura-se como importante ferramenta norteadora das rotinas e processos de trabalho das áreas de Vigilância Epidemiológica, Sanitária, Ambiental, Promoção da Saúde, Vigilância da Situação de Saúde e Vigilância à Saúde do Trabalhador. Como parte deste documento, foi desenvolvido um importante instrumento de cadastro das atividades produtivas efetuadas nos domicílios, com a identificação de possíveis riscos para a saúde relacionados ao trabalho (LAGUARDIA, 2014).

Ademais, o objetivo de tal registro é identificar as atividades produtivas existentes na área de abrangência de cada ESF e PACS, tanto de estabelecimentos comerciais formais e informais quanto de atividades domiciliares (atividades realizadas dentro do domicílio), além de identificar a ocupação dos membros das famílias cadastradas de cada Equipe de Saúde da Família (ESF) e do Programa Agentes Comunitários de Saúde (PACS).

Por fim, espera-se que entre as ações a serem implementadas em médio prazo, uma delas é de estabelecer o elenco de ações de Saúde do Trabalhador que deverão ser desenvolvidas e definidas a partir do diagnóstico da situação de saúde baseado no perfil produtivo e epidemiológico dos agravos relacionados ao trabalho, inserindo-as nos Planos Municipais e Estaduais de Saúde.

## 2.1. HISTÓRICO DA SAÚDE DO TRABALHADOR

Antes do advento do SUS, a atuação do Ministério da Saúde se resumia às atividades de promoção de saúde e prevenção de doenças (por exemplo, vacinação), realizadas em caráter universal, e à assistência médico-hospitalar para poucas doenças; servia aos *indigentes*, ou seja, a quem não tinha acesso ao atendimento pelo Instituto Nacional de Assistência Médica da Previdência Social - INAMPS.

O INAMPS foi criado pelo regime militar em 1974 pelo desmembramento do Instituto Nacional de Previdência Social (INPS), que hoje é o Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS). Era uma autarquia filiada ao Ministério da Previdência e Assistência Social (hoje Ministério da Previdência Social), e tinha a finalidade de prestar atendimento médico aos que contribuíam com a previdência social, ou seja, aos empregados de carteira assinada.

Em termos objetivos, a política do Estado brasileiro para a saúde era oferecida, individualmente, de forma compensatória, para os beneficiários da Previdência Social ou, coletivamente, por meio de campanhas e programas específicos para controle de doenças endêmicas (BRASIL, 2005).

A estrutura de atenção à saúde existente desde o final do século XIX, através das Caixas de Assistência, foi unificada no governo Vargas, que criou a estrutura previdenciária dos Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAP) por categorias de trabalhadores, com a participação das empresas e dos trabalhadores, representados por seus sindicatos na sua administração. Esses institutos possuíam volumosos recursos e proviam a assistência médica por meio de hospitais próprios. Porém, aos poucos, o Estado passou a influenciar cada vez mais na administração previdenciária, inclusive nomeando seus presidentes. O seu controle, inclusive o financeiro, foi transferido ao Estado. A concessão de benefícios passou a obedecer a critérios cada vez mais rígidos e seus valores foram reduzidos. Esses vultuosos recursos acumulados, sob o controle do Estado, foram destinados ao processo de industrialização brasileira. (CARVALHO; MARTIN; CORDONI JR., 2001, p. 30).

Até o final da década de 50, a assistência médica previdenciária não era importante, mas passou a consumir recursos cada vez mais significativos, devido à industrialização e novas formas de adoecimento. Esse sistema tornou-

se deficitário no início dos anos 60 e, em 1967, o governo militar unificou os Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAP) no Instituto Nacional de Previdência Social – INPS, excluindo os trabalhadores e empregadores da sua gestão (CARVALHO; MARTIN; CORDONI JR., 2001, p. 31).

Ainda para os autores, este modelo de atenção à saúde, também chamado de modelo médico-assistencial privatista, persistiu hegemônico dos anos 60 até meados dos anos 80. Grande parte da população foi excluída e isso se refletiu nos altos índices de mortalidade infantil, perinatal, materna e por acidentes de trabalho e na baixa capacidade diagnóstica e de registro de doenças relacionadas ao trabalho.

Na década de 70, no contexto da Ditadura Militar (1964-1985), o modelo de saúde hegemônico era centrado nas ações de âmbito federal, no qual o Ministério da Saúde (MS) e o Ministério da Previdência e Assistência Social (MPAS), junto com o Instituto Nacional de Assistência Médica da Previdência Social (INAMPS) dividiam a responsabilidade nas ações na área da saúde, ao ficar, o primeiro responsável pelas ações preventivas de saúde, enquanto o segundo ficava responsável pelas ações curativas de diagnósticos, tratamento e reabilitação (VIANA, 2000).

Também nesta década, conforme Paim (2009) o que se percebia quanto ao sistema de saúde brasileiro é que este era semelhante ao norte-americano, sendo excludente, pois apenas os trabalhadores pertencentes ao mercado formal de trabalho podiam fazer parte da clientela dos serviços de saúde. Estes serviços eram prestados por uma multiplicidade de instituições e organizações – estatais e privadas, por meio de um modelo médico-assistencial privatista que privilegiava a cura da doença ao invés da promoção e prevenção da saúde.

Na conjuntura em que vivia o país, marcada pela crise econômica e pelo processo de redemocratização política, gesta-se o Movimento da Reforma Sanitária Brasileira, também conhecida como Movimento Sanitário ou Movimento pela Democratização da Saúde. Por conseguinte, o Movimento Sanitário Brasileiro questiona a intervenção estatal na saúde (CARVALHO; MARTIN; CORDONI JR., 2001).

Todavia, este movimento se iniciou na década de 70, mas foi apenas em 1980, mais precisamente em 1986, com a 8ª Conferência Nacional de Saúde, que se obteve avanços significativos, pois foi aí que se levantou a bandeira da Reforma Sanitária. Mendes (1995) conceitua a Reforma Sanitária como:

(...) um processo modernizador e democratizante de transformação nos âmbitos político-jurídico, político-institucional e político-operativo, para dar conta da saúde dos cidadãos, entendida como um direito universal e suportada por um Sistema Único de Saúde, constituído sob regulação do Estado que objetive a eficiência, eficácia e equidade e que se construa permanentemente através do incremento de sua base social, da ampliação da consciência sanitária dos cidadãos, da implantação de um outro paradigma assistencial, do desenvolvimento de uma nova ética profissional e da criação de mecanismos de gestão e controle populares sobre o sistema. (MENDES, 1995, p. 42).

A Constituição Federal de 1988 então irá inaugurar o conceito de Seguridade Social no Brasil, tendo como base o tripé composto pela: Saúde, Previdência e Assistência Social. A Saúde, nesta Carta Magna, passa a ser direito de todos e dever do Estado, já a Previdência Social é para quem contribui e a Assistência Social para quem dela necessitar. Inaugura-se um novo conceito ampliado de saúde, o qual a define não apenas como ausência de doenças, enfocando seu aspecto biológico, mas como resultante de todo um contexto sanitário, social, político, cultural e econômico.

Conforme Bravo (2007), a Constituição Federal de 1988 é a mais progressista e nela, à Saúde coube cinco artigos (Art. 196-200), que determinam que esta é um direito de todos e dever do Estado e estatuem a integração dos serviços de saúde de forma regionalizada e hierárquica, constituindo um sistema único. Portanto, na Constituição de 1988, foi estabelecida a criação do Sistema Único de Saúde (SUS), que se pautava nos princípios básicos da Reforma Sanitária, a saber: a equidade, a universalidade, a integralidade e a participação social.

Por certo, no Brasil, a política de Saúde do Trabalhador começou a ser pensada a partir da década de 80 em conjunto com o Movimento da Reforma Sanitária. A aproximação da medicina preventiva e social com as ciências sociais trouxe novos conceitos para saúde pública, incorporando categorias do marxismo, que contribuíram para modificar a interpretação do processo saúde-

adoecimento-cuidado, agregando o papel do trabalho e do trabalhador enquanto sujeito deste campo de atuação, em meio a uma sociedade que viviam mudanças nas relações políticas e econômicas, no contexto de grande investimento na industrialização que gerou um grande aumento nos acidentes de trabalho (MINAYO-GOMEZ; THEDIM-COSTA, 1997).

A classe operária industrial teve um importante papel nas discussões junto ao Movimento da Reforma Sanitária. A partir dos sindicatos, foram criados mecanismos de reivindicação dos direitos trabalhistas, dentre eles o direito à saúde com a exigência da implementação de ações voltadas para saúde dos trabalhadores. Neste sentido, cabe destacar o importante papel do Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho (DIESAT), órgão suprapartidário e intersindical voltado para produzir conhecimento técnico para subsidiar as ações dos sindicatos (LACAZ, 1997).

As primeiras propostas específicas de intervenção na saúde dos trabalhadores surgiram a partir da Conferência de Alma Ata, em 1978, e no início dos anos 80, organismos internacionais como a Organização Pan Americana de Saúde (OPAS) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT) lançaram diretrizes e recomendações que reforçaram a importância da temática (LACAZ, 1997).

Respalado por esta movimentação internacional, o movimento da Reforma Sanitária propôs uma política nacional voltada para saúde dos trabalhadores que tivesse como foco os determinantes sociais do processo saúde-adoecimento-cuidado e durante a 8ª Conferência Nacional de Saúde (CNS) a Saúde do Trabalhador foi amplamente debatida, tendo como desdobramento a realização da I Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador (CNST), realizada no mesmo ano (LACAZ, 2007).

Desta forma, a luta conjunta do movimento sindical com o Movimento da Reforma Sanitária fez com que em 1988 a Saúde do Trabalhador fosse incluída na Constituição Federal no escopo das ações do SUS, posteriormente desenvolvida na Lei 8080/90 (HOELFEL, DIAS, SILVA, 2005).

## **2.2. O MODELO DE ATENÇÃO À SAÚDE DO TRABALHADOR – A CRIAÇÃO DA RENAST**

A construção de ambientes e processos de trabalho saudáveis, o fortalecimento da vigilância de ambientes, os processos e agravos relacionados ao trabalho e a assistência integral à saúde caracterizam a denominada Atenção Integral à Saúde. Pressupõe-se a adequação e a ampliação da capacidade institucional de modo a permitir que este conjunto de ações seja desenvolvido com competência e resolutividade pela rede de serviços de saúde, em ação coordenada de diversos setores do governo e da sociedade civil.

Mas também, a articulação intra-setorial envolve todas as instâncias do SUS. No Ministério da Saúde, a Área Técnica de Saúde do Trabalhador é o ponto focal dessa articulação e abrange, no campo da assistência, a Atenção Básica, a Média e Alta Complexidade e os programas e ações direcionadas a grupos populacionais específicos, entre eles: as mulheres, os idosos, as crianças e os adolescentes e os portadores de necessidades especiais.

A priori, tendo o histórico e cronologia de toda temática, em setembro de 2002 foi instituída a Rede Nacional de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador - RENAST, através da Portaria MS 1679/02, que se trata de uma rede hierarquizada em três níveis de gestão - Ministério da Saúde, Secretarias de Estado, Distrito Federal e Secretarias Municipais de Saúde - visando romper a fragmentação e marginalidade da Saúde do Trabalhador e criando uma cultura institucional sanitária frente aos problemas decorrentes da relação saúde, trabalho e meio ambiente (HOEFEL, DIAS, SILVA, 2005).

Para as autoras, a RENAST é uma rede nacional de informação e práticas de saúde, organizada com o propósito de implementar ações assistenciais, de vigilância e de promoção da saúde, no SUS, na perspectiva da Saúde do Trabalhador. A compreensão do processo saúde-adoecimento-cuidado dos trabalhadores, que norteia a RENAST, está baseada no enfoque das relações Trabalho-Saúde-Doença e da centralidade do trabalho na vida das pessoas, desenvolvida pela epidemiologia social.

Por certo, ela integra e articula as linhas de cuidado da atenção básica, da média e alta complexidade ambulatorial, pré-hospitalar e hospitalar, sob o controle social, nos três níveis de gestão: nacional, estadual e municipal, tendo como eixo os Centros de Referência em Saúde do Trabalhador - CRSTs. Estes centros deixam de ser porta de entrada do Sistema e assumem papel de suporte técnico e científico e de núcleos irradiadores da cultura da centralidade do trabalho e da produção social do adoecimento no SUS.

Além disso, tais centros são o *lócus* privilegiado de articulação e pactuação das ações de saúde, intra e intersetorialmente, no seu território de abrangência, que pode ser a capital, as áreas metropolitanas, municípios pólos de assistência das regiões e microrregiões de saúde.

Assim, entre as tarefas a serem cumpridas pelos CRST estão: prover suporte técnico adequado às ações de assistência e vigilância da Saúde do Trabalhador; recolher, sistematizar e difundir informações de modo a viabilizar as ações de vigilância, facilitar os processos de capacitação e educação permanente para os profissionais e técnicos da rede do SUS e o controle social (HOEFEL, DIAS, SILVA, 2005).

Os princípios e diretrizes que norteiam a RENAST são coincidentes com os da Política Nacional de Saúde do Trabalhador e podem ser resumidos em:

I) atenção integral à Saúde dos Trabalhadores; II) articulação intra e intersetoriais; III) informações em Saúde do Trabalhador; IV) apoio ao desenvolvimento de estudos e pesquisas; V) capacitação permanente em Saúde do Trabalhador e VI) participação da comunidade na gestão das ações em Saúde do Trabalhador (BRASIL, 2012, p.59).

Também é estratégica a articulação das ações das Secretarias de Vigilância em Saúde, em especial com a Coordenação Geral de Vigilância Ambiental (CGVAM), de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, de Gestão Participativa, de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, além da Anvisa e Funasa. Entre os fóruns estratégicos para a *pactuação* intra-setorial, estão: o Conselho Nacional de Saúde (CNS), a Comissão Inter-setorial de Saúde do Trabalhador (CIST), o Colegiado de Secretários do Ministério da Saúde, a Comissão Permanente de Saúde, Ambiente, Produção e Desenvolvimento Sustentável (Copesa), o Conselho Nacional de Secretários



de Saúde (Conass) e o Conselho Nacional de Secretários Municipais de Saúde (Conasems). A articulação inter-setorial tem como interlocutores privilegiados os Ministérios do Trabalho e Emprego, Previdência Social e Meio Ambiente e está sob a responsabilidade direta do Grupo Executivo Interministerial em Saúde do Trabalhador (GEISAT).

Por exemplo, temos outros fóruns de articulação intersetorial como: o Fórum Permanente de Erradicação do Trabalho Infantil, o Conselho Nacional de Segurança Química (Conasq), o Conselho Nacional de Direitos Humanos, a Comissão Nacional de Biossegurança (CTNBIO), os Movimentos Sociais e as Organizações Sindicais de trabalhadores.

Considerando a importância da produção de conhecimento para o desenvolvimento da atenção à Saúde do Trabalhador, particularmente nesse cenário de mudanças assinalado anteriormente, ela deve estar orientada por critérios epidemiológicos, relevância social e capacidade das instituições de pesquisa e envolver todos os equipamentos da rede de serviços do SUS, em particular os CRST. A capacitação dos profissionais, outra prioridade para a implementação da RENAST, deve contemplar a diversidade e especificidades regionais, incorporar os princípios do trabalho cooperativo, interdisciplinar e em equipe multiprofissional e a experiência acumulada pelos Estados e municípios (HOEFEL e DIAS, 2005).

A participação dos trabalhadores é considerada essencial para a identificação dos fatores de risco presentes no trabalho e das repercussões destes sobre o processo saúde-adoecimento-cuidado. Também é fundamental para a transformação das condições geradoras de acidentes e doenças. Na atualidade, o crescimento das relações informais e precárias de trabalho exige a criação ou a identificação de novas modalidades de representação dos trabalhadores, para além das organizações sindicais tradicionais (SILVEIRA; RIBEIRO; LINO, 2005).

Sobre o Sistema de Informação em Saúde do Trabalhador, Hoefel, Dias (2005) ressaltam que a utilização da informação produz conhecimento para que os profissionais atuem de forma eficiente e com eficácia para que possam alcançar melhoria nos processos de trabalho.

A rigor não se pode falar de um "modelo de atenção da RENAST", uma vez que este é o próprio modelo de atenção do Sistema Único de Saúde, organizado segundo os princípios da universalidade de acesso, integralidade da atenção com equidade e controle social, em um dado território, de modo regionalizado e hierarquizado, privilegiando a estratégia da Atenção Básica de Saúde e o enfoque da Promoção da Saúde (HOEFEL; DIAS, 2005).

Inegavelmente, os trabalhadores sempre foram usuários do sistema de saúde. A proposta da RENAST é qualificar esta atenção, fazendo com que o sistema como um todo, entenda e funcione na perspectiva da Saúde do Trabalhador. Para o trabalhador, na qualidade de indivíduo, ainda que os procedimentos diagnósticos e o tratamento da doença que apresenta sejam os mesmos, independentemente, de o agravo estar ou não relacionado ao seu trabalho atual ou pregresso.

Por outro lado, é importante que esta relação seja estabelecida e sejam feitos os encaminhamentos adequados. Somente a partir do estabelecimento da relação entre o agravo ou a doença com o trabalho e do registro no sistema de informação é possível coletivizar o fenômeno e desencadear procedimentos de vigilância que levem à mudança nas condições e ambientes de trabalho geradoras de doença.

Além disso, a identificação de situações ou de fatores de risco para a saúde nas situações de trabalho, originada nas ações de vigilância, permite o encaminhamento dos expostos e doentes à assistência adequada. Também, as ações de Saúde do Trabalhador são desencadeadas a partir da identificação de um agravo à saúde ou de uma situação de risco, relacionados ao trabalho. A indissociabilidade das ações assistenciais e de vigilância da saúde constitui uma pedra angular da Saúde do Trabalhador (HOEFEL E DIAS, 2005).

Nesta identificação dos pilares que orientam o desenho e a atuação da RENAST, é importante destacar a ideia-proposta ou conceito de Desenvolvimento Humano Sustentável. Apesar das controvérsias que envolvem o termo e as formas como essa expressão tem sido apropriada por distintos setores sociais, a realidade tem apontado, de modo consistente, a necessidade de inclusão das questões relacionadas às relações Trabalho-Ambiente e Saúde, de modo especial a Saúde do Trabalhador, nas agendas de

discussão do modelo de desenvolvimento a ser adotado no país (HOEFEL e DIAS, 2005).

Na atualidade, as políticas públicas setoriais que enfocam a produção e distribuição de bens oriundos da transformação da natureza e prestação de serviços, na agricultura, comércio, indústria, desenvolvimento e ciência e tecnologia, não têm, via de regra, levado em consideração as consequências sobre as condições de vida e os perfis de adoecimento relacionados ao trabalho. A mesma fragmentação se reproduz nas políticas setoriais na esfera da Previdência Social, Meio Ambiente e Trabalho.

Para a mudança desse quadro, Hoefel e Dias (2005) ratificam que é necessário que as políticas públicas privilegiem a construção de processos produtivos limpos e saudáveis, de modo a diminuir os riscos de adoecimento e a degradação do ambiente e garantir uma distribuição equitativa e justa dos benefícios e problemas gerados nos processos produtivos.

Apesar dos percalços, pode-se considerar que a estratégia da RENAST, para prover uma atenção diferenciada aos trabalhadores no SUS tem sido bem-sucedida. Hoefel e Dias (2005, p.169) destacam que entre as dificuldades a serem superadas estão:

(...) a) que a lógica do modelo da RENAST, centrada na atuação regionalizada dos CRSTs, não corresponde à organização do SUS centralizada na municipalização; b) há uma frágil articulação intra-setorial uma vez que a Saúde do Trabalhador ainda não foi efetivamente incorporada na Agenda de Saúde do SUS, nos níveis federal, estadual e municipal; c) existe uma confusão dos papéis das coordenações estaduais e municipais de Saúde do Trabalhador e dos Centros de Referência; d) há falta de orientação clara quanto aos processos de *pactuação* dos procedimentos de assistência, vigilância e informação em saúde, uma vez que, com frequência, as áreas de atuação dos CRSTs não coincidem com as Regionais de Saúde; e) existe o despreparo dos profissionais de saúde que atuam na rede de serviços para lidar com os riscos e agravos à saúde, relacionados com o trabalho e definir os encaminhamentos médicos e administrativos adequados; f) que o controle social está fragilizado, em decorrência das mudanças na organização sindical e do grande número de trabalhadores no mercado de trabalho formal, que ainda não se organizaram para participar dos fóruns sociais; g) há desvio dos recursos

destinados à implantação da RENAST para cobrir outras necessidades no âmbito do sistema de saúde; h) que apesar dos avanços regionais, ainda se observa o predomínio da assistência em detrimento das ações de vigilância, prejudicando a integralidade das ações; i) que as ações intersetoriais ainda são tímidas e localizadas.

Ainda assim, após mais de 20 anos da regulamentação da atribuição constitucional da atenção integral à saúde dos trabalhadores pela Lei Orgânica da Saúde 8080/90 e das experiências implementadas na rede pública de serviços de saúde, pode-se dizer que o SUS ainda não incorporou de forma efetiva, em suas concepções os paradigmas e as ações, o lugar que o “trabalho” ocupa na vida dos indivíduos e as suas relações com o espaço sócio ambiental.

Em outras palavras, ainda é frágil o papel do trabalho na determinação do processo saúde-adoecimento-cuidado dos trabalhadores diretamente envolvidos nas atividades produtivas, da população em geral e nos impactos ambientais que essas atividades produzem (HOEFEL e DIAS, 2005).

### **2.3. A POLÍTICA NACIONAL DE SAÚDE DO TRABALHADOR**

A publicação da Política Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho (PNSST), pelo Decreto Presidencial n.7.602, de 07 de novembro de 2011, pode ser considerada um marco histórico na abordagem das relações entre trabalho, saúde e doença e no cuidado à saúde dos trabalhadores no Brasil (BRASIL, 2011).

Ela busca superar a fragmentação e superposição das ações desenvolvidas pelo governo, por meio de articulações das ações governamentais, com participação voluntária das organizações representativas de trabalhadores e empregadores (BRASIL, 2011).

A PNSST tem como princípios norteadores a universalidade, o diálogo social e a precedência das ações de promoção, proteção e prevenção sobre as de assistência e reabilitação, com objetivo de promover a saúde e a melhoria de qualidade de vida do trabalhador e a prevenção de acidentes e danos à

saúde relacionados ao trabalho ou que ocorram no curso dele. Entre os aspectos positivos, explicitados no documento, destaca-se o conceito de atenção integral, que se aproxima da proposta historicamente construída pelo movimento da Saúde do Trabalhador (BRASIL, 2012).

A integralidade da atenção pressupõe a indissociabilidade das ações de promoção de ambientes e processos de trabalho saudáveis, a proteção da saúde e prevenção de agravos e do adoecimento, a vigilância de ambientes, processos e agravos relacionados ao trabalho e ações assistenciais, que incluam a reabilitação física e psicossocial, em nível individual e coletivo, considerando os aspectos biológicos, sociopolíticos e culturais envolvidos (DIAS, 2013, p.29)

O documento ainda prevê que a política deve atender a todos os trabalhadores, independentemente de sua localização (urbana ou rural), de sua forma de inserção no mercado de trabalho (formal ou informal) e de seu vínculo empregatício (público ou privado, assalariado, autônomo, avulso, temporário, cooperativados, aprendiz, estagiário, doméstico, aposentado ou desempregado).

A Portaria Nº 1.823, de 23 de agosto de 2012, institui a Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora (PNSTT), a qual surge para consolidar e legitimar o que vem sendo construído, ela explicita as ações a serem desenvolvidas pela rede SUS e reitera a indissociabilidade das práticas preventivas e curativas, a transversalidade das ações e seu caráter transdisciplinar e interinstitucional, em sintonia com as mudanças nos processos produtivos e com participação dos trabalhadores como sujeitos das ações de saúde (BRASIL, 2012).

Entre os objetivos da Política ressalta-se: a) o de fortalecer a Vigilância em [Saúde do Trabalhador](#), com a identificação das atividades produtivas da população e das situações de risco à saúde; b) análise das necessidades, demandas e problemas de saúde dos trabalhadores; c) intervenção nos processos e ambientes de trabalho; d) produção de tecnologias de intervenção e monitoramento, e controle; e) avaliação da qualidade dos serviços e programas de Saúde do Trabalhador (BRASIL, 2012).

Para promover ambientes e processos de trabalhos saudáveis, o documento prevê a adoção de parâmetros de proteção da saúde dos trabalhadores, identificação e erradicação de situações análogas ao trabalho escravo ou de trabalho infantil. Já nas estratégias definidas no documento da PNSTT, para implantação da atenção integral à Saúde do Trabalhador compreendem (BRASIL, 2012):

a) a integração da Vigilância em Saúde do Trabalhador com os demais componentes da vigilância em saúde e com a APS; b) a análise do perfil produtivo e da situação de saúde dos trabalhadores; c) a estruturação da Rede de Atenção Integral à Saúde do Trabalhador (RENAST), no contexto da Rede de Atenção à Saúde (RAS); d) o fortalecimento e a ampliação da articulação intersetorial; e) o estímulo à participação da comunidade, dos trabalhadores e do controle social; f) o desenvolvimento e a capacitação de recursos humanos e g) o apoio ao desenvolvimento de estudos e pesquisas. (DIAS, 2013, p.30)

Deve ser garantido também o acesso do trabalhador à [Rede de Atenção à Saúde do SUS](#), desde a atenção primária em saúde, passando pela atenção especializada, incluindo serviços de reabilitação, atenção pré-hospitalar de urgência e emergência, rede de laboratórios e de serviços de apoio diagnóstico, e assistência farmacêutica.

## **2.4. A SAÚDE DO TRABALHADOR NA ATENÇÃO BÁSICA**

Nos termos da política nacional recentemente definida, as ações de Saúde do Trabalhador na rede de serviços, devem ser assumidas por todo o sistema, tendo como porta de entrada a rede básica de saúde e como retaguarda técnica os Centros de Referência em Saúde do Trabalhador e os níveis mais complexos desse Sistema.

De certo, a Lei Orgânica da Saúde (Lei Federal 8080/90), que regulamentou as competências no campo da Saúde do Trabalhador, considera o trabalho como importante fator determinante/condicionante da saúde.

O campo Saúde do Trabalhador é definido, no artigo 6º da Lei nº 8.080/90 como o

[...] conjunto de atividades que se destina, através de ações de vigilância epidemiológica e sanitária, à promoção e proteção dos trabalhadores, assim como visa à recuperação e reabilitação da saúde dos trabalhadores submetidos aos riscos e agravos advindos das condições de trabalho (BRASIL, 2012, p.111).

Tudo isto é considerado como atribuição do SUS. De acordo com o princípio da universalidade, trabalhadores são todos os homens e mulheres que exercem atividades para seu próprio sustento e/ou de seus dependentes, qualquer que seja a forma de inserção no mercado de trabalho, nos setores formal e informal da economia (BRASIL, 2004).

Portanto, o parágrafo 3º do o art. 6º determina que a realização das ações de Saúde do Trabalhador siga os princípios do SUS. O princípio da universalidade pressupõe a responsabilidade do SUS sobre todos os trabalhadores, independentemente de seu grau de inserção na economia ou tipo de vínculo trabalhista.

Segundo Dias e Hoefel (2005), a atenção primária é a principal referência para o reordenamento da atenção à saúde, constitui-se a porta de entrada dos serviços de saúde e apresenta-se como a melhor estratégia para otimizar a saúde da população e minimizar as desigualdades entre os grupos populacionais, de modo a alcançar a equidade.

Da mesma forma, ela propicia atenção qualificada e com resolutividade, coordena ou integra a referência a níveis mais complexos. É organizada a partir de uma base territorial e critérios epidemiológicos, priorizando os problemas mais comuns em uma comunidade, oferecendo serviços de promoção, prevenção, cura e reabilitação, visando maximizar a saúde e o bem-estar das pessoas.

Por ser porta de entrada do SUS, reforça-se neste setor o papel da atenção primária no acolhimento dos trabalhadores, a investigação do processo de trabalho como fator determinante do processo saúde-adoecimento-cuidado, bem como a avaliação e manejo das situações de risco

no trabalho, incorporando o saber do trabalhador, sob o controle social, ações efetivas da atenção primária.

Segundo a Política Nacional de Atenção Básica, esta se caracteriza por um conjunto de ações de saúde, no âmbito individual e coletivo, que abrange a promoção e a proteção da saúde, a prevenção de agravos, o diagnóstico, o tratamento, a reabilitação, a redução de danos e a manutenção da saúde com o objetivo de desenvolver uma atenção integral que impacte na situação de saúde e autonomia das pessoas e nos determinantes e condicionantes de saúde das coletividades.

Contudo, tal política é desenvolvida por meio do exercício de práticas de cuidado e gestão, democráticas e participativas, sob forma de trabalho em equipe, dirigidas a populações de territórios definidos, pelas quais assume a responsabilidade sanitária, considerando a dinamicidade existente no território em que vivem essas populações.

Ainda assim, utilizam-se, neste setor, tecnologias de cuidado complexas e variadas que devem auxiliar no manejo das demandas e necessidades de saúde de maior frequência e relevância em seu território, “ observando critérios de risco, vulnerabilidade, resiliência e o imperativo ético de que toda demanda, necessidade de saúde ou sofrimento devem ser acolhidos” (BRASIL, 2012, p.19).

Logo, a Atenção Básica apresenta limitações para desenvolver estas ações de atenção integral à Saúde do Trabalhador, necessitando de apoio permanente do Centro de Referência em Saúde do Trabalhador (CEREST). Estes Centros são instâncias que são especializadas, com caráter de referência secundária para a rede básica e que buscam incorporar maior densidade tecnológica em seu quadro de profissionais, de apoio diagnóstico e de vigilância (LACAZ, 1996).

Faz-se mister discutir o papel dessas instâncias, pois elas não se tornaram referência, uma vez que a rede do SUS ficou alheia à problemática da saúde-adoecimento-cuidado relacionada ao trabalho e, por priorizarem a assistência, apresentam um impacto pequeno na intervenção sobre os ambientes e processos de trabalho nocivos à saúde (LACAZ, MACHADO, PORTO, 2002).



Para contribuir para este debate, o presente estudo analisa a Atenção Básica como principal referência para estruturação da atenção integral à Saúde do Trabalhador prescrita na PNSTT, considerando o seu papel ordenador e coordenador que lhe é atribuído, bem como avalia também a importância de se considerar as relações produção-consumo, ambiente e saúde como determinantes do processo de saúde-adoecimento-cuidado dos trabalhadores.

Segundo Barbara Starfield (2002), a APS é o primeiro contato da assistência continuada centrada na pessoa, de forma a satisfazer suas necessidades de saúde, que só se referindo aos casos muito incomuns que exigem atuação mais especializada. A APS coordena, ainda, os cuidados quando as pessoas recebem assistência em outros níveis de atenção.

Como já foi dito anteriormente, Starfield sugere os seguintes atributos para as práticas da atenção primária: primeiro contato, longitudinalidade, integralidade e coordenação. Em revisão bibliográfica conduzida por Mendes (2009), esses atributos podem ser interpretados da seguinte maneira:

O primeiro contacto implica a acessibilidade e o uso do serviço para cada novo problema ou novo episódio de um problema para os quais se procura o cuidado. A longitudinalidade requer a existência do aporte regular de cuidados pela equipe de saúde e seu uso consistente ao longo do tempo, num ambiente de relação colaborativa e humanizada entre equipe, pessoa usuária e família. A integralidade supõe a prestação, pela equipe de saúde, de um conjunto de serviços que atendam às necessidades mais comuns da população adscrita, a responsabilização pela oferta de serviços em outros pontos de atenção à saúde e o reconhecimento adequado dos problemas biológicos, psicológicos e sociais que causam as doenças. A coordenação implica a capacidade de garantir a continuidade da atenção, através da equipe de saúde, com o reconhecimento dos problemas que requerem seguimento constante. (MENDES, 2009, p. 57-58).

Em relação aos trabalhadores, há de se priorizar pessoas e grupos em situação de maior vulnerabilidade, como aqueles inseridos em atividades ou em relações informais e precárias de trabalho, em atividades de maior risco para a saúde, submetidos a formas nocivas de discriminação, ou ao trabalho infantil, na perspectiva de superar desigualdades sociais e de saúde e de buscar a equidade na atenção (BRASIL, 2012, p.3).

Assim, as ações de Saúde do Trabalhador devem ser incluídas formalmente na rede de atenção básica. Ampliando desta forma a assistência já ofertada aos trabalhadores, na medida em que passa a olhá-los como sujeitos de adoecimento específico que exige estratégias também específicas de promoção, proteção e recuperação da saúde.

Nesta perspectiva, há de se valorizar outro conceito de referência na APS: o território. Tal localidade permite a delimitação e caracterização da população e de seus problemas de saúde, a criação de vínculo e a avaliação do impacto das ações. Também facilita o reconhecimento e/ou a identificação de situações de risco à saúde, originários nos processos produtivos e em situações de trabalho (DIAS E SILVA, 2013).

Por outro lado, a identificação dos processos produtivos instalados no território é uma das atividades prioritárias para se atuar na atenção integral à Saúde do Trabalhador, pois permite inferir alguns fatores organizacionais e ambientais associados às atividades produtivas, que influenciam no processo de adoecimentos. Estas informações fazem parte de um diagnóstico em Saúde do Trabalhador (DIAS E SILVA, 2013).

Certamente, o mapeamento dos processos produtivos é essencial para o planejamento e a execução de ações pelas equipes, considerando como já dito anteriormente, que as atividades produtivas interferem na condição de vida e saúde.

A APS também tem investido na realização de ações com predominância de capacitações, destinadas a sensibilizar os profissionais sobre as questões de saúde relacionadas ao trabalho, fornecer instrumentos para a investigação e notificação de acidentes graves, fatais e com crianças e adolescentes, as intoxicações por agrotóxicos, qualificar a assistência aos trabalhadores portadores de agravos relacionados ao trabalho, incluindo a discussão dos protocolos e a orientação sobre questões trabalhistas e previdenciárias e o preparo dos Agentes Comunitários de Saúde para a realização do mapeamento das atividades produtivas (DIAS E SILVA, 2013).

Sem dúvida, a ação de atenção primária requer, ainda, maior enfoque da promoção da saúde, no que diz respeito à concretização da intersetorialidade

em suas práticas, buscando um maior diálogo com organizações sociais e governamentais.

Percebe-se que essa atribuição veio como ganho para os trabalhadores que, na grande maioria, procuram a Unidade de Saúde para seu atendimento, por tê-la como referência em seu território. Assim, a equipe deve garantir o acesso a uma atenção qualificada para estabelecer o nexo causal entre o quadro de morbimortalidade, verificado no âmbito dos processos de trabalho de um determinado território.

Assim, ao se pensar em desenvolver ou fomentar ações de Saúde do Trabalhador na APS são necessárias mudanças nos processos de trabalho das equipes e sólido investimento na educação permanente e no suporte técnico das ações. Outra questão a ser enfrentada é o fortalecimento dos mecanismos de participação dos trabalhadores, particularmente do setor informal de trabalho (DIAS E SILVA, 2013).

Finalizando essas reflexões sobre a importância e as possibilidades das ações de Saúde do Trabalhador na APS, pode-se dizer que essas são possíveis e já existem, apesar de assistemáticas e descontínuas. Para inserir as ações de vigilância nas práticas cotidianas das equipes de saúde de Atenção Básica/ Saúde da Família, os profissionais necessitam desenvolver habilidades, utilizar as ferramentas de investigação, registro, análise, programação e planejamento de modo a organizar ações previstas e de atenção à demanda espontânea a fim de mudar a qualidade de vida das pessoas do território onde atuam (DIAS E SILVA, 2013, p. 124).

Entre as dificuldades a serem superadas para sua ampliação e real institucionalização nas práticas cotidianas das equipes, a mais urgente a ser equacionada se refere à sobrecarga de trabalho das equipes submetidas a exigências de produzir um conjunto de ações prescritas, às quais devem responder para garantir o cumprimento das metas estabelecidas (CHIAVEGATTO, 2010; DIAS, 2010).

Neste sentido, a consolidação do cuidado integral à saúde dos trabalhadores na APS requer algumas ações, entre elas a incorporação, no cotidiano das equipes, do conceito de que os processos produtivos

desenvolvidos no território e as suas relações com o ambiente e a saúde das pessoas determinam necessidades de saúde que devem ser abordadas por meio da articulação de ações intra e intersetoriais, de processos sólidos de educação permanente, além da adoção da metodologia de apoio matricial das ações, conforme previsto na Portaria nº 3.252/09 (BRASIL, 2009).

Por fim, faz-se mister ressaltar a importância do apoio matricial do trabalho das equipes da APS, cabendo ao CEREST o suporte técnico e pedagógico por meio de oficinas de capacitação e educação permanente, a fim de potencializar e promover habilidades de gestão do cuidado com os usuários trabalhadores.

## **2.5. VIGILÂNCIA EM SAÚDE DO TRABALHADOR**

A Instrução Normativa de Vigilância em Saúde do Trabalhador, publicada pela Portaria nº 3.120/98 do Ministério da Saúde, passou a regular a VISAT no âmbito do SUS e estabeleceu que, embora preservando suas peculiaridades regionais, tais ações deveriam manter linhas mestras de atuação compatibilizando instrumentos, bancos de informações e intercâmbio de experiências. Segundo essa Portaria, para as ações de VISAT, devem ser desenvolvidos mecanismos de análise e intervenção sobre os processos e os ambientes de trabalho. A Portaria conceitua a VISAT como:

[...] uma atuação contínua e sistemática ao longo do tempo, no sentido de detectar, conhecer, pesquisar e analisar os fatores determinantes e condicionantes dos agravos à saúde relacionados aos processos e ambientes de trabalho, em seus aspectos tecnológico, social, organizacional e epidemiológico com a finalidade de planejar, executar e avaliar intervenções sobre esses aspectos, de forma a eliminá-los ou controlá-los. (BRASIL, 1998, p.32)

Segundo as Portarias nº 3.120/98 GM/MS (BRASIL, 1998) e nº 3.252/09 GM/MS (BRASIL, 2009), a VISAT não é uma área desvinculada ou independente da Vigilância em Saúde como um todo, mas, ao contrário, ela acrescenta ao conjunto de ações da Vigilância em Saúde, estratégias de

produção de conhecimentos e mecanismos de intervenção sobre os processos de produção, aproximando as práticas sanitárias da relação entre o trabalho e a saúde (BRASIL, 1998; 2009).

O fortalecimento da Vigilância em Saúde do Trabalhador e a integração com os demais componentes da Vigilância em Saúde são destacados nos objetivos da PNST-SUS, em sintonia com a portaria 3.252/2009. O decreto prescreve que as ações de Vigilância em Saúde são condições essenciais para que se institua uma região de saúde e orienta que sejam, também, desenvolvidas no âmbito da APS. (BRASIL, 2009, p.3).

A VISAT surge com o intuito de promover e proteger a Saúde do Trabalhador, evitando situações e condições geradoras de sofrimento, de doenças profissionais e de acidentes de trabalho. Para alcançar tais objetivos, deve-se incorporar sistemática e criteriosa avaliação e planejamento da demanda e do alcance das ações desenvolvidas (MACHADO, 1996; VILELA, 2003).

A Vigilância em Saúde do Trabalhador compreende um conjunto de ações e práticas que incluem o monitoramento dos expostos e dos agravos à saúde relacionados ao trabalho, bem como a supervisão de fatores de risco presentes nos ambientes e processos de trabalho com a finalidade de avaliar e inspecionar a situação de saúde e articular as ações de promoção e de proteção da saúde (BRASIL, 2012).

Segundo Dias, Silva e Almeida (2012), são exemplos de ações da VISAT que devem ser incorporadas de forma organizada e sistemática no processo de trabalho das equipes da APS: o mapeamento dos processos produtivos do território e identificação dos riscos e perigos à saúde associados às atividades laborais, a identificação do perfil ocupacional e dos trabalhadores mais vulneráveis (desempregados, trabalho infantil, trabalho domiciliar, dentre outros), a notificação de agravos relacionados ao Sistema Nacional de Notificações (SINAN), a análise da situação saúde da população trabalhadora que vive no território de abrangência das equipes e definição de ações prioritárias e a articulação intra e intersetorial para a vigilância dos processos e ambientes e trabalho.

A atenção especial deve ser dada à vigilância de ambientes de trabalho realizado no domicílio e no peridomicílio, buscando conhecer como as atividades produtivas desenvolvidas impactam a saúde dos trabalhadores e suas famílias e propor ações de intervenção, com a participação dos trabalhadores (DIAS, SILVA, 2013).

Porto, Lacaz e Machado (2003) apontam, entre as dificuldades para garantir a participação ativa dos trabalhadores nas intervenções, as encontradas nas ações que envolvem pequenas e médias empresas e o setor informal da economia. Nesse último, a precariedade de vínculos dificulta a presença de interlocutores e a própria configuração de redes de apoio.

Para Santorum (2006), a VISAT deveria poder proporcionar um espaço para a interlocução com os trabalhadores valorizando o olhar deles sobre a atividade que realizam e facilitando-lhes um processo de apropriação de seus saberes e de seu poder de transformação/ação.

## **2.6. O PERFIL PRODUTIVO OCUPACIONAL FAMILIAR**

Na contemporaneidade os modos produtivos estão cada vez mais sendo reestruturados e estes definem o novo perfil dos trabalhadores com relação aos processos de adoecimento, sendo estes os novos desafios do Sistema Único de Saúde.

Dentre as características dos processos produtivos contemporâneos, o crescimento do trabalho informal e domiciliado e o aumento da vulnerabilidade, da desproteção social e da degradação ambiental podem ser encontrados mesmo nas cadeias produtivas mais complexas de setores da economia considerados mais fortes e/ou tradicionais, como, por exemplo, a indústria metalúrgica, do vestuário, calçadista, de alimentos, entre outras. Etapas ou parcelas do processo de trabalho são desenvolvidas em pequenas unidades, por vezes no próprio domicílio do trabalhador. Geralmente são atividades que agregam menos valor e/ou consideradas mais "sujas", arriscadas e perigosas para a saúde (ANTUNES; NEHMY; DIAS, apud DIAS E SILVA 2010).

Os trabalhos informais ficam, nesse sentido, à margem da inspeção e da regulamentação do Estado, contribuindo também para a degradação ambiental, além de danos à saúde.

Assim, o termo “Setor Informal” foi criado pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) e utilizado pela primeira vez em 1972, nos relatórios sobre Gana e Quênia, elaborados no âmbito do Programa Mundial de Empregos. Esse relatório descrevia que nessas localidades, mais grave do que o problema do desemprego, era a existência de um grande número de “trabalhadores pobres”, ocupados em produzir bens e serviços sem que suas atividades estivessem reconhecidas, registradas, protegidas ou regulamentadas pelas autoridades públicas.

O IBGE considera para delimitação do setor informal da economia os seguintes critérios:

(...) a delimitação do setor informal se dá baseada no conceito de unidade econômica, entendida como unidade de produção, e, não, o trabalhador individual ou a ocupação por ele exercida; Fazem parte do setor informal as unidades econômicas não agrícolas que produzem bens e serviços para geração de rendimento para as pessoas envolvidas, sendo excluídas aquelas unidades engajadas apenas na produção de bens e serviços para autoconsumo;

As unidades do setor informal caracterizam-se pela produção em pequena escala, baixo nível de organização e pela quase inexistência de separação entre capital e trabalho, enquanto fatores de produção;

A ausência de registro não foi utilizada como critério para definição de setor informal, na medida em que a base do conceito de informalidade utilizado considera o modo de organização e funcionamento da unidade econômica, e não seu status legal ou a relação que mantém com as autoridades públicas;

A definição de unidade econômica informal não depende do local onde é desenvolvida a atividade produtiva, da utilização de ativos fixos da duração das atividades das empresas (permanente, sazonal ou ocasional) e do fato de tratar-se da atividade principal ou secundária do proprietário da empresa." (RENAST, 2016, p.03).

Nesse cenário, para que o SUS seja capaz de prover a atenção integral à saúde dos trabalhadores, é essencial que cada ponto de atenção do SUS e os setores responsáveis pela Vigilância em Saúde incorporem, de forma sistemática, a contribuição do trabalho enquanto determinante do processo saúde-adoecimento-cuidado das pessoas e da qualidade ambiental. A

operacionalização da atenção integral depende da articulação entre diversos saberes, práticas e responsabilidades, da atuação inter e transdisciplinar e de sólida articulação intra e intersetorial. (DIAS E SILVA 2010).

A partir de uma organização em toda a rede de atenção à saúde é possível se garantir a solução de problemas relacionados ao processo de adoecimento dos trabalhadores informais e formais. A APS tem o papel de coordenar este cuidado em todos os níveis do SUS.

A atenção integral à saúde dos trabalhadores pode se beneficiar dessas características da APS, que favorecem: a) a oferta de serviços de saúde nos municípios, facilitando o acesso dos usuários-trabalhadores e a identificação de demandas e problemas de saúde relacionados às atividades produtivas desenvolvidas no território; b) o estabelecimento de vínculos e o fortalecimento de relações de confiança entre a equipe de saúde e a população, mediados pelo Agente Comunitário de Saúde; c) as ações de caráter multidisciplinar; a geração de informações de saúde mais fidedignas; d) o estímulo à participação dos trabalhadores que estão organizados em formas menos tradicionais, que não os sindicatos. (DIAS E SILVA 2010).

A PNSTT prevê a implementação de ações individuais e coletivas além da “promoção, de prevenção, de vigilância dos ambientes, processos e atividades de trabalho, e de intervenção sobre os fatores determinantes da saúde dos trabalhadores” (BRASIL, 2012, p.2).

Esta portaria estabelece que nas ações de intervenção na Saúde do Trabalhador, deve-se priorizar o levantamento de atividades produtivas, observando-se os problemas em seus territórios.

[...] considerar que os territórios são espaços sócio-políticos dinâmicos, com trabalhadores residentes e não residentes, executando atividades produtivas e de trabalho em locais públicos e privados, peri e intra-domiciliares (BRASIL, 2012, p. 19).

As equipes de saúde da família ao realizar o levantamento do perfil ocupacional em determinado território não deve apenas considerar o critério



domiciliar, mas deve levar em consideração os trabalhadores que não residem, mas que trabalham nesta área de abrangência.

A utilização do critério de territorialização para a organização do processo de trabalho e o planejamento das ações de saúde da APS também enseja a operacionalização de práticas de Vigilância em Saúde no âmbito da APS, na medida em que a equipe de saúde consegue compreender o território em sua riqueza e complexidade e seus contextos de uso (DIAS E SILVA, 2013).

A contribuição das equipes de APS para a atenção integral à saúde dos usuários-trabalhadores, no exercício da responsabilidade sanitária sobre o território, pressupõe o conhecimento sobre as atividades produtivas, o perfil epidemiológico e as situações de vulnerabilidade da população e a sua incorporação no planejamento das ações.

Assim, na implementação em ações da saúde do trabalhador na atenção primária é essencial que se realize antes um diagnóstico local, buscando conhecer as atividades produtivas, quem são os trabalhadores, bem como os processos de adoecimento desta população. Tudo isto permite o conhecimento dos riscos e perigos para a saúde.

Já a identificação dos processos produtivos instalados no território é realizada no momento do Mapeamento da Área de Atuação da equipe de saúde, em que os ACS identificam no mapa hospitais, escolas, igrejas, postos policiais, campo de futebol, quadra de esporte, rios, locais propensos a inundações, depósitos onde são despejados lixos de fábricas, comércio em geral, entre outros. O ato de mapear os processos produtivos é essencial para o planejamento e a execução das ações de saúde pelas equipes, considerando que as atividades produtivas interferem nas condições de vida e saúde das pessoas. Esse mapeamento permite inferir o perfil de adoecimento, bem como os possíveis riscos e perigos para a saúde dos trabalhadores, da população e também para o ambiente, advindos dessas atividades (DIAS E SILVA, 2013, p.172).

Segundo a determinação de ações para o Mapeamento da Área de Atuação dos agentes e demais profissionais do Programa de Saúde da Família, deve-se conhecer os caminhos mais fáceis para se chegar aos locais

necessários; identificar as barreiras geográficas que dificultam o caminho das pessoas até os serviços de saúde.

Além disso, conhecer a realidade da comunidade e planejar como resolver os problemas de saúde com mais eficácia; planejar as visitas domiciliares; identificar as micro áreas de risco; dentre outras questões. O mapa consiste em uma ferramenta indispensável para o trabalho da equipe de saúde, devendo representar o desenho de todo o território de atuação (BRASIL, 2009).

Por fim, faz-se importante que a atenção primária busque apoio técnico do CEREST para que as ações sejam executadas com eficácia, a partir deste mapeamento e do conhecimento dos processos produtivos da população adstrita pela equipe de saúde.

## **2.7. FORTALECIMENTOS DA VIGILÂNCIA EM SAÚDE – ESTRATÉGIAS DE AÇÕES DE VIGILÂNCIA À SAÚDE DO TRABALHADOR NA ATENÇÃO PRIMÁRIA À SAÚDE**

Em conformidade com a Política Nacional de Atenção Básica espera-se que os serviços da APS coordenem a integralidade em seus vários aspectos, dentre eles a articulação das ações de promoção à saúde, prevenção de agravos, vigilância em saúde, tratamento e reabilitação (BRASIL, 2011).

Porém, no que diz a respeito às ações de vigilância em saúde, o processo de descentralização vem ocorrendo muito lentamente, com propostas de políticas de saúde nos territórios locais muitas vezes desalinhadas das necessidades dos usuários.

Em contrapartida, para que pudesse superar este problema, fez-se necessário o desenvolvimento de estratégias que viabilizassem a implantação de um Sistema de Vigilância em Saúde, nela contida a Vigilância em Saúde do Trabalhador, que esteja próxima do cidadão e que garanta que as políticas de saúde estejam coerentes com as necessidades locais (MINAS GERAIS, 2012).

Assim, a estratégia utilizada pela Subsecretaria de Vigilância e Proteção à Saúde da SES-MG foi a organização do projeto de Fortalecimento da

Vigilância em Saúde, que possui como objetivo estratégico a implantação de um sistema regionalizado de Vigilância em Saúde para que seja efetivada a descentralização das ações da área para todos os municípios mineiros (DIAS; SILVA, 2013).

De fato, esse projeto foi publicado pela resolução SES n.3.049, de 7 de dezembro de 2011, e posteriormente pela Resolução n. 3.152, de fevereiro de 2012, a qual aprovou o edital de convocação para adesão dos municípios ao projeto. Por meio deste edital a SES-MG pactuará com os municípios ações de vigilância em saúde divididas em três elencos de acordo com o grau de complexidade das ações e repassará incentivo financeiro, que estará disponível para os municípios mediante a assinatura do Termo de Compromisso e o comprometimento do gestor municipal na execução de um elenco mínimo de ações.

Ainda mais que essas ações deverão compor permanentemente o escopo da Vigilância em Saúde local para a continuidade do pagamento do presente incentivo, que deverá ser utilizado exclusivamente para as ações de VS.

As ações de Saúde do Trabalhador foram definidas levando-se em consideração a necessidade de se obterem informações sobre o perfil produtivo do Município, de se complementarem os dados da ficha de investigação dos Acidentes de Trabalho Graves (ATG) e de se investigarem os casos de acidentes com produtos perigosos (Quadro 1). Para cada um dos três elencos foi definida uma meta percentual para que a ação seja considerada realizada (DIAS; SILVA, 2013).

Sem dúvida que para tornar o Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde factível, foi elaborado um Instrutivo para subsidiar o município na realização de ações. Desta forma, cada ação possui um roteiro explicativo que orienta os profissionais do município para o cumprimento da meta. A equipe técnica da Diretoria de Saúde do Trabalhador – DSAT elaborou roteiros para as três ações de Saúde do Trabalhador descritas no projeto.

O relatório de Análise de Acidentes de Trabalho Graves (ATG) diz respeito à investigação dos Acidentes de Trabalho Graves notificados no SINAN-NET e tem como objetivo complementar as informações da ficha de

investigação do SINAN-NET dos Acidentes de Trabalho Graves (ATG) e subsidiar a área técnica a desencadear ações de educação, prevenção e vigilância dentro ou fora do ambiente de trabalho a partir dos riscos identificados. (DIAS; SILVA, 2013).

Para a ação de investigar os casos de acidentes com produtos perigosos atendidos no município, foi elaborado um roteiro instrutivo com o objetivo de subsidiar tecnicamente a Referência Técnica Municipal em Saúde do Trabalhador (RTM-ST) na investigação dos acidentes de transporte de carga envolvendo produtos perigosos notificados pelo Núcleo de Emergência Ambiental/Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (NEA/SEMAD). A RTM/ST deverá realizar a investigação dos casos de acidentes com produtos perigosos atendidos no município utilizando a ficha de notificação de intoxicação exógena e/ou a de acidente de trabalho grave do SINAN-NET (DIAS; SILVA, 2013).

**Quadro 1.** Ações da área de Saúde do Trabalhador contempladas nos elencos do Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde.

<b>Ação</b>	<b>Descrição da Ação</b>	<b>Meta/Elenco I</b>	<b>Meta/Elenco II</b>	<b>Meta/Elenco III</b>
Realizar o diagnóstico do perfil produtivo do município (mercado formal e informal) nas Unidades de Saúde que tenham Equipe de Saúde da Família (ESF) e Programa de Agente Comunitário da Saúde (PACS)	Identificar as atividades produtivas existentes na área de abrangência de cada ESF e PACS, tanto de estabelecimentos quanto de atividades produtivas (realizadas dentro e fora do domicílio) e identificar a ocupação dos membros das famílias de cada ESF e PACS. Se existir atividade produtiva realizada no domicílio registrar no campo Observações da Ficha de cadastro das famílias (Ficha A).	Considera-se ação realizada: o município que fizer o diagnóstico do perfil produtivo (mercado formal e informal) em 50% das Unidades de Saúde com ESF e PACS *	Considera-se ação realizada: o município que realizar o diagnóstico do perfil produtivo (mercado formal e informal) em 75% das Unidades de Saúde com ESF e PACS *	Considera-se ação realizada: o município que realizar o diagnóstico do perfil produtivo (mercado formal e informal) em 100% das Unidades de Saúde com ESF e PACS *
Investigar os Acidentes de Trabalho Grave notificados no SINAN-NET	Realizar investigação dos acidentes de trabalho grave notificados no SINAN-NET, tanto de trabalhadores formais,	Considera-se ação realizada: o município que realizar a investigação de 10% dos	Considera-se ação realizada: o município que realizar a investigação de 20% dos	Considera-se ação realizada: o município que realizar a investigação de 30% dos

	quanto dos informais, independente do ambiente e/ou circunstância a que o trabalhador esteja envolvido.	Acidentes de Trabalho Grave notificados no SINAN.	Acidentes de Trabalho Grave notificados no SINAN.	Acidentes de Trabalho Grave notificados no SINAN.
Investigar os casos de Acidentes com produtos perigosos atendidos no município	Investigar os acidentes de transporte de carga envolvendo produtos perigosos, informados pelo Núcleo de Emergência Ambiental/Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (NEA/SEMAD).	Considera-se ação realizada: o município que realizar a investigação de 70% dos casos de Acidentes com produtos perigosos atendidos no município	Considera-se ação realizada: o município que realizar a investigação de 80% dos casos de Acidentes com produtos perigosos atendidos no município	Considera-se ação realizada: o município que realizar a investigação de 90% dos casos de Acidentes com produtos perigosos atendidos no município.

Fonte: Adaptado da Resolução nº 3152, de fevereiro de 2012.

Essa ação se faz necessária devido à complexidade dos danos que este tipo de acidente pode causar aos trabalhadores envolvidos no processo produtivo de produto químico perigoso e aos trabalhadores envolvidos na assistência. (DIAS; SILVA, 2013).

Segundo Dias e Silva (2013) para realizar o diagnóstico do perfil produtivo do município (mercado formal e informal) nas Unidades de Saúde que tenham Equipe de Saúde da Família (ESF) e Programa de Agente Comunitário da Saúde (PACS), consideram-se duas subações: a) Identificar a ocupação dos membros das famílias de cada ESF e PACS; b) Identificar as atividades produtivas existentes na área de abrangência de cada ESF e PACS, tanto de estabelecimentos quanto de atividades produtivas realizadas dentro e fora do domicílio.

Em suma, o objetivo desta ação é identificar, através da ocupação dos usuários e da atividade econômica dos estabelecimentos comerciais (dentro ou fora do domicílio, formais ou informais) de cada território de ESF e PACS, os possíveis riscos relacionados aos trabalhos a que a população da área de abrangência das unidades está exposta.

E para esta ação, a Diretoria de Saúde do Trabalhador elaborou um instrumento complementar à Ficha A, com informações mínimas necessárias sobre a Saúde do Trabalhador, e uma ficha de levantamento de

estabelecimentos comerciais, visando à padronização de informações e ao monitoramento dos dados referentes ao perfil ocupacional e de atividades produtivas nas áreas de abrangência das ESF e PACS (DIAS; SILVA, 2013).

Já o instrumento de levantamento de atividades produtivas tem como base a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e permitirá a caracterização das atividades econômicas no território de análise (DIAS; SILVA, 2013).

Portanto, estas estratégias configuram-se como importante ferramenta norteadora das rotinas e processos de trabalho das áreas de Vigilância Epidemiológica, Sanitária, Ambiental, Promoção da Saúde, Vigilância da Situação de Saúde e Vigilância à Saúde do Trabalhador, na APS. Permite-se, com isto também, se estabelecer o elenco de ações de Saúde do Trabalhador que deverão ser desenvolvidas, definidas a partir do diagnóstico da situação de saúde baseado no perfil produtivo e epidemiológico dos agravos relacionados ao trabalho, inserindo-as nos Planos Municipais e Estaduais de Saúde.

O instrumento de identificação do perfil ocupacional foi elaborado utilizando como parâmetro a Ficha A do Sistema de Informação da Atenção Básica (SIAB), a Classificação Brasileira de Ocupação (CBO), a CBO Domiciliar utilizada pelo IBGE no Censo 2010, além dos instrumentos e relatos de experiências já utilizados por alguns municípios do estado. Isto permitirá a identificação do perfil ocupacional familiar e de cada um de seus integrantes, bem como a identificação de trabalho domiciliar segundo: vínculo, formalização das ocupações, identificação de agricultores familiares, manuseio de produtos químicos, cosméticos e alimentos para comercialização dentro do domicílio (DIAS; SILVA, 2013, p. 128).

Ressalta-se que o mapeamento das atividades produtivas presentes no território de atuação dos profissionais das unidades básicas de saúde seja essencial para o diagnóstico situacional, que vai embasar o Plano de Ação da equipe e assim, o planejamento de ações de Saúde do Trabalhador.

Assim sendo, o planejamento é essencial para a gestão do SUS, propiciando resposta oportuna e efetiva às demandas e necessidades da população, é um processo contínuo e deve ser feito de acordo com a capacidade instalada do município e necessidades da área de Saúde do Trabalhador. O diagnóstico estratégico situacional permite conhecer quantos

são, quem são, o que fazem e de que adoecem e morrem os trabalhadores. O diagnóstico estratégico situacional entendido como perfil produtivo e epidemiológico subsidia o planejamento das ações em Saúde do Trabalhador do município. (DIAS; SILVA, 2013).

### **3. PERCURSO METODOLÓGICO**

#### **3.1. TIPOS DE ESTUDO**

Esta dissertação é um estudo epidemiológico transversal do tipo analítico, quantitativo. No entendimento de Rouquayrol (2003) a pesquisa transversal é um estudo que fornece informações concernentes à necessidade de saúde e são utilizados para o planejamento.

A pesquisa epidemiológica classifica-se em descritiva e analítica. Nas pesquisas descritivas, procura-se estudar a distribuição das doenças num determinado local, realizando a formulação de hipóteses. São usadas, dessa forma, algumas variáveis que podem auxiliar o estudo, tais como: indivíduo (quem?), o local (onde?) e o tempo (quando?).

Por outro lado, Vieira (2015) cita que a obtenção dos dados para o estudo pode ser feita de duas formas: através das fontes primárias e secundárias, cujas informações são coletadas num determinado momento, especificamente, e a partir de uma base ou registro de dados, respectivamente, a fim de se obter as informações desejadas.

Nas pesquisas analíticas, a elucidação dos determinantes da doença e teste de novos resultados e hipóteses formuladas a partir de estudos descritivos é feito. Dentro das pesquisas descritivas e analíticas, ainda, há: estudo transversais ou de prevalência, usados em saúde pública para avaliar e planejar programas de controle de doenças. Mede-se neste tipo de pesquisa a prevalência da doença, os dados são levantados num determinado ponto no tempo, especificamente, para a obtenção de informações desejadas de grandes populações. Ademais, esta forma de estudo é fácil e econômico, com duração de tempo relativamente curta (VIEIRA, 2015, p. 98).

Assim, é por meio dos métodos científicos que os pesquisadores lutam para a solução de problemas, para dar sentido à experiência humana, para compreender as regularidades dos fenômenos e para prever circunstâncias futuras (POLIT & HUNGLER, 1995).

Dessa forma foi feito um estudo, com levantamento de pesquisas e estudo dos relatórios consolidados do perfil ocupacional familiar, cujos objetivos caracterizam um modelo de pesquisa analítica e exploratória com abordagem quantitativa.

### **3.2. CENÁRIO DO ESTUDO**



Atualmente, o município de Uberlândia, em Minas Gerais, tem população estimada de 654.681 habitantes (DATASUS -2014). Uberlândia está dividida em cinco grandes distritos sanitários (Leste, Sul, Norte, Oeste e Central) e a Zona Rural. Sendo o total de 74 Equipes de Saúde da Família da Rede SUS Municipal, urbana e rural, responsáveis por uma cobertura de 43% da população, descrito no quadro 2.

**Quadro 2:** Distribuição dos Distritos Sanitários segundo números de equipes, números de micro áreas, números de ACS e população - Uberlândia-MG, 2015.

DISTRITO SANITÁRIO	NÚMERO DE EQUIPES	NÚMERO DE MICROÁREAS	NÚMERO DE ACS	POPULAÇÃO
LESTE	14	84	73	54.352
OESTE	22	125	106	81.581
CENTRAL	01	06	06	4.608
NORTE	11	56	55	41.842
SUL	21	124	124	84.572
ZONA RURAL	05	21	19	10.280
TOTAL	74	416	383	277.235

Fonte: SMS/DAIS- Diretoria de Atenção Integral à Saúde-2015

O Distrito Sanitário Sul é constituído por 21 Equipes de Saúde da Família, sendo 124 micro-áreas, 124 agentes comunitários de Saúde, perfazendo uma população de 84.572 habitantes, conforme descrito no quadro 3.

Assim, sintetizou-se no Quadro 3, o universo de Equipes de Saúde da Família no Distrito Sanitário Sul, representando o contexto desse estudo, ou seja, 84.572 habitantes distribuídos em 21 Equipes de Saúde da Família, do município de Uberlândia.

**Quadro 3:** Distribuição das UBSFs do Distrito Sanitário Sul, segundo nome das equipes, número das áreas, quantidade de micro áreas, população e o número de Agentes Comunitários de Saúde, Uberlândia-MG, 2015.

<b>EQUIPE DE SAÚDE DA FAMÍLIA</b>	<b>NÚMERO DAS ÁREAS</b>	<b>NÚMERO DE MICRO ÁREAS</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>NÚMERO DE ACS</b>
UBSF Granada I	20	06	3.514	06
UBSF Granada II	19	06	3.998	06
UBSF Lagoinha I	16	06	3.020	06
UBSF Lagoinha II	17	06	3.079	06
UBSF Santa Luzia	18	06	3.700	06
UBSF Gravatás	45	06	3.878	06
UBSF J. Botânico	46	06	5.316	06
UBSF Aurora	23	06	4.389	06
UBSF Laranjeiras	22	06	3.887	06
UBSF São Jorge I	24	06	3.557	06
UBSF São Jorge II	25	06	3.365	06
UBSF São Jorge III	26	06	4.292	06
UBSF São Jorge IV	29	06	4.065	06
UBSF São Jorge V	47	06	4.379	06
UBSF São Gabriel	30	06	4.002	06
UBSF Campo Alegre	41	06	4.140	06
UBSF Seringueiras I	27	06	4.093	06
UBSF Seringueiras II	28	06	3.998	06
UBSF Shopping Park I	21	06	5.862	06
UBSF Shopping Park II	43	06	6.143	06
UBSF Shopping Park III	44	04	1.895	04
<b>TOTAL</b>	<b>611</b>	<b>124</b>	<b>84.572</b>	<b>124</b>

Fonte: SMS/DAIS- Diretoria de Atenção Integral à Saúde-2015

### 3.3. POPULAÇÃO/AMOSTRAGEM

O universo de pesquisa foi composto pelos relatórios de consolidado do Perfil Ocupacional Familiar, das famílias cadastradas pela Equipes de Saúde da Família (ESF) e os critérios de inclusão para escolha das 5 equipes, definidas como população amostral, foram:

- a) Equipes de Saúde da Família de um único Distrito Sanitário - o Distrito Sanitário Sul foi escolhido por sorteio;

b) Equipes de Saúde da Família com maior tempo de funcionamento, considerando sua inserção no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde; sendo que, as Unidades cadastradas na mesma data, usaria o sorteio como critério de desempate. Foram então escolhidas as UBSFs: Lagoinha I, São Jorge II, Santa Luzia, São Gabriel e Seringueira II.

**Quadro 4:** Distribuição das Unidades Básicas de Saúde, do Distrito Sanitário Sul, segundo data de implantação, população, número de micro áreas e número de Agentes Comunitários de Saúde, Uberlândia-MG, 2015.

EQUIPE DE SAÚDE DA FAMÍLIA	DATA DE IMPLANTAÇÃO	POPULAÇÃO	NÚMERO MICROAREA	NÚMERO DE ACS
Lagoinha	01/01/2003	3.020	6	6
São Jorge II	01/01/2003	3.365	6	6
Santa Luzia	01/01/2003	3.700	6	6
São Gabriel	01/01/2003	4.002	6	6
Seringueira II	01/01/2003	3.998	6	6

Fonte: SMS/DAIS- Diretoria de Atenção Integral à Saúde-2015.

O contexto territorial escolhido por meio de sorteio, para a realização deste estudo foi a região sul do município de Uberlândia. Buscou-se compreender o predomínio nos territórios de atuação das equipes, os riscos potenciais em relação às atividades produtivas domiciliares frente às ocupações trabalhistas.

Assim, tais atividades produtivas, os riscos para a saúde delas decorrentes, o perfil epidemiológico da população trabalhadora, devem ser consideradas no planejamento das ações de vigilância e assistência à saúde, pelas Unidades de Saúde, com o intuito de se responder às seguintes questões:

a) Quais são as atividades produtivas/econômicas desenvolvidas na região?

b) Quais são os possíveis riscos e perigos à saúde dos trabalhadores relacionados às atividades?

Com base nestas informações, faz-se necessário elaborar coletivamente um adequado planejamento das futuras ações de intervenção em Saúde do Trabalhador.

### 3.4. COLETA DE DADOS

No presente estudo, foram utilizados dados secundários, repassados pelo Centro de Referência em Saúde do Trabalhador – CEREST Regional, localizado no Município de Uberlândia/MG. Os dados foram coletados através de pesquisa nas fichas do Consolidado do Perfil Ocupacional da ESF/PACS (Anexo 1) referente ao ano de 2013, foram tratadas e analisadas as seguintes variáveis:

- a) Número total de ESF, número total de Famílias cadastradas: número de famílias entrevistadas, número de pessoas cadastradas em ESF, número de pessoas em idade ativa.
- b) Número de pessoas: em atividade domiciliar formal, em atividade domiciliar informal, em manipulação de produto químico no domicílio, em manipulação de produto de beleza no domicílio, em manipulação de alimentos no domicílio, com plantações no terreno do domicílio para consumo próprio, com plantações no terreno do domicílio para comercialização.
- c) Principais atividades domiciliares por equipe, listando a quantidade e nome da atividade domiciliar em ordem decrescente.
- d) Dados Individuais dos Trabalhadores - por equipe, lista das principais ocupações do território, lista da quantidade e nome da ocupação em ordem decrescente, de acordo com o consolidado por equipe.

As definições de todas as categorias dessas variáveis encontram-se disponíveis no “Instrutivo para Execução e Avaliação das Ações de Vigilância em Saúde - Projeto Fortalecimento da Vigilância em Saúde em Minas Gerais (Resolução SES nº 4.238/2014)”, elaborado pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, documento *online* para consulta pública.

As informações obtidas foram introduzidas em um banco de dados construído para consultas imediatas e posteriores, como também para realizar

análise estatística de forma sistematizada. Este banco foi criado no Microsoft Office Excel 2007 a fim de tabular e processar os dados.

Foram agendadas via CEREST, várias reuniões e encontros com a Coordenadora e a profissional responsável, com a finalidade de se conhecer todas as ações de Vigilância em Saúde do Trabalhador, que são executadas em conformidade com a Resolução SES-MG nº 4.238, de 19 de março de 2014, bem como com o Instrutivo para Execução e Avaliação das Ações de Vigilância em Saúde. Tais ações buscam realizar e atualizar o Diagnóstico do Perfil Produtivo do município nas Unidades de Saúde que tenham Equipe de Saúde da Família (ESF) e Programa de Agentes Comunitários de Saúde (PACS).

As visitas para coleta de dados foram realizadas no mês de Junho e Julho de 2016. As informações sobre as atividades presentes no território em estudo foram acessadas através do banco de dados, disponibilizado pelos técnicos do CEREST Regional de Uberlândia para a realização deste mapeamento.

O período de 2013 foi definido pelo fato dos bancos de dados já terem sido alimentados e, portanto, apresentarem maior completude de informações.

Para o levantamento do perfil epidemiológico, o setor de Informação em Saúde da Secretaria Municipal de Saúde disponibilizou os dados relativos às principais doenças, utilizando a Classificação Internacional de Doenças, última versão, o CID -10, do território das cinco UBSF nos anos de 2013 e 2014, que tem como fonte o Sistema de Gestão em Saúde-FASTMEDIC.

### **3.5. ASPECTOS ÉTICOS**

Para a realização desta pesquisa foram utilizados somente dados secundários, sem identificação de usuários das Unidades de Atenção Primária em Saúde. Os dados foram disponibilizados mediante termo de autorização da Secretaria Municipal de Saúde de Uberlândia.

O projeto de pesquisa também foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa, da Universidade Federal de Uberlândia, sob o CAAE: 52940115.7.0000.5152, e parecer nº 1.603.397.

Nesta pesquisa, o cuidado se refere a preservar o sigilo e a identificação dos sujeitos das fichas de pesquisa, conforme estabelece a resolução 466/12-CNS. Assim, a pesquisadora se compromete com o sigilo absoluto da identidade dos sujeitos. Todos os profissionais do CEREST e Secretaria Municipal de Saúde que concordaram em participar deste estudo foram informados quanto ao objetivo da pesquisa.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados que apresentaremos neste capítulo, compreendem uma análise do levantamento quantitativo realizado no âmbito do CEREST, através dos consolidados. Estes dados, são bastante reveladores sobre o perfil ocupacional dos trabalhadores do universo da pesquisa, nos permitindo fazer a descrição em relação à ocupação e os agravos e riscos decorrentes das atividades. Ressalta-se que, este levantamento quantitativo, juntamente com o estudo teórico foram basilares para a elaboração das questões abordadas em seguida nos resultados/discussões.

Neste trabalho foram utilizados os métodos de estatística descritiva, que são úteis para a apresentação e sintetização dos mesmos. Os resultados foram expressos em tabelas para a representação de variáveis quantitativas, permitindo o entendimento rápido e preciso das informações presentes. As análises estatísticas e as tabelas foram confeccionadas no software computacional Excel 2007 para Windows.

**Quadro 5.** Distribuição de famílias e pessoas cadastradas nas UBSFs no ano de 2013.

Unidade Básica da Família	Nº de famílias Cadastradas	%	Nº de pessoas cadastradas em ESF	%
UBSF Lagoinha I	1.058	17,81	3.222	17,59
UBSF São Jorge II	1.378	23,20	3.315	18,10
UBSF Santa Lúzia	1.050	17,68	3.853	21,04
UBSF São Gabriel	1.209	20,35	3.869	21,12
UBSF Seringueira II	1.245	20,96	4.056	22,15
Total	5.940	100	18.315	100

Fonte: Formulário de Consolidado do perfil ocupacional da ESF/PACS, 2013 – CEREST Uberlândia

O Ministério da Saúde recomenda que cada ESF acompanhe entre 600 e 1.000 famílias, não ultrapassando o limite máximo de 4.500 pessoas. Cada equipe de Saúde da Família deve ser responsável por, no máximo, 4.000 pessoas, sendo a média recomendada de 3.000, respeitando critérios de equidade para essa definição. Recomenda-se que o número de pessoas por equipe considere o grau de vulnerabilidade das famílias daquele território,

sendo que, quanto maior for este grau, menor deverá ser a quantidade de pessoas por equipe (BRASIL, 2012).

Conforme a quadro 5, as famílias cadastradas foram maior na UBSF São Jorge II com 1.378 famílias (23,20 %), seguida pela UBSF Seringueira II com 1.245 (20,96%), depois a UBSF São Gabriel com 1.209 (20,96%). Quanto ao número de pessoas cadastradas em cada ESF, na UBSF Seringueira II foram 4.056 (22,15 %), seguida pela UBSF São Gabriel 3.869 (21,12 %). Observa-se que as equipes trabalham com uma população adscrita conforme recomendação da Política Nacional de Atenção Básica do Ministério da Saúde.

O cadastro familiar objetivou conhecer as famílias adscritas às equipes da ESF, sendo uma base importante para a construção de relações de vínculo entre a população e os profissionais de saúde da família.

Assim, a utilização do cadastro envolve lançar os dados no SIAB e/ou no sistema gerencial da Secretaria Municipal de Saúde, reunir as equipes da ESF para a discussão dos resultados, utilizarem o cadastro para a classificação das famílias por risco sócio sanitário e atualizar o cadastro anualmente. Uma questão central, nem sempre considerada, é o caráter dinâmico do processo de cadastramento familiar. É preciso que este processo seja contínuo, dadas as mudanças dinâmicas que ocorrem no território e nas famílias (MENDES, 2012).

Por outro lado, as equipes de saúde deverão realizar o cadastramento das famílias através de visitas aos domicílios, segundo a definição da área territorial pré-estabelecida para a adscrição. Nesse processo serão identificados os componentes familiares, a morbidade referida, as condições de moradia, saneamento e condições ambientais das áreas onde essas famílias estão inseridas.

Essa etapa inicia o vínculo da unidade de saúde/equipe com a comunidade, a qual é informada da oferta de serviços disponíveis e dos locais, dentro do sistema de saúde, que prioritariamente deverão ser a sua referência. (BRASIL 1997).

A partir da análise da situação de saúde local e de seus determinantes, os profissionais e gestores possuirão os dados iniciais necessários para o efetivo planejamento das ações a serem desenvolvidas. O cadastramento possibilitará que, além das demandas específicas do setor saúde, sejam



identificados outros determinantes para o desencadeamento de ações das demais áreas da gestão municipal, visando contribuir para uma melhor qualidade de vida da população (BRASIL, 1997).

Para planejar e organizar adequadamente as ações de saúde, a equipe deve realizar o cadastramento das famílias da área de abrangência e levantar indicadores epidemiológicos e socioeconômicos. Além das informações que compõem o cadastramento das famílias, deverão ser também utilizadas as diversas fontes de informação que possibilitem melhor identificação da área trabalhada, sobretudo os oficiais, como dados do IBGE, cartórios e secretarias de saúde. Igualmente, devem ser valorizadas fontes qualitativas e de informações da própria comunidade (BRASIL, 1997).

Portanto, na atenção à Saúde do Trabalhador é importante que, durante a visita domiciliar e/ou o cadastro familiar, os Agentes Comunitários de Saúde realizem o preenchimento ou a atualização dos dados sobre a ocupação, utilizando a ficha de identificação do perfil ocupacional ou instrumento equivalente, conforme orienta o Instrutivo para Execução e Avaliação das Ações de Vigilância em Saúde - Projeto Fortalecimento da Vigilância em Saúde em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2014).

Do total de famílias cadastradas, visto no quadro 5, das 5.940 famílias, observamos no quadro 6 apresentaram 4.070 famílias que foram entrevistadas, isto corresponde a 68,51% de famílias entrevistadas do total das cadastradas.

**Quadro 6.** Distribuição de famílias entrevistadas e número de pessoas em idade ativa nas UBSFs no ano de 2013.

Unidade Básica da Família	Nº de famílias Entrevistadas	%	Nº de pessoas em idade ativa	%
UBSF Lagoinha I	945	23,22	2.632	23,83
UBSF São Jorge II	768	18,87	2.209	20,00
UBSF Santa Lúzia	721	17,71	1.667	15,10
UBSF São Gabriel	1.053	25,87	3.061	27,72
UBSF SeringueiraII	583	14,32	1.474	13,35
Total	4070	100,00	11.043	100,00

Fonte: Formulário de Consolidado do perfil ocupacional da ESF/PACS, 2013 – CEREST Uberlândia

Quanto à população em idade ativa, a Unidades de Saúde da Família São Gabriel possui 3.061 pessoas (27,72%), seguida da Unidade de Saúde da Família Lagoinha I com 2.632 (23,83%) pessoas, e da Unidade de Saúde da Família São Jorge II com 2.209 (20,00%) pessoas, sendo estas as que apresentaram os maiores números de pessoas em idade ativa.

O contingente de pessoas com 10 anos ou mais de idade (População em Idade Ativa), encontradas foi de 11.043 pessoas. Observa-se que o total de pessoas cadastradas apresentadas no Quadro 5 é de 18.315 pessoas, que corresponde a 100%. Portanto, as pessoas que estão em idade ativa correspondem a 60,29%, ou seja, mais da metade da população do estudo está em idade ativa.

População em idade ativa (PIA) é uma classificação etária que compreende o conjunto de todas as pessoas teoricamente aptas a exercer uma atividade econômica, conforme o Instrutivo para execução e avaliação das ações de Vigilância em Saúde: projeto de fortalecimento da Vigilância em Saúde em Minas Gerais–Resolução SES nº 4.238/2014, que considera pessoas em idade ativa todos os maiores de 10 anos.

Em relação ao trabalho precoce, cresce a cada dia o número de crianças e adolescentes que trabalham. Uns fazem trabalho leve, acompanhados e protegidos pela família, desenvolvendo-se na convivência coletiva e adquirindo os saberes transmitidos através das gerações. Outros, por constituírem-se, às vezes, na única fonte de renda familiar, tornam-se fundamentais para a sobrevivência de seu grupo familiar às custas da própria vida, saúde e oportunidades de desenvolvimento humano que lhes são negadas como direito social (BRASIL, 2001).

Essa última forma de trabalho precoce vem crescendo em todo o mundo e tem sido responsável pela exposição de crianças e adolescentes a situações inaceitáveis de exploração e de extremo perigo, pelas condições adversas a que são submetidas. Pois a pobreza, a insuficiência das políticas públicas, a perversidade da exclusão social e monetária provocadas pelo modelo de desenvolvimento econômico dominante, os aspectos ideológicos e culturais podem ser relacionados como causas do trabalho precoce (BRASIL, 2001).

Qualquer atividade produtiva no mercado formal ou informal, que retire a criança e/ou o adolescente do convívio com a família e com outras crianças, prejudicando, assim, as atividades lúdicas próprias da idade, por comprometer o seu desenvolvimento cognitivo, físico e psíquico, deve ser combatida e constitui-se em situação de alerta epidemiológico em Saúde do Trabalhador (Brasil 2001).

Conforme se pode verificar no quadro 7, no ano de 2013, houve um total de 19 atividades domiciliares formais e 162 atividades domiciliares informais.

**Quadro 7.** Distribuição de atividade domiciliar formal e informal nas UBSFs, no ano de 2013.

<b>Unidade Básica da Família</b>	<b>Nº de Atividade domiciliar formal</b>	<b>%</b>	<b>Nº de Atividade domiciliar informal</b>	<b>%</b>
UBSF Lagoinha I	0	0	26	16,05
UBSF São Jorge II	2	10,53	30	18,52
UBSF Santa Lúzia	12	63,16	27	16,67
UBSF São Gabriel	1	5,26	41	25,31
UBSF Seringueirall	4	21,05	38	23,46
Total	19	100,00	162	100,00

Fonte: Formulário de Consolidado do perfil ocupacional da ESF/PACS, 2013 – CEREST Uberlândia.

A identificação de atividade domiciliar é fundamental para o perfil produtivo. Considera-se atividade domiciliar qualquer trabalho realizado dentro do domicílio de forma individual ou familiar (fabricação de salgados, marmitas e outros alimentos para venda, lapidação, produção de artesanato, costura, dentre outras tarefas).

Da mesma forma, é importante identificar também se esse serviço é formal ou informal. Considera-se também que o trabalhador é toda pessoa que exerça uma atividade produtiva, independentemente de estar inserido no mercado formal ou informal de trabalho, inclusive na forma de trabalho familiar.

Ainda assim, o trabalhador formal é o trabalhador que possui vínculo empregatício (carteira de trabalho assinada) no regime da CLT ou é servidor público e tem direito à proteção social. O trabalhador informal é o que tem apenas um contrato de trabalho sem comprovação escrita ou trabalha por

conta própria nos casos em que não há contribuição à Previdência (LAGUARDIA, 2014).

A partir da década de 1990, os processos das mudanças na sociedade e a modernização influenciaram a expansão no nível de informalidade no mercado de trabalho brasileiro, situação resultante do aumento da proporção de profissionais que trabalhavam por conta própria, e dos profissionais trabalhando sem carteira de trabalho assinada (ULYSSEA, 2006).

Por certo, quando reconhecido como uma categoria do trabalho informal, o trabalho em domicílio é uma atividade exercida no espaço doméstico, que pode ser realizada por conta própria (autônomo), quando o produto é comercializado diretamente com os compradores ou um trabalho intermediário, cuja comercialização dos produtos gerados no domicílio é realizada por terceiros (ALVES, 2010).

O mercado de trabalho no setor informal apresenta reconhecida vulnerabilidade da população frente aos riscos e aumenta os desafios para atuação dos órgãos governamentais reguladores, dentre estes a Vigilância Sanitária (BRAGA, 2002).

Iriart et al (2008) comentam que houve um aumento do trabalho informal nas últimas décadas, o que ocasiona a esses trabalhadores ausência de seguridade social, de medidas de prevenção de riscos e baixas remunerações. Observaram em suas pesquisas o reconhecimento do trabalho formal e desvalorização simbólica do trabalho informal, principalmente pela garantia dos direitos trabalhistas, com repercussões à autoestima do trabalhador. Os autores consideram necessário maior divulgação e diálogo sobre os direitos trabalhistas, além de uma política pública que contemple a saúde desses trabalhadores informais que não têm um olhar do Estado quanto a sua proteção legal.

Chama a atenção nos territórios em estudo, a quantidade de trabalhadores atuando na informalidade, nos diversos ramos de atividades, autônomos ou prestadores de serviços, sem qualquer respaldo da Consolidação das Leis Trabalhistas.

A literatura registra que as condições de trabalho no setor informal, no domicílio e nas ruas, e mesmo em micro e pequenas empresas, são mais

perigosas e insalubres, observando-se a presença de múltiplos riscos para a saúde e a ausência de dispositivos e mecanismos básicos de proteção. Os instrumentos e maquinários utilizados nos processos produtivos, muitas vezes, são obsoletos, a manutenção é inadequada e o preparo e treinamento dos trabalhadores são ausentes ou insuficientes. Como agravante, no trabalho domiciliar, além dos trabalhadores, os familiares, particularmente idosos e crianças, considerados mais vulneráveis, estão expostos aos efeitos deletérios para a saúde (DIAS, 2002).

Os ambientes de trabalho informal se caracterizam ou pela ausência de limites físicos e territoriais, como ocorre com os trabalhadores de rua ou em ambientes com delimitação física, geralmente domiciliar, com instalações improvisadas, ausência de proteção ambiental e/ou equipamentos de proteção individual e insuficiência de treinamento dos trabalhadores. Mesmo no caso do ambiente delimitado fisicamente, muitas vezes não são enxergados pela fiscalização trabalhista, pelo fato de serem informais (MENDES, 2004).

Esses trabalhadores, de um modo geral, estão expostos a condições de trabalho perigosas e insalubres, em pequenas ou microempresas ou ainda no domicílio e nas ruas. Percebe-se nestes, vários fatores de risco à saúde e ausência de mecanismos de proteção. Associam-se também a isto, a ausência de proteção legal, das normas de segurança, de fiscalização e de cobertura dos acidentes de trabalho.

Além disso, verifica-se a dificuldade que enfrentam com relação à construção de vínculos e poder de mobilização para reivindicação de questões trabalhistas, uma vez que a necessidade de sobrevivência submete o trabalhador à aceitação das piores condições de trabalho, o que é agravado pelo desconhecimento de direitos trabalhistas e seus mecanismos de proteção jurídica (MENDES, 2004).

Antunes (2011) sinaliza que contemporaneamente os processos de trabalho informais se encontram precarizados. O autor explica que enquanto uns trabalhadores realizam uma jornada intensa de até 17 horas diárias, outros são excluídos deste mercado, ou seja, enquanto uns são explorados em busca da mais-valia, outros são descartados, sendo impelidos ao trabalho informal, subemprego ou desemprego.

De acordo com o relatório da Organização Internacional do Trabalho (OIT) publicado em 1995, entre as dez ocupações mais frequentes desenvolvidas pelos trabalhadores em domicílio destacam-se as costureiras e o serviço de indústria de confecções ou reparação de vestuário. Os homens ocupam postos de trabalho mais especializados (ou técnicos) do que as mulheres, que geralmente desempenham tarefas nas quais o requerimento de treinamento formal é baixo, ofícios aprendidos na prática, em casa, junto com parentes ou ao desempenhar funções domésticas (LAVINAS, 1998).

Um estudo realizado em Belo Horizonte por Rodrigues (2006), com equipes da Atenção Primária à Saúde, demonstrou que as principais atividades desenvolvidas no âmbito domiciliar foram: costura, produção de alimentos, tecelagem, separação de material para reciclagem, borracharia, lanternagem e apicultura.

Cangussu (2014) mostrou em estudo uma análise territorial na região sul do município de Palmas – Tocantins, com relação aos potenciais fatores de riscos e impactos à saúde dos trabalhadores advindos das atividades existentes no território da Atenção Primária em Saúde e observou como resultado um predomínio do trabalho informal, autônomo ou não, nos mais variados ramos de atividades, como o comércio de venda de produtos ou serviços, indústria, dentre outros.

Em outras palavras, estes trabalhadores encontram-se vulneráveis às mazelas sociais, trabalhando pela sobrevivência, sem amparo legal. Para o grupo, há entre os trabalhadores informais uma sobrecarga de serviço causada pela incerteza do futuro. No comércio de prestação de serviços, os principais ramos citados foram: oficina mecânica, lava-jatos, salão de beleza, empregada doméstica e profissionais do sexo. Já no comércio de venda de mercadorias destacou-se a grande oferta de produtos, dentre eles, os não duráveis, semiduráveis e duráveis (CANGUSSU, 2014).

A indústria por sua vez apresentou-se mais tímida, como em todo o município de Palmas, sendo descritas nesse território a indústria da construção civil, condimentos, confecções, marmorarias, marcenarias, serralherias e cerâmica (CANGUSSU, 2014).

Em todas estas atividades foram relatadas as situações vividas pelos trabalhadores do território em estudo, descrevendo-se os problemas de saúde identificados. Discorreu-se sobre precariedade desses vínculos empregatícios, que se encontram predominantemente informal, seguido das péssimas condições de trabalho, com estruturas físicas inapropriadas e ausência dos equipamentos de proteção individual (CANGUSSU, 2014).

Ainda segundo a autora, há sobrecarga de trabalho, a exposição a uma série de riscos à saúde desses trabalhadores, o desconhecimento destes riscos pelo trabalhador e os agravos ocasionados pelos mesmos.

Em relação à manipulação de produtos químicos, o quadro 8 mostra, no ano de 2013, 16 atividades domiciliares de manipulação de produto químico, mostrando um número maior na UBSF São Jorge II com 15 destas atividades. Em relação às atividades de manipulação de produtos de beleza, percebe-se 03 atividades referentes a esta manipulação e 20 atividades de produção de alimentos no domicílio, caracterizando estas atividades com possíveis riscos químicos e biológicos.

**Quadro 8.** Número de manipulação de produtos químicos, de beleza e de alimentos no domicílio nas UBSFs, no ano de 2013.

Unidade Básica da Família	MANIPULAÇÃO					
	Produto químico domiciliar	%	Produto de Beleza domiciliar	%	Alimento no domicílio	%
UBSF Lagoinha I	0	0,00	1	33,33	6	30,00
UBSF São Jorge II	15	93,75	1	33,33	2	10,00
UBSF Santa Lúzia	0	0,00	1	33,33	5	25,00
UBSF São Gabriel	1	6,25	0	0,00	4	20,00
UBSF Seringueira II	0	0,00	0	0,00	3	15,00
Total	16	100,00	3	100,00	20	100,00

Fonte: Formulário de Consolidado do perfil ocupacional da ESF/PACS, 2013 – CEREST Uberlândia.

O instrutivo orienta as equipes, que caso no domicílio algum membro da família manipule produtos químicos (desinfetante, sabão, amaciante), produtos

de beleza para comercialização ou faça alimentos para vender (salgados, doces, marmitas), essa atividade deve ser identificada.

Em relação à manipulação de produtos químicos, na visão de Peixoto (2012), o controle das substâncias químicas é de grande dificuldade devido aos inúmeros tipos de produtos químicos existentes atualmente no mercado. Além de suas características inconstantes de volatilidade, toxicidade e das diversas formas de penetração (vias respiratórias, cutâneas ou ingestão, seja pelo tempo de exposição), outro agravamento está no comportamento de cada organismo, pois algumas pessoas apresentam mais sensibilidade a certas substâncias do que outros que possuem maior resistência.

As substâncias químicas são classificadas pela Higiene Ocupacional em três tipos: aerodispersóides ou aerossóis (encontradas na forma sólida ou líquida, que embora suas partículas menores sejam respiráveis, são as que mais causam problemas à saúde dos trabalhadores devido a sua retenção nos pulmões); gases (moléculas que se espalham no ar); ou vapores (substâncias que se condicionam dependendo da temperatura). No caso dos aerodispersóides, esses podem se apresentar em forma de névoa, neblina, poeira, fumaça, fumos e fibras (PEIXOTO, 2012).

Cada um desses tipos acarreta uma gama de efeitos nocivos à saúde. Estes efeitos acumulam-se com o tempo, deixando os trabalhadores que lidam com essas substâncias cada vez mais vulneráveis. Além disso, essas substâncias químicas potencializam seus efeitos em ambientes fechados e quentes devido à volatilização das substâncias fazendo com que o trabalhador tenha mais contato com o produto (FREITAS; ARCURI, 2000).

Dentro do ambiente de trabalho, os efeitos dessas substâncias podem ser anulados ou minimizados se houver a utilização correta e contínua de equipamentos de proteção individual – EPI e se estes produtos estiverem dentro dos limites de tolerância aceitáveis.

Segundo Nascimento (2014), a manipulação incorreta de produtos químicos de limpeza pode desencadear doenças relativas à exposição química, que vão desde problemas como irritação na pele e olhos, doenças respiratórias, doenças do sistema nervoso, rins, fígado até alguns tipos de câncer.



Logo, é imprescindível que o trabalhador conheça os produtos que estão lidando diariamente. Uma forma para que isso aconteça é a leitura dos rótulos dos produtos, que embora omitam informações importantes, constam informações básicas sobre o uso correto e as precauções para evitar efeitos indesejáveis.

Em relação ao número de manipulação de produtos de beleza, ao quadro 8 mostra, que no ano de 2013, houve apenas 03 atividades domiciliares de manipulação deste produto. Já na categoria de atividades domiciliares de manipulação relacionada a alimentos foi predominante na UBSF Lagoinha I, com 06 atividades de produção de alimentos no domicílio.

Para Laguardia (2014), se no terreno do domicílio há a plantação de verduras, legumes, hortaliças e/ou frutas, deve ser registrado com distinção se a destinação é o consumo próprio ou a comercialização. Observa-se no quadro 9 que há 99 plantações em terreno para consumo próprio e 44 plantações em terreno do domicílio para comercialização. Subtende-se que esse usuário é produtor familiar, sendo estes dados importantes para a prevenção de agravos relacionados a sua atividade produtiva. A exemplo cita-se a manipulação de produtos tóxicos como agrotóxicos.

O Brasil está entre os maiores consumidores mundiais de agrotóxicos. Agrotóxicos e afins são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade é a de alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e os produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (Lei Federal Nº 7802/1989 e Decreto Nº 4.074/2002).

**Quadro 9.** Distribuição de plantações no terreno do domicílio nas UBSFs, no ano de 2013.

Unidade Básica da Família	PLANTAÇÕES			
	Plantações no terreno para consumo próprio	%	Plantações no terreno para comercialização	%
UBSF Lagoinha I	0	0,00	0	0,00
UBSF São Jorge II	3	3,03	2	4,55
UBSF Santa Lúzia	40	40,40	40	90,91
UBSF São Gabriel	16	16,16	0	0,00
UBSF SeringueiraII	40	40,40	2	4,55
Total	99	100,00	44	100,00

Fonte: Formulário de Consolidado do perfil ocupacional da ESF/PACS,2013 – CEREST Uberlândia

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG), em 2008, as vendas de agrotóxicos, comparado ao ano de 2007, apresentaram um crescimento acumulado de 24%, totalizando um mercado de 12,7 milhões de reais. Os agrotóxicos estão entre os mais importantes fatores de risco para a saúde da população geral, especialmente para saúde dos trabalhadores e para o meio ambiente.

Para sua avaliação e controle existe a Lei Federal de Agrotóxicos nº. 7802, de 11 de julho de 1989. Os agrotóxicos são utilizados em grande escala por vários setores produtivos e mais intensamente pelo setor agropecuário, silvicultura, no tratamento de madeiras em geral, construção, armazenamento de grãos e sementes, produção de flores, combate aos vetores transmissores de doenças, dentre outras atividades.

A exploração do tema torna-se viável e útil e, ao desenvolvê-lo, deve-se caracterizar a população exposta aos riscos de intoxicação por agrotóxicos, mediante o conhecimento dos principais agentes químicos usados, para assim se ajudar na prevenção de ocorrências de contaminação e intoxicação.

A maioria dos agricultores faz uso desse insumo, mas por terem, muitas vezes, baixa escolaridade, não conseguem ler o rótulo do produto. Outros o lêem, mas não o interpretam corretamente. Dessa forma, correm o risco de

intoxicar-se ao manipular essas substâncias. Há ainda mais um agravante, que é a falta ou uso incorreto e até mesmo incompleto dos equipamentos de proteção individual – EPIs (FREITAS, ARCURI, 2000).

Para Gregolis, Pinto e Peres (2012), estudos realizados no Brasil a respeito da percepção de risco no trabalho rural relacionados a grupos rurais expostos a agrotóxicos no contexto da agricultura familiar, constatou-se que o grupo de trabalhadores rurais é o mais vulnerável em relação aos problemas gerados no âmbito das relações saúde, trabalho e ambiente.

Dentre os riscos, destacam-se o fato das atividades de trabalho realizadas no âmbito dessa lógica de produção agrícola envolver toda a família, incluindo mulheres e também crianças, da carência na assistência-técnica oferecida a estes indivíduos, tanto em sua regularidade, quanto em qualidade, o fato de estarem expostos ininterruptamente aos efeitos nocivos destes agentes químicos e a “dificuldade no entendimento das informações disponíveis sobre saúde e segurança relacionadas ao uso de agrotóxicos na agricultura” (GREGOLIS; PINTO; PERES, 2012, p. 100).

Faria, Rosa e Facchini (2007) apontam a relação dos agrotóxicos com várias doenças, em especial intoxicações agudas, “[...] caracterizando os agroquímicos como um dos mais importantes fatores de risco para a saúde humana, além da contaminação ambiental”.

De acordo com os dados secundários fornecidos pelo CEREST, o quadro 10, representa a lista das principais atividades domiciliares nas UBSFs pesquisadas, referente ao ano de 2013, que totalizou em 46 atividades domiciliares no ramo de Comércio/vendas, seguida de 39 atividades domiciliares no ramo de Cabeleireira/Manicure/Salão de beleza, 27 atividades domiciliares no ramo de Costureiras e 26 atividades domiciliares no ramo de Alimentos, tiveram um maior registro dentre as demais.

**Quadro 10.** Distribuição das principais atividades domiciliares nas UBSFS, no ano de 2013

<b>Atividades Domiciliares</b>	<b>UBSF Santa Luzia</b>	<b>UBSF Lagoinha I</b>	<b>UBSF São Gabriel</b>	<b>UBSF São Jorge II</b>	<b>UBSF Seringueira II</b>	<b>Total</b>
Artesanato	02	08	03	05		18
Bar		01				01
Bordadeira	01		01	02	03	07
Cabeleireira/Manicure/salon beleza	08	09	11	03	08	39
Comércio de variedades	05	02	08	07	04	26
Confeiteiro				05		05
Conserto de eletrodoméstico		01				01
Corretora		01				01
Costureira	09	03	06	03	06	27
Cuidador de criança				01	03	04
Doceira	02					02
Elétrica			01			01
Escola			01			01
Escritório		02				02
Grafica	01					01
Lanternagem		01				01
Oficina mecanica	02	01	01			04
Passadeira		02				02
Pastelaria			01			01
Produção de quitandas	01	03				04
Produção de Produtos de Limpeza			01			01
Produção de Bijotaria		01				01
Produção de sorvetes					01	01
Professor				01		01
Reciclagem	02		01		06	07
Salgadeira	01		01	01	02	05
Sapateiro	01			01		02
Serralheiro					01	01
Tapeçaria	01					01
Venda Alimentos		04	01			05
Venda de Frango Assado			01			01
Venda de perfumes	01					01
Venda de produtos variados		03				03
Venda de Roupas			03			03
Venda de verdura	01					01
Vendas		05		02	06	13
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>47</b>	<b>41</b>	<b>31</b>	<b>40</b>	<b>197</b>

Fonte: Formulário de levantamento do perfil ocupacional/2013- CEREST Uberlândia

O comércio de venda de mercadorias predominantemente varejista no território em estudo é bastante movimentado. Encontra-se neste território uma variedade de ofertas, a venda de produtos não duráveis (produtos alimentícios, perfumes), semiduráveis (vestuários) e duráveis (utilidades domésticas). Estes se encontram na informalidade e sujeitos a riscos à saúde e a ocorrência de agravos.

No estudo de Cangussu (2014) em relação a ocupação no comércio, os resultados apresentam que a fragilidade dos vínculos empregatícios foi ressaltada, uma vez que foram identificadas situações de sobrecarga de serviço, trabalho sob pressão, assédio moral, riscos e agravos à saúde dos colaboradores, dificuldades no estabelecimento de nexos e de acesso aos direitos trabalhistas. Em uma entrevista realizada no trabalho da autora, os participantes relatam os riscos existentes, a saber ergonômicos e os psicológicos - ocasionados pela sobrecarga de trabalho, conforme se pode verificar na narrativa a seguir:

O que a gente observa no comércio é a carga horária excessiva, porque o trabalhador trabalha o dia todo em pé e tem horário só pra entrar, não tem horário pra sair [...]”. “Quer ir embora? não, vai arrumar primeiro ali [...] e eles acabam ficando, sendo que já passou do horário de ir embora, eles falam que vão pagar hora extra, pode até pagar, mas isso vai acarretando estresse, fadiga, na hora de chegar não pode estar atrasado, mas na hora de ir embora não tem horário, aí já sai de lá agoniado [...] (CANGUSSU, 2014, p. 91)

O trabalho sob pressão e o assédio moral foram observados e citados:

Tem um mercadinho lá, que de três em três dias é funcionário largando de trabalhar lá, não sei o que acontece que funcionário lá não dura, é impressionante como não aguenta, a dona bota pressão, bota pressão e ninguém aguenta... eu acho isso horrível... “Tem muito assédio moral também, que os patrões falam há você é lenta, você não sabe, você não dá conta, aí começam a dizer essas palavrinhas irritantes que os trabalhadores sofrem nessas situações, ficam tristes, angustiados. (CANGUSSU, 2014, p. 92)

A ocorrência de acidentes e adoecimentos ocasionados pelo trabalho, relativos à ergonomia são situações vivenciadas no território:

Tem também a questão da postura, eles carregam caixas pesadíssimas. Eu tenho um amigo que foi pegar uma caixa, nem era o serviço dele, mas olha a arrumação, ele tava trabalhando em outra repartição, um outro foi pegar uma caixa pesada demais e pediu ajuda pra ele, ele foi ajudar e começou a sentir uma dor na perna, mas terminou de levar esse peso, aí começou a passar mal, foi levado pro médico mas no outro dia voltou a trabalhar, ele tinha fraturado o osso [...]”. “Tem uma jovem que trabalha em um mercado perto da minha casa, no caixa, ela me disse que está com problema de coluna por excesso de movimento repetitivo [...]”.(CANGUSSU, 2014, p. 92).

O setor informal abarca diversos tipos de atividades econômicas, a exemplo do comércio. Este é um subsetor marcado por heterogeneidade de atividades desenvolvidas e que compreende uma infinidade de tarefas de diversas naturezas, que incluem desde a operação de máquinas registradoras, reposição de estoques em gôndolas e prateleiras, até o desenvolvimento de múltiplas funções (CISNE, 2011).

Outra característica do comércio informal está nos ambientes de trabalho, muitas vezes insalubres, sem preocupações com aspectos de segurança, higiene e desprovidos de instalações mínimas de satisfação das necessidades mais elementares dos trabalhadores.

Além dessa problemática, as condições laborais são precárias, manifestadas na violação dos direitos trabalhistas, na insegurança do posto e do ambiente de trabalho, no aumento do ritmo da produção e das exigências. Tais condições interferem na saúde dos trabalhadores e também no modo de agir, pensar, sentir e fazer (CISNE, 2011).

No estudo de Motta (2011), para o tipo de ocupação, encontrou-se forte associação estatística entre os acidentes e o trabalho como açougueiro. Uma das tarefas prestadas por trabalhadores que comercializam carnes e frangos envolve a atividade de talhar e cortar as mercadorias com a utilização de ferramentas, motorizadas ou não, que podem levar ao risco de lesões nas mãos e nos dedos.

Outro fator que deve ser abordado é a pressão da produtividade, visto que vendedores do comércio, em sua grande maioria, são os proprietários da

unidade comercial e apresentam sua renda mensal de acordo com a quantidade de mercadoria vendida, ou seja, depende do valor da venda/faturamento.

Essa variação de renda, a depender da produtividade, pode proporcionar esgotamento tanto físico quanto psicológico, aumentando suas chances de se acidentar. Outro fator que deve ser abordado é a pressão da produtividade, visto que vendedores de comércio varejista utilizam-se, frequentemente, de planos de remuneração baseados na aplicação de percentuais sobre o valor da venda/faturamento. O esforço do trabalhador em cumprir metas pode proporcionar esgotamento tanto físico quanto psicológico, aumentando suas chances de se acidentar.

De acordo ainda com Motta (2011), as causas predominantes dos acidentes de trabalho ocorridos no ramo de atividade econômica no Comércio foram Queda/Choque/Perda do equilíbrio, com 1.523 casos (22,1%), seguidas de Equipamentos/Maquinas/Matéria-prima usada no trabalho (18,5%), o uso Ferramenta manual não motorizada (15,2%) e Motocicleta (13,0%).

As atividades desenvolvidas em salão de beleza, cabeleireiro, barbeiros e afins, executadas em domicílio configuraram-se como a segunda categoria mais predominante no estudo. Os procedimentos executados em salões de beleza e atividades afins envolvem riscos à saúde da população e sem a devida fiscalização do uso, armazenamento e limpeza adequados de produtos cosméticos e instrumentos de trabalho pelo órgão do Estado, podem acarretar agravos à saúde do cliente e dos próprios trabalhadores (BRITTO, 2004).

No entanto, poucas são as notificações **de** eventos adversos ou infecções relacionadas tanto aos profissionais quanto aos clientes de estabelecimentos de belezas (GARCACCIO; OLIVEIRA, 2013).

Em geral, os produtos de alisamento capilar apresentam risco à saúde pelo fato de possuírem substâncias com potenciais tóxicos para o organismo humano. No que se diz respeito à técnica de alisamento capilar, a utilização de formaldeído merece destaque pela proibição do seu uso estabelecida pela Anvisa, exceto em casos de conservação do produto. Entretanto, o formol continua sendo utilizado em alguns salões de beleza, pelo processo de adição de concentrações acima do autorizado nos alisantes capilares por intermédio do próprio

profissional cabeleireiro como pelos clientes que desconhecem os potenciais riscos e o processo de intoxicação a partir da utilização deste produto, evidenciado em sinais e sintomas agudos, subagudos e crônicos (Garcaccio e Oliveira 2013, p. 98).

Ademais, as práticas desenvolvidas por manicures e pedicures também acarretam riscos de transmissão de patógenos, a exemplo do vírus HIV e, principalmente, do vírus das hepatites B e C, expondo tanto os profissionais quanto os clientes (MOREIRA, 2013).

O estudo de Garcaccio e Oliveira (2013), referente à avaliação dos conhecimentos e adesão às questões de biossegurança, identificou que as manicures e pedicures detinham pouco conhecimento e baixa adesão a procedimentos para a prevenção dos riscos envolvidos em suas atividades.

Ainda nesta mesma linha de consideração, Silva (2014) constatou que há um baixo conhecimento sobre biossegurança por parte destes profissionais, que incluem desconhecimento sobre a distinção entre os métodos de limpeza, desinfecção e esterilização dos artigos utilizados em suas práticas, bem como sobre riscos aos quais estão expostos.

Estas conclusões coadunam com o estudo de Moreira e colaboradores (2013), que identificou em um total de 149 profissionais entrevistados entre manicures, pedicures e podólogos, conhecimento insuficiente sobre a etiologia e as formas de transmissão e prevenção da AIDS e de hepatites virais.

Destaca-se também a baixa adesão ao uso de métodos corretos de reprocessamento e limpeza de materiais, principalmente, a esterilização de materiais perfuro-cortantes e a reutilização de materiais descartáveis (SILVA, 2014).

O estudo de Ghisi e Santin (2011), ao analisar amostras de lixa de unha metálica de cinco centros de estética e cinco domicílios, observou que 100% das amostras apresentaram resultado positivo para fungos patogênico que causam onicomicoses em virtude do indevido processo de esterilização do material.

Além disso, o estudo menciona que a prática de compartilhamento de instrumentos é comum nos dois tipos de ambientes pesquisados e que a incidência de contaminação entre os centros de estéticas e as atividades



realizadas nos domicílios foram equivalentes. Por indicação da Vigilância Sanitária, a lixa de unha é considerada um instrumento de uso único ou, no caso da lixa metálica, de uso pessoal (BRASIL, 2009).

Todos esses achados reforçam a importância destes profissionais serem capacitados pelas equipes de Atenção Primária para executarem seu trabalho de acordo com as técnicas de biossegurança e as boas práticas sanitárias que visam reduzir os riscos presentes nas suas atividades, sejam elas desenvolvidas em domicílios ou em centros de beleza.

A pesquisa de Cangussu (2014) relativa à atividade profissional de salão de beleza, constatou que a atividade é predominantemente feminina e o mercado de trabalho em sua maioria informal, é como uma estratégia de fuga ao desemprego. Após a participação em um curso profissionalizante surge a possibilidade de prestação de serviços a terceiros ou de abertura do próprio negócio, montado muitas vezes em cômodos residenciais, onde não faltam clientes.

E tendo como consequência há a precariedade do vínculo empregatício e a sobrecarga de trabalho, causada pela incerteza do futuro. Também se identifica com clareza os riscos e agravos a que esta categoria profissional está exposta. Quanto aos riscos à saúde, dentre eles destacam-se os riscos ergonômicos e psicológicos da sobrecarga de trabalho, ocasionados pela necessidade de sobrevivência financeira. No estudo constatou-se que as doenças osteomusculares e intoxicações exógenas são relacionadas aos riscos identificados na atividade.

Cunico e Lima (2012) relatam que os cosméticos utilizados em salões de beleza apresentam uma grande quantidade de substâncias químicas e que apesar de estarem sujeitos às normas de órgãos reguladores e precisarem ser registrados pela ANVISA, ainda assim apresentam riscos à saúde, podendo ocasionar doenças ocupacionais. Além disso, esses produtos podem ocasionar reações alérgicas, como a dermatite de contato, irritando a pele ou o couro cabeludo, pela formação de eczemas ou rachaduras.

No estudo de Cangussu (2014), observa-se a necessidade da realização de ações educativas, que orientem os trabalhadores desta atividade profissional sobre os riscos da exposição contínua a esses produtos, da

importância da utilização de produtos que sejam aprovados pelos órgãos competentes e da utilização de equipamentos de proteção individual durante seu uso. Além dos riscos químicos, outros riscos igualmente importantes também são identificados nesta categoria trabalhadora, dentre eles o ergonômico.

Fonseca et al (2013) realizaram uma análise ergonômica deste processo de trabalho. Identificaram alto risco no fator biomecânico para distúrbios musculoesqueléticos e queixas de dores ou desconforto muscular esquelético em todo o corpo, o que pode ser justificado pelas posturas adotadas, execução de movimentos repetitivos e extensa jornada de trabalho.

Contudo, como estratégia de melhoria sugeriu a adaptação do ambiente de trabalho às necessidades corporais das trabalhadoras, tanto as cabeleireiras, como as manicures e as podólogas. Garbaccio e Oliveira (2013) mencionaram o risco biológico identificado nas atividades de trabalho das manicures e podólogas, ocasionado principalmente pela ausência da utilização das medidas de segurança.

O fato é justificado pelo desconhecimento destes profissionais aos fatores de riscos existentes, devido à ausência de ações educativas promovidas pelos órgãos públicos.

Outra pesquisa propôs-se a investigar os limiares auditivos em cabeleireiras, devido ao ruído presente nos salões de beleza, principalmente dos secadores de cabelo. Observou-se um rebaixamento temporário da acuidade auditiva, comparando-se os resultados audiométricos antes e após a jornada de trabalho, apesar dos resultados permanecerem dentro dos padrões de normalidade. Além disso, foram observadas queixas de sintomas auditivos, como zumbido, sensação de plenitude auricular, desconforto a sons intensos, dificuldade de localização da fonte sonora, cefaléia, irritação e vertigem (MARTINS, 2001).

Sabe-se que algumas profissões podem trazer sérios riscos à saúde dos trabalhadores, como a profissão das costureiras, que por realizarem trabalhos cansativos e repetitivos, podem prejudicar suas condições de vida com o passar do tempo. O movimento feito por estas profissionais pode trazer consequências irreparáveis, como por exemplo, problemas de coluna, lesões por esforços repetitivos (distúrbios

osteomusculares relacionadas ao trabalho - DORT), além do stress, cansaço psicológico que é um dos principais agravantes da saúde de pessoas que passam a maior parte do seu dia sentados em uma única posição e fazendo o mesmo tipo de movimento, sem precauções ou fazendo movimentos de maneira correta (CARNEIRO, FERREIRA, 2010, p.45).

As costureiras possuem uma jornada de trabalho cansativa, pois além de longa, é caracterizada por atividades repetitivas que ocorrem em todo o tempo na posição sentada, condição que se torna prejudicial à saúde. As maiores reclamações são relacionadas a dores pelo corpo, cansaço físico e mental (SENA et al, 2008).

Ao analisarmos um estudo realizado por Maciel et al (2006), as costureiras também se queixaram de dores por diversas partes do corpo. A região em que as costureiras mais reclamaram de dores foi a coluna lombar sendo apontada por 17%, 13% de desconforto na coluna cervical e ombros; 12% na cabeça, 10% nas pernas, 9% desconforto no punho, 8% no quadril, 7% na coluna torácica, 6% nos joelhos e 5% desconforto no tornozelo.

Num estudo de Paizante (2006), a frequência de dor osteomusculares nas trabalhadoras do ramo da costura, nos últimos 12 meses foi de 72,3% na coluna lombar, 61,4% na coluna dorsal, 55,3% nos ombros, 54,1% no pescoço, 38,8% nos pulsos/mãos, 36,5% nos quadris/coxas, 34,1% nos joelhos, 28,2% nos tornozelos e 3,5% referiram-se a dores nos cotovelos.

Certamente o ambiente não ergonômico é ainda outro fator relacionado com as dores na coluna vertebral, pois as características incorretas dos mesmos obrigam os trabalhadores a assumirem posturas inadequadas (MORAES, 2002).

A literatura é escassa na verificação sobre os riscos a que estão submetidos os Manipuladores de alimentos no domicílio. Verificou-se a importância da Vigilância em Saúde, por meio da Vigilância Sanitária estar integrada à Saúde do Trabalhador, quanto aos riscos ocupacionais dos trabalhadores em Alimentação e os seus efeitos sobre a saúde.

Na área da saúde, a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 49, instituída em 2013 (ANVISA, 2013), dispõe sobre a regularização de atividades

executadas pelo microempreendedor individual para que sejam sujeitas à ação da Vigilância Sanitária. O principal objetivo desta resolução é promover a segurança sanitária de bens e serviços que apresentam riscos à saúde da sociedade, criando consecutivamente aspectos facilitadores de inclusão social e econômica

E com essa resolução os órgãos de Vigilância Sanitária poderão regularizar atividades instaladas em residências, área com regulamentação precária ou inexistente e em outros locais nos quais são desenvolvidas as atividades produtivas.

No que diz respeito ao trabalho informal, a Vigilância Sanitária não exercita ações de controle e fiscalização, principalmente em atividades realizadas no domicílio.

Haja vista que apesar do poder da polícia ser outorgada pelo Estado a ela, o qual sobrepõe os interesses coletivos sob os individuais, a atividade informal domiciliar é protegida pelo direito constitucional da inviolabilidade do domicílio, que se embasa na determinação de que “a casa é asilo inviolável do indivíduo, ninguém nela podendo penetrar sem consentimento do morador, salvo em caso de flagrante delito ou desastre, ou para prestar socorro, ou, durante o dia, por determinação judicial” (COSTA, 2012).

De acordo com estes termos, as medidas sanitárias em ambiente privado, como é o exemplo do domicílio, só serão possíveis mediante autorização do proprietário, não podendo ninguém adentrar ao estabelecimento sem este consentimento (SUNDFELD, 2004).

A inviolabilidade do domicílio é considerado um “direito negativo”, de defesa do indivíduo perante o Estado. No entanto, com a RDC nº 49 visando a regularização de atividades realizadas em domicílios, o comportamento de abstenção do estado perante essa inviolabilidade entra em conflito com o princípio basilar da supremacia do interesse público sobre o privado. Desta forma, em uma situação de conflitos de interesses, no caso da questão em discussão representada pelos riscos à coletividade que a Atividade Econômica Domiciliar - AED pode apresentar, há de prevalecer o interesse coletivo. Nesta vertente, a intervenção no cenário da informalidade de atividades instaladas em

domicílio configura-se como complexo e desafiador para os órgãos da Vigilância Sanitária e também da Vigilância em Saúde do Trabalhador.

Os cuidados com a higiene pessoal são fundamentais para se alcançar o consumo de alimentos seguros. Nela estão inseridos a higiene corporal, os equipamentos de proteção individual, os bons hábitos e o estado de saúde dos manipuladores de alimentos.

A falta de atenção a estes aspectos fundamentais, durante a preparação de alimentos, pode contribuir para que os colaboradores, responsáveis pela manipulação, sejam os principais responsáveis pela ocorrência de surtos de Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA), inclusive mais do que os inimigos naturais da saúde pública como os vetores e pragas urbanas (REY; SILVESTRE, 2009).

Os maiores perigos de contaminação encontrados nas residências são relacionados a presença de animais domésticos na área de produção, utilização de utensílios de madeira e inadequada higiene pessoal e ambiental, além de que:

(...) dentre as não conformidades domiciliares, destaca-se a falta de higiene das mãos e uniformização inadequada, principalmente as donas de casa pertencentes à classe econômica mais baixa. As donas de casa mantêm contato com seus animais de estimação enquanto manipulam alimentos e não higienizam suas mãos adequadamente durante o processo ou trocam de roupa para isto, aumentando o risco de desenvolvimentos de zoonoses, como a toxoplasmose. Constatou-se que outras donas de casa possuíam utensílios e equipamentos muito antigos e com condição de higiene e manutenção precárias, demonstrando que tais manipuladores não possuem muito conhecimento de todos os perigos aos quais os alimentos podem ser expostos, são eles físicos, químicos ou biológicos (XAVIER, 2009, p. 67).

Diante o exposto acima, reforça-se que a contaminação dos alimentos por microrganismos não pode ser evitada por completo, mas com boas práticas pode ser diminuída, em toda a cadeia produtiva. Durante a manipulação pode haver contaminação por condições precárias de higiene de manipuladores, equipamentos, utensílios, ambiente, por más condições das matérias-primas e

ingredientes, ou mesmo más práticas de armazenamento dos produtos acabados (SOTO et al., 2009).

Com relação aos agravos à saúde dos trabalhadores nas atividades de alimentação, de acordo com Casarotto e Mendes (2003), as atividades desenvolvidas na produção de refeições caracterizam-se por movimentos manuais repetitivos, levantamentos de peso excessivo e permanência por períodos prolongados na postura em pé, ou mesmo em outra postura desconfortável.

Ainda segundo eles, a postura em pé é responsável pela grande prevalência de dores nas pernas e pés. Talvez ela seja responsável pelas dores na coluna lombar, porém existem estudos que mostram que tanto em trabalhos desenvolvidos na postura em pé, quanto na postura sentada, pode ocorrer lombalgia.

Conforme o quadro 11, dentro das 4.586 principais ocupações individuais dos trabalhadores do território das unidades de saúde da família em estudo, observa-se que as dez principais são: Serviços gerais 478 (10,42%), Vendedor 392 (8,54%), Doméstica 385 (8,39%), Atendente 347 (7,56%), Pedreiro 308 (6,71%), Comerciante 234 (5,10%), Motorista 215 (4,68%), Diarista 211(4,60%), Auxiliar Administrativo 210 (4,57%), Auxiliar de Produção 133 ( 2,90%) e Mecânico 132 (2,87%) tiveram um maior registro dentre as demais.

**Quadro 11.** Distribuição das principais ocupações individuais dos trabalhadores do território nas UBSFs, no ano de 2013.

<b>OCUPAÇÕES INDIVIDUAIS</b>	<b>UBSF Lagoinha I</b>	<b>UBSF Santa Luzia</b>	<b>UBSF São Gabriel</b>	<b>UBSF São Jorge II</b>	<b>UBSF Seringueira II</b>	<b>Total</b>
Açougueiro	-	01	-	-	03	04
Advogado	04	04	-	-	-	08
Agente Comunitário de Saúde	-	02	02	04	-	08
Artesã	19	-	-	04	02	25
Almoxarife	-	-	-	-	04	04

Atendente	65	41	119	82	40	347
Autônomo	02	30	-	-	-	32
Auxiliar administrativo	44	67	51	41	07	210
Auxiliar de cozinha	04	02	-	-	-	06
Auxiliar de produção	10	12	63	32	16	133
Auxiliar de Montagem	-	-	03	-	-	03
Analista de sistema	-	03	-	-	-	03
Babá	-	-	04	-	-	04
Borracheiro	-	-	05	-	-	05
Cabelereiro	17	21	10	09	07	64
Caixa	23	-	18	18	10	69
Caminhoneiro	03	-	-	-	-	03
Carroceiro	-	-	-	03	-	03
Carpinteiro	05	01	-	-	-	06
Chapa	-	-	-	07	-	07
Cobrador	-	05	03	03	-	11
Comerciante	94	32	33	60	15	234
Confeiteiro	03	-	-	-	-	03
Contador	02	-	-	-	-	02
Corretor	-	05	-	-	-	05
Costureira	16	11	22	29	20	98
Cuidador	-	-	03	-	-	03
Cozinheiro	13	08	39	10	15	85
Dentista	05	-	-	-	-	05
Diarista	65	11	69	21	45	211
Doméstica	91	22	106	70	96	385
Educador Infantil	-	-	-	03	-	03
Eletricista	07	09	04	06	09	35
Empresário	-	07	-	-	-	07

Enfermeiro	06	04	-	-	02	12
Estoquista	-	04	-	-	-	04
Feirante	06	-	03	-	-	09
Frentista	-	-	-	03	04	07
Gari	-	-	-	02	-	02
Garçon	24	02	-	-	02	28
Gesseiro	-	05	-	-	-	05
Gerente	-	22	-	07	-	29
Lavador de Carro	-	-	-	-	02	02
Manicure	10	04	12	07	-	33
Marceneiro	-	-	04	-	-	04
Mecânico	20	30	26	35	21	132
Mestre de obras	02	-	-	-	-	02
Motorista	27	46	52	58	32	215
Motoboy	-	-	05	03	04	12
Oficial Administrativo	-	-	-	03	-	03
Operador de Caixa	-	05	-	-	-	05
Operador de Telemarketing	10	28	16	24	11	89
Operador de Máquinas	-	06	32	16	08	62
Padeiro	05	-	-	-	-	05
Pedagoga	03	-	-	-	-	03
Pedreiro	54	12	113	36	93	308
Pintor	18	07	30	15	15	85
Porteiro	-	02	04	12	03	21
Professor	70	69	21	34	-	194
Promotor de vendas	10	-	-	04	-	14
Recepcionista	-	11	-	-	-	11
Reciclador	-	-	04	-	03	07
Repositor	-	-	09	-	-	09



Representante Comercial	02	13	-	-	-	15
Salgadeira	-	02	-	-	-	02
Secretaria	23	09	14	21	-	67
Segurança	05	-	-	02	06	13
Servente	13	05	42	11	35	106
Serralheiro	-	-	-	-	04	04
Serviços Gerais	41	31	113	89	204	478
Servidor Público	18	24	-	27	04	73
Técnico de Enfermagem	-	09	08	-	01	18
Técnico em Telecomunicações	-	-	-	05	-	05
Vendedor	90	83	82	99	38	392
Vidraceiro	-	02	-	-	-	02
Vigilante	04	08	25	22	09	68
Total	953	737	1.169	937	790	4.586

Fonte: Formulário de Consolidado do perfil ocupacional da ESF/PACS,2013 – CEREST Uberlândia

De acordo com os dados observa-se que a ocupação individual de maior relevância foi a de Serviços Gerais. Esta ocupação merece um estudo maior devido aos riscos e agravos relacionados à atividade.

Portanto, abordaremos sobre esta atividade e riscos a saúde, bem como a atividade da doméstica, visto que, as atividades do vendedor equiparam-se ao do comércio e este foi abordado na análise do quadro anterior.

Tratando-se da limpeza como serviço institucional ou comercial contemporâneo, teremos para fins conceituais nesta análise os pressupostos de diversos pesquisadores, cujas definições se coadunam e encaram a limpeza como uma tarefa manual e/ou mecânica de remoção de poeira, lavagem, polimento, desinfecção e conservação de superfícies fixas como pisos, paredes e tetos, ou de móveis e equipamentos diversos, utilizando grande variedade de produtos químicos e tarefas podendo ser realizadas com ferramentas manuais como vassouras, rodo, mop, balde, pá, escova, esponja, pano, pulverizador ou com o auxílio de máquinas como aspirador de

pó, varredeira, enceradeira, máquina lavadora e extratora, entre outros (MAÇÃIRA, 2004, p. 5 - 6).

Deste modo, como atividade institucional e comercial, os profissionais de limpeza se enquadram dentro de uma classificação ocupacional econômica, apresentando uma codificação nacional e internacional para sua classe e as descrições gerais de suas atividades. Sob os códigos 5142 – 10 (Faxineiro - Auxiliar de limpeza) e 5142 – 25 (Trabalhador de serviços de manutenção de edifícios e logradouros) da Classificação Brasileira de Ocupações (CBO - 2002), temos a seguinte descrição para as condições gerais de exercício da atividade:

Trabalham em companhias e órgãos de limpeza pública, em condomínio de edifícios, em empresas comerciais e industriais, como assalariados e com carteira assinada; as atividades são realizadas em recintos fechados ou a céu aberto. Trabalham individualmente ou em equipe, com ou sem supervisão permanente. O horário de trabalho é variado, podendo ser diurno, noturno ou em regime de rodízio de turnos. Algumas das atividades podem ser exercidas em grandes alturas, subterrâneos ou em posições desconfortáveis por longos períodos, com exposição a ruído intenso e a poluição dos veículos (MTE; CBO 2002, p 599).

Considerado um serviço básico, os profissionais de limpeza inserem-se na nova dinâmica de relações de trabalho atuais, desempenhando suas atividades sob o jugo de empresas terceirizadas que, imersas na nova reestruturação do capitalismo, incorporaram e alocaram uma mão-de-obra desordenada e precarizada, cuja exploração da força de trabalho se manifesta num clima de negligência acerca da segurança e saúde dos trabalhadores. Frente a isto, torna-se imprescindível uma análise em torno deste modelo de alocação de trabalho, e sua relação com a segurança e medicina do trabalho (PADOVANI, 2011).

Conforme definido anteriormente, o conceito de limpeza se refere a um processo histórico-social, cuja finalidade é a remoção de sujidades em diversas superfícies, utilizando ferramentas manuais ou auxílio de máquinas de limpeza. Como atividade organizacional, os serviços de limpeza e conservação podem ser divididos em dois campos distintos de atuação: um direcionado a

estabelecimentos industriais, que incluem condomínios, diversas instituições, órgãos, empresas, dentre outros de caráter não industrial, direcionado mais para residências e domicílios.

E para cada um destes tipos de lugares, ainda podemos classificar o tipo de limpeza que será realizado, cuja finalidade corresponde diretamente aos objetivos a serem alcançados. Assim, podemos realizar uma limpeza concorrente ou diária, que visa somente remover as sujidades e repor os materiais de higiene ou uma limpeza mais específica de caráter terminal, geralmente voltada para hospitais, que envolve um processo mais profundo de limpeza e desinfecção, incluindo todas as superfícies, mobiliários e equipamentos.

Todavia, seja qual for o método utilizado, o processo de limpeza e conservação libera três tipos de energias diferentes: a química, a térmica e a mecânica. A energia química é fornecida pelos produtos de limpeza utilizados na atividade, ao passo que a térmica é fornecida pelo aquecimento da água e, por último, a energia mecânica provém da força manual empregada no ato da limpeza e também pelo uso de máquinas e equipamentos (PADOVANI, 2011).

Em termos de contaminação ambiental e perigo para a saúde dos envolvidos, o uso dos produtos químicos representam, por excelência, os principais riscos inerentes à atividade de limpeza e conservação. Estes produtos químicos são regulados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que os classifica na categoria saneantes, como, por exemplo: detergentes e seus congêneres, alvejantes, desinfetantes, desodorizantes, esterilizantes, algicidas e fungicidas para piscinas, desinfetante de água para o consumo humano, água sanitária, produtos biológicos, inseticidas, raticidas, jardinagem amadora, repelentes, dentre outros. Estabelece-se para cada produto regras técnicas de aplicação, manipulação, destinação e finalidade de emprego. Além disto, estes produtos se dividem em relação à sua aplicação e manipulação, como também pela sua destinação e finalidade de emprego. Assim, de acordo com as classificações da ANVISA, a aplicação dos produtos saneantes se destinam ao uso profissional e não profissional, no qual o profissional inclui os produtos que, por sua forma de apresentação, toxicidade e uso específico devem ser aplicados ou manipulados exclusivamente por profissionais treinados, capacitados ou por empresa especializada. Já os produtos de uso não profissional são os de pronta utilização, podendo ser manipulados por qualquer pessoa (PADOVANI, 2011, p. 602).

Embora pareça contraditório, o uso destes produtos de limpeza e conservação traz consigo um paradoxo na sua finalidade, uma vez que, ao promover a limpeza ambiental potencialmente podem também promover a contaminação ambiental, originada pelo uso dos produtos químicos em demasia, ou pela proliferação de microorganismos resistentes, que exercem em conjunto, um papel nocivo à saúde dos trabalhadores envolvidos na atividade, como também dos usuários dos ambientes que foram limpos.

Assim, esta problemática aumenta exponencialmente à medida que a cada ano são lançados no mercado novos produtos para a limpeza, cujas formulações e toxicidade são desconhecidas para o ser humano.

Portanto, dos desinfetantes aos limpadores de superfícies, passando pelos produtos de limpeza doméstica, as substâncias químicas presentes nestes produtos representam um coquetel potencialmente sensibilizante e irritante para as vias aéreas e/ou pele dos seres humanos. O fator desencadeante destes problemas se deve à presença de componentes denominados surfactantes ou tensoativos presentes nas formulações dos produtos de limpeza e conservação, que associados aos alérgenos biológicos de ambientes interiores, aumentam a sensibilização e a produção de anticorpos nas vias aéreas, desencadeando assim, a ocorrência de irritações e outros problemas respiratórios (PADOVANI, 2011).

Isto nos leva a crer que independente do ambiente ocupacional ou grau de exposição no qual estão sujeitos os trabalhadores da limpeza e conservação, os produtos químicos utilizados são potencialmente nocivos à saúde humana, podendo causar efeitos respiratórios por irritação direta ou por ação tóxica mediada imunologicamente.

Em geral, estes produtos entram em contato com as vias aéreas e cutâneas de diversas formas, uma vez que, dada a natureza das atividades executadas, coexistem condições para a ocorrência de situações de inalação de gases e vapores (PADOVANI, 2011).

Ainda para o autor, no tocante à atividade de limpeza e conservação, as doenças respiratórias e afecções correlatas advêm, em sua grande maioria, da inalação de gases e vapores oriundos dos produtos químicos de limpeza, no

qual a asma e a rinite encabeçam a lista das ocorrências de maior número nos ambulatórios médicos de saúde ocupacional.

Correlato a estas, que são oriundas da exposição aos produtos químicos, ainda se constata outra situação de igual risco para a saúde dos trabalhadores da limpeza, verificada no desenvolvimento de doenças cutâneas que, embora pareça à primeira vista de pouca gravidade, acarretam grande impacto na qualidade de vida e produção dos acometidos. As denominadas Dermatoses ocupacionais constituem atualmente uma grande parcela das doenças profissionais que prevalecem entre os trabalhadores da limpeza e conservação, representando um desafio para os especialistas devido à complexidade de identificação e diagnósticos corretos (PADOVANI, 2011).

Cada vez mais e com crescente rigor, o ritmo de trabalho imposto a esta classe de profissionais tem gerado condições propícias para o desenvolvimento de inúmeras doenças ocupacionais, destacando-se dentre elas, a manifestação das Lesões por Esforços Repetitivos (LER) ou os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT). Diretamente vinculadas à execução de atividades repetitivas e desconfortáveis, as LER/DORT encontraram um campo fértil no ramo de limpeza e conservação, haja vista que, esta atividade caracteriza-se por uma demanda laboral dinâmica e intensiva, exigindo movimentos manuais repetitivos e desconfortáveis para o trabalhador.

Portanto, os profissionais da limpeza e conservação apresentam aspectos favoráveis no exercício de suas atividades para o desenvolvimento destes distúrbios músculo-esqueléticos, devidos à variedades de tarefas empreendidas e a presença de posturas incômodas, além do emprego excessivo de força, repetitividade e insuficiência de repouso nos locais de trabalho (PADOVANI, 2011).

No estudo de Cangussu (2014), prevaleceu o trabalho de Empregada Doméstica dentre as demais áreas ocupacionais, conforme relato abaixo das entrevistadas no estudo:

As empregadas domésticas são muitas, por ser uma área muito carente. Se queixam de problemas de coluna por conta da postura para executar suas atribuições, de acidentes como quedas e cortes e do peso que às vezes precisam carregar, além de intoxicação na utilização dos produtos de limpeza,

principalmente aquele azulin ... Elas falam que trabalham muito pra ganhar pouco e ainda sofrem vários tipos de humilhações...”. “Elas saem pra trabalhar e os filhos ficam em casa, elas vão preocupadas em deixá-los e acabam não fazendo o serviço direito, ficam descobertas porque não tem um lugar adequado para deixar o filho, aí ela vai pro serviço mas a mente dela tá lá na casa, já teve mãe de receber notícia do filho que sofreu acidente, ela sai de lá as pressas preocupada [...]”. (CANGUSSU, 2014, p 88).

Com relação à identificação dos riscos, estes foram apresentados de várias maneiras pelas trabalhadoras. Algumas relataram o espaço doméstico como um local seguro, não conseguindo identificar seus riscos, outras perceberam a existência de riscos de acidente, tais como: riscos de quedas (presentes na limpeza interna e externa de janelas, no uso de escadas em geral e no trabalho em piso úmido e ensaboado) e riscos de cortes e queimaduras, além de torções em membros inferiores e adoecimentos (IRIART *et al* 2008).

O fato de estes acidentes terem ocorrido em residências contribui para que as trabalhadoras os identifiquem como “normais”, entendendo o mesmo como uma fatalidade. Neste olhar, a culpabilidade do acidente volta-se ao trabalhador, deixando o empregador livre de qualquer responsabilidade. Os adoecimentos mencionados foram: dores de coluna e lombares, bursite, dores nas pernas, inchaços no joelho e alergia aos produtos de limpeza. Como mecanismo de enfrentamento, o trabalho em questão sugere a elaboração de estratégias que proporcionem a valorização social desta atividade laboral e o respeito aos direitos trabalhistas já garantidos por lei (Iriart *et al*, 2008).

Para Sanches (2009), o trabalho doméstico é considerado um dos mais precários existentes, apresentando baixas remunerações, más condições de trabalho, altos riscos à saúde e integridade física das trabalhadoras. Menciona-se como riscos identificados nesta profissão, a utilização de produtos químicos, fogo, riscos de altura e eletricidade, além de apresentar altos níveis de assédio sexual e moral.

Nesse sentido, apreender as condições de trabalho é um desafio dialético, materialmente necessário, para qualificar a questão dos eventos adversos à saúde do trabalhador, o conhecimento sobre o que ocorre e o que

pode acontecer em um sistema produtivo é de extrema importância para analisar os eventos, compreender os riscos, além de nortear a implementação de normas de segurança para a saúde do trabalhador.

Conforme os dados do quadro 12, referentes ao período de 2013 e 2014, destacam-se as principais doenças segundo a lista de morbidade CID - 10 nas Unidades de Saúde universo desta pesquisa, a saber: as doenças do aparelho circulatório com 8.138 ocorrências, os transtornos mentais e comportamentais com 4.746, seguido das doenças endócrinas nutricionais e metabólicas com 4.730, as doenças do aparelho respiratório com 3185 e doenças do sistema Osteomuscular e tecido conjuntivo com 2.311.

**Quadro 12.** Doenças segundo a CID – 10 das cinco Unidades de Saúde da Família do Distrito Sanitário Sul- listadas em 2013 e 2014.

Lista Morbidade CID -10	UBSF Lagoinha I		BSF Santa Luzia		UBSF São Gabriel		UBSF São Jorge II		UBSF Seringueira II		Total
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	
Algumas doenças infecciosas e parasitárias	555	320	225	53	58	23	236	113	117	55	1755
Neoplasias (Tumores)	21	17	60	00	00	00	17	15	00	05	135
Doenças de Sangue, órgãos hematológicos e transtornos imunitários	64	40	24	10	03	02	36	39	01	08	227
Doenças endócrinas nutricionais e metabólicas	1099	389	330	292	414	160	974	922	90	63	4733
Transtornos mentais e comportamentais	997	340	344	136	455	201	1164	726	303	80	4746
Doenças do sistema nervoso	306	96	70	04	52	14	133	99	13	15	802
Doenças do olho e anexos	53	26	61	06	09	04	55	30	40	13	297
Doenças do ouvido e apófise mastóide	217	83	126	21	32	05	70	68	29	14	665
Doenças do Aparelho Respiratório	866	370	350	140	261	53	573	332	151	89	3185
Doenças do	2377	954	319	333	607	286	1546	1152	420	144	8138

aparelho circulatório											
Doenças do aparelho digestivo	247	89	135	04	24	03	286	220	18	31	1057
Doenças de pele e do Tecido subcutâneo	177	63	105	00	42	13	146	94	21	36	697
Doenças do sist. Osteomuscular e do tecido conjuntivo	453	183	424	62	80	26	502	268	218	95	2311
Doenças do aparelho geniturinário	421	170	192	102	120	19	352	208	90	73	1747
Gravidez parto e puerpério	10	13	14	00	00	01	19	24	04	06	91
Algumas afecções originadas no período perinatal	03	04	00	00	02	00	00	01	00	00	10
Malformações congênitas, deformidades e anomalias cromossômicas	02	01	07	00	01	02	03	03	02	01	22
Sintomas, sinais e achados anormais exame clínico e laboratoriais	437	164	419	42	136	35	228	126	103	25	1715
Lesões, envenenamento e alguma outra Consequência e causas externas	100	37	106	20	18	05	73	25	50	22	456
Causas externas de morbidade e mortalidades	04	07	01	00	00	00	07	02	00	01	22
Contatos com os serviços de saúde	4621	2914	4178	1867	3362	1633	5045	4443	6875	2466	37404

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde- Sistema de Gestão em Saúde – FASTMEDIC (2013-2014).



Ao analisarmos os dados referente a 8.138 ocorrências de doenças do aparelho circulatório, referente as UBSFs do estudo, percebe-se um alto número de doenças relacionadas a este grupo.

De acordo com Brasil (2001), aborda que apesar da crescente valorização dos fatores pessoais, como sedentarismo, tabagismo e dieta, na determinação das doenças cardiovasculares, pouca atenção tem sido dada aos fatores de risco presentes na atividade ocupacional atual ou anterior dos pacientes. O aumento dramático da ocorrência de transtornos agudos e crônicos do sistema cardiocirculatório na população faz com que as relações das doenças com o trabalho mereçam maior atenção.

Observa-se, por exemplo, que a literatura médica e a mídia têm dado destaque às relações entre a ocorrência de infarto agudo do miocárdio, doença coronariana crônica e hipertensão arterial, com situações de estress e a condição de desemprego, entre outras.

No Brasil, as doenças cardiovasculares representam a primeira causa de óbito, correspondendo a cerca de um terço de todas as mortes. A participação das doenças cardiovasculares na mortalidade do país vem crescendo desde meados do século XX. Em 1950, apenas 14,2% das mortes ocorridas nas capitais dos estados brasileiros eram atribuídas a moléstias circulatórias. Passaram a 21,5% em 1960, 24,8% em 1970 e 30,8% em 1980. Em 1990, as doenças cardiovasculares contribuíram com cerca de 32% de todos os óbitos nas capitais dos estados brasileiros. Além de contribuírem de modo destacado para a mortalidade, as moléstias do aparelho circulatório são causas freqüentes de morbidade, implicando 10,74 milhões de dias de internação pelo Sistema Único de Saúde (SUS) e representando a principal causa de gastos em assistência médica, 16,2% do total (LOTUFO & LOLIO, 1995).

Entre as causas de aposentadoria por invalidez, os estudos disponíveis mostram que a hipertensão arterial destaca-se em primeiro lugar, com 20,4% das aposentadorias, seguida dos transtornos mentais (15%), das doenças osteoarticulares (12%) e de outras doenças do aparelho cardiocirculatório, com 10,7%. Assim, as doenças cardiovasculares ocupam o primeiro e o quarto lugar de todas as causas de aposentadoria por invalidez e, juntas, representam

quase um terço de todas as doenças que provocam incapacidade laborativa total e permanente (MEDINA, 1986).

A prevenção das doenças do sistema circulatório relacionadas ao trabalho está baseada nos procedimentos de vigilância em saúde do trabalhador, vigilância epidemiológica dos agravos à saúde e vigilância dos ambientes e condições de trabalho. Utiliza conhecimentos médico-clínicos, de antropologia, epidemiologia, higiene ocupacional, toxicologia, ergonomia, psicologia, entre outras disciplinas, valoriza a percepção dos trabalhadores sobre seu trabalho e a saúde e considera as normas técnicas e regulamentos vigentes.

O estabelecimento da relação causal ou do nexo entre um determinado evento de saúde – dano ou doença – individual ou coletivo, potencial ou instalado, e uma dada condição de trabalho constitui a condição básica para a implementação das ações de Saúde do Trabalhador nos serviços de saúde. De modo esquemático, esse processo pode se iniciar pela identificação e controle dos fatores de risco para a saúde presentes nos ambientes e condições de trabalho e/ou a partir do diagnóstico, tratamento e prevenção dos danos, lesões ou doenças provocados pelo trabalho, no indivíduo e no coletivo de trabalhadores.

Os trabalhadores compartilham os perfis de adoecimento e morte da população em geral, em função de sua idade, gênero, grupo social ou inserção em um grupo específico de risco. Além disso, os trabalhadores podem adoecer ou morrer por causas relacionadas ao trabalho, como consequência da profissão que exercem ou exerceram, ou pelas condições adversas em que seu trabalho é ou foi realizado. Assim, o perfil de adoecimento e morte dos trabalhadores resultará da amalgamação desses fatores, que podem ser sintetizados em quatro grupos de causas (MENDES & DIAS, 1999):

- doenças comuns, aparentemente sem qualquer relação com o trabalho;
- doenças comuns (crônico-degenerativas, infecciosas, neoplásicas, traumáticas, etc.) eventualmente modificadas no aumento da frequência de sua ocorrência ou na precocidade de seu surgimento em trabalhadores, sob

determinadas condições de trabalho. A hipertensão arterial em motoristas de ônibus urbanos, nas grandes cidades, exemplifica esta possibilidade;

- doenças comuns que têm o espectro de sua etiologia ampliado ou tornado mais complexo pelo trabalho. A asma brônquica, a dermatite de contato alérgica, a perda auditiva induzida pelo ruído (ocupacional), doenças músculo-esqueléticas e alguns transtornos mentais exemplificam esta possibilidade, na qual, em decorrência do trabalho, somam-se (efeito aditivo) ou multiplicam-se (efeito sinérgico) as condições provocadoras ou desencadeadoras destes quadros nosológicos;

- agravos à saúde específicos, tipificados pelos acidentes do trabalho e pelas doenças profissionais. A silicose e a asbestose exemplificam este grupo de agravos específicos.

Os três últimos grupos constituem a família das doenças relacionadas ao trabalho. A natureza dessa relação é sutilmente distinta em cada grupo. O quadro 13 resume e exemplifica os grupos das doenças relacionadas de acordo com a classificação proposta por Schilling (1984).

GRUPO I: doenças em que o trabalho é causa necessária, tipificadas pelas doenças profissionais, *stricto sensu*, e pelas intoxicações agudas de origem ocupacional.

GRUPO II: doenças em que o trabalho pode ser um fator de risco, contributivo, mas não necessário, exemplificadas pelas doenças comuns, mais freqüentes ou mais precoces em determinados grupos ocupacionais e para as quais o nexo causal é de natureza eminentemente epidemiológica. A hipertensão arterial e as neoplasias malignas (cânceres), em determinados grupos ocupacionais ou profissões, constituem exemplo típico.

GRUPO III: doenças em que o trabalho é provocador de um distúrbio latente, ou agravador de doença já estabelecida ou preexistente, ou seja, concausa, tipificadas pelas doenças alérgicas de pele e respiratórias e pelos distúrbios mentais, em determinados grupos ocupacionais ou profissões.

Entre os agravos específicos estão incluídas as doenças profissionais, para as quais se considera que o trabalho ou as condições em que ele é realizado constituem causa direta. A relação causal ou nexo causal é direta e imediata. A eliminação do agente causal, por medidas de controle ou

substituição, pode assegurar a prevenção, ou seja, sua eliminação ou erradicação. Esse grupo de agravos, Schilling I, tem, também, uma conceituação legal no âmbito do SAT da Previdência Social e sua ocorrência deve ser notificada segundo regulamentação na esfera da Saúde, da Previdência Social e do Trabalho.

**Quadro 13.** Classificação das Doenças Segundo sua Relação com o Trabalho.

<b>Categoria</b>	<b>Exemplos</b>
I - Trabalho como causa necessária	Intoxicação por chumbo Silicose Doenças profissionais legalmente reconhecidas
II - Trabalho como fator contributivo, mas não necessário –	Doença coronariana Doenças do aparelho locomotor Câncer Varizes dos membros inferiores
III - Trabalho como provocador de um distúrbio latente, ou agravador de doença já estabelecida	Bronquite crônica Dermatite de contato alérgica Asma Doenças mentais

FONTE: Adaptado de Schilling, 1984.

Os outros dois grupos, Schilling II e III, são formados por doenças consideradas de etiologia múltipla, ou causadas por múltiplos fatores de risco. Nessas doenças comuns, o trabalho poderia ser entendido como um fator de risco, ou seja, um atributo ou uma exposição que estão associados com uma probabilidade aumentada de ocorrência de uma doença, não necessariamente um fator causal (LAST, 1995).

Portanto, a caracterização etiológica ou nexo causal será essencialmente de natureza epidemiológica, seja pela observação de um excesso de frequência em determinados grupos ocupacionais ou profissões, seja pela ampliação quantitativa ou qualitativa do espectro de determinantes causais, que podem ser melhor conhecidos a partir do estudo dos ambientes e das condições de trabalho.

A eliminação desses fatores de risco reduz a incidência ou modifica o curso evolutivo da doença ou agravo à saúde. Classicamente, os fatores de risco para a saúde e segurança dos trabalhadores, presentes ou relacionados

ao trabalho, podem ser classificados em cinco grandes grupos (BRASIL, 2001, p.277).

Físicos: ruído, vibração, radiação ionizante e não-ionizante, temperaturas extremas (frio e calor), pressão atmosférica anormal, entre outros;

Químicos: agentes e substâncias químicas, sob a forma líquida, gasosa ou de partículas e poeiras minerais e vegetais, comuns nos processos de trabalho;

Biológicos: vírus, bactérias, parasitas, geralmente associados ao trabalho em hospitais, laboratórios e na agricultura e pecuária;

Ergonômicos e Psicossociais: decorrem da organização e gestão do trabalho, como, por exemplo: da utilização de equipamentos, máquinas e mobiliário inadequados, levando a posturas e posições incorretas; locais adaptados com más condições de iluminação, ventilação e de conforto para os trabalhadores; trabalho em turnos e noturno; monotonia ou ritmo de trabalho excessivo, exigências de produtividade, relações de trabalho autoritárias, falhas no treinamento e supervisão dos trabalhadores, entre outros;

Mecânicos e de Acidentes: ligados à proteção das máquinas, arranjo físico, ordem e limpeza do ambiente de trabalho, sinalização, rotulagem de produtos e outros que podem levar a acidentes do trabalho.

Diante do exposto, é possível a partir do levantamento do perfil ocupacional, a equipe de Saúde da Família, elaborar a teorização dos riscos à saúde dos profissionais objetos deste estudo, os quais manipulam produtos químicos, produtos de beleza e produtos de alimento; dos que exercem as atividades domiciliares no ramo de cabelereira/manicure/salão de beleza, no ramo de costureiras e no ramo de alimentos e nas ocupações individuais: serviços gerais, vendedores, doméstica, atendente, pedreiro e comerciante; riscos estes dos ambientes e processos de trabalho, a exemplo explicitaremos no quadro a seguir, os fatores de risco físico, químico, biológico, ergonômico, psicológico e de acidente, apenas dos profissionais de salão de Beleza e serviços gerais.

**Quadro 14.** Riscos à saúde dos trabalhadores dos salões de beleza do território da Região Sul do município de Uberlândia – MG

<b>Físico</b>	<b>Químico De Acidente</b>	<b>Biológico</b>	<b>Ergonômico</b>	<b>Psicológico</b>	<b>De Acidente</b>

Ruído	Risco de intoxicação na manipulação dos produtos químicos, como os alisantes e tinturas.	Intoxicação na manipulação dos produtos químicos, como os alisantes e tinturas. Risco de acidente com material perfuro cortante, no caso de manicures e podólogas.	Movimentos repetitivos, trabalho muito tempo em pé, postura inadequada, sobrecarga de trabalho	Vínculo empregatício precário, incerteza do futuro, ambientes com sobrecarga de trabalho e acúmulo de tarefas, pressão para realizá-las (jornada de trabalho intensa) pressão por produtividade	Queimadura no manuseio de aparelhos em temperatura elevada.
-------	--	--	--	---	---

**Quadro 15.** Riscos à saúde dos trabalhadores de Serviços Gerais do território da região sul do município de Uberlândia-MG

Físico	Químico De Acidente	Biológico	Ergonômico	Psicológico	De Acidente
Ruído, umidade, iluminação	Risco de intoxicação na manipulação dos produtos químicos	Sujidades no ambiente de trabalho	Postura corporal inadequada, movimentos repetitivos, sobrecarga de trabalho e acúmulo de tarefas	Vínculo empregatício precário, ambientes com sobrecarga de trabalho e acúmulo de tarefas, pressão para realizá-las,	Ambiente de trabalho desorganizado, ausência de utilização do EPI ou utilização incorreta, queda

Observam-se semelhanças entre os riscos à saúde dos profissionais de salão de beleza e dos serviços Gerais, ocasionados pelo ambiente e processo de trabalho a que estes trabalhadores estão expostos. Dentre eles, riscos ergonômicos, psicológicos e de acidentes, ocasionados por: ambientes com sobrecarga de trabalho e acúmulo de tarefas, pressão para realizá-las, trabalho muito tempo em pé, ausência de autonomia no planejamento e execução das

tarefas, ausência de treinamento e capacitação profissional, de organização das atividades, mobiliários inadequados, utilização de materiais e equipamentos obsoletos e estruturas físicas precárias.

No segundo momento, é preciso fazer o estudo sobre quais agravos à saúde os riscos mencionados podem ocasionar. Dentre eles, o estudo abordará sobre a Perda Auditiva Induzida pelo Ruído – PAIR, Distúrbio Osteomuscular Relacionado ao Trabalho – DORT, Intoxicação Exógena, Acidente de Trabalho Grave - ATG e Acidente de Trabalho em Crianças e Adolescentes, Acidente com Exposição ao Material Biológico – AEMB, Dermatoses Ocupacionais, Pneumoconiose, Câncer Relacionado ao Trabalho e Transtorno Mental Relacionado ao Trabalho. Abaixo exemplificamos os possíveis agravos nas ocupações de profissionais dos salões de beleza e serviços gerais.

Nos dois processos de trabalho mencionados é identificado a possibilidade da ocorrência dos agravos: Transtornos Mentais Relacionados ao Trabalho, Acidentes de Trabalho, Intoxicações Exógenas e LER/DORT. A probabilidade da ocorrência do Acidente com Exposição ao Material Biológico identifica-se no trabalho das manicures e podólogas. As Dermatoses Ocupacionais são relacionadas no trabalho dos serviços gerais.

Ao analisar a tabela dos riscos, elaborados anteriormente, com os respectivos agravos que estes podem ocasionar, percebe-se que os transtornos mentais e comportamentais são identificados nos profissionais de salão de beleza e profissionais de serviços gerais, correlacionando no estudo das doenças segundo CID -10 estes transtornos representam um valor de 4.746 pessoas. Importante se faz a análise e estudos das outras ocupações individuais, seus possíveis riscos e agravos e correlacionar com o adoecimento desta população, segundo a CID 10 levantadas no quadro 12.

Ainda podemos destacar que os fatores de adoecimento relacionados à organização do trabalho, em geral considerados nos riscos ergonômicos, podem ser identificados em diversas atividades, desde a agricultura tradicional até processos de trabalho modernos que incorporam alta tecnologia e sofisticadas estratégias de gestão. Os processos de reestruturação produtiva e globalização da economia de mercado, em curso, têm acarretado mudanças

significativas na organização e gestão do trabalho com repercussões importantes sobre a saúde do trabalhador. Entre suas consequências destacam-se os problemas osteomusculares e o adoecimento mental relacionados ao trabalho, que crescem em importância em todo o mundo.

A exigência de maior produtividade, associada à redução contínua do contingente de trabalhadores, à pressão do tempo e ao aumento da complexidade das tarefas, além de expectativas irrealizáveis e as relações de trabalho tensas e precárias, constituem fatores psicossociais responsáveis por situações de estresse relacionado ao trabalho.

Percebe-se que é necessário o aprofundamento do estudo epidemiológico, o qual deve ser objeto das equipes do PSF a análise e planejamento territorial a partir de todas estas informações estudadas, a fim de que o foco seja a prevenção do adoecimento da população com um olhar não só na queixa mas um olhar correlacionado com a ocupação profissional desta população, mapeando os riscos das ocupações de maior prevalência e seus possíveis agravos, intervindo com ações preventivas.

Este tema de grande importância surgiu neste estudo, pela necessidade de estabelecimento do nexo entre adoecimento e trabalho, onde há a necessidade dos profissionais da saúde da Atenção Básica, no atendimento ao usuário, sempre perguntarem a ocupação, o ramo de atividade do trabalhador, pois estas informações que permitem a identificação do acidente ou doença.

Segundo Cangussu (2014), sem a realização do nexo não há notificação dos agravos relacionados e a ausência desta, por sua vez, impossibilita a informação para a intervenção, através das ações de vigilância nos ambientes e processos de trabalho. Há invisibilidade do processo saúde-trabalho-doença, principalmente quando se refere a trabalhadores informais.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente estudo objetivou identificar o perfil de saúde dos trabalhadores e os processos produtivos, bem como os principais agravos e situações de riscos relacionados ao trabalho formal e informal nos territórios das Unidades Básicas de Saúde da Família, no setor Sul, em Uberlândia/MG.



E tendo em mãos os dados, coube analisá-los e agrupá-los, obtendo assim, êxito no objetivo proposto.

Além disso, a análise do referencial teórico apresentado permitiu compreender a importância do diagnóstico do perfil ocupacional e da relação saúde-doença no planejamento e execução das ações de saúde, em especial de saúde do trabalhador, visto que é a partir deste conhecimento e identificação que podemos propor medidas de prevenção e promoção.

Igualmente, a apropriação do conhecimento do perfil produtivo identificado a partir das atividades produtivas desenvolvidas no território, contribuirá para que os profissionais do Programa de Saúde da Família possam efetivar a implementação da Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora - PNSTT no SUS.

Também, foi relevante utilizar os dados secundários nas fichas do Consolidado do Perfil Ocupacional da ESF/PACS referente ao ano de 2013, pois percebeu-se a riqueza das informações ao analisar as variáveis e fazer o tratamento dos dados brutos em consonância com o marco teórico.

Por certo, o estudo compreende o predomínio nos territórios de atuação das equipes dos riscos potenciais em relação às atividades produtivas domiciliares e às ocupações. E tais atividades produtivas, os riscos para a saúde delas decorrentes, o perfil epidemiológico da população trabalhadora, devem ser consideradas no planejamento das ações de vigilância e assistência à saúde, pelas Unidades de Saúde, e permitiu responder às questões propostas inicialmente.

O diagnóstico situacional trouxe informações do território em estudo relativas aos dados de atividades produtivas e indicadores de saúde, sendo identificada a prevalência de atividades domiciliares informais, nos vários ramos de atividade (Comércio/vendas, Cabeleireira/Manicure/Salão beleza, Costureiras e atividades domiciliares no ramo de Alimentos). Estudos citados mostraram que as várias atividades profissionais apresentam riscos à saúde, podendo ocasionar doenças ocupacionais.

Com relação à ocupação individual e sua consequente relação com a saúde, pode-se destacar que as principais ocupações são os Serviços Gerais e

as Domésticas e considera-se prioritária a intervenção nestas ocupações devido aos riscos e agravos relacionados à atividade.

A pesquisa revelou que a maioria dos trabalhadores da região sul de Uberlândia encontram-se na situação de informalidade no domicílio e sujeitos a condições extremamente insalubres e perigosas, geralmente invisíveis aos órgãos fiscalizadores (por não existirem legalmente) e grande parte das vezes ao SUS, que não tem relacionado o acidente ou adoecimento à ocupação do usuário trabalhador.

Além disso, no caso do trabalho domiciliar, também estão sujeitos não só o trabalhador mas há à exposição da família aos riscos, que, ainda que não estejam trabalhando, estão inseridos neste mesmo ambiente laboral, grande parte, sequer tendo conhecimento dos riscos a que estão expostos.

Percebe-se no marco teórico, que os trabalhadores informais encontram-se desamparados, tendo como única esperança, a efetivação das políticas públicas do SUS, que se propõe a atenção integral à saúde dos trabalhadores, independente do vínculo empregatício, através do princípio da universalidade. Mas ainda há caminhos a serem percorridos até que essa legislação possa ser vivenciada na prática, assim como deve ser.

Para tanto se faz necessário identificar os desafios existentes, readequando-os em busca da superação. Esta análise deve ser iniciada pela Atenção Básica à Saúde, porta de entrada do SUS, através da Estratégia Saúde da Família dos territórios em estudo.

Importante ressaltar que os Agentes Comunitários de Saúde, contribuíram com a coleta de dados, e diagnóstico situacional, portanto se faz importante o retorno da análise destes dados, para que haja uma participação efetiva, já que os mesmos conhecem bem a realidade dos trabalhadores locais. E com base nestes resultados, faz-se necessário dar um *feedback* do estudo final e elaborar coletivamente com as Unidades de Saúde e Cerest, um adequado planejamento das futuras ações de intervenção em Saúde do Trabalhador.

Todavia, muitas informações não são analisadas e aproveitadas pela equipe da ESF no planejamento de suas ações, tendo em vista a alta demanda de metas a serem cumpridas e assim comprometendo o planejamento e

realização de atividades que tenham como base as informações trazidas do território. No cotidiano das práticas de saúde destes serviços, o papel do trabalho enquanto determinante do processo saúde-doença dos indivíduos não está incorporada de forma sistematizada.

Nesse contexto, verifica-se que há lacuna no processo de geração de dados e análise pelas equipes das Unidades de Saúde, sendo o momento de fortalecer o papel do CEREST nesta rede, onde se deve valorizar o planejamento de ações a partir do mapeamento das atividades produtivas e do perfil dos usuários trabalhadores nos território da Atenção Básica à saúde, porta de entrada do SUS e espaço de implementação da PNSTT.

Para tanto, faz-se necessário que o CEREST invista seus esforços ao apoio matricial e educação permanente com o objetivo de instrumentalizar e sensibilizar estas equipes em ações de promoção, prevenção e vigilância, que deverá ocorrer através de participações intra e intersetoriais, nos territórios adscritos.

A Portaria da RENAST, vigente, define como papel dos CEREST o apoio técnico na implantação de ações de ST nos serviços do SUS. Considerando que a APS é o contato preferencial do usuário, uma das principais estratégias do CEREST para facilitar a consolidação do cuidado integral aos trabalhadores no SUS, é o suporte técnico aos profissionais e a contribuição ao estabelecimento dos fluxos e protocolos para a atenção aos usuários.

Enfim, se tomarmos como referência os três eixos de atuação – Promoção, Proteção e Vigilância e a Assistência à Saúde - para se alcançar a integralidade da atenção, é possível identificar em cada um deles, ações essenciais de Saúde do Trabalhador.

No eixo da Promoção da Saúde - reconhecer o trabalho como oportunidade de saúde considerando que não existe doença inerente ao trabalho, mas que a forma de inserção no “mundo do trabalho” é um dos componentes básicos da determinação social do processo saúde-doença. Nesse sentido, é essencial empoderar os trabalhadores para que eles participem do cuidado – individual e coletivamente - da saúde e das lutas pela melhoria das condições de vida e trabalho.

No eixo da Proteção e Vigilância da Saúde: reconhecer a presença de perigos e de riscos para a saúde e o ambiente, para antecipar e prevenir os danos e mudar os processos de trabalho geradores de doença e morte evitáveis.

No eixo da Assistência à Saúde: conhecer as atividades produtivas desenvolvidas e o perfil dos trabalhadores que vivem e trabalham em um dado território de saúde, para planejar adequadamente as ações de vigilância e de assistência à saúde, estabelecendo, quando presente, a relação entre o adoecimento e o trabalho e desencadear os desdobramentos legais, trabalhistas e previdenciários cabíveis.

Efetivamente é necessário promover pactuações de ações de Vigilância e Assistência, nos níveis mais complexos da rede; bem como desenvolver, com o apoio das referências técnicas em ST do CEREST, projetos específicos voltados para a melhoria das condições de trabalho nas atividades produtivas, em especial as desenvolvidas nos espaços domiciliares; informar as famílias e aos trabalhadores, utilizando estratégias de comunicação de risco e de educação ambiental, sobre os riscos potenciais em relação às atividades produtivas domiciliares e às ocupações; promover a qualificação e educação permanente dos profissionais da ABS em ST, incentivando o trabalho multidisciplinar e interinstitucional; no cuidado e atenção integral à Saúde do Trabalhador e garantir no acolhimento e nas consultas clínicas na UBS seja identificada a condição de trabalhador e ou a ocupação do usuário no cadastro e nos atendimentos na UBSF a suspeita e ou o estabelecimento da relação entre o agravo ou doença com a situação de trabalho e estruturar a linha de cuidado por meio da elaboração de protocolos – linhas guia – e definir fluxos para a assistência e a vigilância.

Ainda, efetivar e valorizar a educação permanente em saúde, por meio de instrumentos informativos e processos de formação sobre saúde do trabalhador e políticas de saúde para entidades e lideranças sindicais, profissionais, gestores e conselheiros, visando ao fortalecimento de sua atuação no controle social do SUS.

Além da formação dos recursos humanos, seria importante a implementação de um sistema logístico de informatização da comunicação ágil, que integrasse os diversos setores envolvidos nas políticas públicas de saúde do trabalhador.

Importante se faz, ao estabelecer o elenco de ações de Saúde do Trabalhador que deverão ser desenvolvidas, definidas a partir do diagnóstico da situação de saúde baseado no perfil produtivo e perfil epidemiológico dos agravos relacionados ao trabalho, inserir nos instrumentos de gestão do SUS, a exemplo nos Planos Municipais de Saúde, que serão submetidos à deliberação dos respectivos Conselhos de Saúde.

Por fim, consideramos que esta pesquisa possa subsidiar futuras investigações, pois há de se fazer estudos mais aprofundados da relação do adoecimento e riscos à saúde com os processos de trabalho.

Além disso, faz-se necessário também analisar a situação da saúde dos trabalhadores nos demais territórios da cidade, a fim de contribuir com o planejamento de ações a estas questões, que realmente venha de encontro à necessidade da população.

Espera-se que a discussão contribua com a efetiva implementação da Política Nacional de Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora (PNSTT) no SUS, percebendo que apesar de todos os esforços do CEREST Regionais neste sentido, e de vários avanços alcançados desde a Constituição Federal de 1988, ainda hoje são muitos os desafios a serem superados.

O Sistema Único de Saúde deve encarregar-se do papel de vigilância da saúde dos trabalhadores, assim como da integração das políticas internas da saúde que afetam o trabalho. Os Centros de Referência em Saúde do Trabalhador devem ser compreendidos como pólos irradiadores, no âmbito de um determinado território, da cultura especializada, subentendida na relação processo de trabalho – processo saúde/doença, assumindo a função de suporte técnico e científico desse campo do conhecimento. Suas atividades só fazem sentido se articuladas com os demais serviços da rede do SUS, orientando-os e fornecendo retaguarda às suas práticas, de forma que os agravos à saúde relacionados ao trabalho possam ser atendidos em todos os níveis de atenção do SUS, de forma integral e hierarquizada.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. E. S., CUNHA, T. R.A.. Memória do trabalho domiciliar e gênero. In: Seminário Internacional Fazendo Gênero: Diásporas, Diversidades, Deslocamentos Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. p. 1-10.

ANTUNES, R. *Os modos de ser da informalidade: rumo a uma nova era da precarização estrutural do trabalho?* Serv. soc. São Paulo, n. 107, p. 405-419, 2011.

BRAGA TS. A ocupação informal na região metropolitana de Salvador: uma análise das décadas de oitenta e noventa. In: *8º Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais*. Ouro Preto. Ouro Preto: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2002.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Referência técnica para o funcionamento dos serviços de estética e embelezamento sem responsabilidade médica*. Brasília, DF: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2009.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução RDC nº 49, de 31 de outubro de 2013*. Dispõe sobre a regularização para o exercício de atividade de interesse sanitário do microempreendedor individual, do empreendimento familiar rural e do empreendimento econômico solidário e dá outras providências. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0049\\_31\\_10\\_2013.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2013/rdc0049_31_10_2013.html) Acesso em: 10 jul. 2016.

BRASIL. Constituição (1988). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Decreto nº 7.602, de 7 de novembro de 2011. Dispõe sobre a Política Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho - PNSST. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 7 nov. 2011. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7602.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Decreto/D7602.htm). Acesso em: 10 ago. 2016

BRASIL. *Diretrizes para Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos*. Brasília: Ministério da Saúde, 2010.

BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília: Casa Civil, 1990.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Departamento de Atenção Básica. Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. Área Técnica de Saúde do Trabalhador Saúde do trabalhador. *Cadernos de Atenção Básica*. Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência à Saúde. Coordenação de Saúde da Comunidade. Saúde da Família: uma estratégia para a reorientação do modelo assistencial. *Diário Oficial da União*. Brasília: Ministério da Saúde, 1997.



BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Política nacional de atenção básica / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, *Departamento de Atenção à Saúde*. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Política Nacional de Saúde do Trabalhador para o SUS*. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. 3ª Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador: 3ª CNST: *Trabalhar, sim! adoecer, não!*. : coletânea de textos. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. *Política Nacional de Promoção da Saúde*., Brasília: Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: <[www.saude.gov.br](http://www.saude.gov.br)>. Acesso em: 20 jul. 2016.

BRASIL. Portaria n. 1.823 de 23 de agosto de 2012. Institui a Política Nacional de Saúde do trabalhador e da Trabalhadora. *Diário Oficial da União*. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.

BRASIL. Portaria nº 2.488/ GM, de 21 de outubro de 2011. Aprova a Política Nacional de Atenção Básica, estabelecendo a revisão de diretrizes e normas para a organização da Atenção Básica, para a Estratégia Saúde da Família (ESF) e o Programa de Agentes Comunitários de Saúde (PACS). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. Portaria nº 3.120, de 1º de julho de 1998. Instrução Normativa de Vigilância em Saúde do Trabalhador no SUS. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília: Ministério da Saúde, 1998.

BRASIL, PORTARIA nº 3.252 de 22 de dezembro de 2009. Aprova as diretrizes para execução e financiamento das ações de Vigilância em Saúde pela União, Estados, Distrito Federal e Municípios e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília: Ministério da Saúde, 2009.

BRASIL. PORTARIA nº 4.279, de 30 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes para a organização da Rede de Atenção à Saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União*, Brasília: Ministério da Saúde, 2010.

BRAVO, Maria Inês Sousa. et al. *Saúde e Serviço Social*. 3. ed. São Paulo: Cortez; Rio de Janeiro: UERJ, 2007.

BRITTO, M. das G. M. *Obrigatoriedade da licença para funcionamento em salões de beleza no Distrito Federal*. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdisan/article/view/79841>. Acesso em: 20 ago. 2016.

CANGUSSU, B. M. A categoria território como ferramenta estratégica no planejamento das ações de vigilância em saúde do trabalhador no SUS: uma



experiência participativa na região sul do município de Palmas – Tocantins. 2014.

CASAROTTO R. A.; MENDES, L.F. Queixas, doenças ocupacionais e acidentes de trabalho em trabalhadores de cozinhas industriais. *Rev. bras. saúde ocup.* vol.28 no.107-108 São Paulo 2003.

CARNEIRO, T. L; FERREIRA, M. C. Redução de jornada melhora a Qualidade de Vida no Trabalho? A experiência de uma organização pública brasileira. *Psicologia*, Florianópolis, v. 7, p. 131-158, 2007.

CARVALHO, B. G.; MARTIN, G. B.; CORDONI JUNIOR, L. A organização do sistema de saúde no Brasil. In: ANDRADE, S. M.; SOARES, D. A.; CORDONI JUNIOR, L. (Org.). *Bases da saúde coletiva*. Londrina: Eduel, 2001. p.27-56.

CHIAVEGATTO, C. V. *Percepção dos profissionais de nível superior da atenção primária quanto ao desenvolvimento de ações de saúde do trabalhador no SUS em Minas Gerais*. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública)-Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CISNE A. M. B., Oliveira L. S., Santos P. J. P., Pinto V. R. S. *Trabalhadores do comércio: como não negociar a saúde*. São Paulo: Instituto Brasileiro de Saúde e Meio Ambiente, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE SEECRETÁRIOS DE SAÚDE. Atenção Primária-Seminário do Conass para construção de consensos /Conselho Nacional de Secretários de Saúde. - Brasília : CONASS, 2004.44 p., (CONASS Documenta ; v.2)

COSTA E.A. Regulação e vigilância: proteção e defesa da saúde. In: *Epidemiologia & saúde*. 7. ed. Rio de Janeiro: MedBook, 2012. p. 493-520.

CUNICO, Mirian Machado LIMA, Cristina Peitz de. *Os cosméticos e os riscos da vaidade precoce*. Cidade: editora, 2012.

DIAS, E. C. Setor informal de trabalho: um novo-velho desafio para a saúde do trabalhador. IN; SALIM, C. A.; Carvalho L. F. *Saúde e segurança no ambiente de trabalho: contextos e vertentes*. São João Del Rei: Universidade Federal de São João Del Rei, 2002.

DIAS, E. C.; HOEFEL, M. da G. O desafio de implementar as ações de saúde do trabalhador no SUS: a estratégia da RENAST. *Ciência & Saúde Coletiva*, Cidade, v. 10, n. 4, p. 817–827, dez. 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-81232005000400007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232005000400007). Acesso em: 5 ago. 2015.

DIAS, E. C.; LACERDA E SILVA, T.; ALMEIDA, M. H. C. Desafios para a construção cotidiana de ações de Vigilância em Saúde do Trabalhador e

Ambiental na Atenção Primária à Saúde. *Cadernos de Saúde Coletiva*, Cidade: v. 20, n. 1, p. 15-24, 2012.

DIAS, E.C.; SILVA, T.L. *Contribuições da Atenção Primária em Saúde para a implementação da Política Nacional de Saúde e Segurança no Trabalho (PNSST)*. Rev. bras. saúde ocup. vol.38 no.127 São Paulo Jan./June 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0303-76572013000100007>

DIAS, Elizabeth Costa, SILVA, Thais Lacerda. *Saúde do Trabalhador na Atenção à Saúde: possibilidades, desafios e perspectivas*. Belo Horizonte: Coopmed, 2013.

DONABEDIAN, Aspects of medical care administration: specifying requirements for health care. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1973.

FONSECA, Estela da Silva et al. Análise Ergonômica do Trabalho em um salão de beleza no município de Viçosa–MG. *VI Workshop de Análise Ergonômica do Trabalho. III Encontro Mineiro de Estudos em Ergonomia. VIII Simpósio do Programa Tutorial em Economia Doméstica*, Viçosa, MG: editora 2013.

FREITAS, N.B.B.; ARCURI, A.S.A. *Riscos devido a substâncias químicas*. São Paulo: Kingraf, 2000.

GARBACCIO, Juliana Ladeira; OLIVEIRA, Adriana Cristina de. O risco oculto no segmento de estética e beleza: uma avaliação do conhecimento dos profissionais e das práticas de biossegurança nos salões de beleza. *Texto & contexto enferm.* Cidade, v. 22, n. 4, p. 989-998, 2013.

GHISI J, Santin N. C. *Avaliação do possível crescimento de fungos em amostras de lixas de unha metálicas coletadas em centros de estéticas e residências do município de Campos Novos, SC*. Disponível em: [editora.unoesc.edu.br/index.php/acbs/article/download/680/pdf\\_127](http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acbs/article/download/680/pdf_127). Acesso em: 25 ago. 2016.

GREGOLIS, Thais Blaya Leite; PINTO, Wagner de Jesus; PERES, Frederico. *Percepção de riscos do uso de agrotóxicos por trabalhadores da agricultura familiar do município de Rio Branco*. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0303-76572012000100013](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0303-76572012000100013). Acesso em: 05 ago. 2016.

HOEFEL M. G., Dias E. C.; Silva J. M.. *A atenção à Saúde do Trabalhador no SUS: a proposta de constituição da RENAST*. Brasília, Ministério da Saúde, 2005.

IRIART, Jorge Alberto Bernstein et al. Representações do trabalho informal e dos riscos à saúde entre trabalhadoras domésticas e trabalhadores da construção civil. *Ciênc. saúde coletiva*, Cidade: v. 13, n. 1, p. 165-174, 2008.

LACAZ, F. A. de C. Conhecimentos, práticas em Trabalho-Saúde e as abordagens da medicina social e da medicina do trabalho no Brasil: final do século XIX até os anos 1950-60. *Cadernos de Psicologia Social do Trabalho*, Cidade, v. 10 n.1, jun. 2007.

LACAZ, F. A. de C. Saúde dos trabalhadores: cenário e desafios. *Cadernos de Saúde Pública*, Cidade, v. 13, 1997.

LACAZ, F. A. C. *Saúde do Trabalhador*: um estudo sobre as formações discursivas da academia, dos serviços e do movimento sindical. 1996. N° de folhas. Tese de doutorado - Faculdade de Ciências Médicas. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1996.

LACAZ, F. A. C.; MACHADO, J. M. H.; PORTO, M. F. S. *Relatório Final do Projeto*. Estudo da situação e tendências da Vigilância em Saúde do Trabalhador no Brasil. Cidade: OPAS/ Abrasco, 2002.

LAGUARDIA, Filipe Curzio et al (org.). *Instrutivo para execução e avaliação das ações de vigilância em saúde: projeto fortalecimento da vigilância em saúde em Minas Gerais (Resolução SES nº 4.238/2014)* Belo Horizonte: SES-MG, 2014

LAST, J. M. Dictionary of epidemiology. 3th ed. Oxford: Oxford University, 1995

LAVINAS, L. ET AL. *Trabalho a domicílio*: novas formas de contratação. Rio de Janeiro. IPEA, 1998.

LOTUFO, P. A.; LOLIO, C. A. Tendências de evolução da mortalidade por doenças cardiovasculares: o caso do estado de São Paulo. In: MONTEIRO, C. A. (Org.). Velhos e novos males da saúde no Brasil: a evolução do país e de suas doenças. São Paulo: Hucitec, Abrasco, Edusp, 1995, p. 279-288.

MAÇÃIRA, Elayne de Fátima. *Morbidade respiratória em trabalhadores em limpeza interna da região metropolitana do Estado de São Paulo*. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

MACHADO, J. M. H. Alternativas e processos de vigilância em Saúde do Trabalhador: a heterogeneidade da intervenção. 1996. 149 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública)-Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1996

MACIEL, A. C. C. et al. Prevalência dos fatores associados à sintomatologia dolorosa entre profissionais da indústria têxtil. *Revista Brasileira de epidemiologia*, São Paulo, vol. 9, n. 1 março 2006

MARTINS, A. *Mudança temporária de limiar*: Um estudo em cabelereiros. 2001. 52 f. Monografia (Especialização em fonoaudiologia clínica). Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica, 2001.



MEDINA, M. C. G. A aposentadoria por invalidez no Brasil. São Paulo, 1986. Tese (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo

MENDES, R.; DIAS, E. C. Saúde dos trabalhadores. In: ROUQUAYROL M. Z.; ALMEIDA FILHO, N. (Eds.). Epidemiologia & Saúde. 5. ed. Rio de Janeiro: Medsi, 1999, p. 431-456.

MENDES, E.V. Atenção Primária à saúde. Mimeo, 2002.

MENDES, E. V. O cuidado das condições crônicas na atenção primária à saúde: o *imperativo da consolidação da estratégia da saúde da família*. Brasília: OPAS, 2012.

MENDES, E. V. *As redes de atenção à saúde*. Belo Horizonte: Escola de Saúde Pública de Minas Gerais; 2009.

MENDES, E. V. *As redes de atenção à saúde*. Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 15, n. 5, p. 2297-2305, ago. 2010.

MENDES, E. V. Agora mais do que nunca – uma revisão bibliográfica sobre Atenção Primária à Saúde. In: *Conselho Nacional De Secretários De Saúde: Oficinas de Planificação da Atenção Primária à Saúde nos Estados*. Brasília: CONASS, 2009.

MENDES, Eugênio Vilaça (org.). As políticas de saúde no Brasil nos anos 80: Conformação da reforma Sanitária e a Construção da Hegemonia do Projeto Neoliberal. In: *Distrito Sanitário: O processo social de mudança das práticas sanitárias do Sistema Único de Saúde*. 3. ed. São Paulo - Rio de Janeiro: Hucitec-Abrasco, 1995.

MENDES, René; CAMPOS, Ana Cristina Castro. Saúde e segurança no trabalho informal: desafios e oportunidades para a indústria brasileira. *Rev Bras Med Trab*, Cidade, v. 2, n. 3, p. 209-223, 2004.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. Subsecretaria de Vigilância e Proteção à Saúde. Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde em Minas Gerais. SES, Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2012.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. Resolução SES Nº 3.049, de 07 de dezembro de 2011. Aprova o edital de convocação para adesão dos municípios ao Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde no Estado de Minas Gerais. SES. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RESOLUCaO%20SES%203152-%20Vigilancia%20em%20Saude.%2028.02%20RQ.pdf>. Acesso: 03 mai. 2016.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. Resolução SES Nº 3.152, de 14 de fevereiro de 2012. Aprova o edital de convocação para adesão dos municípios ao Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde no Estado de Minas Gerais. SES. Disponível em: <http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RESOLUCaO%20SES%203152-%20Vigilancia%20em%20Saude.%2028.02%20RQ.pdf>. Acesso: 03 mai. 2016.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. Resolução SES Nº 3717, 17 de abril de 2013. Divulga o Edital nº 01/2013 de convocação para adesão ao Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde e dá outras providências. SES. Disponível em: [http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/resolu%C3%A7%C3%A3o\\_3717.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/resolu%C3%A7%C3%A3o_3717.pdf). Acesso: 03 mai. 2016.

MINAS GERAIS. Secretaria do Estado de Saúde. Resolução SES/MG nº 4.238, de 19 de março de 2014. Institui o Edital de convocação para adesão ao Projeto de Fortalecimento da Vigilância em Saúde, para o exercício 2014-2015. Disponível em: [http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/resol%C3%A7%C3%A3o\\_4238.pdf](http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/resol%C3%A7%C3%A3o_4238.pdf). Acesso em: 13 ago. 2015.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Organização Pan-Americana da Saúde no Brasil. Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para os serviços de saúde / Ministério da Saúde do Brasil, Organização Pan-Americana da Saúde no Brasil; organizado por Elizabeth Costa Dias ; colaboradores Idelberto Muniz Almeida et al. – Brasília: Ministério da Saúde do Brasil, 2001.

MINAYO-GOMEZ, C.; THEDIM-COSTA, S. M. DA F. *A construção do campo da saúde do trabalhador: percurso e dilemas*. Cadernos de Saúde Pública, vol.13, Rio de Janeiro 1997.

MORAES, M. A. A. et al. Sintomas músculos esqueléticos e condições de trabalho de costureiras de um hospital universitário. *Revista Paulista de Enfermagem*, Cidade, v. 21, n. 3, p. 249-54, 2002

MOREIRA A. C. A., SILVA F. L., SILVA K. F., MOREIRA J. L. Grau de informações dos profissionais de salões de beleza sobre AIDS e hepatite. *Rev Ciênc Méd Biol*, Cidade, v. 12, n. 3, p. 359-366, 2013.

MOTTA, P.T, CARVALHO, R. L. R., DUARTE, M. E. L., ROCHA, A. D. M. Análise dos acidentes de trabalho do setor de atividade econômica comércio no município de Belo Horizonte. *REME Rev Min Enferm*, Cidade, v. 15, p. 427-433, 2011.

NASCIMENTO, Simone Daniel do. Produtos químicos domésticos: ações contextualizadas em educação ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Centro de Ciências e Tecnologia Universidade Estadual da Paraíba, 2014. 42p.

PADOVANI, Ariovaldo. *SST em serviços terceirizados de limpeza e conservação: aspectos gerais*. 2011. Disponível em: <http://www.areaseg.com/pdf/sstemservicosterceirizados.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2016.

PAIM J. S. *O QUE É SUS?* Rio de Janeiro: Fiocruz; 2009. 148 p.

PAIZANTE, G. O. *Análise dos fatores de risco da coluna lombar em costureiras de uma fábrica de confecção de moda íntima masculina no município de Muriaé – MG*. 2006. 69f. Dissertação (Mestrado em meio ambiente e sustentabilidade) Centro Universitário de Caratinga. 2006.

PEIXOTO, Neverton Hofstadler; FERREIRA, Leandro Silveira. *Higiene Ocupacional I* - Santa Maria: UFSM, CTISM. Rede e-Tec Brasil, 2012.

POÇO, J.L.C. O processo de desconcentração na atenção em saúde do trabalhador: A experiência do CEREST de Juiz de Fora/MG. Monografia (conclusão de curso de especialização) - HC/UFGM/CEREST, Belo Horizonte, 2008

POLIT, D. F.; HUNGLER, B. P. - Fundamentos de pesquisa em enfermagem. 3. ed., porto Alegre, Artes Médicas, 1995. 391p.

PORTO, M. F. S.; LACAZ, F. A. C.; MACHADO, J. H. M. Promoção da saúde e intersectorialidade: contribuições e limites da vigilância em Saúde do Trabalhador no Sistema Único de Saúde (SUS). *Saúde em Debate*, Rio de Janeiro, v. 27 n. 65, p. 192-206, set./dez. 2003.

RENAST. 3ª Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador. : *Trabalhar sim! Adoecer não! Coletânea de Texto*. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

REY, A. M.; SILVESTRE, A. A. *Comer sem riscos 1* – manual de higiene alimentar para manipuladores e consumidores. São Paulo: Varela, 2009.

ROUQUAYROL. M. Z.; FILHO. N. A. *Epidemiologia &Saúde*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2003,736p

SANCHES, Solange. *Trabalho doméstico: desafios para o trabalho decente*, Rev. Estud. Fem. vol.17 no.3 Florianópolis Sept./Dec. 2009.

SANTORUM, K. M. T. *Pelas fendas do trabalho vivo: textos, contextos e atos na atividade de vigilância em Saúde do Trabalhador*. 2006. 173 f. Tese (Doutorado em Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana) - Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2006.

SCHILLING, R. S. F. More effective prevention in occupational health practice. *Journal of the Society of Occupational Medicine*, n. 39, p. 71-79, 1984.



SENA, R. B. et al. Análise dos riscos ergonômicos em costureiras: Utilizando o Software Era (Ergonomic Risk Analysis) em uma empresa do Pólo de Confecções do Agreste de Pernambuco. *Enegep*. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_tn\\_sto\\_072\\_514\\_11382.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_sto_072_514_11382.pdf).

Acesso em: 22 ago. 2016.

SILVA L. M. S., SILVA D. C., DINIZ J. S., FELIPE I. M. A., NUNES S. P.H. Prevenção da transmissão de hepatites virais entre manicures e pedicures: uma revisão. *Infarma*, Cidade, v. 26, n. 2, p. 82-89, 2014.

SILVEIRA, A. M.; RIBEIRO, F. S. N.; LINO, A. de F. P. F. O Controle social no SUS e a RENAST. In: Conferência Nacional de Saúde do Trabalhador, 3, 2005, Brasília. Trabalhar sim, adoecer não: textos de apoio. Brasília, 2005.

SOUZA M. E. A; SANTOS J. A. S.; SIMONASSI, M. *Mecanismos de proteção dos direitos fundamentais*. Disponível em: [fadipa.educacao.ws/ojs-2.3.3-3/index.php/cjuridicas/article/download/133/pdf](http://fadipa.educacao.ws/ojs-2.3.3-3/index.php/cjuridicas/article/download/133/pdf). Acesso em: 04 ago. 2016.

SOTO, F. R. M. Aplicação experimental de um modelo de conduta de inspeção sanitária no comércio varejista de alimentos. *Revista Ciência e Tecnologia Alimentar*, Campinas, v. 29, n.2. p. 371-374, abr.-jun., 2009. ISSN 0101-2061.

STARFIELD, B. *Atenção Primária: equilíbrio entre necessidades de saúde, serviços e tecnologia*. Brasília: UNESCO, Ministério da Saúde, 2002.

SUNDFELD C. O interesse público em sentido mínimo e em sentido forte: o problema da vigilância epidemiológica frente aos direitos constitucionais. In: FREITAS J; PASQUALINI A. (org). *Interesse público*. Porto Alegre: Fórum, 2004. p. 29-42.

VIANA, Ana L. As políticas de saúde nas décadas de 80 e 90: O (longo) período das reformas. In: CANESQUI, Ana Maria (org). *Ciências Sociais e Saúde para o ensino médico*. São Paulo: Hucitec, 2000.

VIEIRA, S. *Metodologia científica para a área da saúde*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

VILELA, R. A. G. *Desafios da vigilância e da prevenção dos acidentes do trabalho*. São Paulo: LTR, 2003.

ULYSSEA, G. Informalidade no mercado de trabalho brasileiro: uma resenha da literatura. *Rev Econ Política*. Cidade, v. 26, n. 4, 2006.

XAVIER, R. N. *Convivendo com o inimigo: cozinha domiciliar e risco de contaminação dos alimentos*. 2009. 42 f. Monografia (especialização) - Centro de Excelência em Turismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

**ANEXO A****Instrumento de Consolidado do Perfil Ocupacional da ESF**

Consolidado do Perfil Ocupacional da ESF	
Ano:	
Nome da ESF:	
Nº famílias cadastradas:	Nº famílias entrevistadas:
Nº de famílias cadastradas em ESF:	Nº de pessoas em idade ativa:



Nº de micro-áreas:							
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consolidado dos dados gerais da família</li> </ul>							
Dados de atividades domiciliares							
	Micro área 1	Micro área 2	Micro área 3	Micro área 4	Micro área 5	Micro área 6	Total
Nº de atividade domiciliar formal							
Nº de atividade domiciliar informal							
Manipulação de produto químico no domicílio							
Manipulação de produto de beleza no domicílio							
Manipulação de alimentos no domicílio							
Plantações no terreno do domicílio para consumo próprio							
Plantações no terreno do domicílio para comercialização							
Total							
Lista das principais atividades domiciliares –por micro-área							
Nome da micro-área				Lista das 10 principais atividades domiciliares- listar quantidade e nome da atividade domiciliar em ordem decrescente			
Micro área 1							
Micro área 2							
Micro área 3							
Micro área 4							
Micro área 5							
Micro área 6							
Consolidado da ESF							
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consolidado dos dados individuais dos trabalhadores-por micro-área</li> </ul>							
Nome da micro-área				Lista das 20 principais ocupações do território- Listar quantidade e nome da ocupação em ordem decrescente			
Micro área 1							
Micro área 2							
Micro área 3							
Micro área 4							
Micro área 5							
Micro área 6							
Consolidado da ESF							



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE QUÍMICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**INFLUÊNCIA DOS ÍONS  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  E  $\text{Gd}^{3+}$  NAS PROPRIEDADES  
FOTOLUMINESCENTES E FOTOCATALÍTICAS DO ÓXIDO DE  
ZINCO**

JULIANE ZACOUR MARINHO

UBERLÂNDIA - MG

2017

JULIANE ZACOUR MARINHO

**INFLUÊNCIA DOS ÍONS  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  E  $\text{Gd}^{3+}$  NAS PROPRIEDADES  
FOTOLUMINESCENTES E FOTOCATALÍTICAS DO ÓXIDO DE  
ZINCO**

Tese de Doutorado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Química do Instituto de Química da  
Universidade Federal de Uberlândia,  
como requisito à obtenção do título de  
Doutor em Química.

**Orientadora:** Profa. Dra. Renata Cristina de Lima

UBERLÂNDIA - MG

2017



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA



**Ata da defesa de TESE DE DOUTORADO junto ao Programa de Pós-Graduação em Química,  
do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia  
DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM QUÍMICA, NÚMERO 60/PPQUI.**

DATA: 17/02/2017

DISCENTE: Juliane Zacour Marinho

MATRÍCULA: 11313QMI003

TÍTULO DO TRABALHO: Influência dos íons  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$  nas propriedades fotoluminescentes e fotocatalíticas do óxido de zinco.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Química

LINHA DE PESQUISA: Ciência dos Materiais: Química do Estado Sólido

PROJETO DE PESQUISA DE VINCULAÇÃO: Estudo de materiais nanoestruturados obtidos via método hidrotermal.

Às quatorze horas do dia dezessete de fevereiro do ano dois mil e dezessete, no Auditório A/B, Bloco 5R, Campus Santa Mônica, reuniu-se a Banca Examinadora composta pelos Professores Doutores Maria Rita de Cássia Santos, da Universidade Federal de Goiás, Márcio de Sousa Góes, da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Edson Nossol e Rosana Maria Nascimento de Assunção, do Instituto de Química da UFU e Renata Cristina de Lima, orientador(a) e presidente da mesa. Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa apresentou o(a) candidato(a) e a Banca Examinadora, agradeceu a presença do público e discorreu sobre as normas e critérios para a realização desta sessão, baseadas na Norma Regulamentar nº 03/2013/PPQUI. Em seguida, o(a) presidente da mesa concedeu a palavra ao(à) candidato(a) para a exposição do seu trabalho e, em sequência, aos examinadores, em ordem sucessiva, para arguir o(a) apresentador(a). A duração da apresentação e o tempo de arguição e resposta deram-se conforme as normas do Programa. Ultimada a arguição, desenvolvida dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais e A provou o(a) candidata(o). Por sugestão da Banca Examinadora, o título do trabalho será o mesmo

Esta defesa de Tese de Doutorado é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. O competente diploma será expedido após cumprimento do estabelecido nas normas do Programa, legislação e regulamentação internas da UFU. As correções observadas pelos examinadores deverão ser realizadas no prazo máximo de 30 dias. Nada mais havendo a tratar, deu-se por encerrada a sessão às 18 horas e 51 minutos e lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pela Banca Examinadora.

Profª. Dra. Maria Rita de Cássia Santos – UFG

Prof. Dr. Edson Nossol – IQUFU

Prof. Dr. Márcio de Sousa Góes – UNILA

Profª Dra. Rosana Maria Nascimento de Assunção – IQUFU

Professor(a) Orientador(a): Renata Cristina de Lima – IQUFU

Dedico meu trabalho aos meus pais, Liliane e Sérgio por todo amor incondicional, exemplos de caráter e dedicação total à minha educação. Por acreditarem que a educação é o melhor caminho para prosperar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora por estar sempre presente em minha vida, dando-me forças para concluir todo esse percurso no caminho da ciência em minha vida.

À toda a minha família e de um modo bastante especial, aos meus pais, Liliane e Sérgio, à minha irmã Ana Luiza e à minha avó Antônia. Agradeço toda a ajuda recebida, a oração, o carinho, a compreensão e o amor incondicional.

À minha orientadora, Profa. Dra. Renata Cristina de Lima, pela oportunidade concedida de realizar este trabalho, pela orientação desde o mestrado, pelos ensinamentos, pela competência profissional e confiança.

Agradeço a todos os colegas de laboratório pela convivência, experiências compartilhadas e pelos momentos de risada para descontrair o ambiente.

Às amigas, Naiara, Fernanda e Samantha pelas conversas trocadas e pelas dicas na pesquisa.

Ao Prof. Dr. Antonio Otavio de Toledo Patrocínio e seu grupo de pesquisa LAFOT-CM/ IQ-UFU, em especial aos alunos Leonardo e Bárbara, pela amizade e pela realização dos testes fotocatalíticos.

Ao Prof. Dr. Noélio Oliveira Dantas e Profa. Dra. Anielle C. Almeida por conceder a utilização da estrutura do LNMIS (Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores) do Instituto de Física – UFU.

Ao Prof. Dr. Elson Longo e demais colaboradores do LIEC – UFSCar, em especial agradecimento ao Rori, a Ana, Rosana, Larissa, Leilane e Madalena, por terem possibilitado o acesso ao laboratório para a realização das medidas de caracterização.

Às queridas colegas Denise e Mônica pela dedicação e boa vontade durante as medidas de Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX).

As amigas Bárbara e Mônica pela boa vontade e paciência na hora de realizar as medidas de área superficial (BET) das amostras.

Aos meus queridos amigos Luiza, Laiz, Fernanda, Bárbara, Leandro, Samuel, Leonardo, Breno, Verônica, Fernando, Sinval, Danilo, Adriângela e Drielly por tornarem os meus dias mais leves e doces.

Aos demais amigos conquistados no Instituto de Química durante esses anos.

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Química - IQUFU e aos demais técnicos, pelo apoio e oportunidade de realizar este curso de pós-graduação.

Aos órgãos de fomento, FAPEMIG e CNPq pelo suporte financeiro durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Grupo de Pesquisa em Materiais Inorgânicos do Triângulo (GMIT) e Rede Mineira de Química.

À CAPES pela bolsa concedida.

*“Hoje, neste tempo que é seu, o futuro está sendo plantado. As escolhas que você procura, os amigos que você cultiva, as leituras que você faz, os valores que você abraça e os amores que você ama, tudo será determinante para a colheita futura.”*

Padre Fábio de Melo



## PUBLICAÇÕES

- F. C. Romeiro, J. Z. Marinho, A. C. A. Silva, N. F. Cano, N. O. Dantas, R. C. Lima. “Photoluminescence and magnetism in  $\text{Mn}^{2+}$ -doped ZnO nanostructures grown rapidly by the microwave hydrothermal method”, *Journal of Physical Chemistry C*, 117, 26222-26227, 2013.
- J.Z. Marinho, R.H.O. Montes, A.P. de Moura, E. Longo, J.A. Varela, R.A.A. Munoz, R.C. Lima. “Rapid preparation of  $\alpha$ -FeOOH and  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures by microwave heating and their application in electrochemical sensors”, *Materials Research Bulletin*, 49, 572–576, 2014.
- J. Z. Marinho, L. M. Santos, L. R. Macario, E. Longo, A. E. H. Machado, A. O. T. Patrocinio, R. C. Lima. “Rapid preparation of (BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> nanosheets by microwave-assisted hydrothermal method with promising photocatalytic activity under UV-Vis light”, *Journal of Brazilian Chemical Society*, 26, 498-505, 2015.
- F. C. Romeiro, J. Z. Marinho, S. C. S. Lemos, A. P. de Moura, P. G. Freire, L. F. da Silva, E. Longo, R. A. A. Munoz, R. C. Lima. “Rapid synthesis of Co, Ni co-doped ZnO nanoparticles: Optical and electrochemical properties”, *Journal of Solid State Chemistry*, 230, 343–349, 2015.

## RESUMO

Nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons terras raras (TR:  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ ), preparadas pelo método hidrotérmico de micro-ondas (HM), com propriedades fotoluminescentes e fotocatalíticas foram obtidas no presente trabalho. Os materiais foram sintetizados sob baixa temperatura, à 90 °C, e em curtos tempos de reação, de 2 e 16 minutos. A formação da fase hexagonal wurtzita foi observada para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ . Os resultados de refinamento Rietveld exibiram coeficientes de confiabilidade referentes a um bom refinamento. Os espectros Raman revelaram a presença do modo  $\text{E}_{2\text{H}}$  em  $438\text{ cm}^{-1}$  confirmando a formação da estrutura hexagonal wurtzita do ZnO para todas as amostras obtidas e as distorções locais geradas pela adição dos íons terras raras causando uma desordem à curto alcance na estrutura do ZnO. As imagens de MEV-FEG mostraram a importância do tempo de síntese na formação das nanoestruturas de ZnO puro e dopado. As amostras sintetizadas em 2 minutos são constituídas de partículas com formas irregulares, enquanto que após 16 minutos de síntese, observou-se um crescimento direcional das partículas com a formação de placas homogêneas e espessura média de 45 nm. Os espectros EDX confirmaram a presença dos elementos cério, samário e gadolínio nas amostras dopadas e a pureza das mesmas. Todas as amostras apresentaram propriedades fotoluminescentes com banda larga na região visível do espectro, com emissão máxima na região verde-laranja. A incorporação dos íons dopantes levou a um aumento na porcentagem de área de emissão na região do verde, associada à presença de vacâncias de oxigênio. A morfologia e o tamanho das partículas formadas, que tiveram influência especialmente da dopagem e do tempo de reação hidrotérmica, desempenharam um papel fundamental na atividade fotocatalítica dos materiais sintetizados. Todos os materiais obtidos apresentaram atividade fotocatalítica, sendo que os catalisadores que apresentaram um ótimo desempenho frente à degradação do corante azul de metileno foram: ZnO dopado com 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  à 2 minutos, 1% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  à 16 minutos e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  à 16 minutos, com 65%, 73% e 100% de eficiência, respectivamente.

**Palavras-Chave:** óxido de zinco; terras raras; método hidrotérmico de micro-ondas; fotoluminescência; fotocatalise.

## ABSTRACT

Nanostructures of ZnO pure and doped with rare earth ions (TR:  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  and  $\text{Gd}^{3+}$ ), prepared by the microwave hydrothermal (MH) method, with photoluminescent and photocatalytic properties were obtained in the present work. The materials were synthesized under low temperature at 90 °C and in short reaction times of 2 and 16 minutes. The formation of the wurtzite hexagonal phase was observed for samples of pure ZnO and doped with the  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  and  $\text{Gd}^{3+}$  ions. The Rietveld refinement results exhibited reliability coefficients for good refinement. Raman spectra revealed the presence of the  $\text{E}_{2\text{H}}$  mode at  $438\text{ cm}^{-1}$  confirming the formation of the ZnO wurtzite hexagonal structure for all samples obtained and the local distortions generated by the addition of the rare earth ions causing a short-range disorder in the ZnO structure. MEV-FEG images showed the importance of the time of synthesis in the formation of pure and doped ZnO nanostructures. The samples synthesized in 2 minutes are irregularly shaped particles, while after 16 minutes of synthesis, a directional growth of the particles was observed with the formation of homogeneous plates with a mean thickness of 45 nm. The EDX spectra confirmed the presence of the cerium, samarium and gadolinium elements in the doped samples and their purity. All samples presented photoluminescent properties with broad band in the visible region of the spectrum, with maximum emission in the green-orange region. The incorporation of doping ions led to an increase in the percentage of emission area in the green region, associated to the presence of oxygen vacancies. The morphology and size of the formed particles, which had a special influence on doping and hydrothermal reaction time, played a fundamental role in the photocatalytic activity of the synthesized materials. All the materials obtained showed photocatalytic activity, and the catalysts that presented the best performance against the degradation of the methylene blue dye were: ZnO doped with 2 mol%  $\text{Gd}^{3+}$  at 2 minutes, 1 mol%  $\text{Gd}^{3+}$  at 16 minutes and 2 mol%  $\text{Sm}^{3+}$  at 16 minutes, with 65%, 73% and 100% efficiency, respectively.

**Keywords:** zinc oxide; rare earths; microwave-hydrothermal method; photoluminescence; photocatalysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Estruturas cristalinas do ZnO do tipo (a) sal rocha (NaCl), (b) blenda de zinco e (c) wurtzita, no qual as esferas em cinza e em preto representam o zinco e o oxigênio, respectivamente.	3
<b>FIGURA 2</b>	Representação da estrutura hexagonal de ZnO com os parâmetros de rede externos: o plano basal (a), o plano uniaxial (c) e o parâmetro interno (u) (O parâmetro interno u indica o deslocamento de Zn-O ao longo da constante de rede c.).	4
<b>FIGURA 3</b>	Representação esquemática das dimensões estruturais dos materiais e algumas de suas propriedades esperadas.	9
<b>FIGURA 4</b>	Espectro eletromagnético.	11
<b>FIGURA 5</b>	Esquema representativo da direção de fluxo de calor por (a) aquecimento de convecção convencional e (b) por aquecimento de micro-ondas.	13
<b>FIGURA 6</b>	Representação dos processos de excitação, decaimento radiativo e decaimento não radiativo durante o fenômeno da luminescência.	16
<b>FIGURA 7</b>	Representação esquemática dos três principais modelos teóricos para a explicação do fenômeno de emissão fotoluminescente.	18

<b>FIGURA 8</b>	Representação esquemática do modelo teórico de banda larga.	19
<b>FIGURA 9</b>	Estrutura molecular do corante azul de metileno.	22
<b>FIGURA 10</b>	Representação esquemática do mecanismo simplificado de fotoativação de um semicondutor.	23
<b>FIGURA 11</b>	Representação esquemática do processo de síntese para amostra pura.	30
<b>FIGURA 11.1</b>	Representação esquemática do processo de síntese para as amostras dopadas.	31
<b>FIGURA 12</b>	Imagens do sistema HM e seus demais componentes	32
<b>FIGURA 13</b>	Sistema fotoquímico empregado em escala de laboratório (1) Fonte de radiação com uma lâmpada de xenônio de 300 W, (2) Reator fotocatalítico, (3) Sistema de resfriamento (mangueiras com entrada de água).	38
<b>FIGURA 14</b>	Difratogramas de raios X para o ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de $Ce^{4+}$ (b), dopado com 1 e 2% em mol de $Sm^{3+}$ (c) e dopado com 1 e 2% em mol de $Gd^{3+}$ obtidos no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	40

<b>FIGURA 15</b>	Difratogramas de raios X para o ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (c) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ obtidos no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	42
<b>FIGURA 16</b>	Região ampliada do pico (101) nos difratogramas de raios X para as amostras de ZnO puro e dopadas com os íons $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ obtidos no tempo de 2 minutos (a) – (c) e 16 minutos (d) - (f) pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	43
<b>FIGURA 17</b>	Resultados obtidos por refinamento Rietveld para as amostras ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b) – (c), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (d) – (e) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (f) – (g) obtidas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	45
<b>FIGURA 18</b>	Resultados obtidos por refinamento Rietveld para as amostras ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b) – (c), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (d) – (e) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (f) – (g) obtidas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	46

<b>FIGURA 19</b>	Representação das estruturas hexagonal do óxido de zinco puro e dopado (2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Gd}^{3+}$ e $\text{Sm}^{3+}$ ) e as estruturas das fases secundárias (hexagonal $\text{Sm}(\text{OH})_3$ e cúbica $\text{CeO}_2$ ) obtidas por meio do Refinamento Rietveld. As esferas vermelhas representam o átomo de oxigênio, esferas cinza o zinco, esferas rosa claro o hidrogênio, roxa o samário, verde o gadolínio e amarelo o cério.	52
<b>FIGURA 20</b>	Espectros Raman das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (c) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	55
<b>FIGURA 21</b>	Espectros Raman das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (c) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	56
<b>FIGURA 22</b>	Espectros no UV-vis das amostras de ZnO puro, dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de (a) 2 minutos e (b) 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	59
<b>FIGURA 23</b>	Imagens obtidas por MEV-FEG e espectros EDX das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b) e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (c) sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	62

<b>FIGURA 23.1</b>	Imagens obtidas por MEV-FEG e espectros EDX das amostras de ZnO dopado com 1% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (d), 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (e), 1% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (f) e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (g), sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	63
<b>FIGURA 24</b>	Imagens obtidas por MEV e espectros EDX das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (b) e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (c) sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	65
<b>FIGURA 24.1</b>	Imagens obtidas por MEV e espectros EDX das amostras de ZnO dopado com 1% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (d), 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (e), 1% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (f) e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (g), sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	66
<b>FIGURA 25</b>	Espectros de emissão fotoluminescente ( $\lambda_{\text{exc}} = 350,7 \text{ nm}$ ) para as amostras dopadas com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (b) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (c) sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	69
<b>FIGURA 26</b>	Decomposição das bandas de emissão fotoluminescente para as amostras de ZnO puro, dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	70



<b>FIGURA 27</b>	Espectros de emissão fotoluminescente ( $\lambda_{exc} = 350,7 \text{ nm}$ ) para as amostras dopadas com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ (a), dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ (b) e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ (c) sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	74
<b>FIGURA 28</b>	Decomposição das bandas de emissão fotoluminescente para as amostras de ZnO puro, dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	75
<b>FIGURA 29</b>	Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio pelas amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	79
<b>FIGURA 30</b>	Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio pelas amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	80
<b>FIGURA 31</b>	Fotodegradação do azul de metileno na ausência do catalisador (a). Tempo total de 180 min. Espectro de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (b), (c) 1% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ e (d) 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ . (e) Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno. Para as amostras obtidas no tempo de 2 minutos.	85

<b>FIGURA 32</b>	Espectros de absorvância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ e (c) 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 2 minutos.	86
<b>FIGURA 33</b>	Espectros de absorvância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1 mol% $\text{Gd}^{3+}$ e (c) 2 mol% $\text{Gd}^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 2 minutos.	87
<b>FIGURA 34</b>	A descoloração de AM mediada pelos catalisadores ZnO puro, 1% em mol e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 2 minutos, ajustados de acordo com uma cinética de pseudo-primeira ordem.	90
<b>FIGURA 35</b>	Espectros de absorvância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ e (c) 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 16 minutos.	92
<b>FIGURA 36</b>	Espectros de absorvância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ e (c) 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 16 minutos.	93

- FIGURA 37** Espectros de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de  $Gd^{3+}$  e (c) 2% em mol de  $Gd^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 16 minutos. 94
- FIGURA 38** A descoloração de AM mediada pelos catalisadores ZnO puro, 1% em mol e 2% em mol de  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$  preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 16 minutos, ajustados de acordo com uma cinética de pseudo-primeira ordem. 97
- FIGURA 39** Esquema representativo proposto para a fotodegradação de azul de metileno utilizando ZnO puro e dopado com  $Gd^{3+}$  sob irradiação UV-vis. 99

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1</b>	Algumas propriedades físico-químicas dos lantanídeos.	7
<b>TABELA 2</b>	Reagentes empregados na síntese hidrotérmica	28
<b>TABELA 3</b>	Coeficientes de confiabilidade obtidos para cada amostra sintetizada no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	47
<b>TABELA 4</b>	Coeficientes de confiabilidade obtidos para cada amostra sintetizada no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	48
<b>TABELA 5</b>	Valores dos parâmetros de rede para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ obtidos no tempo de 2 minutos pelo método de Rietveld.	48
<b>TABELA 6</b>	Valores dos parâmetros de rede para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ obtidos no tempo de 16 minutos pelo método de Rietveld.	49
<b>TABELA 7</b>	Fração de cada fase obtida pelo método de Rietveld para as amostras dopadas com 2% em mol de TR (TR = $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ ).	50

<b>TABELA 8</b>	Valores de largura à meia altura relativa ao modo $E_{2H}$ em $438\text{ cm}^{-1}$ no Raman.	58
<b>TABELA 9</b>	Valores de $E_{gap}$ para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons $Ce^{4+}$ , $Sm^{3+}$ e $Gd^{3+}$ .	61
<b>TABELA 10</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO puro obtida em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	71
<b>TABELA 11</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de $Ce^{4+}$ obtidas em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	72
<b>TABELA 12</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de $Sm^{3+}$ obtidas em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	72
<b>TABELA 13</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de $Gd^{3+}$ obtidas em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	73

<b>TABELA 14</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO puro obtida em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	76
<b>TABELA 15</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ obtidas em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	76
<b>TABELA 16</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de $\text{Sm}^{3+}$ obtidas em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	77
<b>TABELA 17</b>	Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de $\text{Gd}^{3+}$ obtidas em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	77
<b>TABELA 18</b>	Área superficial específica e porosidade estimada para as amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	81

<b>TABELA 19</b>	Área superficial específica e porosidade estimada para as amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de $\text{Ce}^{4+}$ , $\text{Sm}^{3+}$ e $\text{Gd}^{3+}$ sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	82
<b>TABELA 20</b>	Eficiência de fotodescoloração para as diferentes amostras obtidas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	88
<b>TABELA 21</b>	Constante aparente de velocidade $k$ calculada para os diferentes catalisadores preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 2 min.	91
<b>TABELA 22</b>	Eficiência de fotodescoloração para as diferentes amostras obtidas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.	95
<b>TABELA 23</b>	Constante aparente de velocidade $k$ calculada para os diferentes catalisadores preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 16 min.	98

## LISTA DE ABREVIACÕES

TR – terras raras

AM – azul de metileno

BV - banda de valência

BC - banda de condução

DRX – Difração de raios X

MEV-FEG – Microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo

EDX - Análise de raios X por dispersão em energia

FL – Fotoluminescência

HM – método hidrotérmico de micro-ondas

$\lambda$  – Comprimento de onda

UV-vis – Ultravioleta e visível

GSAS – “*General Structure Analysis System*” - Software de análise da estrutura de materiais



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Nanotecnologia e Nanomateriais: histórico e avanços	1
1.2	Óxido de zinco (ZnO)	2
1.3	Terras raras (TR)	5
1.4	Métodos químicos de síntese de materiais nanoestruturados	8
1.4.1	Método hidrotérmico de micro-ondas (HM)	10
1.5	Luminescência	14
1.6	Processos fotocatalíticos: fotocatalise heterogênea e catalisadores	21
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>27</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b>	<b>28</b>
3.1	Reagentes	28
3.2	Síntese dos materiais	29
3.3	Método hidrotérmico de Micro-ondas (HM)	32
3.4	Caracterizações	33
3.4.1	Difração de raios X (DRX)	33
3.4.2	Espectroscopia de espalhamento Raman	34
3.4.3	Microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG) e análise de raios X por dispersão em energia (EDX)	35
3.4.4	Espectroscopia de reflectância difusa na região do Ultravioleta e visível (UV-vis)	35
3.4.5	Fotoluminescência	36
3.5	Área superficial específica	36
3.6	Ensaio Fotocatalítico	37

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>39</b>
4.1	Difração de raios X (DRX)	39
4.2	Espectroscopia Raman	52
4.3	Espectroscopia no Ultravioleta-visível (UV-vis)	58
4.4	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (MEV-FEG) e análise de raios X por dispersão em energia (EDX)	61
4.5	Estudo das propriedades fotoluminescentes	68
4.6	Área superficial específica	78
4.7	Estudo da atividade fotocatalítica	84
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>100</b>
<b>6.</b>	<b>PERSPECTIVAS</b>	<b>102</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>103</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Nanotecnologia e nanomateriais: histórico e avanços

A área do conhecimento, estabelecida no século XXI, conhecida como Nanotecnologia é responsável pelo conjunto de conhecimentos que permitem estudar as propriedades da matéria em nanoescala, com a geração de novos materiais e dispositivos. Alguns dos objetivos são o desenvolvimento de dispositivos para a geração e armazenamento de energia, a criação de novos materiais, com o intuito de melhorar a eficiência de materiais convencionais, além do desenvolvimento de novas tecnologias para transporte de fármacos, os chamados *drugs delivery* (ZARBIN, 2007; KUMAR e RAO, 2015; CHEN *et al.*, 2016).

As propriedades ópticas, magnéticas, dielétricas e catalíticas desses materiais nanoestruturados são fortemente dependentes da forma (morfologia) e do tamanho de suas partículas. Desta forma, os diversos materiais, como óxidos semicondutores, cerâmicas, compósitos e polímeros podem ter suas propriedades moldadas ou modificadas sem que haja alteração de sua composição química e/ou estrutura, mas somente pelo controle do tamanho e morfologia de suas partículas com o método de síntese (ZARBIN, 2007). A compreensão do termo nanotecnologia foi apresentada em 1974, pelo professor Norio Taniguchi, com o desenvolvimento de pesquisas para o processamento de novos materiais (PACHECO-TORGAL e JALALI, 2011).

A popularização da palavra "nanotecnologia" ocorreu nos anos 80-90 pelo cientista americano Eric Drexler, o qual se referia à construção de máquinas em escala molecular, como motores, braços mecânicos, computadores, além das várias pesquisas realizadas na engenharia molecular (DREXLER, 1992). Drexler passou a descrever e analisar esses aparelhos, dando respostas às acusações de ficção científica geradas na época. Com a descoberta do microscópio eletrônico de varredura de tunelamento por Binning, Rohrer, Gerber e Weibel em 1982 (GARCIA, 1986) e pela descoberta dos nanotubos de carbono por Sumio Iijima (IJIMA, 1991), a nanotecnologia recebeu mais atenção da comunidade científica de forma a impulsionar as pesquisas desenvolvidas nesta área. A química, a biologia, a física, a medicina, a engenharia, a eletrônica e a agronomia beneficiam-se com os avanços da nanotecnologia, devido ao fato dos

nanomateriais exibirem características promissoras compatíveis com as propriedades esperadas em cada aplicação de determinada área de pesquisa.

Diversos óxidos metálicos, como o  $\text{TiO}_2$ , o  $\text{ZnO}$ , o  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$ , o  $\text{CoWO}_3$  e o  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  por exemplo, têm recebido grande atenção devido ao uso em dispositivos eletrônicos, óticos e eletroquímicos produzidos em nanoescala (BESSEKHOUAD *et al.*, 2005; CHEN e LO, 2011; XIANG *et al.*, 2012; MARINHO *et al.*, 2014; DA SILVA *et al.*, 2016; KUMAR e KARUPPUCHAMY, 2016; ZHU *et al.*, 2016).

As propriedades químicas, óticas, elétricas e magnéticas dos materiais podem depender do meio de síntese e das condições de obtenção. O material preparado por diferentes métodos de síntese pode apresentar mudanças significativas na sua estrutura cristalina, na morfologia e em suas propriedades físico-químicas (LEE e YANG, 2005; SHOJAEE *et al.*, 2010; SHARMA *et al.*, 2011; LOPES *et al.*, 2016; PHURUANGRAT *et al.*, 2016). Inúmeros são os materiais nanométricos de interesse na literatura como o  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , etc. O óxido de zinco é o material investigado no presente estudo.

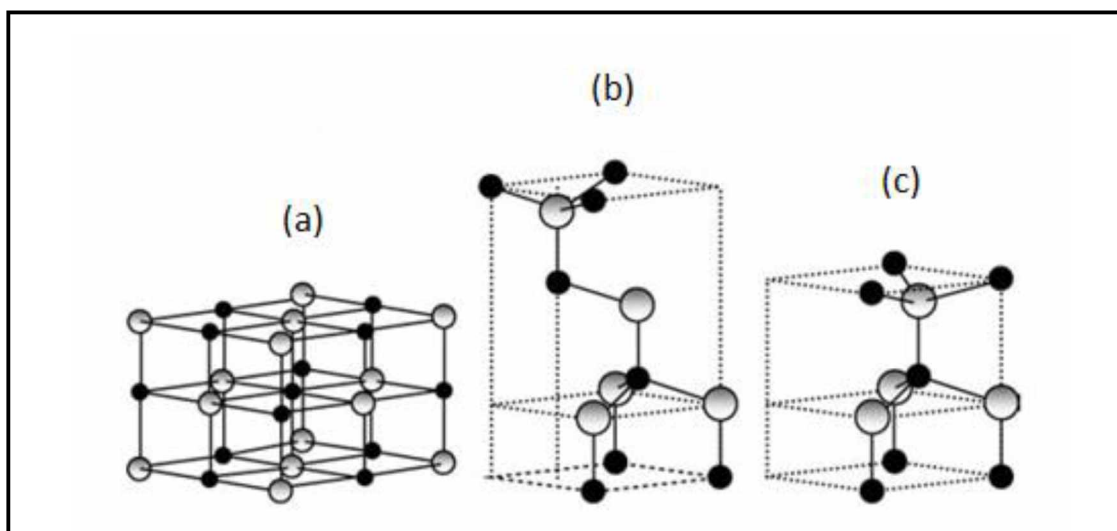
## 1.2. Óxido de zinco (ZnO)

O óxido de zinco, um semicondutor binário do grupo II-VI, pode-se cristalizar tanto na forma cúbica (blenda de zinco e sal rocha) quanto na forma hexagonal (wurtzita). Na estrutura hexagonal, cada ânion do cristal (oxigênio) é ligado a um cátion (zinco) nos vértices de um tetraedro. Essa coordenação tetraédrica é típica de uma ligação  $\text{sp}^3$  covalente, mas estes materiais também apresentam um caráter substancial iônico, tendendo a aumentar a energia de *band gap* (OZGUR *et al.*, 2005; JANOTTI e VAN DE WALLE, 2007; LIMA *et al.*, 2008; SU *et al.*, 2015; SAMADI *et al.*, 2016). O caráter iônico do  $\text{ZnO}$  está no limite entre os semicondutores iônicos e covalentes, ou seja, sob condições de pressão hidrostática, os semicondutores II-VI podem ter sua estrutura alterada para sal rocha (por exemplo,  $\text{NaCl}$ ) (MORKOÇ e OZGUR, 2009).

Das três estruturas cristalinas apresentadas, apenas a estrutura do tipo wurtzita é termodinamicamente estável à temperatura ambiente. As demais estruturas são obtidas somente em condições especiais de síntese. A estrutura blenda de zinco pode ser estabilizada somente por crescimento em substratos cúbicos e a estrutura sal rocha ( $\text{NaCl}$ ) pode ser obtida somente sob altas pressões (OZGUR *et al.*, 2005; ZHANG e

HUANG, 2007; MORKOÇ e OZGUR, 2009; LEITNER *et al.*, 2013). A Figura 1 ilustra os tipos de cristais citados acima no texto.

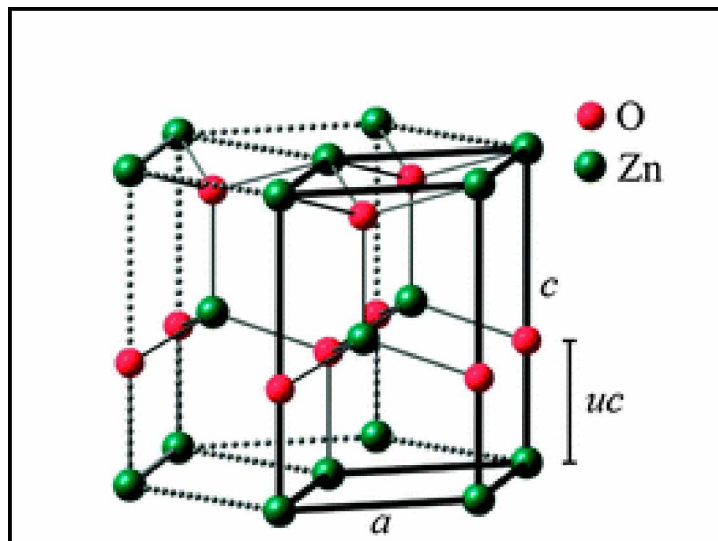
**Figura 1.** Estruturas cristalinas do ZnO do tipo (a) sal rocha (NaCl), (b) blenda de zinco e (c) wurtzita, no qual as esferas em cinza e em preto representam o zinco e o oxigênio, respectivamente.



**Fonte:** Adaptado de (OZGUR *et al.*, 2005).

O ZnO na fase wurtzita consiste em uma estrutura hexagonal, com parâmetros de rede  $a = b \neq c$ ,  $\alpha = \beta = 90^\circ$  e  $\gamma = 120^\circ$  pertencente ao grupo espacial  $C_{6v}^4$  ou  $P6_3mc$  e classe cristalográfica 6mm, na qual, na cela unitária, cada átomo de zinco ocupa o centro de um tetraedro distorcido, coordenado a quatro outros átomos de oxigênio (Figura 2). A célula unitária da wurtzita possui dois parâmetros de rede externos: o plano basal ( $a$ ) e o plano uniaxial ( $c$ ) e um parâmetro interno  $u$ , que descreve as posições do cátion e do ânion em relação ao eixo  $z$ . A constante interna  $u$  e o volume,  $V$ , podem ser expressos em função dos parâmetros externos  $a$  e  $c$  da seguinte maneira:  $u = \frac{1}{4} + (c / 3.a)$ , e  $V = (3^{1/2}/2). a.c$  (JANOTTI e VAN DE WALLE, 2009; MORKOÇ e OZGUR, 2009; NISKANEN *et al.*, 2013).

**Figura 2.** Representação da estrutura hexagonal de ZnO com os parâmetros de rede externos: o plano basal ( $a$ ), o plano uniaxial ( $c$ ) e o parâmetro interno ( $u$ ) (O parâmetro interno  $u$  indica o deslocamento de Zn-O ao longo da constante de rede  $c$ ).



**Fonte:** (NISKANEN *et al.*, 2013).

O ZnO é conhecido como um semicondutor não estequiométrico caracterizado por exibir metal em excesso ( $\text{Zn}_{1+x}\text{O}$ ) ou deficiência em oxigênio ( $\text{ZnO}_{1-x}$ ). Este metal em excesso incorpora-se na estrutura cristalina do ZnO como átomos intersticiais ( $\text{Zn}_i$ ), ocorrendo a formação de vacâncias de oxigênio ( $\text{V}_\text{O}$ ). Estes defeitos ionizam-se e doam elétrons para a banda de condução, tornando o material um semicondutor intrínseco do tipo- $n$  (JANOTTI e VAN DE WALLE, 2007; DROUILLY *et al.*, 2012).

Os átomos de zinco e de oxigênio não ocupam mais do que 40% do volume da cela unitária e somente a metade dos sítios tetraédricos é ocupada pelos cátions deixando espaços livres. Logo, a estrutura do ZnO é relativamente aberta, pouco compacta com todas as posições octaédricas e metade das posições tetraédricas vazias. Desse modo é relativamente fácil incorporar impurezas ou dopantes na célula unitária do ZnO (SHRIVER e ATKINS, 2008; BERGER, 2013), com a finalidade de investigar os efeitos sobre suas propriedades.

O óxido de zinco é um dos materiais mais importantes de uso industrial e tecnológico devido às suas diversas propriedades físico-químicas, tais como eletroluminescência (ALVI *et al.*, 2010), catodoluminescência (CHANG, 2014), fotoluminescência (WANG *et al.*, 2007; MURMU *et al.*, 2011; TAN *et al.*, 2016) e propriedades magnéticas (NGUYEN DUC *et al.*, 2016; SHINGANGE *et al.*, 2017),

permitindo à aplicação em sensores de gás (MHLONGO *et al.*, 2016; YIN *et al.*, 2016) devido às vacâncias de oxigênio, fotocatalise heterogênea (YANG *et al.*, 2004; YAYAPAO *et al.*, 2013; MOUSSA *et al.*, 2016), atividade antibactericida (MARY *et al.*, 2016), células solares (BOUJNAH *et al.*, 2016; ZHOU *et al.*, 2016) e em dispositivos optoeletrônicos, devido à sua energia de *gap* (3,37 eV) (KAJBAFVALA *et al.*, 2012; KIOMARSIPOUR e RAZAVI, 2012).

Em particular, a síntese de nanoestruturas de óxido de zinco tem atraído grande interesse em razão das diversas aplicações apresentadas e das novas possibilidades de aplicações geradas com a variação do método de síntese, dos fatores experimentais e com a inserção de dopantes na matriz do óxido. O interesse na adição de íons terras raras nas redes de óxidos semicondutores tem aumentado na literatura, especialmente na investigação das propriedades fotoluminescentes e fotocatalíticas, conforme o objetivo deste trabalho.

### 1.3. Terras raras (TR)

De acordo com a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) o termo lantanídeo refere-se aos quatorze elementos que seguem o lantânio na tabela periódica (Ce-Lu), sendo que a inclusão dos elementos escândio e ítrio origina o termo metais das “terras raras”, embora seja mais comum na literatura incluir o lantânio na nomenclatura dos lantanídeos (ABRÃO, 1994; GÁLICO, 2014).

A terminologia “terra rara” foi originalmente utilizada para descrever a ocorrência em misturas de óxidos (arcaicamente denominada terras). Embora haja uso do termo “terra rara”, estes não são elementos raros e a sua abundância é relativamente alta, sendo encontrados principalmente em fosfatos minerais, como a monazita (ABRÃO, 1994).

A história das TR iniciou-se por volta do ano 1788 quando o capitão Arrhenius encontrou uma pedra preta próxima a Ytterby na Suécia. No ano de 1794, J. Gadolin isolou um óxido daquele mineral preto e nomeou de “Ytterbia”. Outro mineral foi encontrado por Klaproth e denominado de “ceria”, mais tarde descobriu que a partir deste mineral foi possível extrair lantânio, samário e gadolínio. A partir do mineral ítria foram separados os elementos ítrio, térbio, itérbio, escândio, túlio, hólmio, lutécio e disprósio. Demoraram cerca de 150 anos para que todos os metais terras raras fossem

isolados, devido à similaridade nas suas propriedades químicas (SERRA *et al.*, 2000; TROVARELLI, 2002; KODAIRA, 2003).

Nas últimas décadas, as terras raras tornaram-se vitais para uma grande variedade de materiais e tecnologias avançadas, incluindo os catalisadores, ligas metálicas, ímãs, ópticos, materiais luminescentes e lasers, baterias, eletrônica, conversão de energia eólica e solar, bio-análises e de imagem.

Muitos objetos do cotidiano contêm terras raras, como os carros, os telefones celulares, displays eletrônicos, lâmpadas fluorescentes, díodos emissores de luz (LEDs), fibras ópticas, micromotores, scanners médicos, entre outros. Além disso, é importante mencionar as aplicações militares, tais como os sistemas de orientação e binóculos de visão noturna (YANG *et al.*, 2002; MARTINS e ISOLANI, 2005; ELISEEVA e BUENZLI, 2011; SERRA *et al.*, 2015; RUNOWSKI e LIS, 2016).

A química dos elementos terras raras é predominantemente iônica e determinada principalmente pelo tamanho dos seus cátions trivalentes, sendo que os raios iônicos variam do lantânio (1,06 Å) ao lutécio (0,85 Å) dentro da série do lantânio, conforme apresentado na Tabela 1. O único lantanídeo no estado de oxidação (+IV) que é suficientemente estável em solução aquosa é o íon  $\text{Ce}^{4+}$ , podendo ser encontrado neste estado tetravalente em alguns compostos com alto poder oxidante (SASTRI *et al.*, 2003; MARTINS e ISOLANI, 2005).



**Tabela 1.** Algumas propriedades físico-químicas dos lantanídeos.

Número atômico (Z)	Nome	Símbolo	Configuração eletrônica	Valências	Raio $M^{3+}$ (Å)
57	Lantânio	La	$[Xe]5d^1 6s^2$	3	1,06
58	Cério	Ce	$[Xe]4f^1 5d^1 6s^2$	3,4	1,03
59	Praseodímio	Pr	$[Xe]4f^3 6s^2$	3,4	1,01
60	Neodímio	Nd	$[Xe]4f^4 6s^2$	3	0,99
61	Promécio	Pm	$[Xe]4f^5 6s^2$	3	0,98
62	Samário	Sm	$[Xe]4f^6 6s^2$	2,3	0,96
63	Európio	Eu	$[Xe]4f^7 6s^2$	2,3	0,95
64	Gadolínio	Gd	$[Xe]4f^7 5d^1 6s^2$	3	0,94
65	Térbio	Tb	$[Xe]4f^8 6s^2$	3,4	0,92
66	Disprósio	Dy	$[Xe]4f^9 6s^2$	3	0,91
67	Hólmio	Ho	$[Xe]4f^{10} 6s^2$	3	0,89
68	Érbio	Er	$[Xe]4f^{11} 6s^2$	3	0,88
69	Túlio	Tm	$[Xe]4f^{12} 6s^2$	3	0,87
70	Íterbio	Yb	$[Xe]4f^{13} 6s^2$	2,3	0,86
71	Lutécio	Lu	$[Xe]4f^{14} 5d^1 6s^2$	3	0,85

**Fonte:** (SASTRI *et al.*, 2003).

Na configuração trivalente os dois elétrons da subcamada 6s e um elétron 5d (ou um elétron 4f caso não possua elétron 5d) são removidos ficando os elétrons f fortemente atraídos pelo núcleo. O orbital correspondente aos elétrons 4f está localizado mais próximo do núcleo que os orbitais 5s e 5p, assim um íon  $Ln^{3+}$  não tem orbitais de fronteira com preferência direcional e suas ligações são melhores consideradas como provenientes de atrações eletrostáticas. Portanto o fato dos orbitais f estarem preenchidos ou vazios influenciam pouco as propriedades químicas desses elementos, no entanto seus espectros eletrônicos e suas propriedades magnéticas são dependentes da configuração eletrônica (SERRA *et al.*, 2015).

Uma importante característica desses elementos é a ocorrência da contração lantanídica, uma diminuição uniforme no tamanho atômico e iônico com o aumento do número atômico. A principal causa da contração é o efeito eletrostático associado com o aumento da carga nuclear blindada imperfeitamente pelos elétrons 4f (ABRÃO, 1994; MARTINS e ISOLANI, 2005; SERRA *et al.*, 2015). Essas pequenas diferenças de

tamanho podem influenciar nas propriedades destes íons em solução ou em matrizes sólidas.

Um aspecto interessante de aplicações das terras raras é que, nem sempre, são necessárias grandes quantidades para obter as propriedades desejadas. Como por exemplo, em diversos materiais, devido às suas propriedades especiais, requer-se uma simples dopagem com terras raras em baixa concentração. Encontra-se reportado na literatura (LIANG *et al.*, 2015), o óxido de zinco dopado com 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  aplicado na fotodegradação do corante têxtil azul de metileno, sendo observados bons resultados para descoloração do corante (70% de descoloração). Por outro lado, neste estudo, foi observado que a partir do aumento da concentração do íon  $\text{Ce}^{4+}$  para 5% em mol, obteve-se uma menor eficiência fotocatalítica, com 50% de descoloração.

O estudo dos metais TR como dopante inserido na matriz do ZnO, especialmente obtido pela síntese hidrotérmica de micro-ondas com aplicação fotocatalítica e fotoluminescente ainda é um estudo relativamente novo. Os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  vêm despertando grande interesse no estudo da dopagem de ZnO por inserir novos níveis de energia entre o *gap* do material. Estes defeitos gerados com a dopagem possibilitam a aplicação em dispositivos ópticos, nos processos fotocatalíticos e fotoluminescentes (OPREA *et al.*, 2012; FAISAL *et al.*, 2013; REZAEI e HABIBI-YANGJEH, 2013; KHATAEE *et al.*, 2015; FAROOQI e SRIVASTAVA, 2016; KAUR *et al.*, 2016).

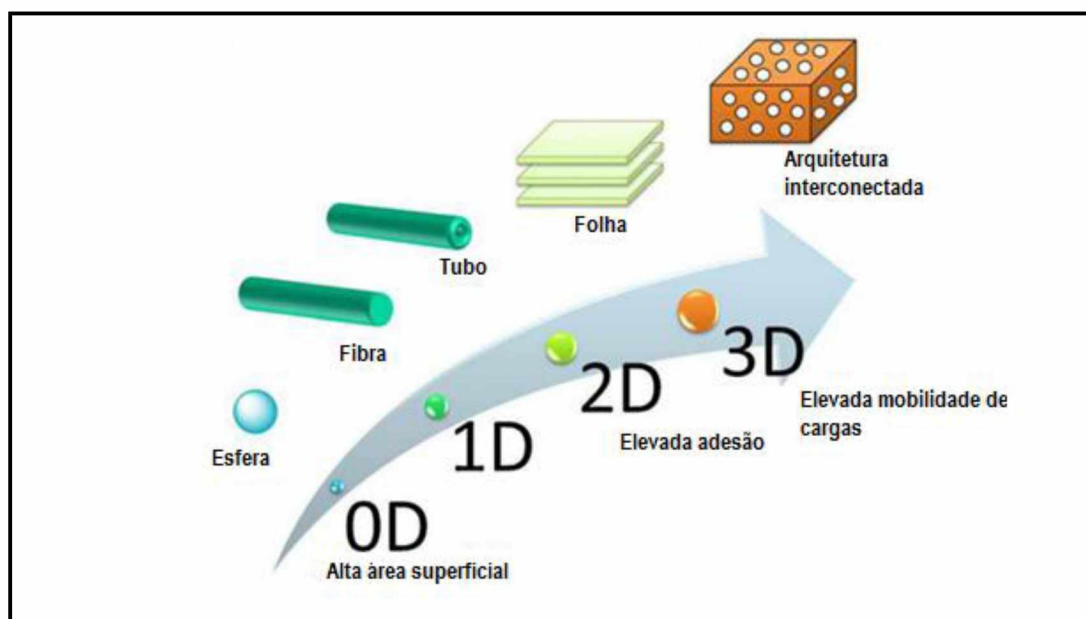
No presente trabalho foram empregados os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  como dopantes na matriz do ZnO. A possibilidade de escolha do dopante lantanídeo permite trabalhar as propriedades do material sintetizado, especialmente as propriedades fotoluminescentes e fotocatalíticas.

#### **1.4. Métodos químicos de síntese de materiais nanoestruturados**

O uso de óxidos semicondutores nanoestruturados é uma alternativa muito interessante para aplicações, por exemplo, em fotocatalise, pois muitos fatores podem influenciar em suas propriedades, como tamanho de partícula, área superficial específica e volume dos poros, além de sua estrutura cristalina. Dessa forma, é importante o desenvolvimento de métodos de síntese para a obtenção de diferentes morfologias e tamanhos de partículas a fim de melhorar as propriedades do material. A Figura 3 ilustra diversos tipos de morfologias, que contemplam variadas áreas superficiais, adequadas

para os mais diversos usos, como no caso deste trabalho, a fotocatalise heterogênea e a fotoluminescência. Portanto, ressalta-se ainda que essas diferenças nas morfologias possam afetar também as propriedades do material (NAKATA e FUJISHIMA, 2012; LIM *et al.*, 2016; OSMAN *et al.*, 2016).

**Figura 3.** Representação esquemática das dimensões estruturais dos materiais e algumas de suas propriedades esperadas.



**Fonte:** Adaptado de (NAKATA e FUJISHIMA, 2012).

A síntese de óxidos semicondutores, especialmente o ZnO, em escala nanométrica sob condições brandas de temperatura e pressão, com o controle da cristalinidade, do tamanho e forma das partículas continua sendo um dos desafios da Química de Materiais.

Vários métodos para obtenção do ZnO têm sido utilizados, entre eles, o método sol-gel (LIMA, S. A. M. *et al.*, 2007; NGUYEN DUC *et al.*, 2016) baseia-se nas reações de hidrólise e condensação do precursor permitindo a formação de partículas de tamanho coloidal (sol) e posterior formação da rede tridimensional (gel), o método decomposição térmica (SRIKANTH e JEEVANANDAM, 2009) que envolve a obtenção do óxido pela decomposição do precursor pelo seu aquecimento em fornos mufla, o aquecimento por micro-ondas (TSAI *et al.*, 2012) que envolve a decomposição do precursor sob irradiação de micro-ondas, o hidrotérmico convencional (BARUAH e

DUTTA, 2009; JIANG *et al.*, 2010; AKHOON *et al.*, 2015) no qual solvente, neste caso a água, e o precursor é aquecido num sistema fechado sob pressão com a temperatura acima do ponto de ebulição do solvente, o método dos precursores poliméricos (SANCHEZ *et al.*, 2010; FANG *et al.*, 2013) que há a formação de um quelato de cátions misturados através de um ácido hidroxicarboxílico, a solução do sal no ácido é misturada com um álcool poli-hidroxilado (usualmente etilenoglicol) sob aquecimento, o método solvotermal (CHENG *et al.*, 2008; RAI *et al.*, 2013) analogamente ao método hidrotérmico, porém utiliza-se uma mistura de água e álcool como solvente e o método hidrotérmico de micro-ondas (HUANG *et al.*, 2008; DE MOURA *et al.*, 2010; MARINHO *et al.*, 2012; ROMEIRO *et al.*, 2013; LI, X. *et al.*, 2014) em que tem-se a combinação do método hidrotérmico com o aquecimento por micro-ondas.

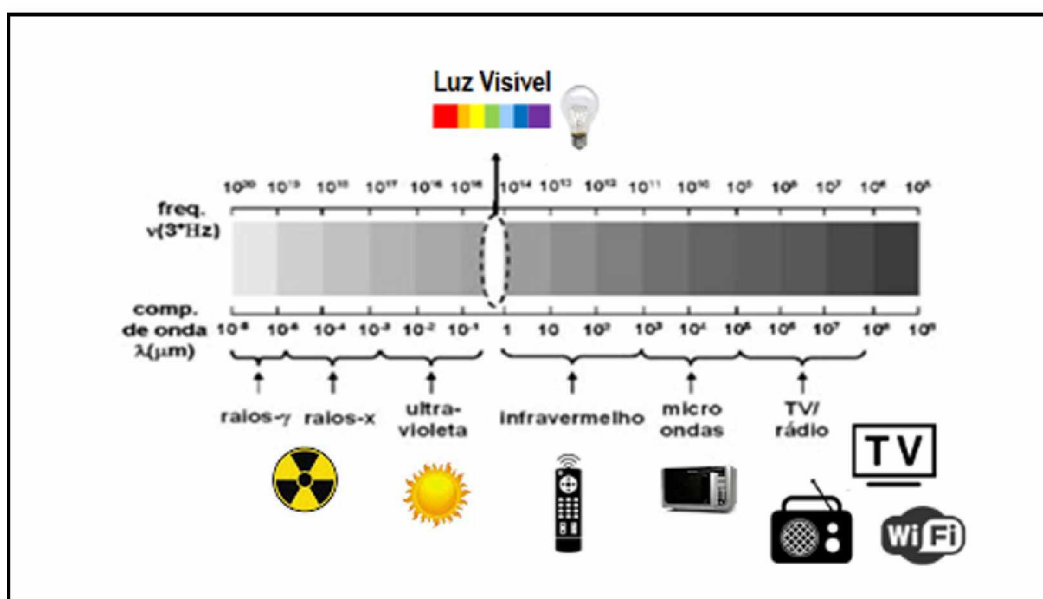
O método hidrotérmico de micro-ondas (HM) tem gerado grande interesse devido à simples manipulação do equipamento, o baixo custo, tecnologia limpa, os tempos curtos e as baixas temperaturas de síntese que são requeridos (KOMARNENI e KATSUKI, 2002; DOS SANTOS *et al.*, 2008; MENDES *et al.*, 2012; MARINHO *et al.*, 2013; LI, D. *et al.*, 2014; THANKACHAN *et al.*, 2017).

A seguir, serão abordados os principais fundamentos do método de síntese utilizado neste trabalho – o hidrotérmico de micro-ondas, utilizado para a obtenção das nanoestruturas de óxido de zinco puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  para estudo das propriedades fotoluminescentes e a fotocatalíticas.

#### **1.4.1. Método hidrotérmico de micro-ondas (HM)**

As micro-ondas são definidas por ondas eletromagnéticas com frequência entre 0,3 e 300 GHz, correspondendo a comprimentos de onda de 1 cm a 1 m, encontrando-se na região do espectro eletromagnético entre o infravermelho e as ondas de rádio (Figura 4). A energia associada a estas ondas eletromagnéticas é muito baixa, diferentemente do que é observado para a radiação ultravioleta, na qual é principalmente utilizada em processos fotoquímicos (MERESHCHENKO *et al.*, 2016; SARMIENTO *et al.*, 2016).

**Figura 4.** Espectro eletromagnético.



**Fonte:** Adaptado de (MICHA *et al.*, 2011).

No período da Segunda Guerra Mundial houve grandes interesses e investimentos em tecnologias militares, devido a isso, a invenção do magnetron possibilitou o uso das propriedades de micro-ondas (MO) (KOMARNENI *et al.*, 1992; PAPOULIS *et al.*, 2013) em sistemas de radares para a detecção de aeronaves e submarinos. Com o fim da Segunda Guerra, essa radiação eletromagnética passou a ser conhecida na fabricação dos primeiros fornos domésticos. Nestes fornos, o aquecimento dos alimentos é decorrente da ressonância das moléculas de água com uma frequência de 2,45 GHz (KOMARNENI e KATSUKI, 2010; DE MOURA *et al.*, 2011; RIDHA *et al.*, 2013).

O uso da tecnologia de micro-ondas, no âmbito da Ciência dos Materiais e das Ciências da saúde, tem despertado um interesse na síntese de compostos inorgânicos e orgânicos, no tratamento térmico dos materiais em escala laboratorial ou industrial, e na inativação de micro-organismos (PISANI JÚNIOR *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2012).

Na década de 60, deu-se início à utilização do forno de micro-ondas em laboratório na secagem de cerâmicas vermelhas. A Química Analítica foi a primeira a utilizar o forno de MO, sendo que os primeiros relatos de secagem de amostras, digestão de solução para análise elementar e dessorção térmica de compostos se deu na década de 70. O interesse pelo uso de MO tem decorrido da redução das etapas de síntese, melhoria das propriedades físico-químicas em cerâmicas e na economia de

tempo e energia alcançada no processamento de diferentes materiais (BARBOZA *et al.*, 2001; SANSEVERINO, 2002).

O tratamento hidrotérmico tem se mostrado bastante útil na preparação de materiais nanoestruturados devido ao processo de reação ser bastante simples e fácil de ser controlado; sobretudo, a temperatura requerida de reação é baixa, proporcionando também um controle sobre o tamanho das partículas. Dentro deste contexto, S. Komarneni *et al.* (1992) foram os pioneiros a combinar a radiação de micro-ondas com o sistema hidrotérmico na síntese de pós cerâmicos, buscando solucionar a questão do gradiente térmico e da lenta velocidade de reação. A utilização da energia de micro-ondas associada ao sistema hidrotérmico para a síntese de materiais oferece vantagens quanto à redução do tempo de processamento, economia de energia e baixa poluição atmosférica (KOMARNENI e KATSUKI, 2002; WU *et al.*, 2012).

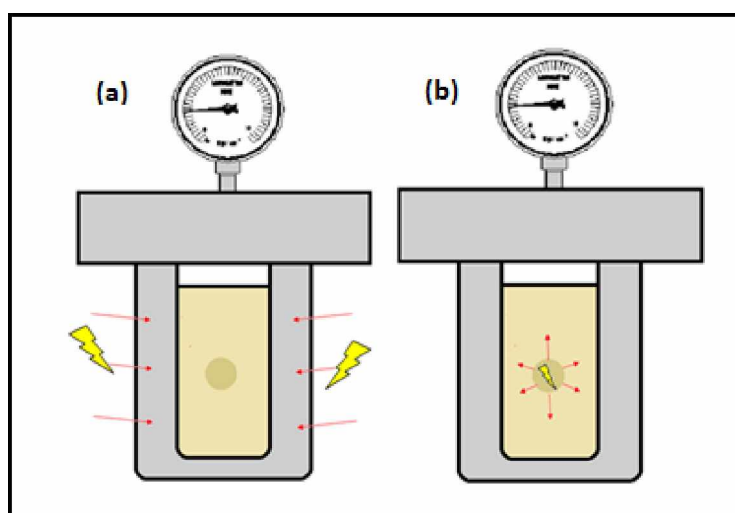
Alguns óxidos nanoestruturados tais como, óxidos de cobre, níquel, titânio e zinco têm sido obtidos por síntese hidrotérmica convencional em temperaturas amenas, na ordem de 90 °C a 200 °C e em tempos longos de síntese que podem variar entre 12 a 120 horas (CAO *et al.*, 2015; BURUNGALÉ *et al.*, 2016; FTERICH *et al.*, 2016; JIAO *et al.*, 2016). No sistema convencional, o solvente é aquecido de forma indireta por transmissão de calor. O reator, de aço inoxidável, é aquecido por meio de uma fonte externa de calor (por exemplo, por resistência elétrica) via condução térmica, e, por conseguinte, as regiões da solução em contato com a parede interna do reator irão se aquecer primeiramente, causando o aparecimento de gradientes térmicos (LIENHARD, 2013). No sistema hidrotérmico de micro-ondas, o aquecimento da solução é direto e homogêneo. Na associação do método hidrotérmico com a radiação de MO, o gradiente térmico praticamente não existe, o aquecimento ocorre no interior do material e dele é transferido para toda vizinhança. Devido a este processo, é possível observar uma nucleação homogênea e um crescimento uniforme das partículas (VOLANTI *et al.*, 2007; CHEN e LO, 2011; DE MOURA *et al.*, 2011; LEBEDEV *et al.*, 2012; PHURUANGRAT *et al.*, 2016).

A síntese hidrotérmica assistida por micro-ondas proporciona um aquecimento rápido no sistema. Esse rápido tratamento térmico, chamado de aquecimento dielétrico, envolve dois mecanismos principais para a transformação de energia eletromagnética em calor. O primeiro deles é chamado rotação de dipolo que se relaciona com o alinhamento das moléculas (que tem dipolos permanentes ou induzidos) com o campo eletromagnético aplicado. Quando o campo é removido, as moléculas voltam a um

estado desordenado, e então, a energia que foi absorvida é dissipada na forma de calor. Como o campo eletromagnético oscila constantemente, ocorre assim um pronto aquecimento destas moléculas. O segundo mecanismo é conhecido como condução iônica, em que há uma movimentação translacional das cargas quando um campo elétrico é aplicado, levando a um aumento das colisões efetivas, portanto, a geração de energia cinética em energia térmica (SANSEVERINO, 2002; VOLANTI *et al.*, 2007).

Na Figura 5, estão ilustrados os dois processos de aquecimento, o convencional e o HM.

**Figura 5.** Esquema representativo da direção de fluxo de calor por (a) aquecimento de convecção convencional e (b) por aquecimento de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).

I. M. Pinatti *et. al* (2016) sintetizaram  $\text{CaTiO}_3$  puro e dopado com  $\text{Sm}^{3+}$  pelo método HM nas condições de síntese de  $140^\circ\text{C}$  por 16 minutos. Neste estudo, descreveram um processo para a obtenção direta de nanocristais de  $\text{CaTiO}_3$ , em que a metodologia utilizada foi responsável pela presença de propriedades incomuns e interessantes para estes novos materiais luminescentes.

A. Phuruangrat *et. al* (2016) descreveram as propriedades magnéticas das nanopartículas de  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  obtidos pelo método HM a  $150^\circ\text{C}$  por 20 minutos. A variação do pH na síntese influenciou nas morfologias das ferritas assim como na formação de diferentes defeitos estruturais, influenciando nas propriedades magnéticas. O grau de cristalinidade e o tamanho de partícula das nanoestruturas  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  foram

melhorados aumentando da basicidade das soluções precursoras. A magnetização por saturação, a remanência e coercividade aumentaram com o aumento do tamanho das partículas e o grau de cristalinidade das nanopartículas.

L. F. da Silva *et. al* (2016) descreveram a formação de nanobastões de  $\text{Ag}_2\text{WO}_4$  pelo método HM em 160 °C por 60 minutos, em que as amostras foram testadas para detecção de acetona, etanol e amônia. As experiências para detecção de gás, realizadas a 350 °C revelaram sua maior sensibilidade à acetona, em comparação aos outros gases, com tempo de resposta rápida e boa reprodutibilidade.

L. S. R. Rocha *et. al* (2016) sintetizaram nanoestruturas de ZnO obtidas pelo método HM variando a temperatura de reação (120 e 140 °C) a um tempo curto de síntese de 8 minutos. Estes materiais demonstraram um grande potencial como novos sensores de gás  $\text{O}_3$  e mostrou boa sensibilidade para baixas concentrações de  $\text{O}_3$ .

K. Shingange *et. al* (2017) sintetizaram nanoestruturas de ZnO com diferentes morfologias pelo método HM a 100 °C no tempo de síntese de 10 minutos. Avaliou-se o efeito da variação do pH e também o efeito da temperatura de calcinação (450 °C) na morfologia das partículas, nas propriedades luminescentes, magnéticas e na aplicação como sensor de gás na detecção de amônia.

R. M. Thankachan *et. al* (2017) sintetizaram nanoestruturas de ZnO com diferentes morfologias pelo hidrotérmico de micro-ondas variando o tempo de síntese de 1 - 2 minutos, com posterior calcinação à 400 °C por 60 minutos. Avaliou-se o efeito da variação do tempo de síntese e também o efeito da temperatura de calcinação na morfologia das partículas e nas propriedades fotocatalíticas, avaliadas frente à degradação do corante rodamina B.

## 1.5. Luminescência

No decorrer da história da ciência, desde a antiguidade há um fascínio em materiais que brilham, ou seja, sólidos que possuam propriedades de luminescência intrínseca tem contribuído para o desenvolvimento de pesquisas científicas e tecnológicas em toda área acadêmica.

Os primeiros estudos relatados a respeito da luminescência de materiais sólidos são registrados no século XVII em 1603, em que foram realizados por um sapateiro

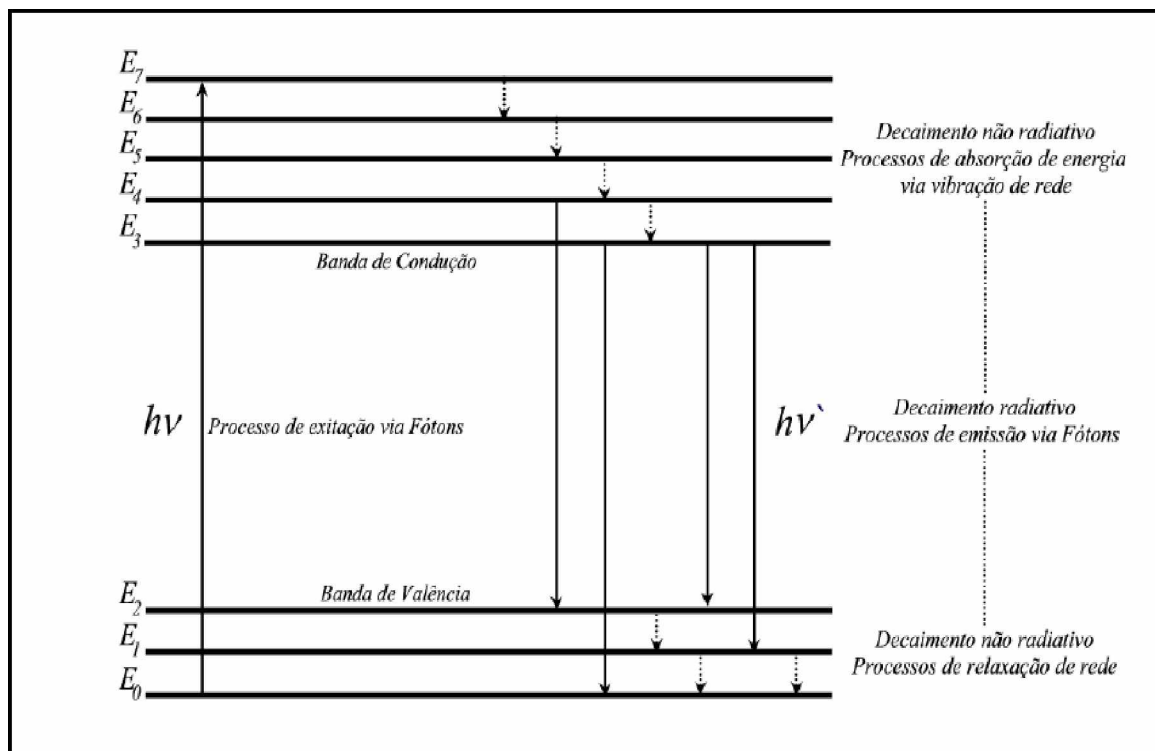


italiano chamado Vincenzo Cascariolo, situado na província de Bolonha na Itália. Vincenzo observou que ao promover um tratamento de redução térmica do mineral barita ( $\text{BaSO}_4$ ) com carvão mineral, o produto obtido (BaS) emitia luz após ser exposto à radiação solar, por horas ou até dias. Levou mais de 400 anos para que os cientistas entendessem o fenômeno, o qual foi identificado impurezas no mineral - íons  $\text{Cu}^+$ , que intensificam o processo de luminescência. O mineral logo passou a ser chamado de Pedra de Bolonha, um fato importante para os primeiros registros do fenômeno de luminescência persistente, conhecida como a emissão de luz observada após exposição a uma dada fonte de radiação (BRITO *et al.*, 2012; LASTUSAARI *et al.*, 2012).

A luminescência é um fenômeno no qual um fóton de maior energia é absorvido e um fóton de menor energia é então emitido, sendo que esse termo usualmente vem acompanhado de um prefixo que se relaciona com a fonte de energia excitante. O fenômeno da luminescência pode ser classificado de acordo com a fonte excitante de energia (CASALI *et al.*, 2014), como, por exemplo, a eletroluminescência, a termoluminescência, a catodoluminescência, a bioluminescência, a quimiluminescência, e a fotoluminescência. A eletroluminescência consiste no processo em que a energia de excitação é proveniente de tensões elétricas, a termoluminescência a emissão de luz é resultante de estímulos por aquecimento e a catodoluminescência, a energia provém do feixe de elétrons ou de raios catódicos. Na quimiluminescência e bioluminescência, a energia é proveniente de reações químicas e dos mecanismos biológicos, respectivamente, e na fotoluminescência, o processo de excitação ocorre por meio de fótons cujos comprimentos de onda estão localizados na região do visível e ultravioleta do espectro eletromagnético (LUCENA *et al.*, 2004; SOUSA *et al.*, 2015).

O processo de luminescência é apresentado na Figura 6, em que uma fonte de excitação emite um fóton de maior energia que é absorvido por um elétron no estado fundamental ( $E_0$ ), conduzindo-o ao estado excitado ( $E_7$ ). Ao retornar para o estado fundamental ( $E_0$ ) ocorre a emissão de radiação eletromagnética (processo radiativo). No entanto, existe um processo competitivo com o fenômeno fotoluminescente (processo não radiativo), no qual a energia é dissipada na forma de vibrações (OLIVEIRA, 2012).

**Figura 6.** Representação dos processos de excitação, decaimento radiativo e decaimento não radiativo durante o fenômeno da luminescência.



**Fonte:** (OLIVEIRA, 2012).

O interesse em desenvolver materiais que apresentem propriedade fotoluminescente (FL) pode ser observado após ser reportada na literatura a emissão FL na região do visível em silício poroso à temperatura ambiente (CANHAM, 1990). Os defeitos estruturais no silício gerados com o aumento da porosidade fez-se com que o material apresentasse emissão FL na região do visível à temperatura ambiente, enquanto que o material completamente ordenado não apresentou propriedade FL.

Em particular, neste trabalho o estudo do comportamento óptico dos materiais no estado sólido será baseado no fenômeno da Fotoluminescência, visto que em sólidos semicondutores, a emissão de luz se dá através de uma luminescência interbanda (onde o elétron decai da banda de condução para a banda de valência) quando o semicondutor é excitado por um fóton com energia maior que a energia da banda proibida (energia de  $gap - E_g$ ). Uma fonte de excitação emite fótons de alta energia que promovem os elétrons da banda de valência para a banda de condução, que momentaneamente geram buracos na banda de valência. Neste processo, inicialmente, os elétrons são promovidos para estados mais altos na banda de condução, permanecendo por pouco

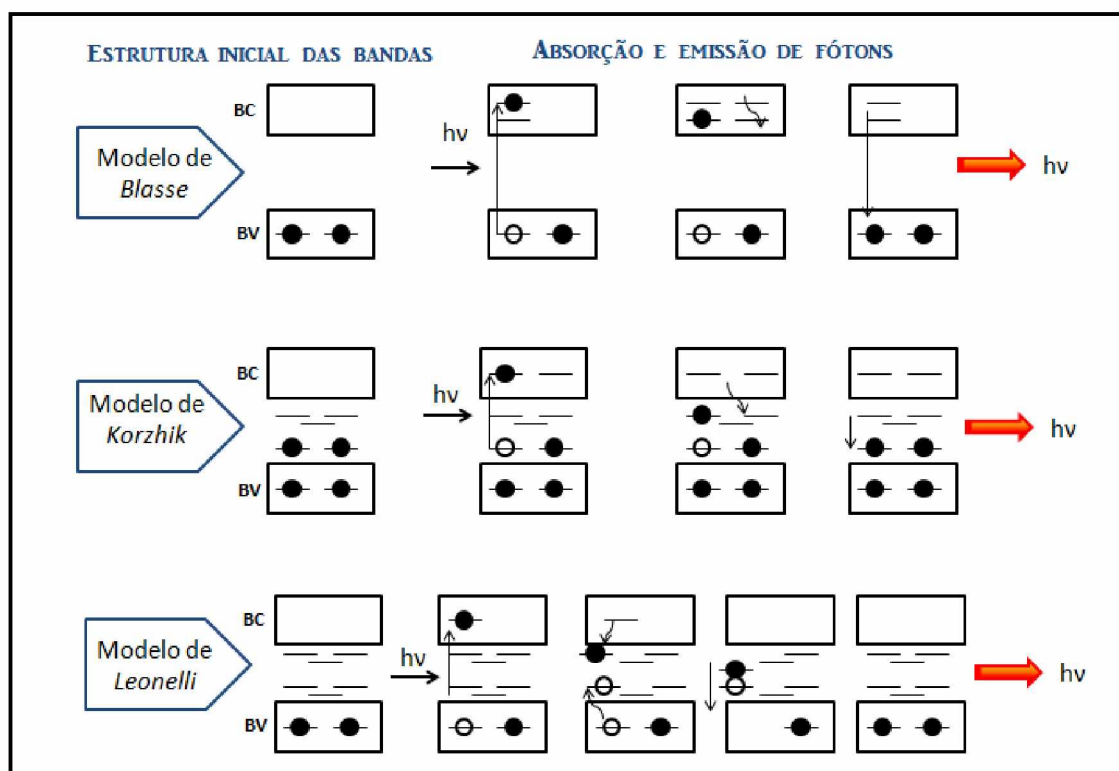
tempo nestes estados (CAVALCANTE *et al.*, 2008; ISHIZUMI *et al.*, 2011; OLIVEIRA, L. H. *et al.*, 2012).

A fotoluminescência tem sido aplicada como uma técnica bastante eficaz na caracterização óptica de materiais, pois fornece informações importantes de defeitos e formação de novos estados intermediários na região do *gap* em níveis superficiais e profundos da maioria dos semicondutores. Os semicondutores também podem apresentar defeitos estruturais advindos do método de preparação e do crescimento no meio reacional que poderão influenciar nas propriedades fotoluminescentes (DE MOURA *et al.*, 2010; ISHIZUMI *et al.*, 2011; CAVALCANTE *et al.*, 2012; DA SILVA *et al.*, 2012; PINATTI *et al.*, 2016).

Na literatura (ANICETE-SANTOS *et al.*, 2007) descrevem-se alguns modelos que interpretam os mecanismos responsáveis pelo processo de fotoluminescência em semicondutores. Destacam-se três modelos que explicam a origem da fotoluminescência:

- 1- O modelo proposto por *Blasse* é baseado diretamente nas transições dos elétrons da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC). O processo de decaimento do elétron pode ser acompanhado por recombinações radiativas e não radiativas (vibrações de rede) (BLASSE e GRABMAIER, 1994).
- 2- O modelo de *Korzhik* é proposto na modificação do modelo de *Blasse* e sugere a existência de estados intermediários entre as bandas de valência e de condução, principalmente devido à presença de defeitos estruturais causados pelas vacâncias de oxigênio (KORZHIK *et al.*, 1996).
- 3- O modelo de *Leonelli* levou em consideração a polarização da rede cristalina. O pesquisador propôs que durante a excitação os movimentos dos elétrons no cristal podem causar deformações estruturais (efeito conhecido como *polaron*) dentro da banda proibida (LEONELLI e BREBNER, 1986). Uma representação esquemática dos modelos descritos acima pode ser visualizada na Figura 7.

**Figura 7.** Representação esquemática dos três principais modelos teóricos para a explicação do fenômeno de emissão fotoluminescente.



**Legenda:** BC (banda de condução) e BV (banda de valência). E os círculos pretos representam os elétrons e os círculos brancos representam os buracos.

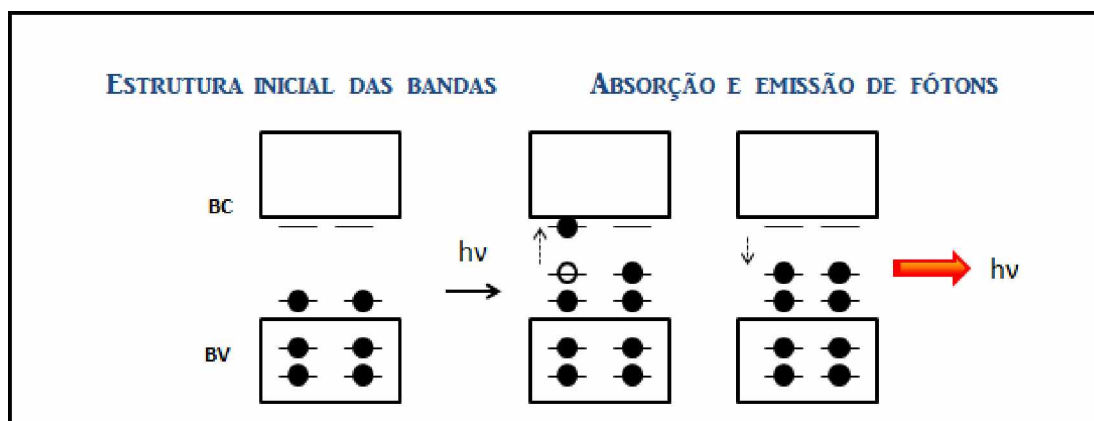
**Fonte:** adaptado de (ANICETE-SANTOS *et al.*, 2007).

O estudo das propriedades fotoluminescentes atualmente tem sido baseado no modelo de banda larga (Figura 8). Este modelo pressupõe que a quebra de simetria causada por distorções (curto ou médio alcances) sobre os clusters modificadores da rede cristalina, gera uma distribuição não homogênea de cargas na estrutura. Como consequência disto, origina-se estados energeticamente localizados próximos à banda de valência que podem capturar os elétrons aleatoriamente, nesse contexto ainda, os fótons incidentes podem excitar os elétrons aprisionados próximo a banda de valência. Após o decaimento (processo de emissão), as variadas contribuições dos diferentes estados de energia resultam em espectro de fotoluminescência de banda larga, podendo abranger todo espectro eletromagnético (CAVALCANTE *et al.*, 2007).

O modelo de banda larga implica na existência de ordem-desordem estrutural nos clusters a médio e curto alcances. Quando ocorre uma relativa mudança na posição de equilíbrio dos átomos de um cluster via distorção de ângulos, por exemplo, pode-se

dizer que há uma desordem a médio alcance. A ordem a curto alcance é o arranjo espacial dos átomos que se estende apenas aos vizinhos mais próximos de cada átomo observados em materiais cristalinos (ANICETE-SANTOS *et al.*, 2007; CAVALCANTE *et al.*, 2007; LIMA, R. C. *et al.*, 2007; NUNES *et al.*, 2012).

**Figura 8.** Representação esquemática do modelo teórico de banda larga.



**Legenda:** BC (banda de condução) e BV (banda de valência). E os círculos pretos representam os elétrons e os círculos brancos representam os buracos.

**Fonte:** adaptado de (ANICETE-SANTOS *et al.*, 2007; CAVALCANTE *et al.*, 2007).

O comportamento dos espectros de fotoluminescência do ZnO puro e dopado com íons terras-raras ainda é limitado, ou seja, a propriedade óptica de fotoluminescência é dependente tanto do grau de organização estrutural, quanto do método de preparação dos materiais, dificultando a construção de um modelo ou teoria. Portanto, é importante compreender a influência de diferentes métodos de síntese no grau de organização estrutural e nas propriedades ópticas. Pode-se destacar, por exemplo, alguns trabalhos relevantes publicados de fotoluminescência aplicada ao ZnO.

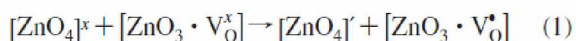
K. Vanheusden *et. al* (1995) estudaram a propriedade FL do ZnO comercial de variados fornecedores e correlacionaram com os resultados obtidos por Ressonância Paramagnética Eletrônica. Os autores relataram que  $V_O^\bullet$  (vacâncias de oxigênio monopositivas) é o defeito pontual intrínseco paramagnético que está relacionado com a emissão na região do verde do espectro eletromagnético.

S. A. Studenikin *et. al* (1998) estudaram o efeito da fotoluminescência em filmes de ZnO preparados pelo método spray pirólise. As bandas de FL observadas na região do visível estão associadas com a quantidade de oxigênio no filme. A emissão verde

surge pela deficiência de oxigênio em uma camada abaixo da superfície do cristalito, enquanto que as emissões amarelo-laranja surgem nas amostras ricas em oxigênio.

S. A. M. Lima *et. al* (2001) sintetizaram ZnO pela decomposição térmica do hidroxicarbonato de zinco, na qual, a emissão na região ultravioleta se dá pelos processos de recombinação excitônica e atribuíram que banda de emissão na região verde-amarela em 2,32 eV é devido à presença de  $Zn^{2+}$  intersticial ( $Zn_i$ ).

R. C. Lima *et. al* (2008) descreveram o mecanismo envolvido na fotoluminescência do ZnO em relação ao grau de ordem/desordem estrutural que o material pode apresentar de acordo com as possíveis configurações adotadas pelo ZnO durante o processo de síntese hidrotérmico convencional e hidrotérmico de micro-ondas. A ordem/desordem está ligada com a modulação de oxigênio em relação ao cluster  $[ZnO_4]$  dando origem a interação entre os clusters  $[ZnO_3]$  e as espécies  $V_O^x$ ,  $V_O^\bullet$  e  $V_O^{\bullet\bullet}$  e criando clusters complexos,  $[ZnO_3 \cdot V_O^x]$ ,  $[ZnO_3 \cdot V_O^\bullet]$  e  $[ZnO_3 \cdot V_O^{\bullet\bullet}]$  segundo as equações 1 e 2. Com a criação destes clusters complexos são formados novos estados intermediários dentro do *band gap* que podem ser associados às vacâncias de oxigênio –  $Zn^{2+}$  intersticiais.



W. E. Mahmoud (2010) sintetizou ZnO dopado com  $Ce^{4+}$  (15% em mol) pelo método hidrotérmico convencional (150°C – 24h), com posterior calcinação dos precursores a 600 °C. As fortes emissões FL na região do ultravioleta e verde do espectro visível foram atribuídas a inserção do dopante na estrutura cristalina do ZnO, apontando uma sensível relação entre a propriedade FL e os defeitos estruturais gerados com a dopagem.

N. Qin *et. al* (2014) sintetizaram nanoestruturas de ZnO com diferentes formas (disco hexagonal, primas e pirâmide) pelo método hidrotérmico, investigando o efeito do pH (7-10), do surfactante e da temperatura de calcinação neste sistema. Os resultados apontaram para uma sensível dependência da fotoluminescência com os defeitos estruturais e com os aspectos morfológicos. A forma do tipo disco hexagonal com a face (0001) mais exposta tem uma maior quantidade de vacâncias de oxigênio do que as outras três microestruturas, evidenciando uma emissão verde/azul mais intensa.

T. Pandiyarajan *et al.* (2015) por intermédio do método hidrotérmico após calcinação (500 °C por 1h), prepararam ZnO dopado com  $\text{Sm}^{3+}$  (0 – 1,5% em mol). Todos os espectros fotoluminescentes exibiram a emissão UV forte e com menor intensidade bandas de emissão na região visível, assim, confirmaram que as nanoestruturas preparadas possuíam menor concentração de defeitos estruturais.

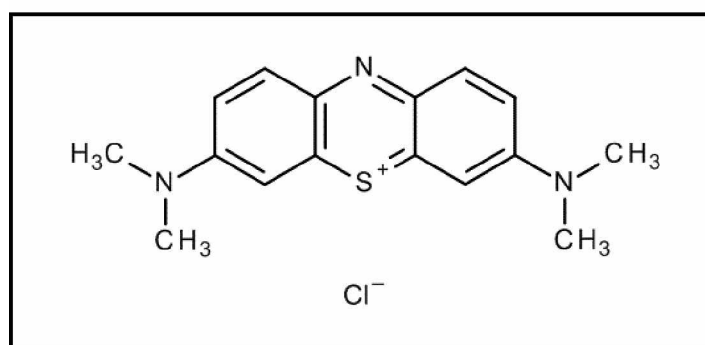
### 1.6. Processos fotocatalíticos: fotocátalise heterogênea e catalisadores

As indústrias químicas de cosméticos, farmacêutica, de couro, de papel, embalagens e têxteis, por exemplo, utilizam grandes quantidades de corantes em escala de produção e consomem água limpa durante esses processos, retornando ao meio ambiente como efluente. O descarte destes efluentes coloridos no ecossistema é uma fonte dramática de poluição ambiental, de eutrofização e de perturbações na vida aquática (LUCILHA e TAKASHIMA, 2009; BRILLAS, 2014; LOPES *et al.*, 2015).

O corante com uma ampla gama de aplicação no meio industrial é o azul de metileno (AM), comumente utilizado na produção de papel e em outros materiais, como fibras de poliésteres e nylons. Além destas aplicações citadas, o AM é também utilizado como indicador em reações químicas, nas análises biológicas e na indústria farmacêutica (HOUAS *et al.*, 2001; LACHHEB *et al.*, 2002; HONORATO *et al.*, 2015; PAL *et al.*, 2016).

O AM, *Colour Index* (C.I.) 52015, é classificado como um composto aromático heterocíclico (Figura 9), com fórmula molecular  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$  e massa molar 373,86 g. mol<sup>-1</sup>, o qual trata-se de um corante básico com absorção máxima em 663 nm. Uma das características dos corantes básicos é o fato de serem solúveis em água produzindo cátions coloridos e, portanto, também são assim reconhecidos como corantes catiônicos (LACHHEB *et al.*, 2002; SCOTTI *et al.*, 2006; LIBERATTI *et al.*, 2014; HONORATO *et al.*, 2015).

**Figura 9.** Estrutura molecular do corante azul de metileno.



**Fonte:** (HOUAS *et al.*, 2001).

Em virtude de sua aplicação irrestrita e seu efeito tóxico causado sobre o ambiente aquático, tem-se uma necessidade de um tratamento prévio de seus efluentes antes do lançamento nas águas; desta forma, novas tecnologias vem sendo estudadas com o intuito de minimizar estes riscos (KUNZ *et al.*, 2002; RAFATULLAH *et al.*, 2010; WIEDMER *et al.*, 2016). Assim, há uma crescente necessidade pelo desenvolvimento de novos processos de tratamento de efluentes que garantam um baixo nível de contaminantes.

O desenvolvimento de tratamentos químicos tem mostrado que a fotocatalise heterogênea, fazendo parte dos processos de oxidação avançados (POAs), representam uma valiosa alternativa para redução de subprodutos e cor desses efluentes (NOGUEIRA e JARDIM, 1998; PALFI *et al.*, 2011; RAVELLI *et al.*, 2011). Os POAs são métodos de fotocatalise avançada que utilizam como fonte de degradação os radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) os quais, são altamente oxidantes e não seletivos capazes de reagir com quase todas as classes de compostos orgânicos (HOFFMANN *et al.*, 1995; HOUAS *et al.*, 2001; HERRMANN *et al.*, 2007; MACHADO *et al.*, 2008).

O conceito para o desenvolvimento de fotocatalise heterogênea surgiu em 1972 com Fujishima e Honda, que descreveram a foto-oxidação da água em eletrodos de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) para a obtenção de hidrogênio e oxigênio (FUJISHIMA e HONDA, 1972). Esse processo fotocatalítico é baseado na irradiação de um semicondutor (catalisador) que posteriormente é fotoexcitado para a formação de sítios oxidantes e redutores, promovendo grande extensão de reações químicas.

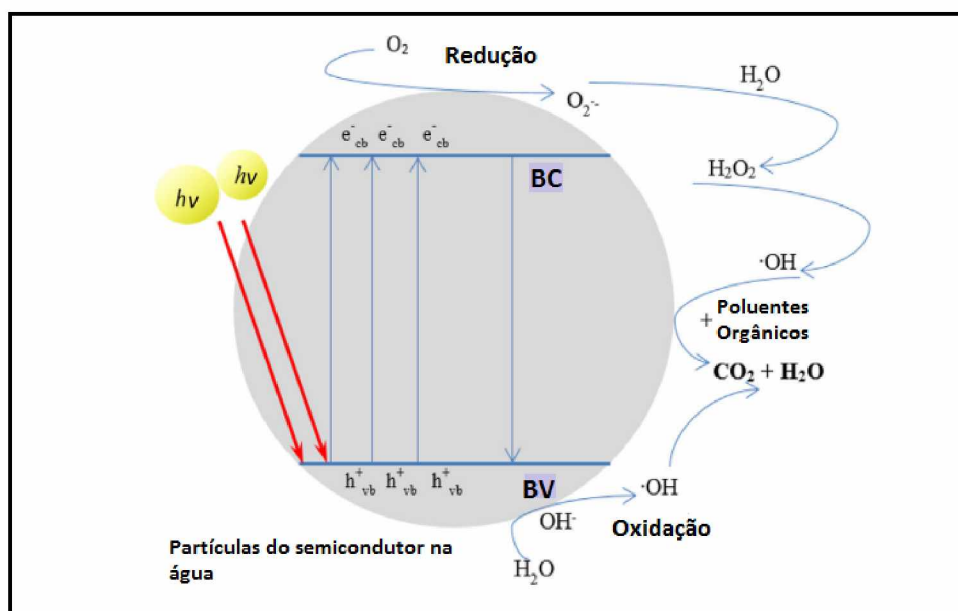
A habilidade de um semicondutor, sob irradiação solar ou artificial, em aumentar a velocidade de degradação de um composto orgânico, por exemplo, é atribuída à sua estrutura eletrônica, caracterizada pela separação de cargas das bandas de valência



completa e de condução, vazia. Ao irradiar o semicondutor com energia igual ou maior que a energia de *gap*, os elétrons da banda de valência (BV) são excitados à banda de condução (BC) levando a um processo de separação de cargas, entre os elétrons e buracos (HOFFMANN *et al.*, 1995; KUMAR e DEVI, 2011).

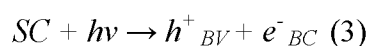
O buraco gerado na BV possuirá um potencial elevado e suficientemente positivo para incentivar a geração de radicais hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ) a partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor (Figura 10), os quais podem subsequentemente oxidar o contaminante orgânico até a completa mineralização (MACHADO *et al.*, 2008; JANITABAR-DARZI, 2014; PAN, 2016).

**Figura 10.** Representação esquemática do mecanismo simplificado de fotoativação de um semicondutor.

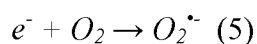
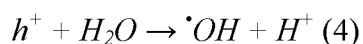


**Fonte:** adaptado de (LEE *et al.*, 2016).

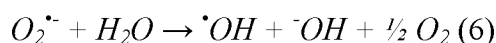
O elétron da banda de condução é capturado pelo oxigênio, obtendo radicais superóxido, que podem também promover a oxidação de compostos orgânicos. A fotoativação da partícula do semicondutor começa a partir da absorção de luz (NOGUEIRA e JARDIM, 1998; LUCILHA e TAKASHIMA, 2009), conforme demonstrado na equação 3:



Estes pares podem se recombinar e dissipar a energia como calor, ou migrar à superfície do semicondutor e participar das reações de oxidação-redução interfaciais com a formação de  $\bullet\text{OH}$  (Equação 4) e do ânion radical superóxido,  $\text{O}_2^{\bullet-}$  (Equação 5) (OLIVEIRA, D. F. M. *et al.*, 2012; PAPOULIS *et al.*, 2013; PAN, 2016).



O ânion radical superóxido na presença de  $\text{H}_2\text{O}$  é convertido em radical hidroxila (Equação 6) que degrada o contaminante (NOGUEIRA e JARDIM, 1998; GIRALDI *et al.*, 2012):



Algumas características desejáveis para a escolha de um bom semicondutor são estabilidade química e fotoquímica, insolubilidade na água, não toxidez, área superficial elevada, possibilidade de ativação por luz, baixo custo e distribuição uniforme de tamanho (HOFFMANN *et al.*, 1995; HERRMANN, 2005a; MACHADO *et al.*, 2008; MACHADO, 2011; WANG *et al.*, 2015).

Estes materiais quando submetidos a uma fonte de radiação de energia maior ou igual a sua energia de *gap*, são capazes de impulsionar os elétrons da banda de valência para banda de condução, ativando então o semicondutor. Os semicondutores são sólidos geralmente cristalinos que apresentam condutividade elétrica intermediária, ou seja, entre condutores e isolantes. A quantidade de energia necessária para excitar um elétron da banda de valência e promovê-lo para banda de condução é o que determina se um sólido será um condutor, semicondutor ou isolante. Para um semicondutor, pela definição esta energia é abaixo dos 4,0 eV e acima disto é considerado isolante (SHACKELFORD, 2008).

Os óxidos semicondutores como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  e  $\text{SnO}_2$  podem atuar como sensibilizadores em fotocatalise heterogênea devido a sua estrutura eletrônica e propriedades, tais como fotoatividade e fotoestabilidade (YANG *et al.*, 2004; ZHOU *et al.*, 2009; PAN *et al.*, 2013; KUMAR e RAO, 2015; LEI *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2015; PAN *et al.*, 2016; WANG e HUANG, 2016; SAMADI *et al.*, 2016).

Dentre os catalisadores citados acima, o  $\text{TiO}_2$  tem apresentado, segundo a literatura maior aproveitamento nos processos catalíticos e maior rendimento quântico na mistura das fases anatase e rutilo, devido à sua formação em temperaturas abaixo de  $600\text{ }^\circ\text{C}$ , o que favorece a formação de partículas com grande área superficial e alta densidade de sítios ativos (HERRMANN, 1999; LIU *et al.*, 2010; DING *et al.*, 2016).

Apesar das vantagens ao uso de  $\text{TiO}_2$  frente aos processos catalíticos, algumas alternativas tem sido buscadas, como por exemplo o  $\text{ZnO}$ . Este óxido apresenta características análogas ao  $\text{TiO}_2$  (anatase), praticamente apresentam mesma energia de *gap* e além disso, como vantagem o  $\text{ZnO}$  é mais barato.

A dopagem com cátions metálicos ou ânions não metálicos tem sido amplamente utilizada para a modificação de  $\text{ZnO}$  para melhorar a sua atividade fotocatalítica ou para prolongar a sua absorção de luz na região visível (AHMAD *et al.*, 2013; ACHOURI *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2016; SAMADI *et al.*, 2016; YU *et al.*, 2016). Sabe-se que a dopagem com íon metálico pode modificar as propriedades de superfície de  $\text{ZnO}$ , que dificultam a recombinação dos pares elétron-buraco fotogerados, e aumenta a quantidade de sítios ativos. Em especial, a atividade fotocatalítica de  $\text{ZnO}$  pode ser significativamente melhorada a partir da dopagem com os íons lantanídeos possuindo configuração 4f (AHMAD *et al.*, 2015; HEMALATHA *et al.*, 2016).

A dopagem de  $\text{ZnO}$  com íons terras-raras para o estudo das propriedades fotocatalíticas ainda é relativamente pouco estudado na literatura. No entanto, tem-se observado resultados promissores para a fotodegradação de corantes têxteis e alimentícios, tais como, vermelho 23, rodamina B, azul de metileno, alaranjado de metila, *acid Orange 7*, dentre outros (FAISAL *et al.*, 2013; ÖKTE, 2014; KHATAEE *et al.*, 2015; KUMAR, R. *et al.*, 2015; LIANG *et al.*, 2015; LUO *et al.*, 2015; HEMALATHA *et al.*, 2016).

Entre os íons, a dopagem com cério é um pouco mais explorada, despertando um interesse devido ao tamanho relativamente grande do íon, o qual produz uma perturbação de carga localizada durante a dopagem substitucional na rede cristalina do  $\text{ZnO}$ , podendo provocar então um aumento na sua atividade fotocatalítica (REZAEI e HABIBI-YANGJEH, 2013; CHANG, LIN e HSU, 2014; AHMAD *et al.*, 2015). A dopagem com íons  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  para a aplicação em fotocatalise ainda é pouco investigada, o que desperta um interesse especial em investigar também as propriedades destes íons terras-raras.

Dentro deste contexto, no presente trabalho, foi desenvolvido um estudo a respeito do método de obtenção do óxido semicondutor ZnO e da investigação do efeito dos íons terras-raras  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  na estrutura cristalina e eletrônica do óxido em questão.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivos:

- ✓ Propor uma rota experimental visando a obtenção das nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$  em condições de baixa temperatura de síntese e curtos tempos de reação;
- ✓ Estudar o efeito dos íons terras-raras  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$  incorporados na rede do ZnO em relação à estrutura cristalina e eletrônica, à morfologia, ao tamanho das partículas e área superficial;
- ✓ Investigar as propriedades fotoluminescentes dos materiais obtidos;
- ✓ Avaliar a atividade fotocatalítica dos materiais obtidos frente à degradação do corante têxtil azul de metileno.

### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste trabalho, as amostras puras e dopadas de ZnO foram sintetizadas pelo método hidrotérmico de micro-ondas. Para uma melhor compreensão das etapas de formação dos materiais, bem como, de suas propriedades estruturais e ópticas, este tópico foi orientado para uma descrição minuciosa dos reagentes químicos utilizados, do equipamento de micro-ondas para síntese e das técnicas de caracterização empregadas.

#### 3.1. Reagentes

Todos os reagentes químicos utilizados nas sínteses hidrotérmicas foram de grau analítico. As empresas fornecedoras e os respectivos graus de pureza de cada precursor estão listados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Reagentes empregados na síntese hidrotérmica.

Reagentes	Fórmula	Pureza (%)	Procedência
Acetato de zinco dihidratado	$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	99,9	Sigma-Aldrich
Nitrato de cério (III) hexahidratado	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	99	Vetec
Óxido de gadolínio	$\text{Gd}_2\text{O}_3$	99	Sigma-Aldrich
Óxido de samário	$\text{Sm}_2\text{O}_3$	99	Sigma-Aldrich
Hidróxido de potássio	KOH	99	Synth
Polietilenoglicol (400)	$(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{H}_2\text{O}$	99	Sigma - Aldrich
Ácido Nítrico P.A.	$\text{HNO}_3$	96	Sigma - Aldrich
Álcool etílico P.A.	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	99	Synth

**Fonte:** o Autor (2017).

### 3.2. Síntese dos materiais

No presente trabalho, foram utilizados os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  como dopantes, variou-se a concentração dos mesmos e o tempo de síntese, mantendo os parâmetros de síntese, tais como, temperatura e taxa de aquecimento para todas as amostras. Os procedimentos da síntese foram realizados sob condições de alta pureza a fim de se evitar quaisquer contaminações externas.

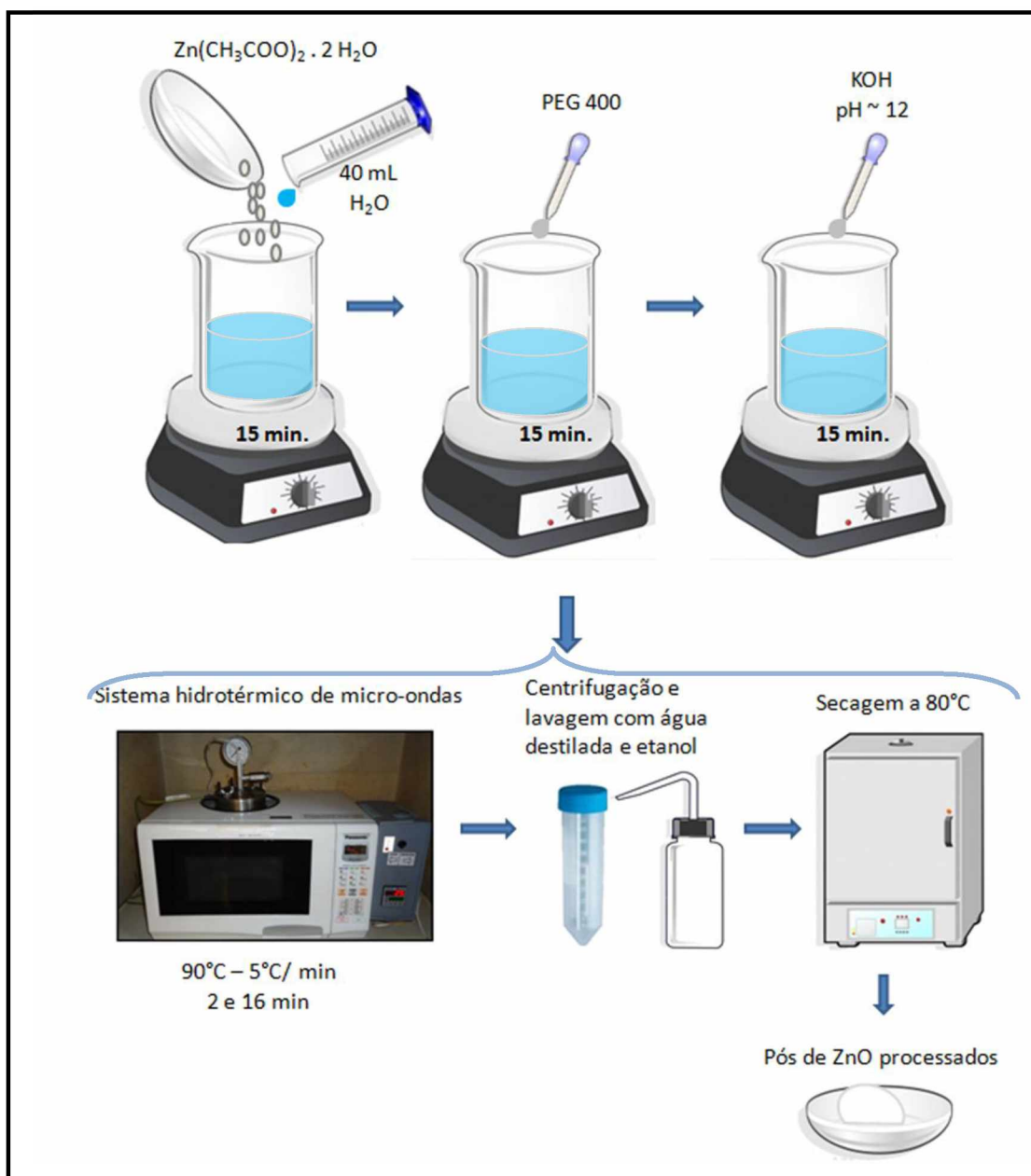
Primeiramente, para a síntese do óxido de zinco puro, foi adicionado 2,68 g de  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  à 40 mL de água destilada. Esta solução foi colocada sob constante agitação até dissolução completa do sal. A esta solução foi acrescentada 1,0 mL de polietilenoglicol 400 (PEG 400). O valor de pH foi elevado a aproximadamente 12 com a adição de uma solução de  $\text{KOH}$  2 mol.L<sup>-1</sup>.

As soluções dos íons  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  foram preparadas a partir dos óxidos correspondentes, utilizando o  $\text{HNO}_3$  concentrado e aquecimento. As amostras dopadas com Sm foram obtidas com a adição estequiométrica da solução de  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$  0,28 mol.L<sup>-1</sup> (1,0 e 2,0% em mol), sob constante agitação. O mesmo foi feito para as amostras dopados com Gd, utilizando uma solução de  $\text{Gd}(\text{NO}_3)_3$  0,28 mol.L<sup>-1</sup>. Para o preparo das amostras dopadas com Ce seguiu-se o mesmo procedimento, porém foram adicionadas quantidades estequiométricas de  $\text{Ce}^{3+}$  (1,0 e 2,0% em mol) a partir do precursor  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ .

As soluções foram transferidas para o recipiente de politetrafluoretileno (Teflon) que foi inserido no reator, com posterior fechamento do reator. Sob as condições do método hidrotérmico de micro-ondas, o sistema reacional foi aquecido a uma temperatura de 90 °C variando-se o tempo de síntese por 2 e 16 minutos, com taxa de aquecimento de 5 °C / minuto. A pressão dentro da autoclave ficou estabilizada em 1,5 atm.

Os produtos obtidos foram centrifugados, lavados repetidas vezes com água destilada a quente e etanol, por fim, secos em estufa à 80 °C. As Figuras 11 e 11.1 apresentam uma representação esquemática do processo de síntese das amostras obtidas pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

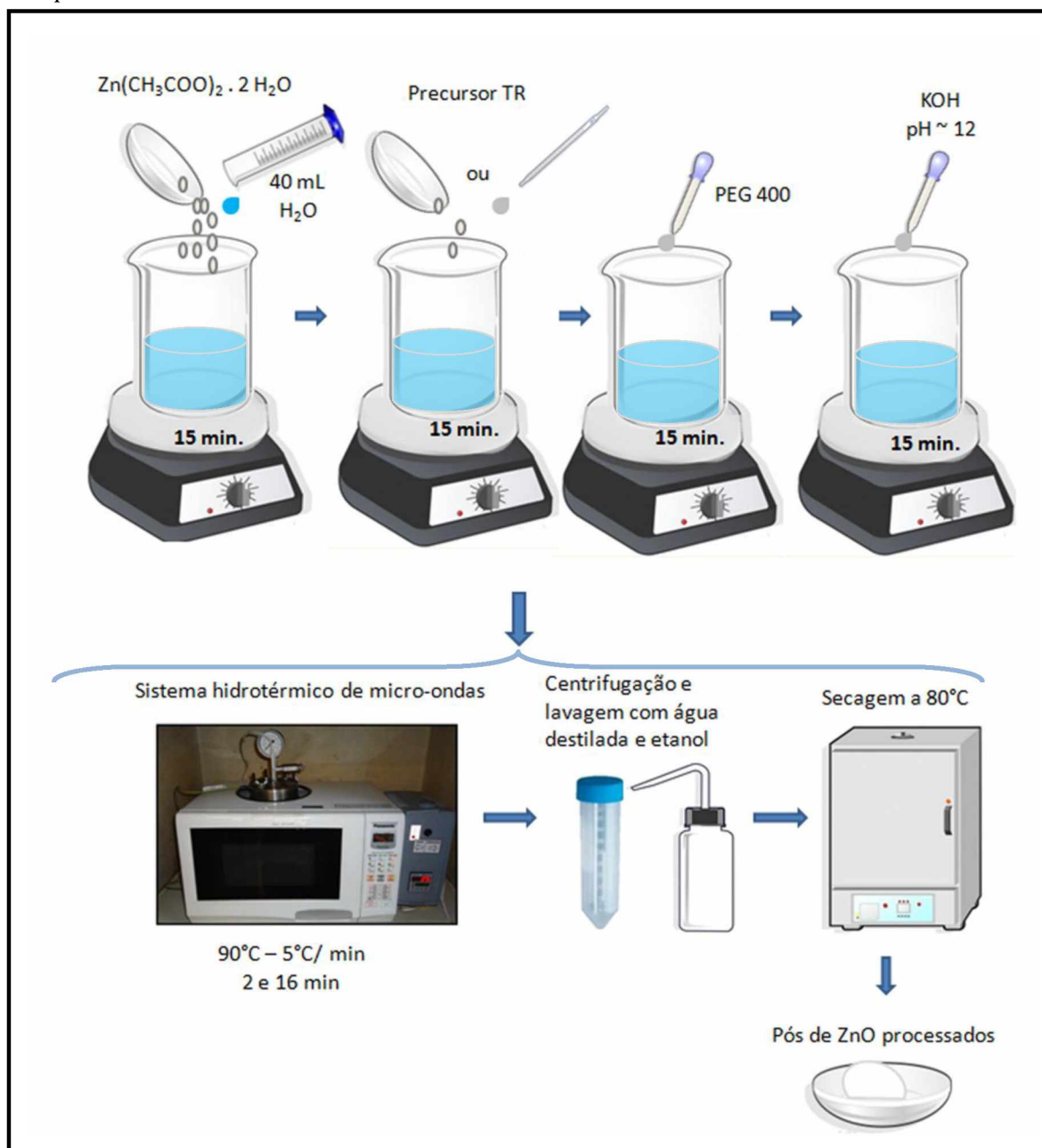
**Figura 11.** Representação esquemática do processo de síntese para amostra pura.



**Fonte:** o Autor (2017).



**Figura 11.1.** Representação esquemática do processo de síntese para as amostras dopadas.



**Fonte:** o Autor (2017).

### 3.3. Método hidrotérmico de micro-ondas (HM)

O equipamento para sínteses hidrotérmicas neste trabalho foi desenvolvido a partir da modificação de um forno de micro-ondas doméstico (Panasonic - 2,45 GHz, 800 W) (Figura 12). Como garantia de um melhor desempenho, segurança e controle durante as sínteses, o painel eletrônico do forno micro-ondas foi desativado e o funcionamento do magnetron foi diretamente ligado ao comando de um controlador externo de temperatura (limite de 140 °C). Todos os equipamentos metálicos do sistema foram aterrados para evitar a formação de arcos voltaicos que possa causar danos ao equipamento. A célula reacional para o processamento hidrotérmico foi quase toda constituída em Teflon, pois é inerte e um bom isolante térmico.

A tampa superior do reator foi totalmente fabricada em aço inoxidável para minimizar a corrosão causada por solventes químicos, evitando a contaminação do meio reacional desta ordem. Além disso, nesta tampa, são fixados uma válvula de pressão (limitada a 15 bar), um manômetro de pressão para a leitura da pressão interna e uma espécie de “entrada” de aço inoxidável para abrigar o termopar.

A parte inferior do reator, o qual fica inteiramente dentro do micro-ondas, é um cilindro constituído de Teflon. Na cavidade interna é reservado um espaço para o devido encaixe do copo reacional, também de Teflon, pois o torna transparente a ação das micro-ondas.

**Figura 12.** Imagens do sistema HM e seus componentes.



**Fonte:** o Autor (2017).

### 3.4. CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

#### 3.4.1. Difração de raios X (DRX)

Para estudar e analisar o comportamento da estrutura e o grau de cristalinidade das amostras de ZnO puro e dopado com íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas, medidas de difratometria de raios X foram obtidas em um difratômetro modelo Shimadzu XRD 6000, usando radiação  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) com tensão 20 kV e 10 mA em um intervalo de 10 a  $100^\circ$  no modo  $2\theta$ , com passo de  $0,02^\circ$  e com acumulação de 1s / ponto. As medidas de DRX foram realizadas no Laboratório Multiusuário (LMIQ – UFU) do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

Os difratogramas das amostras foram comparados e analisados com base nas fichas cristalográficas padrão JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standard).

A análise de refinamento Rietveld é uma ferramenta de análise estrutural para interpretação dos padrões de difração de raios X. A concepção fundamental deste método é obter o melhor ajuste possível de um difratograma experimental em relação a um padrão de difração. Isto permite encontrar informações relacionadas à estrutura cristalina, como por exemplo, determinação de fases cristalográficas, dos parâmetros de rede (dimensão de célula unitária), volume da cela unitária e posições atômicas (SAKATA e COOPER, 1979; BISH e HOWARD, 1988; PAUFLER, 1995).

No método de Rietveld, o refinamento dos parâmetros é definido por meio de uma função de minimização de resíduo ( $S$ ) com o número de pontos medidos no difratograma baseado no princípio dos mínimos quadrados (PAUFLER, 1995):

$$S = \sum W_i (Y_i - Y_{ic})^2 \quad (7)$$

Em que  $W_i$  é o peso correspondente a cada intensidade ( $W_i = 1/Y_i$ ),  $Y_i$  e  $Y_{ic}$  são as intensidades observadas e calculadas no  $i$ -ésimo ponto, respectivamente.

Para verificar a qualidade do refinamento, devem-se analisar alguns indicadores de confiabilidade executados no método de Rietveld, os mais comumente utilizados são o  $R_{wp}$ ,  $R_{exp}$ ,  $R_{Bragg}$  e  $\chi^2$ . O  $R_{wp}$ , índice ponderado do refinamento é descrito em função dos pontos do perfil do gráfico, como uma função da média ponderada das intensidades

calculadas e experimentais. Esse é o índice que deve ser analisado para verificar se o refinamento está convergindo. O  $R_{exp}$  diz respeito ao valor estatisticamente esperado para o  $R_{wp}$  relacionando-se com o número de parâmetros refinados. O  $R_{Bragg}$  é descrito como uma função das intensidades integradas, o parâmetro que indica a qualidade do modelo estrutural refinado, sendo que a intensidade integrada está relacionada com a estrutura cristalina. O fator de convergência ou precisão do ajuste,  $\chi^2$ , é determinado (JANSEN *et al.*, 1994; PAUFLER, 1995):

$$\chi^2 = R_{wp} / R_{exp} \quad (8)$$

Um valor de  $\chi^2$  igual a 1 indica que o  $R_{wp}$  atingiu o máximo de valores estatisticamente esperados para todos os parâmetros refinados.

Para as amostras de ZnO puro e dopada com os diferentes íons terras-raras, os refinamentos foram realizados por meio do programa *General Structure Analysis System* (GSAS) (LARSON e DREELE, 2000) com interface gráfica EXPGUI (TOBY, 2001). Os padrões difratométricos escolhidos foram retirados do banco de dados ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) (Bases de estruturas cristalinas - Portal Periodicos CAPES).

### 3.4.2. Espectroscopia de espalhamento Raman

A Espectroscopia de Espalhamento Raman foi utilizada para a caracterização das estruturas obtidas das amostras de ZnO puro e dopada com os diferentes íons terras-raras  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$ , para a identificação dos tipos de ligações e obtenção de informações sobre o grau de desordem da rede cristalina à curto alcance. Por Raman podem ser observados modos vibracionais e as bandas características do sistema analisado e, ainda, o ordenamento a curta distância das ligações. Neste trabalho, as medidas foram realizadas à temperatura ambiente com um espectrômetro portátil Ocean Optics equipado com laser de  $\lambda = 785$  nm, operando em 499 mW. As medidas foram realizadas no Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores - LNMIS do Departamento de Física da Universidade Federal de Uberlândia.

### **3.4.3. Microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG) e análise de raios X por dispersão em energia (EDX)**

A caracterização morfológica e distribuição do tamanho das partículas foram determinadas diretamente por medidas de microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG).

As morfologias das amostras de óxido de zinco puro e dopado foram obtidas com o auxílio de dois equipamentos:

Um microscópio eletrônico de varredura com canhão de elétrons por emissão de campo modelo Supra 35-VP (Carl Zeiss, Alemanha) operando com feixe de elétrons incidentes 6 kV, medidas foram realizadas no Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (LIEC) do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos. E, também foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura modelo EVO MA 10 da Zeiss da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQ-UFU).

A contagem do tamanho das nanoestruturas foi obtida por meio da contagem das partículas pelas imagens de microscopia eletrônica utilizando o programa ImageJ.

A análise elementar qualitativa das amostras foi realizada utilizando a espectroscopia de fluorescência de raios X por dispersão em energia (EDX), sistema OXFORD *Instruments*, no Laboratório Multiusuário (LMIQ – UFU) do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

### **3.4.4. Espectroscopia de reflectância difusa na região do Ultravioleta e visível (UV-vis)**

Para as análises do comportamento óptico e eletrônico dos materiais foi utilizada a técnica de caracterização: espectroscopia óptica nas regiões do ultravioleta-visível, com auxílio de um equipamento modelo UVPC 2501 Shimadzu com esfera de reflectância difusa em um comprimento de onda na extensão de 200-800 nm. Foi utilizado como material de referência durante as análises o sulfato de bário ( $\text{BaSO}_4$ ).

A partir dos espectros de reflectância difusa determinados à temperatura ambiente foi possível estabelecer a energia de *gap* dos óxidos obtidos.

As medidas foram realizadas no Laboratório de Fotoquímica e Química de Lignocelulósicos (LFQL) do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

### 3.4.5. Fotoluminescência

A fotoluminescência associada às outras técnicas de caracterização permite uma avaliação do grau de ordem e desordem estrutural das amostras. O comprimento de onda de excitação ( $\lambda = 350,7$  nm) é fornecido por meio de um *laser* com íons de kriptônio (Coherent Innova). Uma potência de saída é ajustada de 200 a 800 mW utilizando-se filtros e prismas adequados para eliminação de plasma carregado pelo feixe. A largura da fenda empregada no monocromador é de 200 nm. O monocromador (Thermal Jarrel–Ash Monospec 27) e uma fotomultiplicadora (Hamatsu R446) acoplados a um sistema de aquisição composto de um *lock-in* SR–530 são controlados através de um microcomputador. Todas as medidas foram realizadas à temperatura ambiente. As medidas foram realizadas no Instituto de Física da Universidade de São Paulo – campus de São Carlos.

A decomposição das bandas de emissão fotoluminescente foi realizada pelo programa PeakFit (versão 4.05) que permite identificar e quantificar os picos, a função Gaussiana foi utilizada para ajuste de cada componente da banda larga de FL que foi determinada a área e sua porcentagem de área.

### 3.5. Área superficial específica

A caracterização da área superficial específica é determinada através das medidas em um ciclo completo das isotermas de adsorção pelo método BET (Brunauer, Emmett e Teller) (BRUNAUER *et al.*, 1938).

A adsorção de N<sub>2</sub> e as isotermas de dessorção a 77,35 K foram medidas num analisador automático de superfície Quantachrome TouchWin versão 1.1. Antes da análise, as amostras foram degaseificadas em vácuo a 90 ° C durante 3 h. A área superficial foi calculada de acordo com o método BET. Nos ensaios utilizaram-se aproximadamente 0,01 g dos materiais. As medidas foram realizadas no Laboratório de Química Inorgânica do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

### 3.6. Ensaios Fotocatalíticos

Os ensaios de fotocatalíticos foram realizados em parceria com o professor Dr. Antonio Otavio T. Patrocínio no Laboratório de Fotoquímica – Ciência dos Materiais (LAFOT-CM).

A atividade fotocatalítica das nanoestruturas de ZnO pura e dopada com os diferentes íons terras-raras  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  foi avaliada contra a degradação do corante comercial azul de metileno (*Colour Index* (C.I.) 52015, Vetec), sob irradiação UV-Vis.

Em cada experimento foram utilizados 1,6 mg de fotocatalisador e solução do corante azul de metileno na concentração  $0,02 \text{ mmol L}^{-1}$ . No reator de vidro com capacidade de 16 mL foi utilizada uma suspensão contendo o corante e o fotocatalisador sob agitação constante.

O sistema fotoquímico foi projetado para que o reator fosse exposto o máximo possível à radiação proveniente de um simulador solar modular padrão (Newport) equipado com lâmpada de xenônio de 300 W (Figura 13). Foi utilizado um filtro óptico KG1 para remover a radiação com comprimento de onda menor que 300 nm.

Inicialmente, as suspensões foram agitadas por 1 hora no escuro, as amostras coletadas em alíquotas de 0,50 mL em intervalo de 20 min, posteriormente foi ligada a lâmpada UV-A. O tempo de reação total foi de 150 minutos, em que alíquotas de 0,50 mL foram retiradas em intervalos de 20 e 30 minutos de reação. As alíquotas coletadas foram centrifugadas e posteriormente submetidas a análises de espectrofotometria na região do UV-vis (espectrofotômetro SHIMADZU, modelo 1650PC com cubeta de quartzo de caminho óptico de 0,1 cm). As curvas de descoloração foram traçadas a partir dos valores de absorbância no comprimento de onda máximo de 663 nm para soluções aquosas de azul de metileno em pH próximo à neutralidade.

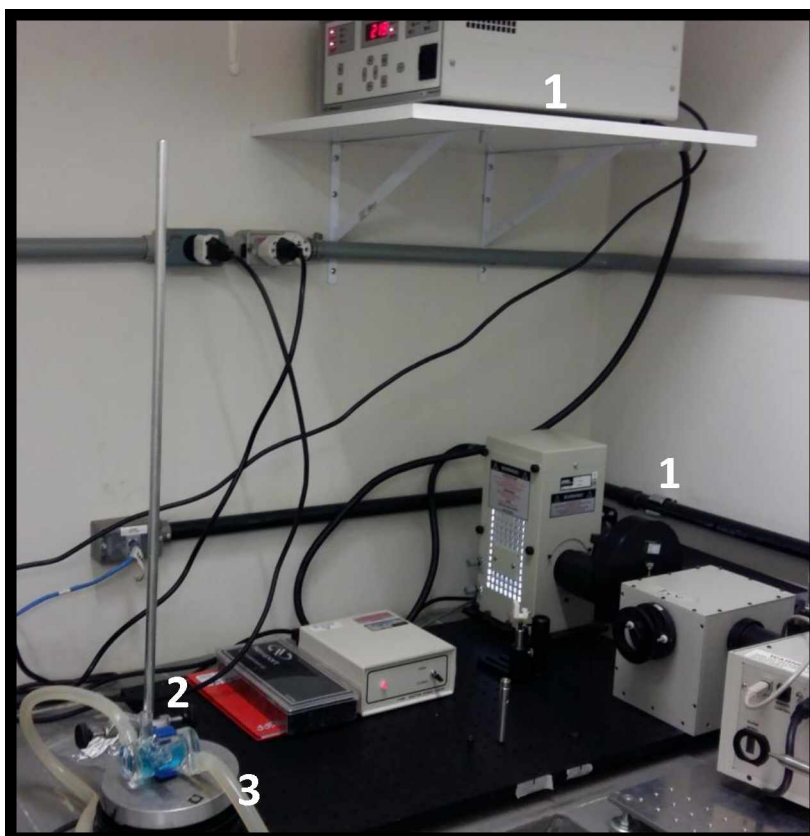
A porcentagem de descoloração foi calculada usando a equação 9:

$$\% \text{ Descoloração} = (1 - (A_f/A_i)) \times 100 \quad (9)$$

Em que  $A_f$  é a absorbância da solução em um tempo  $t > 0$ , e  $A_i$  é a absorbância inicial da solução.

O mesmo procedimento experimental foi realizado também na ausência do catalisador (experimento branco), para verificar a possível fotodescoloração do corante.

**Figura 13.** Foto do sistema fotoquímico empregado em escala de laboratório (1) Fonte de radiação com uma lâmpada de xenônio de 300 W, (2) Reator fotocatalítico, (3) Sistema de resfriamento (mangueiras com entrada de água).



**Fonte:** o Autor (2017).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção do trabalho são apresentados e analisados os resultados de difração de raios X (DRX) e método de refinamento Rietveld, espectroscopia Raman, espectroscopia de reflectância difusa na região do Ultravioleta-visível (UV-vis), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG), análise de raios X por dispersão em energia (EDX), fotoluminescência para ZnO dopado com  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  nas quantidades de 1 e 2% em mol e as medidas de área superficial específica (BET). Ao final, serão discutidos os resultados dos ensaios de fotodescoloração do corante azul de metileno.

### 4.1. Difração de raios X (DRX)

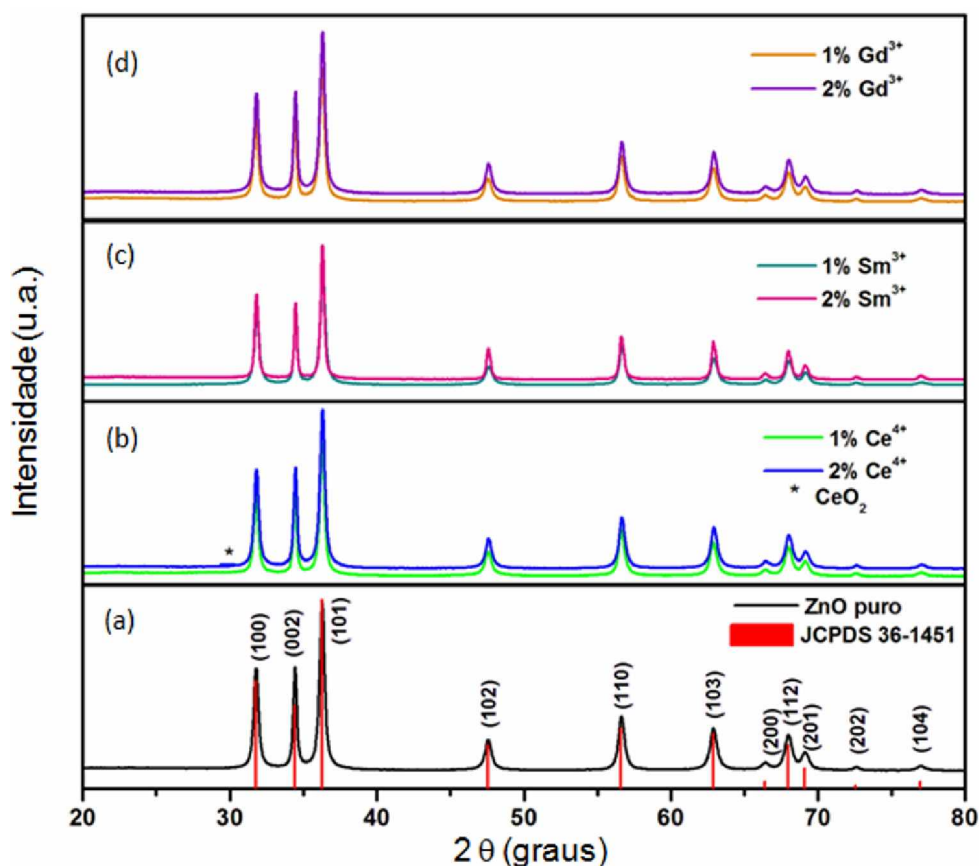
Com o objetivo de investigar a estrutura cristalina, os parâmetros de rede e o volume de cela unitária das amostras, foi utilizada como técnica de caracterização estrutural a difração de raios X.

Na Figura 14 apresenta os difratogramas de raios X para as amostras de ZnO puro e dopado com diferentes concentrações de íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  obtidas à 90 °C durante 2 minutos sob condições hidrotérmicas.

Foram observados, para todas as amostras, picos de difração definidos e estreitos característicos da estrutura do hexagonal do tipo wurtzita do ZnO, indexados de acordo com a ficha cristalográfica JCPDS nº 36-1451 e grupo espacial  $P6_3mc$ , o que indica um bom ordenamento cristalino a longo alcance.

Para as amostras dopadas com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ , na concentração de 2,0 mol% de  $\text{Ce}^{4+}$ , observa-se a presença de uma segunda fase com um pico de baixa intensidade em  $29^\circ$ , atribuída ao plano (111), o pico 100% da estrutura cristalina cúbica do óxido de cério ( $\text{CeO}_2$ ) de acordo com a ficha cristalográfica JCPDS 34-3940 (RICCARDI *et al.*, 2009). Picos correspondentes a outras possíveis impurezas não foram observados.

**Figura 14.** Difratomogramas de raios X para o ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (c) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  obtidos no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).

Ao analisar a Figura 14 (b), nota-se, portanto, que a medida que aumentou-se a concentração de íons  $\text{Ce}^{4+}$  observa-se a formação da fase secundária correspondente ao óxido cério. Esse fenômeno se relaciona com o tamanho do raio iônico do íon TR inserido na rede cristalina do ZnO, o íon  $\text{Ce}^{4+}$  ( $r = 1,01 \text{ \AA}$ ) possui um valor de raio iônico maior do que o íon a ser substituído,  $\text{Zn}^{2+}$  ( $r = 0,74 \text{ \AA}$ ) (SHIRSATH *et al.*, 2011), levando a uma distorção da cela unitária do ZnO. Essa grande diferença de tamanho entre os íons dificulta a acomodação dos íons da rede cristalina do ZnO, o que favorece a formação da fase secundária.

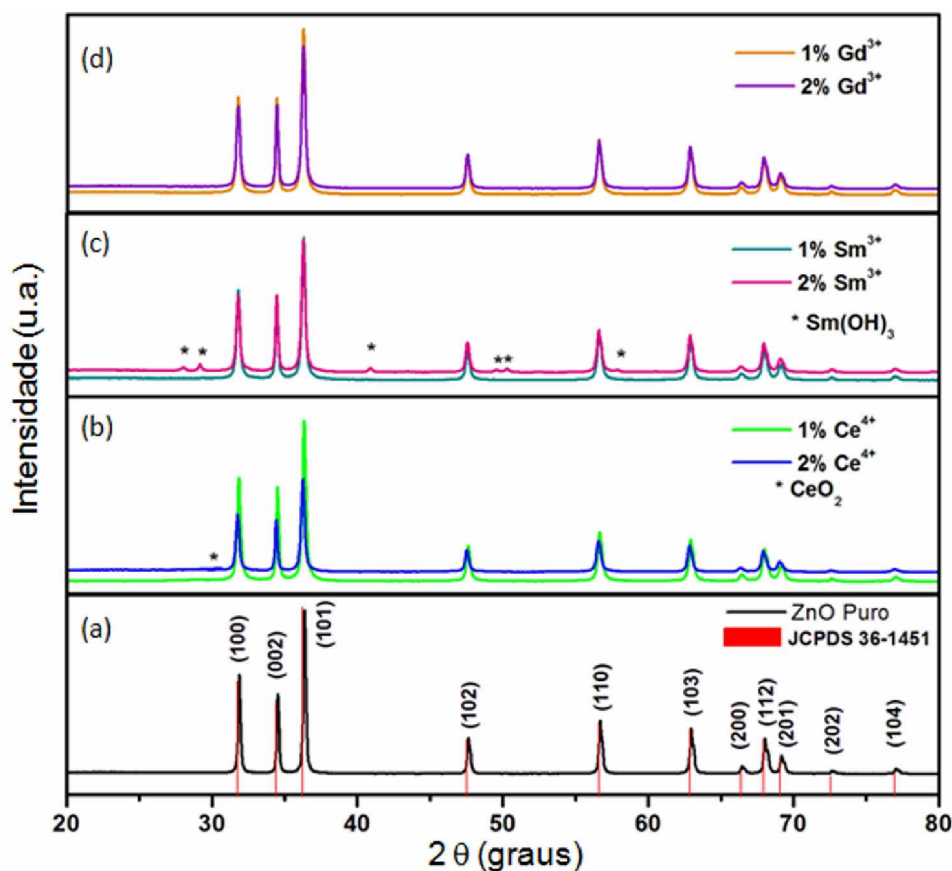
Esses resultados seguem as observações do autor F. Wang *et al.* (2010), o qual, em seu trabalho relatou que os íons lantanídeos de grande raio iônico exibem uma tendência maior à distorção da nuvem eletrônica, devido a maior polarizabilidade, favorecendo assim a formação de estruturas hexagonais. As propriedades dos

nanocristais de  $\text{NaYF}_4$  foram controlados em tamanho, em fase e em cor de emissão (verde para azul) através do uso de íons dopantes lantanídeos.

Os difratogramas de raios X para as amostras de ZnO puro e dopado com diferentes concentrações de íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  obtidas à  $90^\circ\text{C}$  durante 16 minutos sob condições hidrotérmicas são apresentados na Figura 15. Os picos de difração referentes à estrutura hexagonal do tipo wurtzita do ZnO (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201) (202) e (104), muito bem definidos e estreitos, todos foram indexados de acordo com a ficha cristalográfica de número JCPDS nº 36-1451.

Para as amostras dopadas com os íons  $\text{Sm}^{3+}$ , na concentração de 2,0 mol% de  $\text{Sm}^{3+}$ , observa-se a presença de uma segunda fase com picos correspondentes à estrutura hexagonal do hidróxido de samário ( $\text{Sm}(\text{OH})_3$ ) de acordo com a ficha cristalográfica JCPDS nº 83-2036 (DAN *et al.*, 2014; LIXIONG *et al.*, 2015). As amostras dopadas com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ , na concentração de 2,0 mol% de  $\text{Ce}^{4+}$ , observa-se a presença de uma segunda fase com um pico de baixa intensidade em  $29^\circ$ , atribuída à estrutura cristalina cúbica do óxido de cério ( $\text{CeO}_2$ ) de acordo com a ficha cristalográfica JCPDS 34-3940.

**Figura 15.** Difratomogramas de raios X para o ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (c) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  obtidos no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

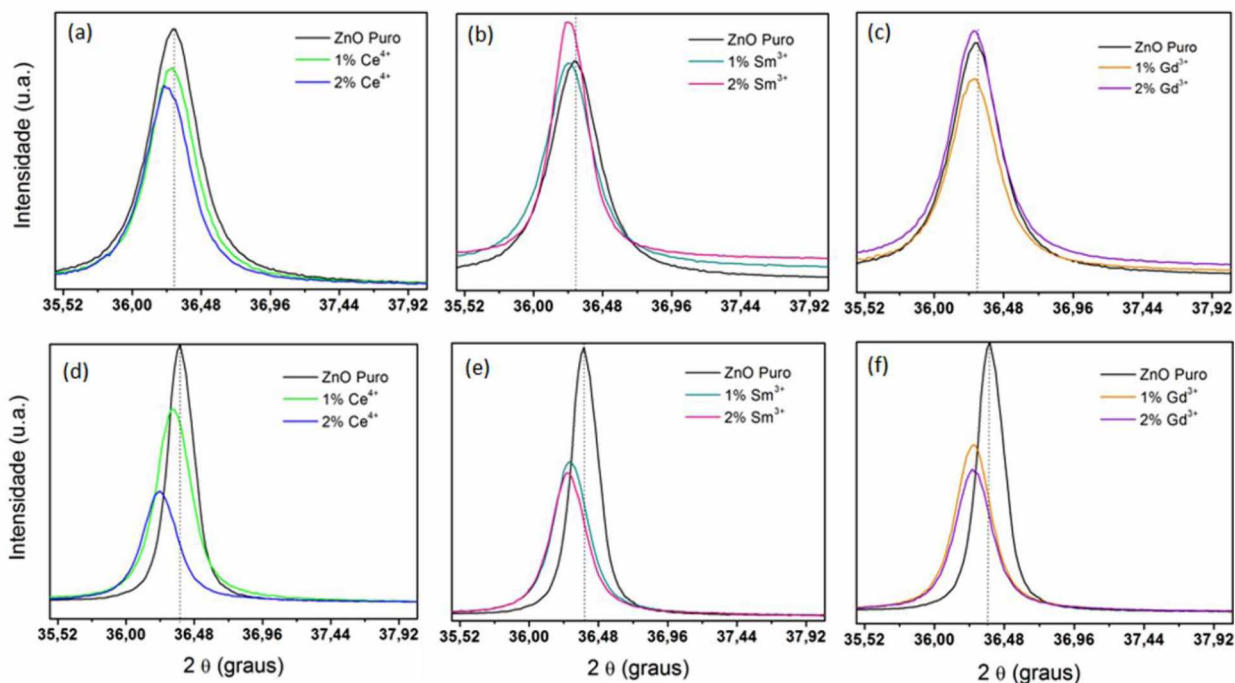


**Fonte:** o Autor (2017).

A Figura 16 mostra a região ampliada do pico (101) nos difratogramas de raios X, indicando o efeito da presença do íon dopante na rede cristalina do ZnO.

A tensão em um material como o ZnO, após adição dos íons terras raras pode causar dois efeitos distintos sobre o difratograma. Se a tensão corresponder a um esforço uniforme, compressivo ou distensivo, também chamado de macrotensão, as distâncias de cada cela unitária dos cristais vão respectivamente, diminuir ou aumentar ocasionando um deslocamento na posição dos picos difratados (CULLITY e WEYMOUTH 1957). No presente estudo o esforço é distensivo, ou seja, a inserção dos íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  levou a um deslocamento para menores ângulos, a menores valores de  $2\theta$ .

**Figura 16.** Região ampliada do pico (101) nos difratogramas de raios X para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  obtidos no tempo de 2 minutos (a) – (c) e (d) - (f) obtidos no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).

O deslocamento do pico (101) nos difratogramas está relacionado com alterações causadas aos parâmetros da célula de unitária devido à inserção de dopantes na rede cristalina do ZnO. Os íons TR,  $\text{Ce}^{4+}$  ( $r = 1,01 \text{ \AA}$ ),  $\text{Sm}^{3+}$  ( $r = 0,96 \text{ \AA}$ ) e  $\text{Gd}^{3+}$  ( $r = 0,94 \text{ \AA}$ ) possuem um valor de raio iônico maior que o íon a ser substituído,  $\text{Zn}^{2+}$  ( $r = 0,74 \text{ \AA}$ ), sendo que o íon  $\text{Ce}^{4+}$  é ligeiramente maior que os demais, o que leva a um deslocamento relativamente maior para menores ângulos (Figura 16 (a) e (d)).

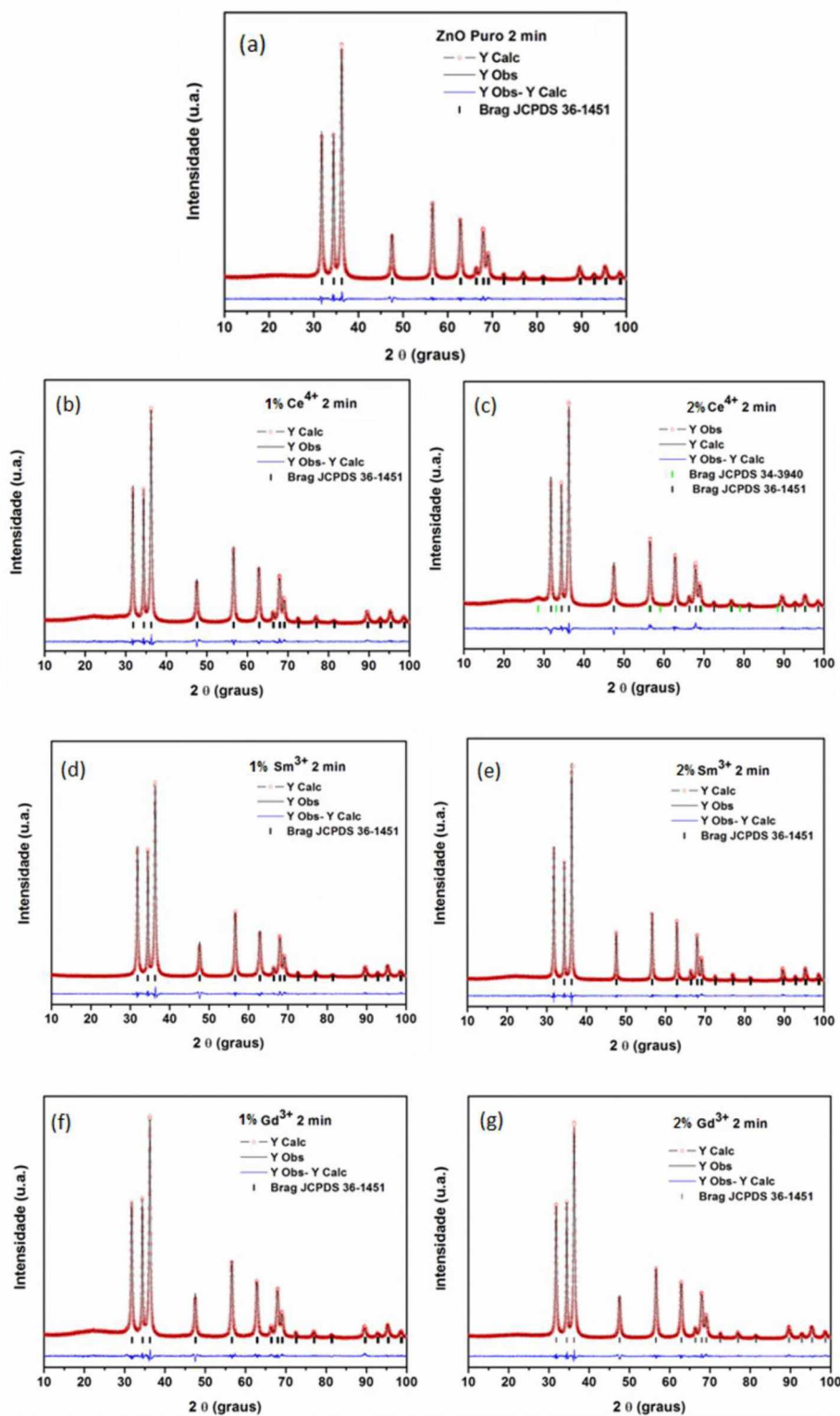
De acordo com a literatura, é observado que a dopagem com íons TR promovesse o deslocamento do pico (101) para ângulos menores, devido a uma expansão da célula unitária (ASSADI *et al.*, 2011; FAISAL *et al.*, 2013; SUWANBOON *et al.*, 2013; AGGARWAL *et al.*, 2016). Esse deslocamento observado no presente trabalho está relacionado com o tamanho do íon dopante inserido na matriz do ZnO, por serem maiores, com a dopagem levam à menores ângulos. Pode-se afirmar que em razão da dificuldade de serem acomodados na rede cristalina, os íons TR podem ocupar as posições intersticiais, considerando que os valores de constante de rede e

volume da célula tendem a um aumento com a maior concentração do dopante (WANG *et al.*, 2010; YOUSEFI *et al.*, 2011; SUWANBOON *et al.*, 2013; CHANG, LIN, CHEN, *et al.*, 2014; DOS REIS, P. M. *et al.*, 2015).

Os parâmetros de rede, bem como a quantificação das fases cristalinas presentes nos materiais foi determinado por meio do refinamento da estrutura pelo método de Rietveld (RIETVELD, 1969; SAKATA e COOPER, 1979; VON, 1997; SRDIĆ e WINTERER, 2003), no qual foi utilizado o programa General Structure Analysis System (GSAS) com a interface gráfica EXPGUI (TOBY, 2001). Neste método, a estrutura cristalina é refinada com a finalidade de que o difratograma calculado se assemelhe ao máximo ao difratograma observado experimentalmente, representando assim a melhor resolução para o refinamento cristalino e para a estrutura real. Os gráficos ilustram o perfil de difração calculado, o perfil obtido experimentalmente, a curva residual (diferença entre o perfil calculado e o perfil de difração observado) e as posições cristalográficas de cada fase presente nos materiais.

Os gráficos obtidos a partir do método de refinamento Rietveld para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons TR nos tempos de síntese de 2 e 16 minutos seguem ilustrados nas Figuras 17 e 18. Os dados de confiabilidade obtidos para as amostras  $R_{wp}$ ,  $R_p$ ,  $R_{Bragg}$  e  $\chi^2$  são listados nas Tabelas 3 a 7.

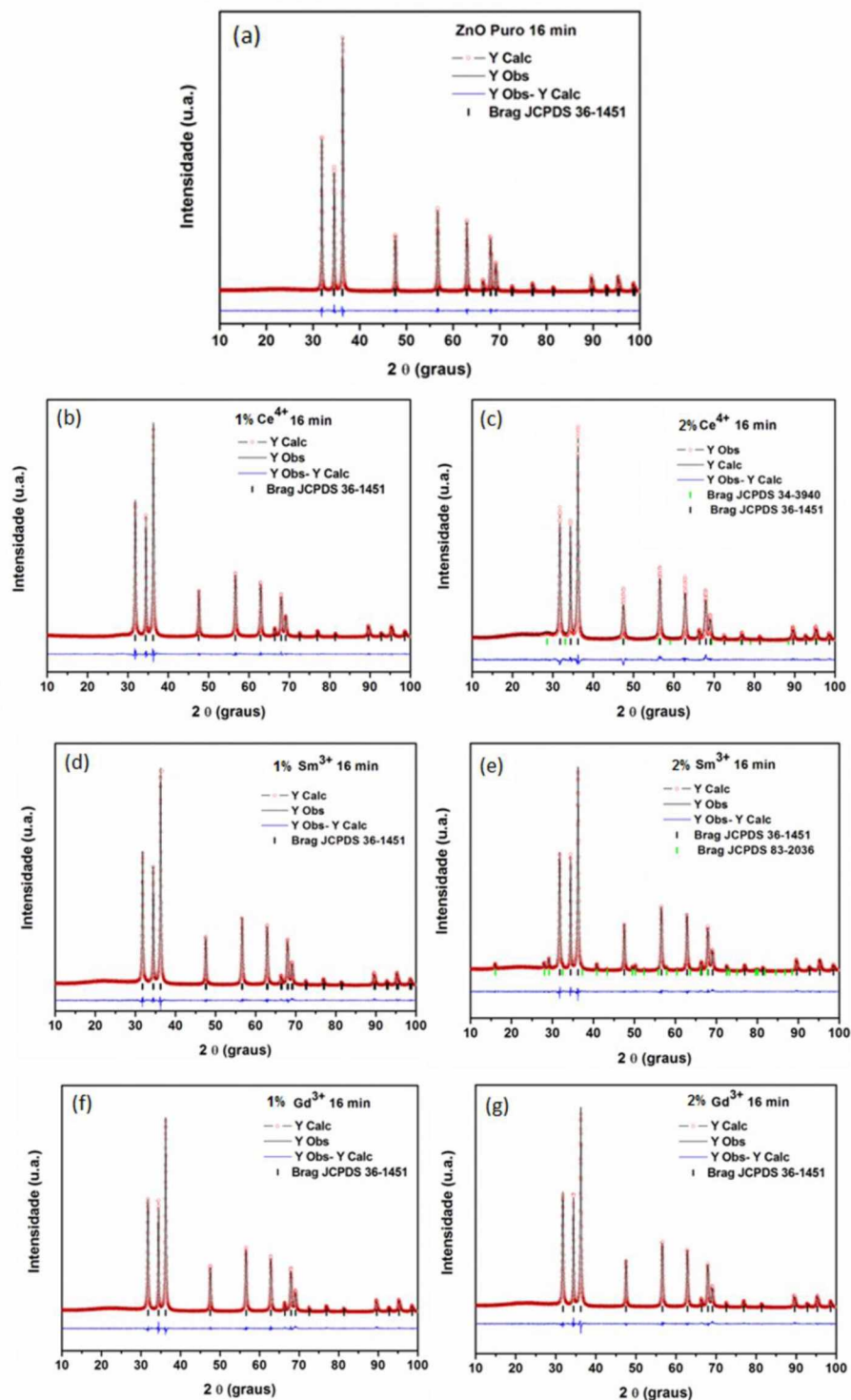
**Figura 17.** Resultados obtidos por refinamento Rietveld para as amostras ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b) – (c), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (d) – (e) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (f) – (g) obtidas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).



**Figura 18.** Resultados obtidos por refinamento Rietveld para as amostras ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b) – (c), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (d) – (e) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (f) – (g) obtidas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).



Ao analisar os gráficos de refinamento de Rietveld apresentados nas Figuras 17 e 18, é possível notar uma boa correlação entre os padrões de difração observados e calculados, assim como, entre as intensidades e as posições de cada um dos picos de Bragg. Nos refinamentos, os padrões difratométricos teóricos foram extraídos da fichas padrões cristalográficas JCPDS 36-1451 (ZnO), JCPDS 34-3940 (CeO<sub>2</sub>) e JCPDS 83-2036 (Sm(OH)<sub>3</sub>) do banco de dados ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) (Bases de estruturas cristalinas - Portal Periodicos CAPES).

Os valores dos coeficientes de confiabilidade ( $R_{wp}$ ,  $R_p$ ,  $R_{Bragg}$  e  $\chi^2$ ) apresentados nas Tabelas 3 e 4 encontram-se dentro dos parâmetros aceitáveis para um bom refinamento (menores que 10%), indicando que o refinamento a partir do método de Rietveld é de boa qualidade.

**Tabela 3.** Coeficientes de confiabilidade obtidos para cada amostra sintetizada no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

ZnO	$R_{wp}$ (%)	$R_p$ (%)	$R_{Bragg}$ (%)	$\chi^2$
Puro	4,87	3,61	1,24	1,58
1% Ce <sup>4+</sup>	5,22	3,97	1,32	1,73
2% Ce <sup>4+</sup>	5,67	4,44	2,16	1,98
1% Sm <sup>3+</sup>	5,81	4,21	1,33	1,98
2% Sm <sup>3+</sup>	5,19	3,89	1,73	1,64
1% Gd <sup>3+</sup>	5,12	3,87	1,03	1,69
2% Gd <sup>3+</sup>	4,86	3,63	1,19	1,61

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 4.** Coeficientes de confiabilidade obtidos para cada amostra sintetizada no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

ZnO	R <sub>wp</sub> (%)	R <sub>p</sub> (%)	R <sub>Bragg</sub> (%)	$\chi^2$
Puro	4,86	3,68	1,59	1,65
1% Ce <sup>4+</sup>	5,58	4,07	1,10	2,28
2% Ce <sup>4+</sup>	5,67	5,06	2,44	2,26
1% Sm <sup>3+</sup>	4,86	3,59	1,15	1,47
2% Sm <sup>3+</sup>	5,11	3,81	1,61	1,70
1% Gd <sup>3+</sup>	5,24	3,97	1,56	1,83
2% Gd <sup>3+</sup>	4,94	3,74	1,82	1,63

**Fonte:** o Autor (2017).

As Tabelas 5 e 6 mostram os valores calculados para os parâmetros de rede a partir do método de refinamento Rietveld, para as amostras de ZnO puro e dopado 1 e 2% em mol de Ce<sup>4+</sup>, de Sm<sup>3+</sup> e de Gd<sup>3+</sup> sintetizadas no presente trabalho em tempos de 2 e 16 minutos.

**Tabela 5.** Valores dos parâmetros de rede para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons Ce<sup>4+</sup>, Sm<sup>3+</sup> e Gd<sup>3+</sup> obtidos no tempo de 2 minutos pelo método de Rietveld.

ZnO	a = b (Å)	c (Å)	V(Å <sup>3</sup> )
Puro	3,2508(1)	5,2094(1)	47,677(5)
1% Ce <sup>4+</sup>	3,2511(0)	5,2110(1)	47,700(1)
2% Ce <sup>4+</sup>	3,2511(2)	5,2111(3)	47,717(8)
1% Sm <sup>3+</sup>	3,2511(3)	5,2108(6)	47,696(1)
2% Sm <sup>3+</sup>	3,2516(1)	5,2095(0)	47,699(1)
1% Gd <sup>3+</sup>	3,2508(1)	5,2097(0)	47,677(2)
2% Gd <sup>3+</sup>	3,2509(0)	5,2097(1)	47,682(1)

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 6.** Valores dos parâmetros de rede para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  obtidos no tempo de 16 minutos pelo método de Rietveld.

ZnO	a = b (Å)	c (Å)	V(Å <sup>3</sup> )
Puro	3,2501(0)	5,2071(0)	47,636(2)
1% $\text{Ce}^{4+}$	3,2502(1)	5,2071(1)	47,677(2)
2% $\text{Ce}^{4+}$	3,2514(1)	5,2084(1)	47,698(1)
1% $\text{Sm}^{3+}$	3,2507(0)	5,2091(1)	47,687(3)
2% $\text{Sm}^{3+}$	3,2515(1)	5,2081(1)	47,699(4)
1% $\text{Gd}^{3+}$	3,2512(1)	5,2080(1)	47,677(3)
2% $\text{Gd}^{3+}$	3,2513(1)	5,2087(1)	47,676(2)

**Fonte:** o Autor (2017).

Dos resultados obtidos pelo método de refinamento Rietveld, observa-se um discreto aumento no volume da célula unitária que deve ser atribuído à dopagem com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  (Tabelas 5 e 6). Esse comportamento observado está relacionado a uma preferência dos íons terras raras em ocupar sítios intersticiais, isso ocorre devido à grande diferença de raio iônico entre  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  e o  $\text{Zn}^{2+}$ , que desfavorece a ocupação substitucional (YANG, J. H. *et al.*, 2008; TAN *et al.*, 2011; SUWANBOON *et al.*, 2013; DOS REIS, P. M. *et al.*, 2015).

Os valores apresentados nas Tabelas 5 e 6 indicam que a dopagem com os íons terras raras gera distorções na rede cristalina do ZnO e aumenta a quantidade de defeitos estruturais, como vacâncias de oxigênio e oxigênio intersticial (PANDIYARAJAN *et al.*, 2015; KAUR *et al.*, 2016), visto que foi observado um ligeiro aumento nos valores dos parâmetros de rede e consequentemente, em uma discreta expansão da célula unitária quando comparados com a amostra pura. Esse efeito é coerente, pois os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  coordenam em posições octaédricas preferencialmente na rede cristalina, ocupando os sítios intersticiais (YANG, J. *et al.*, 2008; AHMAD *et al.*, 2015; AGGARWAL *et al.*, 2016).

O deslocamento dos picos principais (1 0 0), (0 0 2) e (1 0 1) para os menores ângulos, ocasionam um discreto aumento dos parâmetros de rede, confirmando assim a adição dos íons terras raras. Resultado esse também descrito na literatura (MISHRA e RAO, 2006; YANG, J. *et al.*, 2008; SUWANBOON e AMORNPITOKSUK, 2011; YOUSEFI *et al.*, 2011; CHAWL *et al.*, 2014).

O método de refinamento Rietveld é uma ferramenta fundamental e precisa para também estimar a porcentagem de fase adicional existente nas amostras. Neste trabalho observou a presença de fase secundária nas amostras dopadas com 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ , sintetizadas em 2 e 16 minutos, referente ao  $\text{CeO}_2$  e para a amostra dopada com 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  sintetizada a 16 minutos, referente ao  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  (Tabela 7).

**Tabela 7.** Fração de cada fase obtida pelo método de Rietveld para as amostras dopadas com 2% em mol de TR (TR =  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ).

Amostras	Fração da fase 1 (%)	Fração da fase 2 (%)
2% $\text{Ce}^{4+}$ 2 min	93%	7%
2% $\text{Ce}^{4+}$ 16 min	91%	9%
2% $\text{Sm}^{3+}$ 16 min	96%	4%

**Fonte:** o Autor (2017).

Ao analisar as amostras dopadas com íons  $\text{Ce}^{4+}$ , em relação à concentração do dopante, nota-se que a medida que aumenta a quantidade do íon  $\text{Ce}^{4+}$  na rede tem-se a formação da segunda fase cristalina cúbica do óxido de cério, à uma pequena quantidade de 7% e 9% referente aos tempos de 2 e 16 minutos, respectivamente (Tabela 7). Esse efeito também é frequentemente observado na literatura (YOUSEFI *et al.*, 2011; REZAEI e HABIBI-YANGJEH, 2013; KANNADASAN *et al.*, 2015), que pode ser explicado pela dificuldade de acomodar o íon  $\text{Ce}^{4+}$  na matriz do  $\text{ZnO}$ , devido a grande diferença de tamanho do raio iônico do  $\text{Ce}^{4+}$  ( $r = 1,01 \text{ \AA}$ ) e do  $\text{Zn}^{2+}$  ( $r = 0,74 \text{ \AA}$ ).

A formação de fase secundária também é observada para a amostra dopada com  $\text{Sm}^{3+}$ , a medida que aumenta a concentração do dopante na rede cristalina do  $\text{ZnO}$  e com um aumento no tempo de síntese para 16 minutos, tem-se a formação de apenas 4% de  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  como segunda fase (Tabela 7).

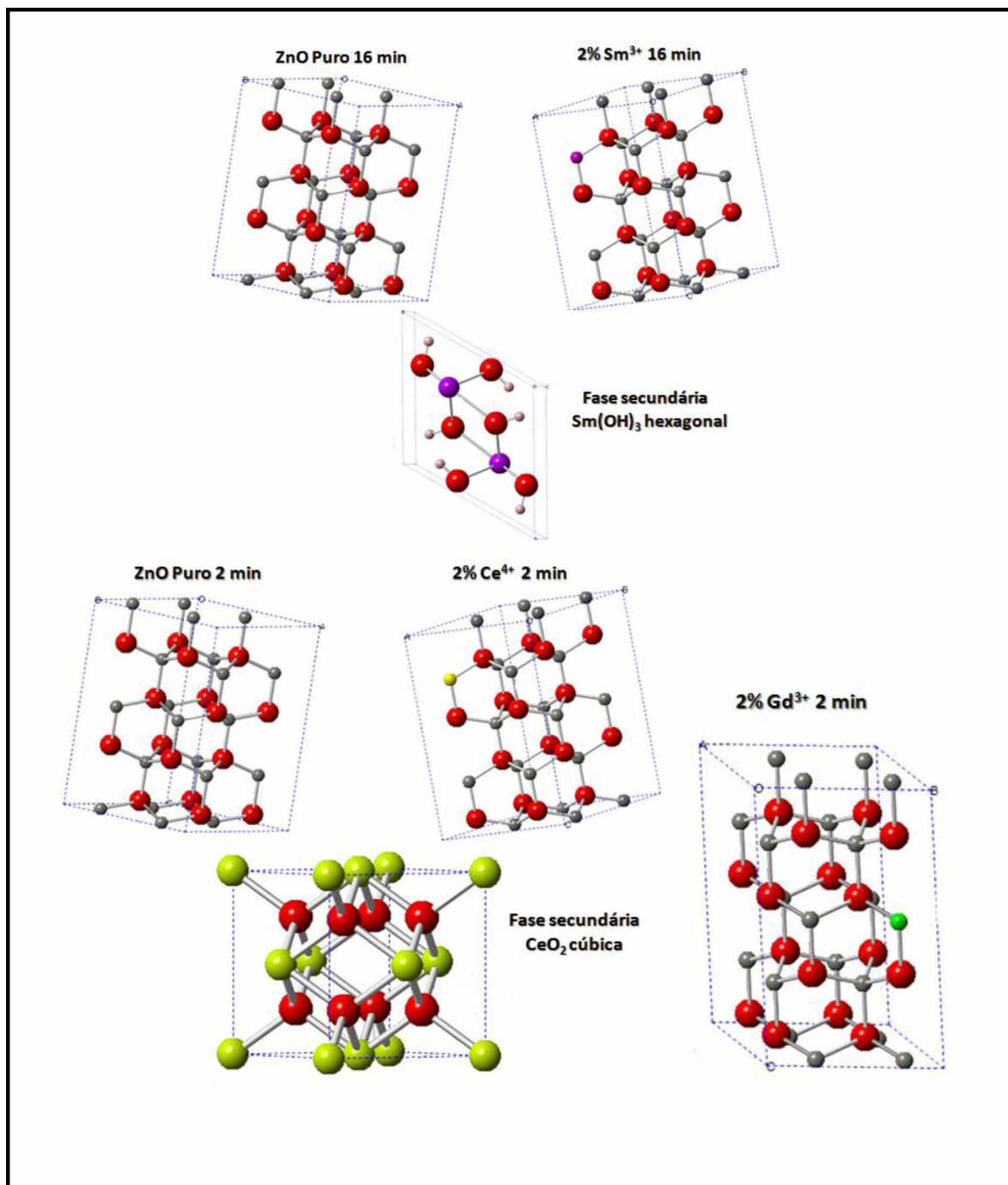
M. Runowski e S. Lis (2016) sintetizaram  $\text{CeF}_3$  codopado com os íons  $\text{Gd}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$  nas quantidades de 15% e 1% em mol, respectivamente, para o estudo das propriedades fotoluminescentes do material. Reportaram em seu trabalho que a matriz conseguia suportar melhor uma quantidade maior do íon  $\text{Gd}^{3+}$  na rede cristalina e,

quando aumentava a quantidade de  $\text{Sm}^{3+}$  (2% - 10% em mol) observou a formação de impurezas ou fases secundárias. Foi atribuído a isto, o fato do íon  $\text{Gd}^{3+}$  apresentar menor raio iônico que o  $\text{Sm}^{3+}$ , conseguindo portanto, uma substituição mais homogênea.

A característica do íon dopante inserido também foi avaliada pelo refinamento, constatando-se que todos os íons dopantes afetaram a estrutura da matriz. Além disso o efeito do íon é melhor observado para as amostras dopadas com 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , em que a medida que aumentou a concentração do íon dopante na matriz do ZnO observou um aumento maior no volume de cela unitária em relação a amostra pura.

A partir dos dados de refinamento Rietveld foram geradas as estruturas cristalinas das amostras, como por exemplo, a estrutura wurtzita hexagonal do óxido de zinco puro, a hexagonal da fase secundária  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  e cúbica da fase secundária  $\text{CeO}_2$ , utilizando o programa CrystalMaker (Versão 9.2.7) para Windows, que estão representadas na Figura 19.

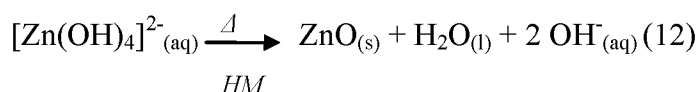
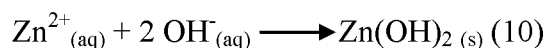
**Figura 19.** Representação das estruturas hexagonal do óxido de zinco puro e dopado (2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Gd}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$ ) e as estruturas das fases secundárias (hexagonal  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  e cúbica  $\text{CeO}_2$ ) obtidas por meio do Refinamento Rietveld. As esferas vermelhas representam o átomo de oxigênio, esferas cinza o zinco, esferas rosa claro o hidrogênio, roxa o samário, verde o gadolínio e amarelo o cério.



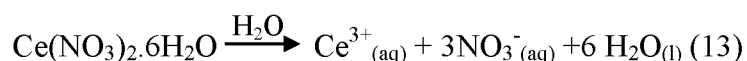
**Fonte:** o Autor (2017).

No processo de obtenção dos materiais são formadas inicialmente as espécies  $\text{Zn}^{2+}$  e  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  pela dissolução de acetato de zinco em água. Na presença de meio básico, pela adição de KOH (pH 12), os íons  $\text{Zn}^{2+}$  reagem com os grupos hidroxilas formando precipitados de  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ . Os íons  $\text{OH}^-$  em excesso levam à uma dissolução do precipitado formado para obter o íon complexo  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  estável em soluções alcalinas. A partir do aquecimento em micro-ondas ocorre a desidratação do  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  iniciando o processo de formação de ZnO e crescimento dos cristais (WANG *et al.*, 2011; AKIR *et al.*, 2016).

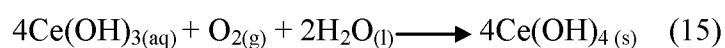
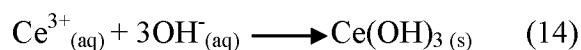
As reações que ocorrem no reator durante o tratamento hidrotérmico de micro-ondas são apresentadas nas equações (10) a (12):



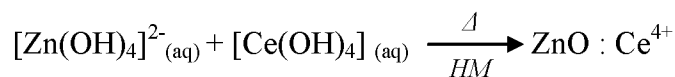
Para as amostras dopadas com  $\text{Ce}^{4+}$  as reações a partir do precursor  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  envolve as seguintes reações adicionais nas equações (13) a (15), iniciando pela dissolução do sal de cério:



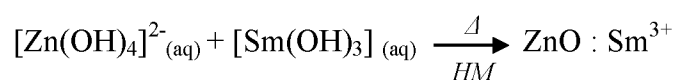
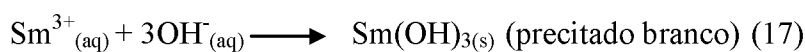
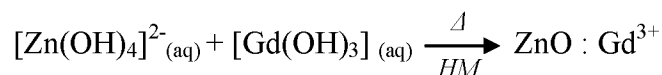
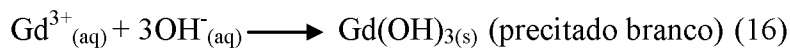
Em um meio alcalino (pH 12) tem-se a precipitação do hidróxido de cério (III), em solução ele é muito instável podendo ser oxidado na presença do ar atmosférico ao correspondente hidróxido de cério (IV), mais estável e menos solúvel em água (precipitado em tons de lilás) (ABI-AAD *et al.*, 1993; ABRÃO, 1994):



A partir do aquecimento por micro-ondas, os hidróxidos levam a formação de compostos de ZnO dopados com cério. Durante o aquecimento por micro-ondas, os hidróxidos se decompõem para formar as amostras de ZnO dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ :



Para as amostras dopadas com  $\text{Gd}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$  o esquema de reações envolve as seguintes reações adicionais nas equações (16) e (17):



## 4.2. Espectroscopia Raman

Os espectros de Raman das amostras de ZnO puro e dopado com os íons TR sintetizadas nos tempos de 2 e 16 minutos, são mostrados nas Figuras 20 e 21.

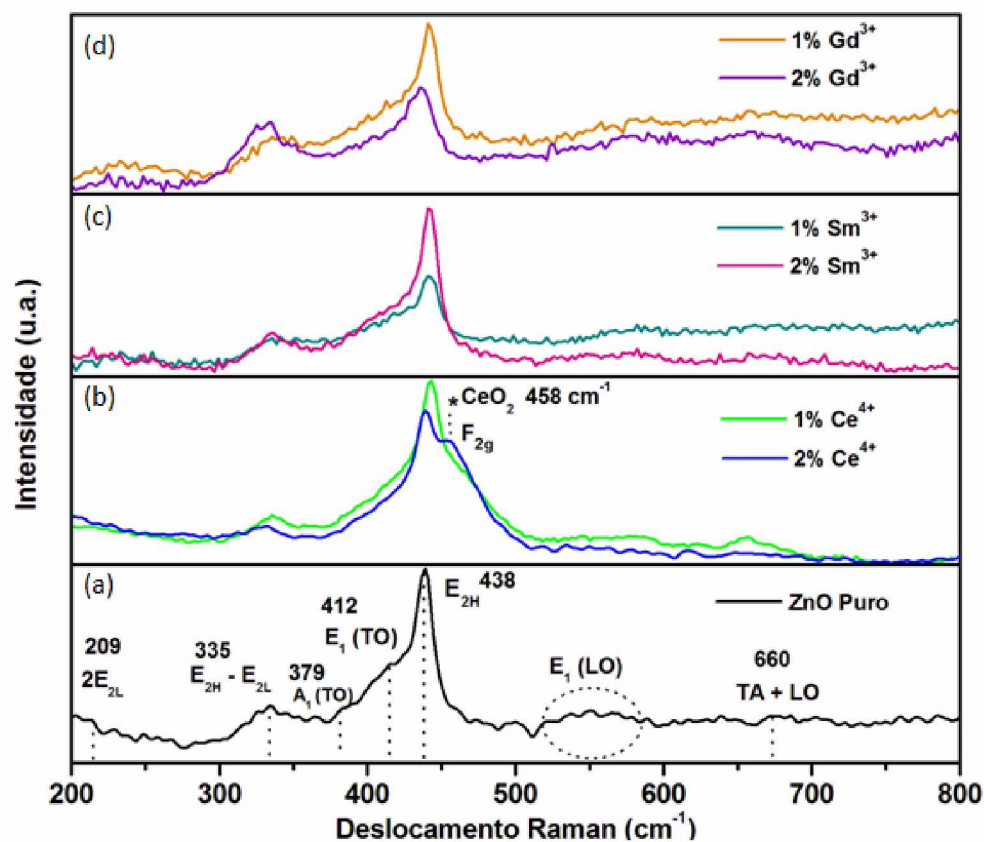
As bandas características do óxido de zinco são observadas em todas as amostras, em que são atribuídas aos modos Raman ativos do monocrystal de ZnO wurtzita, o qual pertence ao grupo espacial P6<sub>3</sub>mc, com duas unidades de fórmula por célula primitiva. Baseado nos dados de célula unitária (grupo espacial C<sub>6v</sub><sup>4</sup>) e na teoria de grupo, o óxido de zinco apresenta oito conjuntos de modo Raman óticos (modos fônons) no ponto  $\Gamma$  da zona de Brillouin no monocrystal de ZnO, sendo descrito da seguinte forma pela equação 18:

$$\Gamma = A_1 + A_2 + B_1 + B_2 + 2 E_1 + 2 E_2 \text{ (18)}$$

Em que os modos  $B_1$  são silenciosos,  $A_1$  e  $E_1$  são modos polares, ativo tanto no Raman quanto no infravermelho, enquanto modos  $E_2$  são apolares ativos somente no Raman e estão associados aos modos vibracionais da sub-rede de oxigênio e do zinco respectivamente (SHARMA *et al.*, 2011; OJHA *et al.*, 2014).

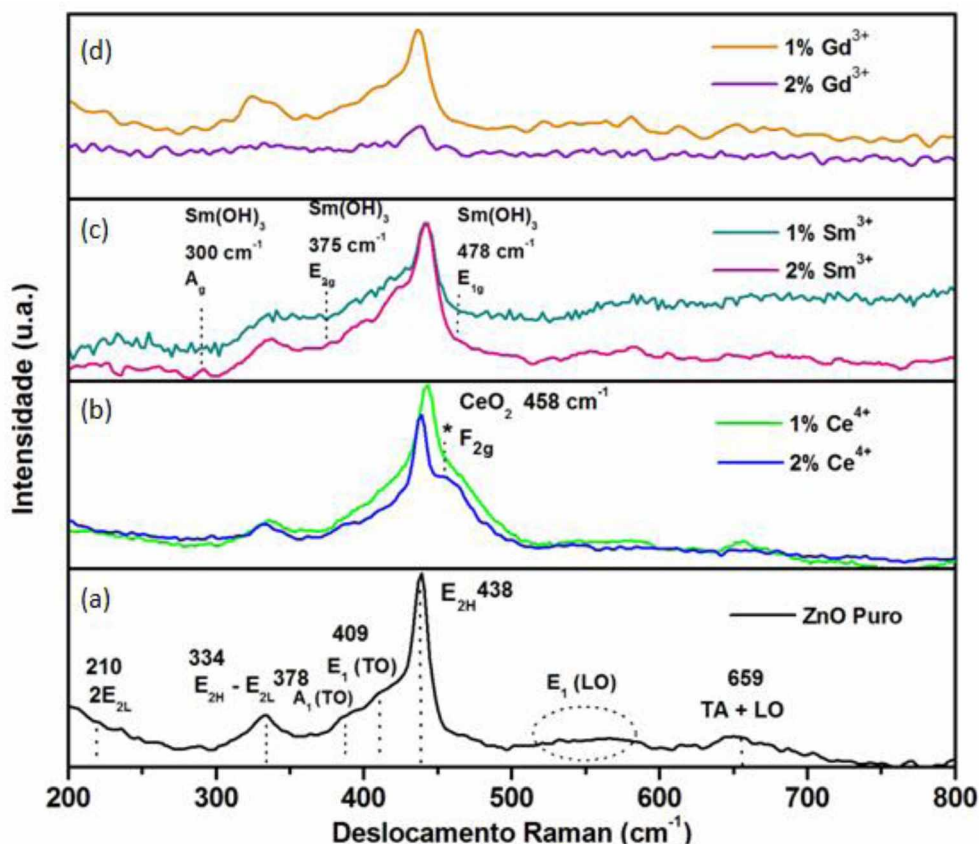


**Figura 20.** Espectros Raman das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (c) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

**Figura 21.** Espectros Raman das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (c) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

Para as amostras de ZnO, o modo mais intenso nos espectros Raman é o  $\text{E}_{2\text{H}}$  em  $438 \text{ cm}^{-1}$ , característico da fase wurtzita do ZnO, atribuído a vibração de zinco - oxigênio na rede cristalina. As ligeiras assimetrias observadas entre as amostras são atribuídas a desordem à curto alcance da estrutura, bem como para as interações fônon-fônon não harmônicas (ŠĆEPANOVIĆ *et al.*, 2010). Um deslocamento maior do modo  $\text{E}_{2\text{H}}$  para menores frequências é observado para as amostras dopadas com 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ , esse deslocamento é provavelmente atribuído às distorções da rede geradas a partir da substituição dos íons  $\text{Zn}^{2+}$  por  $\text{Ce}^{4+}$ , sendo que o raio iônico do  $\text{Ce}^{4+}$  é maior que o íon do  $\text{Zn}^{2+}$  (KUMAR, R. *et al.*, 2015). A banda localizada na região de 209-210  $\text{cm}^{-1}$  se refere ao modo  $2\text{E}_{2\text{L}}$  dos fônons de segunda ordem (DAMEN *et al.*, 1966; ŠĆEPANOVIĆ *et al.*, 2010).

As bandas de baixa frequência em torno de 334-335  $\text{cm}^{-1}$  podem ser atribuídas ao espectro Raman de segunda ordem resultante dos fônons  $E_{2H} - E_{2L}$ . Os fônons polares  $A_1$  e  $E_1$ , em oposto aos fônons  $E_2$ , são ambos divididos em fônons TO e LO. O modo vibracional  $E_1$  (LO) localizado na região compreendida em torno de 580  $\text{cm}^{-1}$ , está associado aos defeitos estruturais formados por vacâncias de oxigênio. Essa intensidade depende da cristalinidade, do método de preparação, das condições de síntese e da orientação preferencial do cristal. A banda de baixa intensidade atribuída ao grau de ordem-desordem estrutural do ZnO  $A_1$  (TO) em torno de 378-379  $\text{cm}^{-1}$  foi observada nas amostras puras nos dois tempos de síntese de 2 e 16 minutos. A banda em 409-412  $\text{cm}^{-1}$  referente ao modo  $E_1$  (TO) é observada como um “ombro” da banda em 438  $\text{cm}^{-1}$  ( $E_{2H}$ ) e com a inserção dos dopantes na rede cristalina do ZnO ela está encoberta pelo modo  $E_{2H}$ . Em torno de 660  $\text{cm}^{-1}$  foi observada uma banda pouco intensa que se refere ao modo TA+LO intrínseco do ZnO (LIMA *et al.*, 2008; ZHANG *et al.*, 2009; ŠĆEPANOVIĆ *et al.*, 2010).

Os espectros Raman das amostras dopadas com íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  apresentaram o modo  $E_{2H}$  em 438  $\text{cm}^{-1}$  indicando a formação da estrutura hexagonal do tipo wurtzita do ZnO, o que está consistente com os resultados de DRX. As amostras dopadas com íons  $\text{Ce}^{4+}$  na concentração de 2% em mol, nos dois tempos de síntese (2 e 16 minutos), apresentam formação de segunda fase com o aparecimento de uma banda em 458  $\text{cm}^{-1}$  referente ao modo  $F_{2g}$  do  $\text{CeO}_2$  cúbico (PALARD *et al.*, 2010; KUMAR, R. *et al.*, 2015). A formação de fase secundária  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  é observada para a amostra dopada com 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  no tempo de 16 minutos, pela presença dos modos vibracionais característicos da fase em torno de 300, 375 e 478  $\text{cm}^{-1}$ , modo  $A_g$ ,  $E_{2g}$  e  $E_{1g}$  respectivamente (KANG *et al.*, 2015). Os resultados obtidos a partir dos espectros Raman estão de acordo com os resultados de DRX e refinamento Rietveld, apresentados anteriormente.

Os valores de largura à meia altura expressam o grau de desordem estrutural a curto alcance. A partir desses valores, que estão apresentados na Tabela 8, é possível analisar o efeito da inserção dos íons TR na estrutura do ZnO.

**Tabela 8.** Valores de largura à meia altura em relação ao modo  $E_{2H}$  em  $438\text{ cm}^{-1}$  nos espectros Raman.

Amostras	Largura à meia altura (2 min)	Largura à meia altura (16 min)
ZnO Puro	15,5	15,3
1% $\text{Ce}^{4+}$	34,5	34,6
2% $\text{Ce}^{4+}$	53,6	44,1
1% $\text{Sm}^{3+}$	15,3	19,4
2% $\text{Sm}^{3+}$	15,2	21,3
1% $\text{Gd}^{3+}$	18,1	17,1
2% $\text{Gd}^{3+}$	18,3	16,6

**Fonte:** o Autor (2017).

Os valores de largura à meia altura mostram que a adição de impurezas promovem perturbações na rede cristalina, sendo que as maiores modificações relativas estão apresentados para a dopagem com íons  $\text{Ce}^{4+}$ , o que indica um maior grau de desordem estrutural a curto alcance.

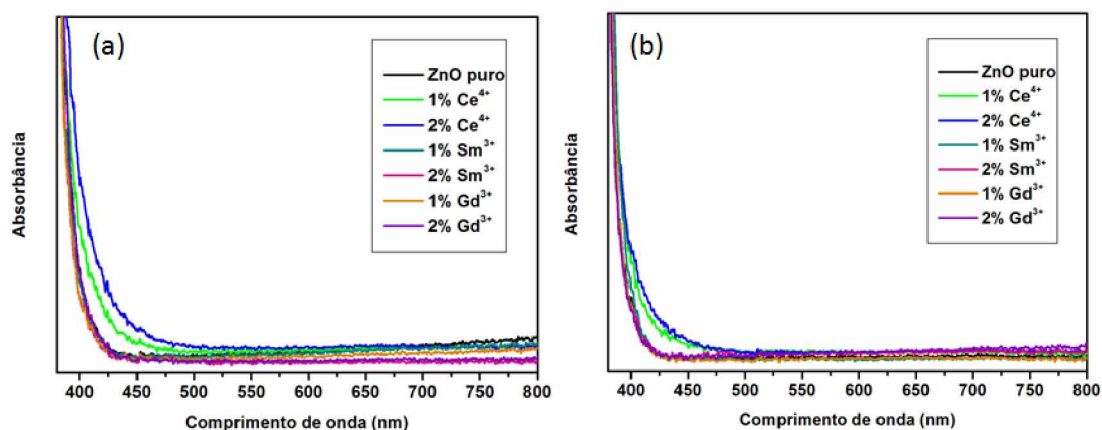
Na literatura, foi observada uma tendência similar, confirmando que a influência dos íons TR na estrutura do cristal surge da forte dependência do tamanho e da polarizabilidade do íon dopante (WANG *et al.*, 2010). A incorporação dos íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  promove uma tendência à distorção da nuvem eletrônica devido ao aumento da intensidade de polarização. O íon  $\text{Ce}^{4+}$  por apresentar um raio iônico ligeiramente maior dentre os demais íons, possui a capacidade de promover uma maior distorção da nuvem eletrônica, e consequentemente das ligações.

#### 4.3. Espectroscopia no Ultravioleta-visível (UV-vis)

Os espectros no UV-visível das amostras de óxido de zinco puro e dopados com os íons terras raras, sintetizadas nos tempos de 2 e 16 minutos, estão apresentados na Figura 22. As amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  exibiram um espectro de absorção característico para o óxido de zinco na fase

wurtzita como observado na literatura (CHAUHAN *et al.*, 2011; ZHAO *et al.*, 2014; KUMAR, R. *et al.*, 2015).

**Figura 22.** Espectros no UV-vis das amostras de ZnO puro, dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ , dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de (a) 2 minutos e (b) 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).

Não foi observada banda de absorção na região visível do espectro referente às transições dos íons terras-raras, especialmente para as amostras que apresentam fase secundária ( $\text{CeO}_2$  e  $\text{Sm}(\text{OH})_3$ ).

O íon  $\text{Ce}^{4+}$  possui a configuração eletrônica  $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2 5p^6$  com os orbitais  $f$  vazios ( $f^0$ ) e grande estabilidade eletrônica devido aos orbitais de valência completamente preenchidos, portanto, não apresenta nenhuma banda de absorção na região do UV-vis.

As transições das transições eletrônicas  $4f-5d$  do  $\text{Ce}^{3+}$  de acordo com a literatura, encontram-se na região do ultravioleta do espectro (KIM e YUN, 2016), portanto não se observa presença do íon  $\text{Ce}^{3+}$ . O íon  $\text{Gd}^{3+}$  com configuração  $4f^7$  é muito estável, suas transições eletrônicas são difíceis de serem detectadas, comumente observadas na região do ultravioleta de vácuo (10-200 nm) (TSUBOI, 1998). As bandas de absorção referente às transições eletrônicas  $f-f$  de  $\text{Sm}^{3+}$  são observadas, de acordo com a literatura, na região do infravermelho (JOHNSON e SANDOE, 1968; KIM e YUN, 2016).

Para determinação dos valores de energia de *gap* ( $E_{\text{gap}}$ ) dos materiais sintetizados foi utilizado o método de Kubelka-Munk (KUBELKA e MUNK, 1931) por

meio de um ajuste linear e extrapolação da parte linear da curva das medidas de espectroscopia no UV-vis no modo esfera de reflectância difusa (PATTERSON *et al.*, 1977; YANG e KRUSE, 2004). Os valores de  $gap$  calculados são apresentados na Tabela 9.

A inserção de um dopante na estrutura do semiconductor óxido de zinco não promoveu mudanças significativas nos valores de  $E_{gap}$  dos materiais, o que possivelmente é devido as baixas concentrações dos íons dopantes  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$  inseridos na rede cristalina do ZnO, não influenciando assim nos valores experimentais de  $E_{gap}$ . Os valores experimentais de  $E_{gap}$  calculados foram próximos ao valor encontrado do  $E_{gap}$  teórico do ZnO (3,37 eV) (OZGUR *et al.*, 2005; JANOTTI e VAN DE WALLE, 2007; HAFFAD *et al.*, 2011).

Os semicondutores possuem portadores de cargas negativas, conhecidos como elétrons livres, assim também como as cargas positivas, os buracos. Estes portadores de carga associam-se formando o éxciton. Além disso, podem apresentar defeitos e impurezas que tem a possibilidade de capturar os portadores de carga. Desta forma, a densidade destes defeitos e impurezas interfere na formação de novos níveis de energia entre as bandas de valência e condução. Os valores de  $E_{gap}$  dos materiais estão associados com a presença de defeitos estruturais, tais como os defeitos nativos vacâncias de Zn e O e também há a criação de novos estados intermediários de energia, com a adição dos dopantes, logo abaixo da banda de condução (CHAWL *et al.*, 2014; HU *et al.*, 2014; KUMAR, RAJESH *et al.*, 2015; AGGARWAL *et al.*, 2016).

**Tabela 9.** Valores de  $E_{gap}$  para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$ .

Amostras	$E_{gap}$ eV (2 min)	$E_{gap}$ eV (16 min)
ZnO Puro	3,26	3,28
1% $Ce^{4+}$	3,27	3,25
2% $Ce^{4+}$	3,28	3,24
1% $Sm^{3+}$	3,26	3,26
2% $Sm^{3+}$	3,27	3,24
1% $Gd^{3+}$	3,26	3,25
2% $Gd^{3+}$	3,25	3,26

Fonte: o Autor (2017).

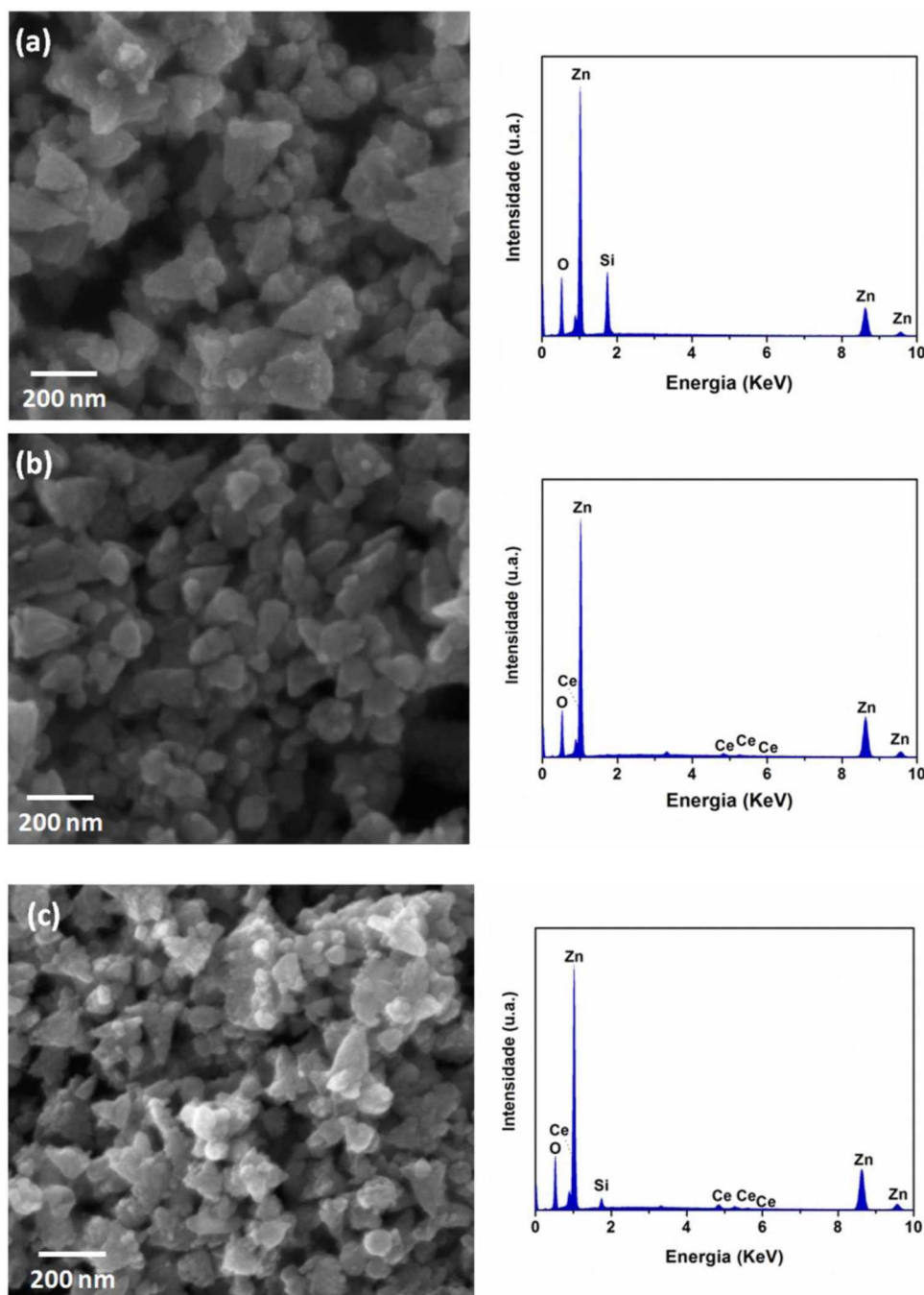
#### 4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (MEV-FEG) e análise de raios X por dispersão em energia (EDX)

As imagens, das amostras de ZnO puro e dopada com os íons TR sintetizadas nos tempos de 2 e 16 minutos, obtidas por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo (MEV-FEG) e por microscopia eletrônica de varredura (MEV), são mostrados nas Figuras 23, 23.1, 24 e 24.1.

Na contagem do tamanho médio das partículas foram consideradas aproximadamente 100 partículas a partir das imagens. Estão apresentados conjuntamente com as imagens os espectros EDX das amostras, representando a composição das mesmas.

A adição dos íons terras raras  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$  na estrutura do ZnO e a variação dos tempos de síntese (2 e 16 minutos) podem influenciar no crescimento e na morfologia das partículas.

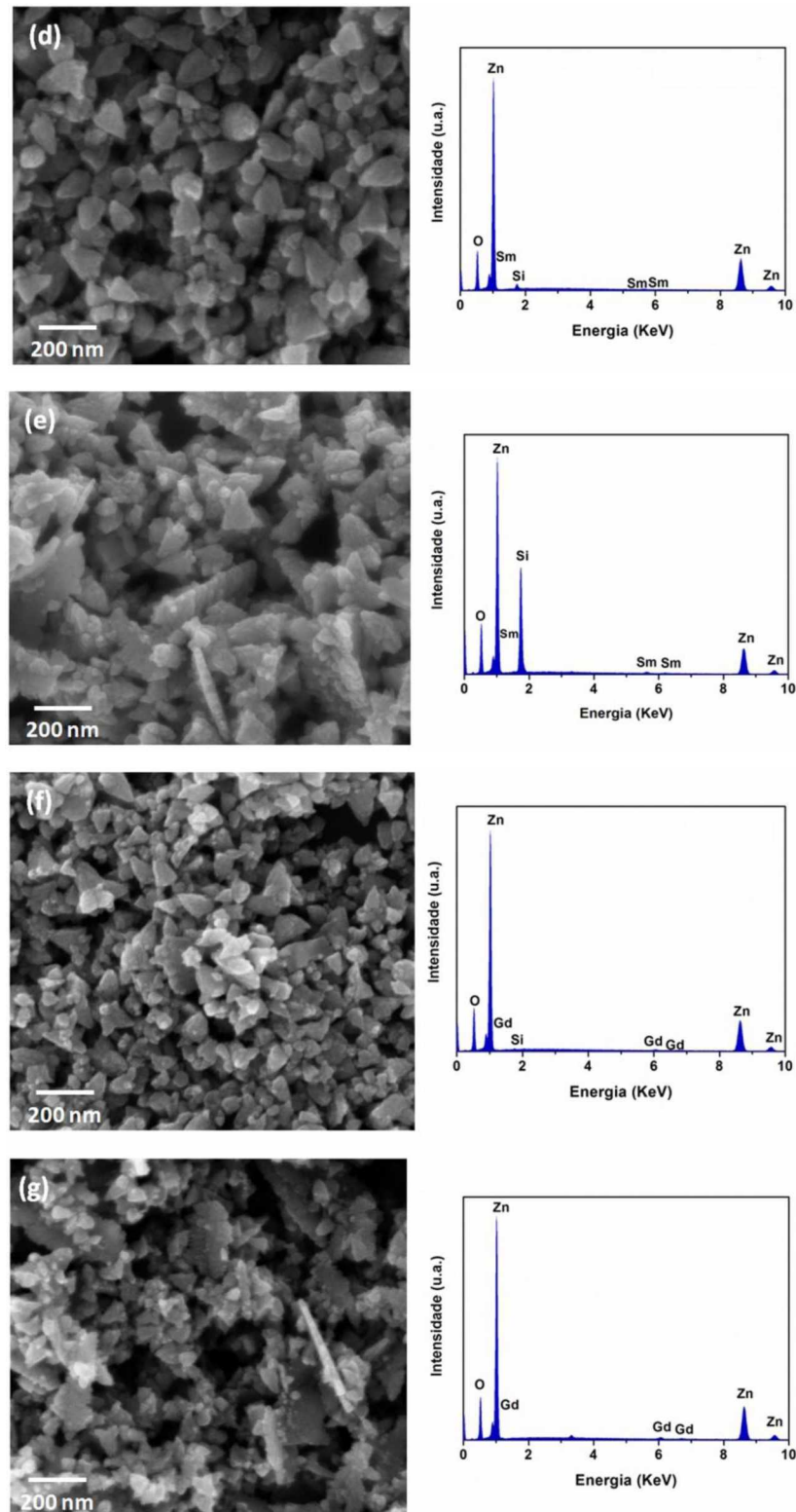
**Figura 23.** Imagens obtidas por MEV-FEG e espectros EDX das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b) e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (c) sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).



**Figura 23.1.** Imagens obtidas por MEV-FEG e espectros EDX das amostras de ZnO dopado com 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (d), 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (e), 1% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (f) e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (g), sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).

De acordo com as Figuras 23 e 23.1, observa-se que as partículas não apresentam uma morfologia muito regular e definida e que a incorporação dos íons terras-raras influencia na forma dos materiais. Além disso, a incorporação do dopante na estrutura e as condições de síntese empregadas influenciam no tamanho das partículas. É possível visualizar a partir dessas micrografias a forma e a aglomeração das partículas as quais se unem na formação da solução sólida.

Para a amostra de ZnO puro obtido após 2 minutos foram observadas partículas com formas regulares e aglomeradas, apresentando um tamanho médio de partículas em torno de 85 nm e pequenas partículas agregadas de tamanho em torno de 30 nm. A amostra dopada com 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  apresentou partículas com tamanho médio em torno de 75 nm, não apresentando mudanças significativas na morfologia em comparação à amostra pura. Com o aumento da concentração dos íons  $\text{Ce}^{4+}$ , observou-se uma diminuição no tamanho das partículas com tamanho médio em torno de 68 nm e formação de agregados aglomerados (Figuras 23 (a) – (c)).

Para as amostras dopadas com íons  $\text{Sm}^{3+}$  (Figuras 23.1 (d) – (e)), a adição de apenas 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  não promoveu alterações significativas sob a morfologia do ZnO, porém a adição de 2% em mol levou a formação de um agregado com morfologia lamelar e com partículas em sua superfície de tamanho em torno de 20 nm, diferente do observado nas imagens de ZnO puro e com 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$ .

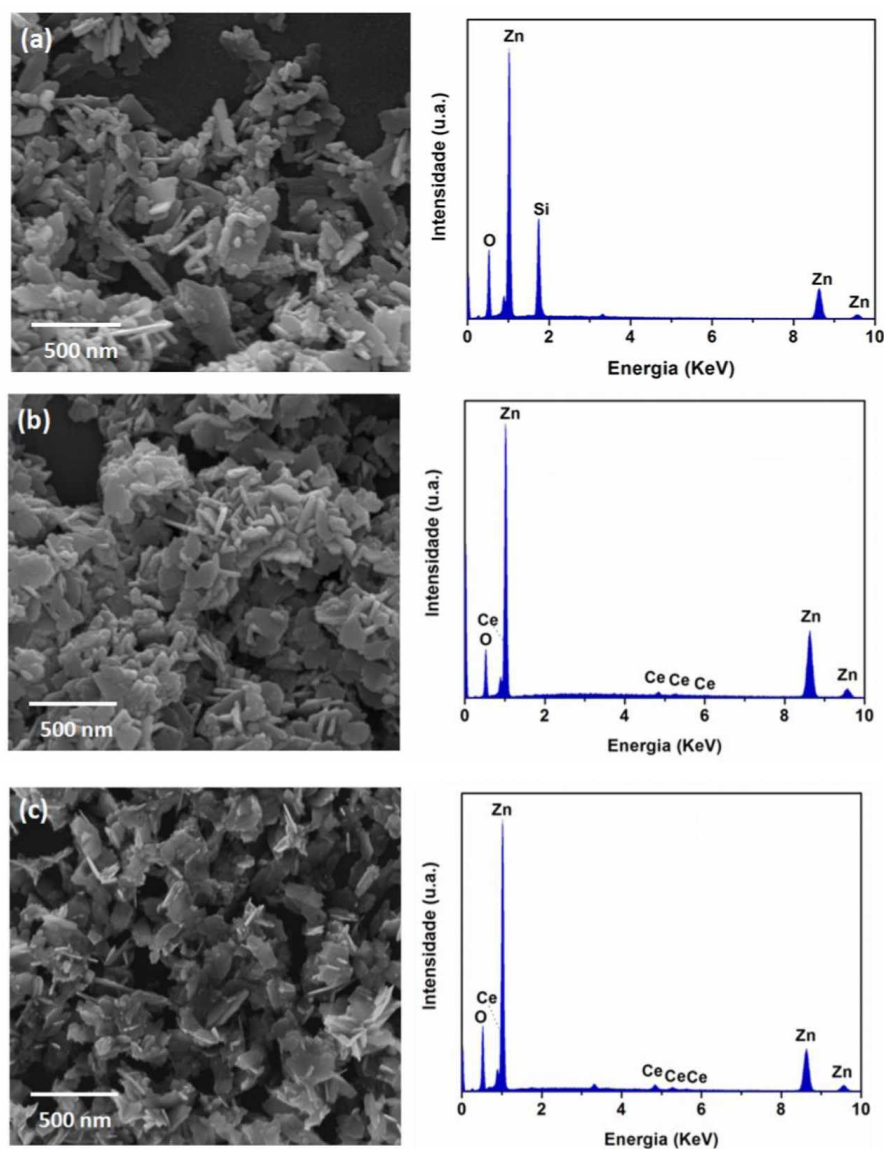
Para as amostras dopadas com íons  $\text{Gd}^{3+}$  (Figuras 23.1 (f) – (g)), na concentração de 1% em mol, tem-se a formação de partículas ligeiramente alongadas e mais homogêneas com partículas menores que 20 nm sobre a superfície e aumentando a concentração do dopante (2% em mol), houve uma maior irregularidade na morfologia das amostras, com agregados de partículas menores, formando regiões mais aglomeradas com morfologia bem alongadas.

Os espectros de EDX são mostrados também nas Figuras 23 e 23.1, indicando a composição das amostras pura e dopada com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ . Verificou-se a presença dos elementos dopantes terras-raras. O pico do silício (Si) observado em algumas amostras é o sinal referente ao substrato, no qual as amostras são depositadas.

As imagens de MEV para as amostras de ZnO puro e dopados com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , sintetizadas no tempo de 16 minutos são apresentadas nas Figuras 24 e 24.1.

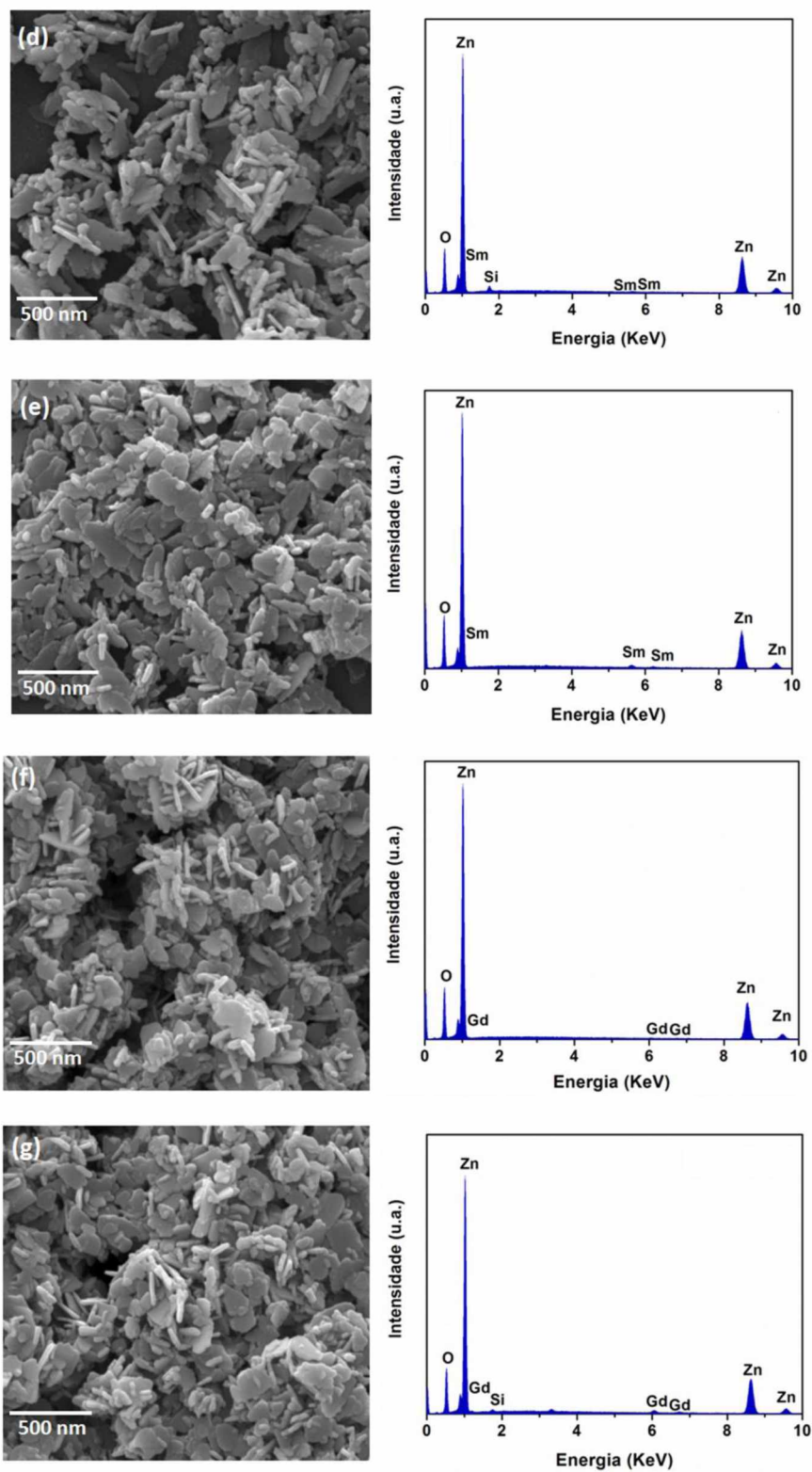
A variação no tempo de síntese hidrotérmica de micro-ondas para 16 minutos gerou mudanças significativas na morfologia das partículas quando comparado com as amostras obtidas no tempo curto de 2 minutos de síntese.

**Figura 24.** Imagens obtidas por MEV e espectros EDX das amostras de ZnO puro (a), dopado com 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (b) e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (c) sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

**Figura 24.1.** Imagens obtidas por MEV e espectros EDX das amostras de ZnO dopado com 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (d), 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (e), 1% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (f) e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (g), sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

De acordo com as Figuras 24 e 24.1, observa-se que as partículas apresentam uma morfologia do tipo placa ligeiramente aglomeradas. As condições de síntese empregadas colaboram significativamente para as variações na morfologia das partículas.

Para a amostra pura houve formação de placas irregulares, aglomeradas com agregados de partículas menores na ordem de 30 nm sobre a superfície e espessura média de 45 nm. A amostra dopada com 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  apresentou uma morfologia ligeiramente mais regular e homogênea, com placas de espessura média de aproximadamente de 40 nm. Com o aumento da concentração do íon dopante (2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ) tem-se uma diminuição da espessura das placas, uma espessura média de 28 nm (Figuras 24 (a) – (c)). A inserção de  $\text{Ce}^{4+}$  reduz o tamanho das partículas com a formação de agregados e com aumento da concentração, formação de placas mais finas.

Para as amostras dopadas com íons  $\text{Sm}^{3+}$  (Figuras 24.1 (d) – (e)) à medida que se aumentou a concentração do íon dopante (2% em mol) houve a formação de placas um pouco mais alongadas e não uniformes, com uma espessura média de 30 nm. Nas amostras dopadas com 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  houve a formação de placas com espessura de aproximadamente 40 nm. No caso das amostras dopadas com íons  $\text{Gd}^{3+}$  (Figuras 24.1 (f) – (g)), ambas apresentaram formação de placas aglomeradas com partículas menores sobre a superfície e uma espessura média em torno de 35 nm.

Os espectros EDX mostrados nas Figuras 24 e 24.1 ilustram a composição das amostras pura e dopada com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , confirmando a presença dos elementos terras raras nas amostras, com nenhum traço de impureza, ou seja formação de uma solução sólida. O pico de silício (Si) observado nos espectros é o sinal referente ao substrato.

A variação no tempo de síntese hidrotérmica de micro-ondas influenciou consideravelmente o crescimento das partículas de ZnO, enfatizando novamente que o efeito do tempo de síntese é um papel muito importante para a formação das amostras.

De acordo com a literatura, em condições de equilíbrio termodinâmico, a taxa de crescimento mais rápido de ZnO é ao longo da direção [0001] devido à sua energia superficial mais elevada. Sob condições externas, tais como, pH da solução, temperatura, tempo de síntese, dentre outros, o crescimento a longo desta direção pode ser parcialmente suprimido (DAKHLAOU *et al.*, 2009).

A variação do tempo de síntese de 2 minutos para 16 minutos e o valor de pH 12 na síntese neste trabalho, foram considerados fatores importantes no mecanismo de

crescimento das partículas. A adição de íons  $\text{OH}^-$  em concentrações consideráveis, associado a um tempo curto de síntese leva a uma cinética de reação mais rápida. As unidades de crescimento  $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$  começam a ser incorporadas no ZnO ao longo do eixo-c [0001] sob diferentes sítios, devido principalmente ao meio fortemente alcalino, em que  $\text{OH}^-$  é facilmente adsorvido na superfície polar de (0001) (WANG *et al.*, 2011; AKIR *et al.*, 2016), e ao rápido tempo de síntese de 2 minutos, fazendo com que a direção de crescimento [0001] seja favorecida. Isto é observado pelas partículas das amostras obtidas em 2 minutos, com morfologias ligeiramente alongadas (Figuras 23 e 23.1).

A formação de nanoplacas ou nanofolhas de ZnO pode estar associada ao excesso de  $\text{OH}^-$  no meio reacional aliado principalmente a um prolongamento do tempo de síntese (16 min) (Figuras 24 e 24.1). Estes fatores externos possivelmente retardam o crescimento na direção [0001], favorecendo a direção  $[01\bar{1}0]$  na formação e crescimento das nanoplacas. S. Akir *et. al* (2016) relataram a formação de nanofolhas de ZnO obtido por condições hidrotérmicas e, como sendo o principal mecanismo de crescimento das nanofolhas ao longo da direção preferencial  $[01\bar{1}0]$ .

#### 4.5. Estudo das propriedades Fotoluminescentes

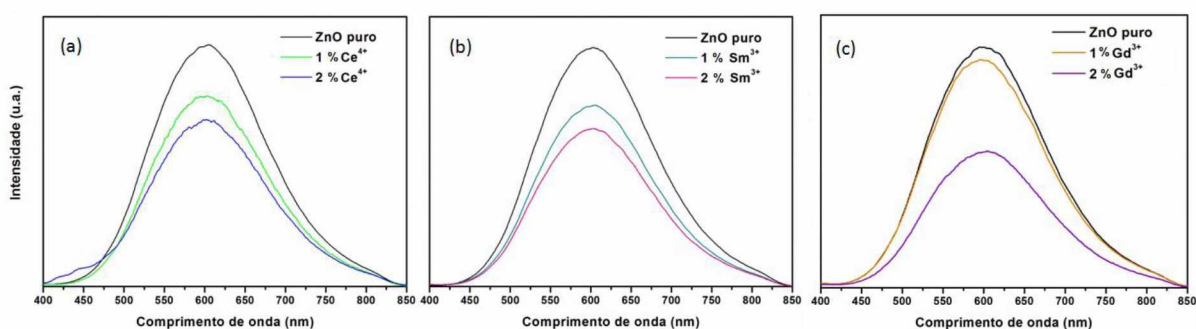
Foram realizadas medidas de fotoluminescência para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons TR sintetizadas nos tempos de 2 e 16 minutos à temperatura ambiente. As amostras apresentaram uma ampla faixa de emissão fotoluminescente com as contribuições da região visível do espectro eletromagnético. A banda larga de emissão origina-se da soma das diferentes emissões na região do visível devido da soma radiativa do par electrón-buraco nos níveis existentes na região do *gap*, no qual estão associados a defeitos estruturais na rede cristalina do ZnO.

Os picos na região do visível são atribuídos aos defeitos estruturais presentes no ZnO, tais como, vacâncias de oxigênio ( $V_O$ ), oxigênio intersticial ( $O_i$ ), zinco intersticial ( $Zn_i$ ) e vacâncias de zinco ( $V_{Zn}$ ), sendo fortemente dependentes das condições experimentais empregadas na obtenção dos materiais, e podendo ser muito influenciadas pela presença de impurezas extrínsecas (íons dopantes inseridos na rede cristalina). A origem e as posições destas bandas ainda são um pouco controversas, várias hipóteses têm sido reportadas na literatura para explicar estas emissões no visível



(VANHEUSDEN *et al.*, 1996; STUDENIKIN *et al.*, 1998; LIMA, R. C. *et al.*, 2007; DE MOURA *et al.*, 2010; MAHMOUD, 2010; MARINHO *et al.*, 2012; HU *et al.*, 2014; QIN *et al.*, 2014; DOS REIS, P. M. *et al.*, 2015; LIANG *et al.*, 2015; PANDEY *et al.*, 2015; THANGARAJ *et al.*, 2015). Os espectros de fotoluminescência obtidos à temperatura ambiente para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons com  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizados no tempo de 2 minutos, são apresentados na Figura 25.

**Figura 25.** Espectros de emissão fotoluminescente ( $\lambda_{\text{exc}} = 350,7 \text{ nm}$ ) para as amostras dopadas com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (b) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (c) sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



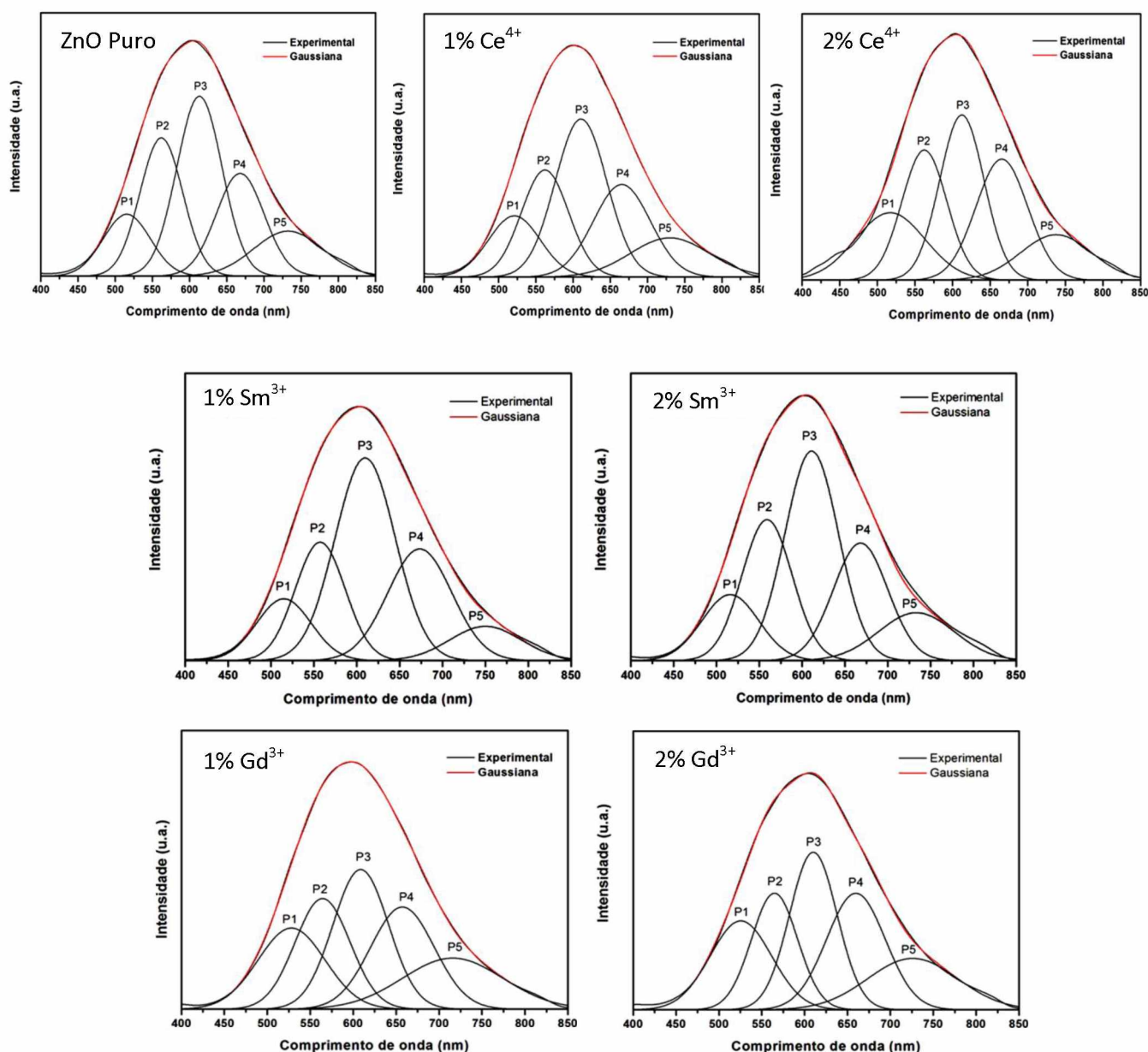
**Fonte:** o Autor (2017).

Todas as amostras apresentam o máximo da banda larga em torno de 613 nm que corresponde às contribuições de emissões no verde e no laranja. Emissões no verde estão associadas principalmente a vacâncias de oxigênio, zinco intersticiais e defeitos intrínsecos do ZnO; as emissões no amarelo/laranja são associadas com a presença de oxigênio nas posições intersticiais da rede ( $O_i$ ) (STUDENIKIN *et al.*, 1998; AKIR *et al.*, 2016).

A intensidade de fotoluminescência diminui com a inserção dos dopantes na rede cristalina do ZnO. A dopagem é acompanhada pela formação de novos defeitos, causando uma ligeira distorção na rede e levando a uma maior desordem estrutural à médio e curto alcances, o que é observado pela diminuição na intensidade relativa de fotoluminescência com o aumento da concentração do íon dopante (PANDEY *et al.*, 2015). Na amostra dopada com 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  pôde ser observado um ombro suave na região da emissão do violeta/azul do espectro, possivelmente associado à presença de Ce ocupando posição intersticial na rede do ZnO (JUNG *et al.*, 2012; SHI

*et al.*, 2014). A Figura 26 apresenta as curvas de decomposições para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons com  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizados no tempo de 2 minutos.

**Figura 26.** Decomposição das bandas de emissão fotoluminescente para as amostras de ZnO puro, dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ , dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

As bandas de emissão fotoluminescente foram decompostas em cinco componentes empregando uma função gaussiana para o ajuste da banda larga: são dois



componentes na região do verde (515 e 562 nm), uma componente na região do laranja (613 nm) e dois componentes na região do vermelho (665 e 736 nm).

As bandas de emissão na região do verde podem ser atribuídas à recombinação de elétrons da banda de condução (BC) com os buracos na vacância de oxigênio ( $V_O$ ), associado também com a presença de vacâncias de zinco  $V_{Zn}$ , devido à incorporação dos íons TR na rede do óxido com formação de solução sólida. As bandas de emissão vermelha podem ser atribuídas à recombinação de elétrons livres e podem ser associadas com o excesso de oxigênio ocupando sítios intersticiais  $O_i$  (AKIR *et al.*, 2016; OTHMAN *et al.*, 2016).

Nas Tabelas 10-13 são apresentados os valores máximos do pico para cada componente de emissão e a sua porcentagem de área correspondente. De acordo com os resultados, observou-se que a emissão máxima para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons TR encontram-se na região do verde/laranja.

**Tabela 10.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO puro obtida em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	Área (%)
Pico P1 (verde)	515	10,6
Pico P2 (verde)	562	23,6
Pico P3 (laranja)	613	32,6
Pico P4 (vermelho)	665	19,7
Pico P5 (vermelho)	736	13,5

**Fonte:** o Autor (2017)

**Tabela 11.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  obtidas em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	1% $\text{Ce}^{4+}$ Área (%)	2% $\text{Ce}^{4+}$ Área (%)
Pico P1 (verde)	515	13,3	17,2
Pico P2 (verde)	562	20,4	23,1
Pico P3 (laranja)	613	32,9	26
Pico P4 (vermelho)	665	21,3	22
Pico P5 (vermelho)	736	12,1	11,7

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 12.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  obtidas em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	1% $\text{Sm}^{3+}$ Área (%)	2% $\text{Sm}^{3+}$ Área (%)
Pico P1 (verde)	515	10,8	11,7
Pico P2 (verde)	562	19	23,1
Pico P3 (laranja)	613	39,2	35
Pico P4 (vermelho)	665	23,1	20
Pico P5 (vermelho)	736	7,9	10,2

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 13.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para as amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de  $Gd^{3+}$  obtidas em 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	1% $Gd^{3+}$ Área (%)	2% $Gd^{3+}$ Área (%)
Pico P1 (verde)	515	17,6	18,3
Pico P2 (verde)	562	19,7	19
Pico P3 (laranja)	613	25,1	25,1
Pico P4 (vermelho)	665	21,1	23
Pico P5 (vermelho)	736	16,5	14,6

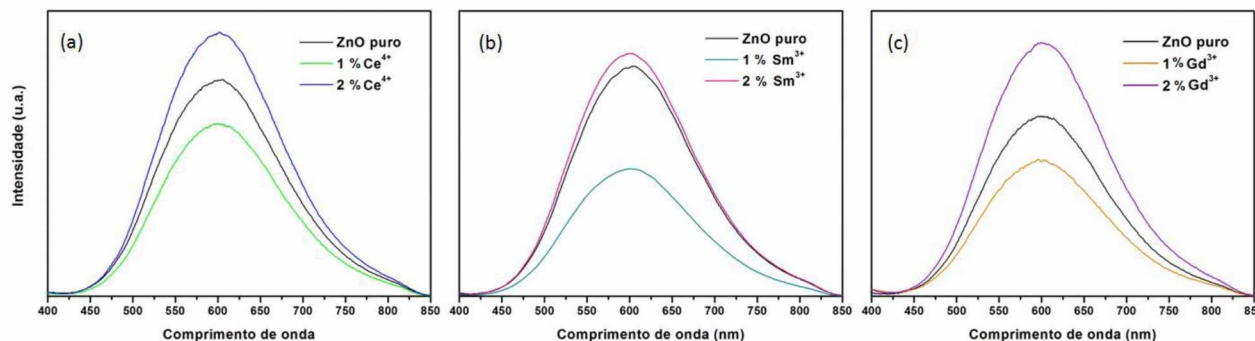
**Fonte:** o Autor (2017).

À medida que se aumentou a concentração de dopante na rede do ZnO (2% em mol de íons TR) observou-se que uma maior porcentagem de área está relacionada com a emissão no verde, por meio da soma das contribuições dos dois picos P1 e P2.

A maior porcentagem de área na região do verde, correlacionando com o aumento da quantidade do dopante na estrutura está associada à presença de defeitos estruturais e eletrônicos que resultam em diferentes processos de recombinação na região da energia de *band gap* do ZnO.

Os espectros de fotoluminescência obtidos à temperatura ambiente para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons com  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$  sintetizados no tempo de 16 minutos, são apresentados na Figura 27.

**Figura 27.** Espectros de emissão fotoluminescente ( $\lambda_{exc} = 350,7 \text{ nm}$ ) para as amostras dopadas com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  (a), dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  (b) e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  (c) sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



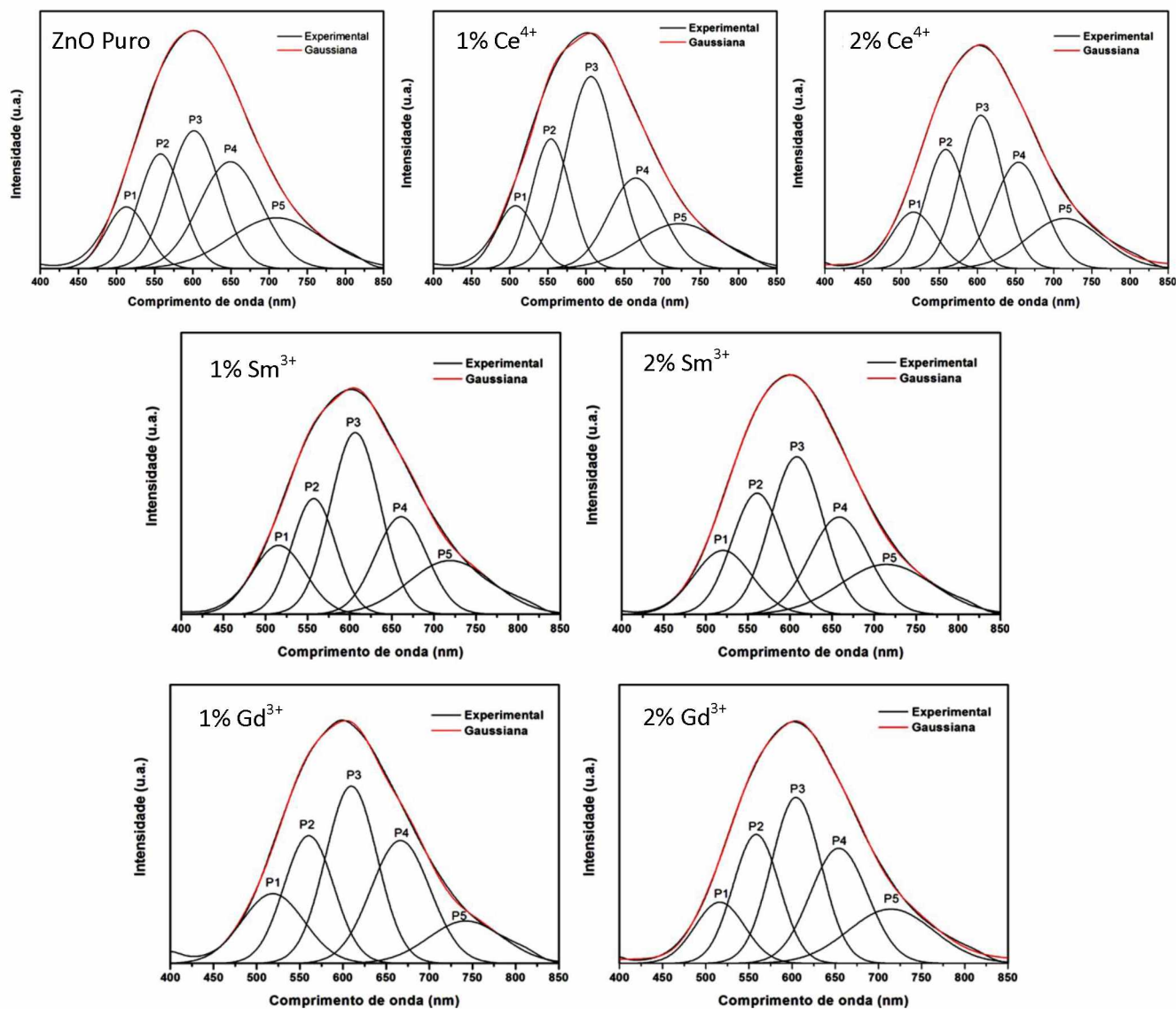
**Fonte:** o Autor (2017).

Todas as amostras também apresentam o máximo da banda larga em torno de 613 nm que corresponde às contribuições de emissões no verde e no laranja. A variação do tempo de síntese (2 e 16 minutos) influenciou as propriedades fotoluminescentes das amostras.

A uma concentração de 2% em mol do íon TR, a intensidade de fotoluminescência aumentou em comparação com ZnO puro, o que não foi observado para as amostras sintetizadas a 2 minutos, sugerindo que a recombinação dos elétrons e buracos aumentam. Esse aumento pode ser atribuído aos defeitos superficiais de vacâncias criados por um aumento da concentração do dopante na rede cristalina, que agem como centros de recombinação radiativa. (LIANG *et al.*, 2015; FAROOQI e SRIVASTAVA, 2016).

A Figura 28 apresenta as curvas de decomposições para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons com  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizados no tempo de 16 minutos. A partir dos resultados foi possível atribuir o quanto cada cor contribuiu para a emissão fotoluminescente. As bandas foram decompostas em cinco componentes, sendo dois componentes na região do verde (515 e 562 nm), uma componente na região do laranja (613 nm) e dois componentes na região do vermelho (665 e 736 nm).

**Figura 28.** Decomposição das bandas de emissão fotoluminescente para as amostras de ZnO puro, dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ , dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

Nas Tabelas 14-17 são apresentados os valores máximos do pico para cada componente de emissão e a sua porcentagem de área. Verificam-se que as bandas de emissão englobam a região do espectro visível, assim como as amostras sintetizadas a 2 minutos. De acordo com os resultados, observou-se que a emissão máxima para as amostras encontram-se na região do verde/laranja.

**Tabela 14.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO puro obtida em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	Área (%)
Pico P1 (verde)	515	9,8
Pico P2 (verde)	562	19,2
Pico P3 (laranja)	613	27,1
Pico P4 (vermelho)	665	25,7
Pico P5 (vermelho)	736	18,2

**Fonte:** o Autor (2017)

**Tabela 15.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para a amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de  $Ce^{4+}$  obtidas em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	1% $Ce^{4+}$	2% $Ce^{4+}$
		Área (%)	Área (%)
Pico P1 (verde)	515	9,5	11,3
Pico P2 (verde)	562	22,5	25
Pico P3 (laranja)	613	35	23,6
Pico P4 (vermelho)	665	19	21
Pico P5 (vermelho)	736	14	19,1

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 16.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para as amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  obtidas em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	1% $\text{Sm}^{3+}$ Área (%)	2% $\text{Sm}^{3+}$ Área (%)
Pico P1 (verde)	515	14	13
Pico P2 (verde)	562	18,5	22
Pico P3 (laranja)	613	33	29,2
Pico P4 (vermelho)	665	19	20
Pico P5 (vermelho)	736	15,5	15,8

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 17.** Valores de porcentagem de área para as bandas largas de fotoluminescência decompostas para as amostras de ZnO dopadas com 1 e 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  obtidas em 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Emissões	Centro (nm)	1% $\text{Gd}^{3+}$ Área (%)	2% $\text{Gd}^{3+}$ Área (%)
Pico P1 (verde)	515	14,4	11
Pico P2 (verde)	562	21	23
Pico P3 (laranja)	613	30,1	29
Pico P4 (vermelho)	665	24	23,2
Pico P5 (vermelho)	736	10,5	13,8

**Fonte:** o Autor (2017).

A dopagem podem gerar defeitos, que resultam em diferentes processos de recombinação influenciando as emissões na região do visível. À medida que se aumentou a concentração de dopante na rede do ZnO, pode-se observar uma maior porcentagem de área relacionada a emissão no verde, por meio da soma das contribuições dos dois picos P1 e P2. A maior porcentagem de área na região do verde,

correlacionando com o aumento da quantidade do dopante na estrutura está atribuída ao aumento na densidade de defeitos estruturais criados, tais como vacâncias de oxigênio e zinco intersticiais, bem como os defeitos eletrônicos. Além disso, a valência do íon Zn é +2 em ZnO, e os íons Gd e Sm estando com a valência +3 e Ce na valência 4+, alguns defeitos estruturais e eletrônicos podem existir para compensar a diferença de carga.

O ligeiro aumento da emissão nas regiões laranja/vermelho a partir da dopagem, pode ser associado diretamente com as transições de níveis de impureza induzidas pela presença dos íons terras-raras e/ou alteração de níveis de impurezas associadas aos defeitos nativos em ZnO (FAROOQI e SRIVASTAVA, 2016; FLEMBAN *et al.*, 2016; LANG *et al.*, 2016; VIJAYAPRASATH *et al.*, 2016). Nenhum novo centro de emissão foi criado pela dopagem substitucional com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , confirmando a formação de solução sólida.

#### 4.6. Área superficial específica

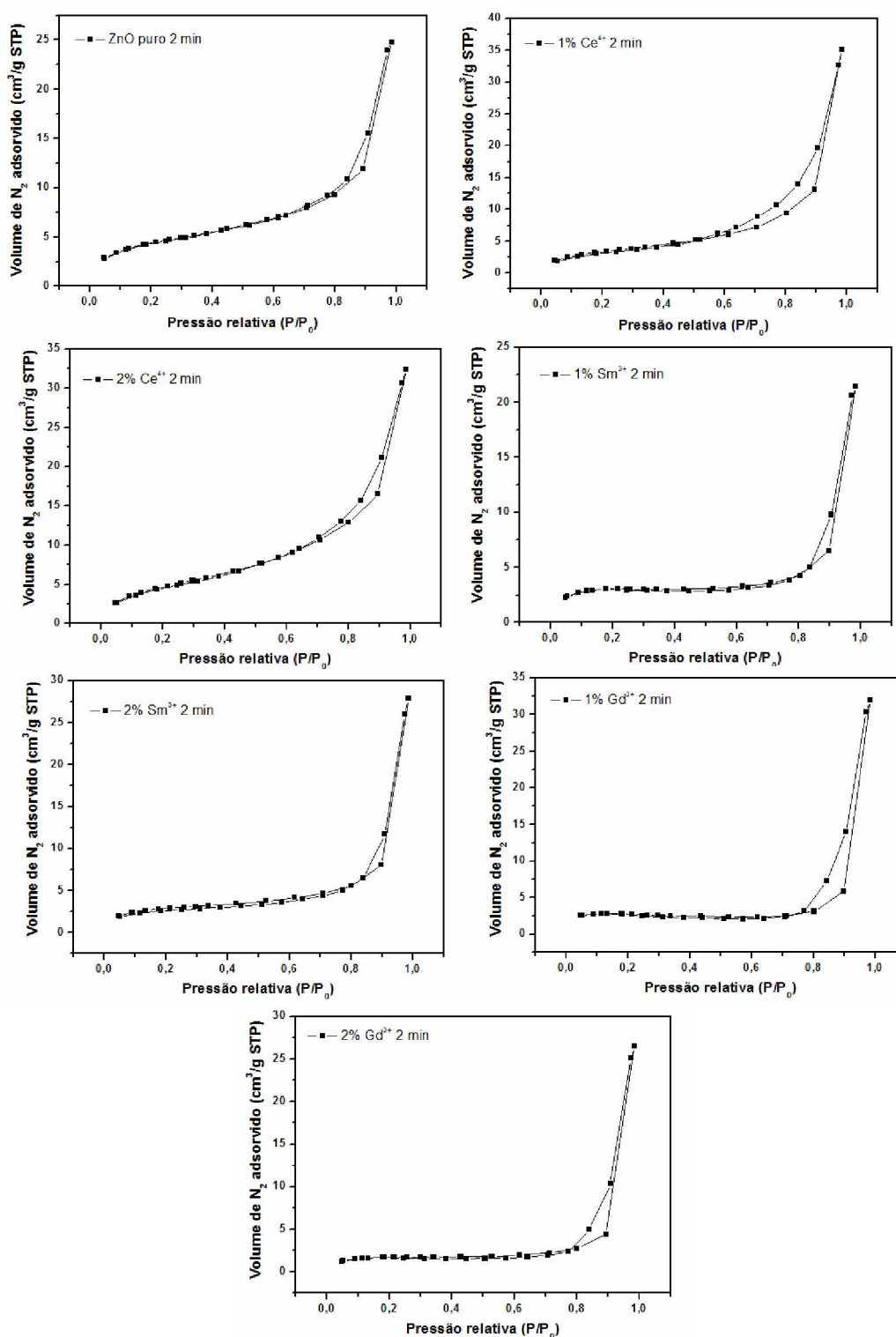
A área superficial específica, ou área da superfície total do sólido por unidade de massa, é um parâmetro importante a ser determinado, pois é na superfície do semiconductor que as reações se processam. Para um catalisador, quanto maior for a superfície disponível para os reagentes, maior será a conversão dos produtos e mais eficientemente se processarão as reações (BLIN *et al.*, 2012).

A área superficial das amostras de ZnO foi estimada utilizando isotermas de adsorção e dessorção de  $\text{N}_2(\text{g})$  pelo método BET (Brunauer, Emmett e Teller) (BRUNAUER *et al.*, 1938), como apresentado nas Figuras 29 e 30.

As isotermas apresentadas são do tipo IV com curva de histerese do tipo H3, característica de materiais mesoporosos, de acordo com a classificação IUPAC (KRUK e JARONIEC, 2001; YINGYING *et al.*, 2012). A porosidade das amostras foi estimada também com o auxílio das isotermas de adsorção e dessorção de acordo com a distribuição de poros segundo o método de BJH (Barret-Joyner-Halenda) (BRUNAUER *et al.*, 1938; TAN *et al.*, 2012). As isotermas são divididas em três partes, monocamada, multicamada e condensação capilar. Observa-se que, quanto menor a inclinação da multicamada, mais homogênea é a distribuição de tamanho dos poros (TEIXEIRA *et al.*, 2001; AMGARTEN, 2006; WALTON e SNURR, 2007).

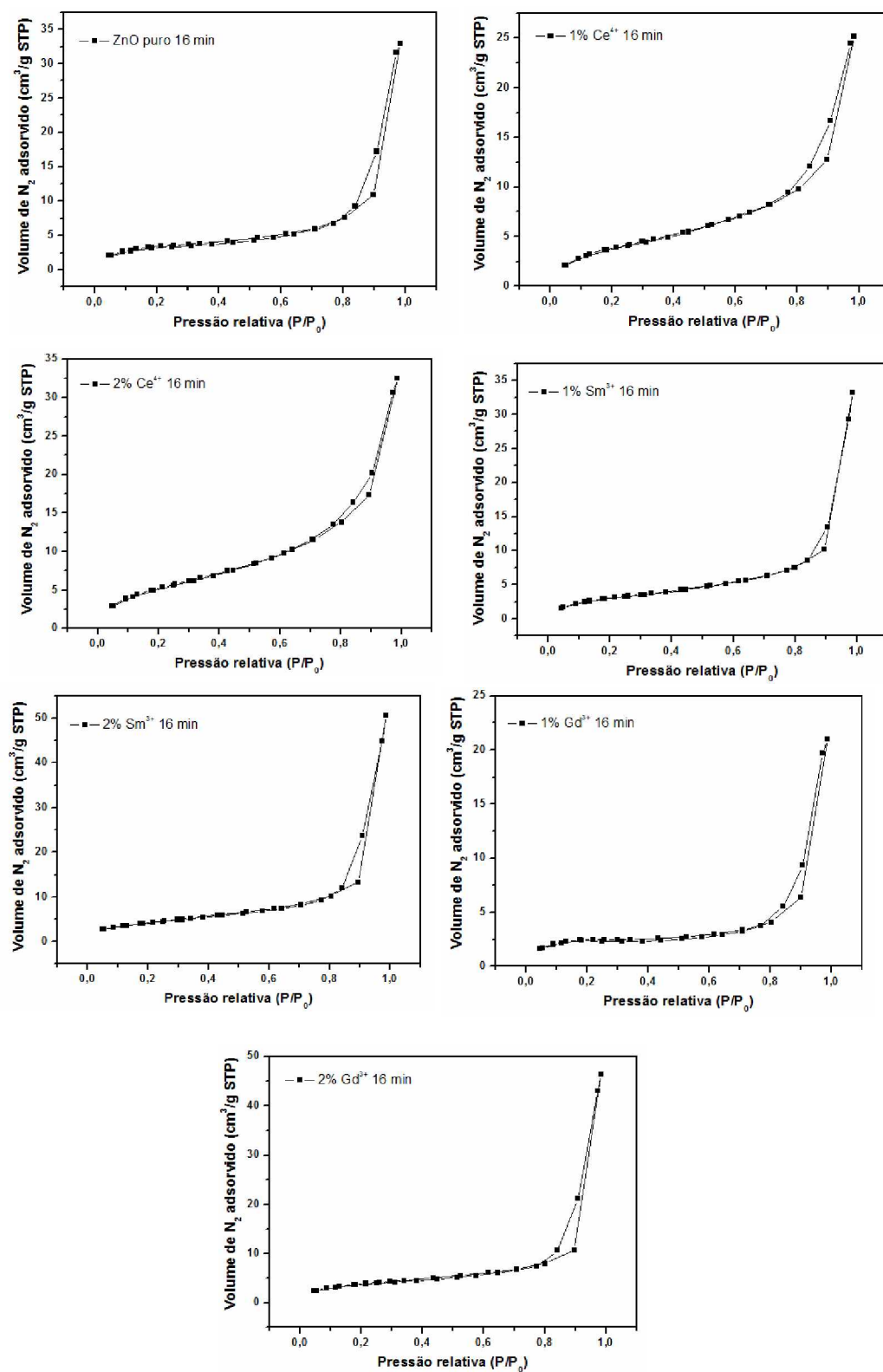


**Figura 29.** Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio pelas amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



**Fonte:** o Autor (2017).

**Figura 30.** Isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio pelas amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.



Fonte: o Autor (2017).

Todas as amostras sintetizadas, nos dois tempos de 2 e 16 minutos, apresentaram uma boa homogeneidade na distribuição dos poros. A área superficial, o tamanho médio dos poros e volume total dos poros das amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , nos tempos de 2 e 16 minutos, são apresentados nas Tabelas 18 e 19.

**Tabela 18.** Área superficial específica e porosidade estimada para as amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Amostras	Área superficial específica ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume total do poro ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Diâmetro médio de poro (nm)
ZnO	15,78	0,038	9,74
1% $\text{Ce}^{4+}$	12,61	0,054	17,30
2% $\text{Ce}^{4+}$	18,04	0,050	11,32
1% $\text{Sm}^{3+}$	9,41	0,032	14,14
2% $\text{Sm}^{3+}$	9,91	0,043	17,40
1% $\text{Gd}^{3+}$	7,69	0,050	2,58
2% $\text{Gd}^{3+}$	5,30	0,041	3,10

**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 19.** Área superficial específica e porosidade estimada para as amostras de ZnO puro e dopado com 1 e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Amostras	Área superficial específica ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume total do poro ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Diâmetro médio de poro (nm)
ZnO	11,89	0,051	17,18
1% $\text{Ce}^{4+}$	14,76	0,039	10,52
2% $\text{Ce}^{4+}$	20,50	0,050	11,32
1% $\text{Sm}^{3+}$	11,85	0,051	17,34
2% $\text{Sm}^{3+}$	15,80	0,078	19,86
1% $\text{Gd}^{3+}$	13,94	0,072	16,60
2% $\text{Gd}^{3+}$	7,84	0,033	2,06

**Fonte:** o Autor (2017).

De acordo com as Tabelas 18 e 19, observa-se que o diâmetro médio dos poros encontra-se distribuídos em uma faixa de aproximadamente 2 – 20 nm. As diferenças encontradas no tamanho dos poros podem estar relacionadas com o tamanho da partícula, que por sua vez, é influenciado pelas condições de síntese empregadas durante a obtenção dos materiais e pela inserção de íons dopantes, que criam defeitos superficiais e assim, podem gerar um crescimento desordenado das partículas (LIANG *et al.*, 2015). O volume total dos poros das amostras também foi estimado e está em uma faixa de 0,030 – 0,080  $\text{cm}^3/\text{g}$ , os valores encontrados são esperados para o óxido de zinco nanoestruturado (KAJBAFVALA *et al.*, 2012; AHMED *et al.*, 2014).

O tempo de síntese hidrotérmica de micro-ondas, 2 e 16 minutos, causou mudanças nos valores de área superficial específica, bem como na morfologia das amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , evidenciando ser um fator importante nas propriedades das amostras.

As amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ , sintetizadas no tempo de 2 minutos apresentaram uma morfologia muito irregular e com regiões aglomeradas (Figuras 23 e 23.1). De acordo com Z. Xing *et. al* (2011), as

nanoestruturas de ZnO com menores valores de área superficial específica serão menos estáveis contra a agregação das partículas. Nesse contexto, foi observado para a amostra dopada com 2% em mol de  $Gd^{3+}$  obtida a 2 minutos uma morfologia mais irregular e aglomerada, com agregados de partículas menores e com formas alongadas (Figura 23.1 (g)), apresentando assim um menor valor de área superficial ( $5,30 \text{ m}^2/\text{g}$ ).

As amostras sintetizadas no tempo de 16 minutos apresentaram uma morfologia homogênea do tipo placas com espessuras entre 28-45 nm. As amostras dopadas com 1% e 2% em mol de TR obtidas no tempo de 16 minutos apresentaram um maior valor de área superficial quando comparadas com as mesmas sintetizadas no tempo de 2 minutos. As morfologias do tipo placa ou folhas possivelmente tendem a exibir valores maiores de área superficial devido a sua forma mais aberta, e os poros de menor tamanho observados, são intrínsecos dentro das nanoplacas de ZnO (poros de poros), enquanto que os poros de maior tamanho são principalmente devido aos interstícios entre as nanoplacas (QIU *et al.*, 2010; LIANG *et al.*, 2015). Nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons terras raras na forma de placas podem apresentar aplicações em fotocatalise heterogênea. Um estudo a respeito da atividade fotocatalítica será apresentado a seguir.

Na literatura, encontram-se estudos correlacionando área superficial e morfologia, em que são encontradas diferenças nos valores de área superficial específica com as diferentes morfologias de ZnO.

A. Kajbafvala *et. al* (2012) sintetizaram ZnO por irradiação de micro-ondas com diferentes morfologias do tipo nanoesferas e nanoflores aglomeradas, em que, as nanoesferas apresentaram maior valor de área superficial que as nanoflores com 98 e  $22,9 \text{ m}^2/\text{g}$ , respectivamente.

F. Ahmed *et. al* (2014) obtiveram ZnO com diferentes morfologias, tais como nanobastões, nanoflores, nanoprimas e nanopirâmides. Essas diferenças resultaram em diferentes valores de área superficial, 28,2, 19,4, 9,6 e  $6,1 \text{ m}^2/\text{g}$ , respectivamente. Além disso, estudaram o efeito da morfologia nas propriedades fotoluminescentes e fotocatalíticas do ZnO.

A. N. Okte (2014) sintetizaram ZnO puro e dopado com 1% em mol de Ln (Ln = La, Eu, Gd, Dy e Ho). Com a inserção dos íons dopantes, as morfologias mudaram em relação à amostra pura, passando de nanoesferas para nanoplacas aglomeradas. Este efeito foi observado na área superficial, em que as amostras dopadas apresentaram

maior valor de área superficial que a amostra de ZnO puro (ZnO 7,6 m<sup>2</sup>/g; 1% La 35 m<sup>2</sup>/g; 1% Eu 32 m<sup>2</sup>/g; 1% Gd 35 m<sup>2</sup>/g, 1% Dy 37 m<sup>2</sup>/g e 1% Ho 32 m<sup>2</sup>/g).

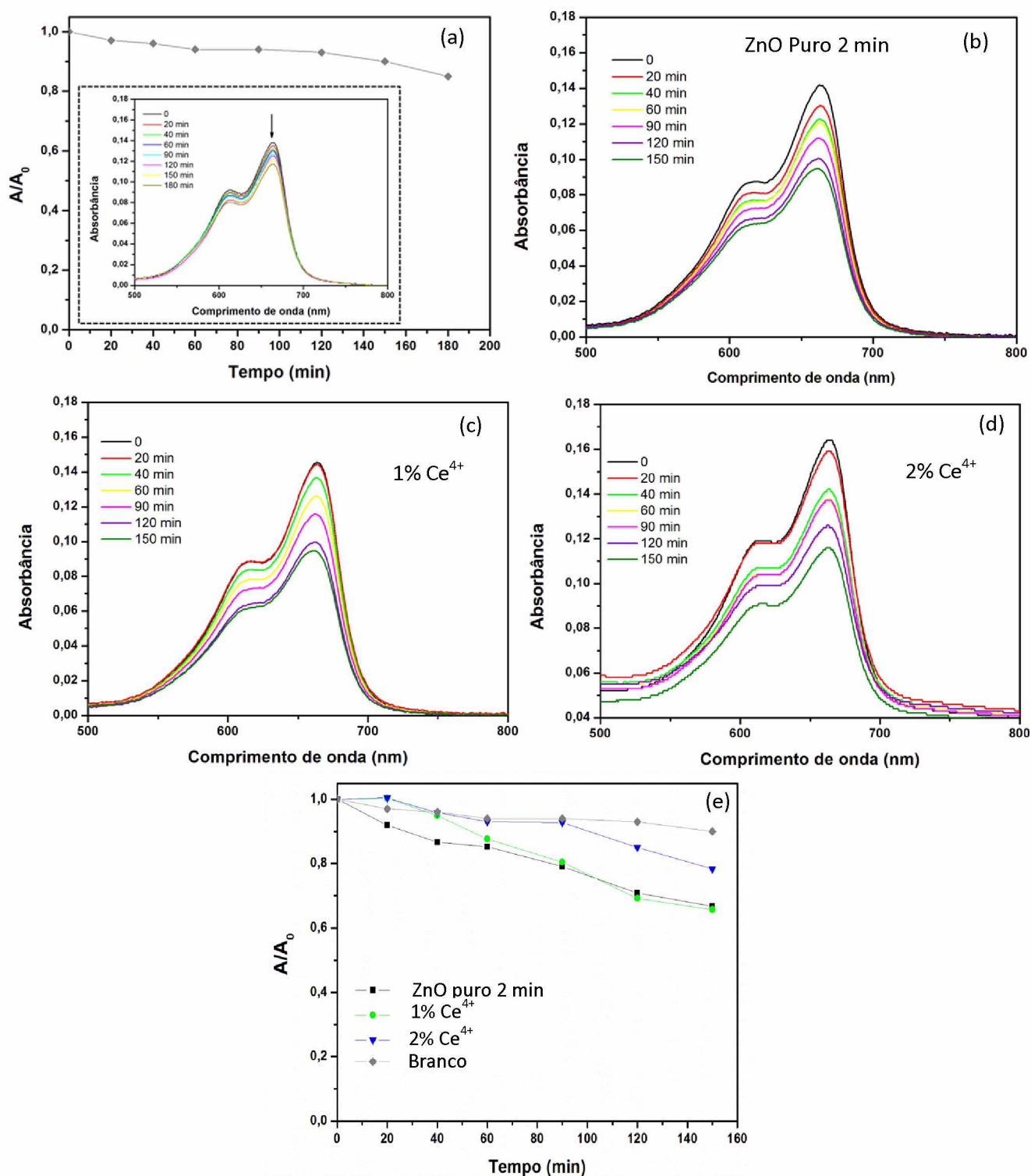
#### 4.7. Estudo da atividade fotocatalítica

A atividade fotocatalítica das amostras de ZnO puro e dopado com os íons Ce<sup>4+</sup>, Sm<sup>3+</sup> e Gd<sup>3+</sup> sintetizadas nos tempos de 2 e 16 minutos foram avaliadas frente a degradação da solução aquosa do corante azul de metileno sob radiação UV-Vis.

A variação de absorbância na presença e na ausência das amostras preparadas a 2 minutos está apresentada nas Figuras 31-33. Podem ser observadas duas bandas de absorção característica do corante na região visível em 615 e 663 nm, sendo que a absorção máxima é em 663 nm. Por se tratar de um composto orgânico aromático, essas bandas de absorção podem ser atribuídas a transições do tipo  $\pi - \pi^*$  para a banda de maior intensidade em 663 nm e para a banda de menor intensidade em 615 nm a transições  $n - \pi^*$  (ROHATGI-MUKHERJEE, 1978; MELLO, 2006; PAVIA *et al.*, 2008). Observa-se um decréscimo gradual em função do tempo de irradiação UV-Vis. Esse decréscimo da absorbância é provavelmente devido à destruição do grupo cromóforo do corante, o que confirma a fotodescoloração do azul de metileno (FARBOD e JAFARPOOR, 2014; SONG *et al.*, 2014).

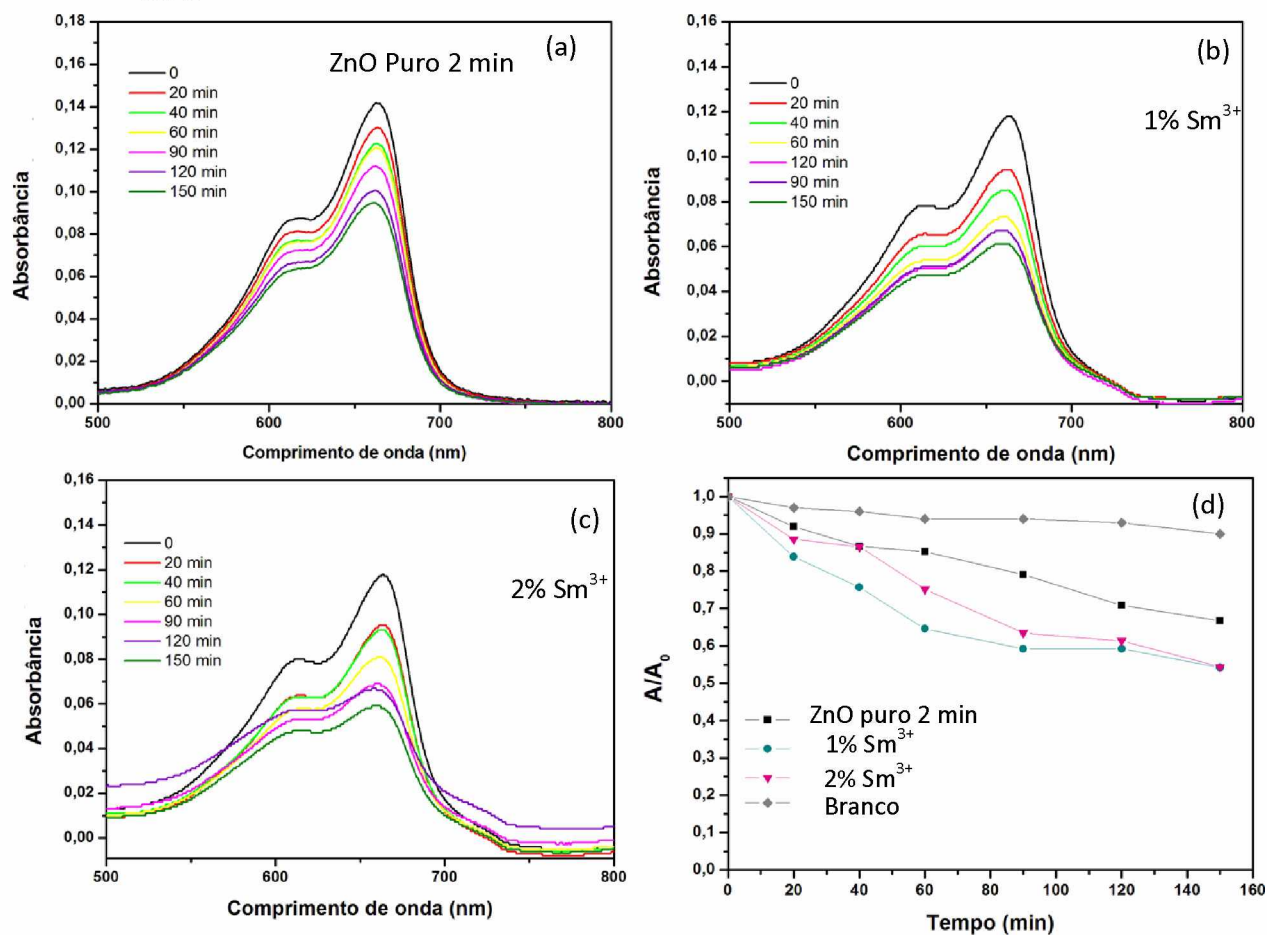
Como apresentado na Figura 31 (a), há um pequeno decréscimo na absorbância do azul de metileno no experimento com a ausência do catalisador (branco) após 180 minutos de irradiação, indicando que a fotodescoloração da solução de azul de metileno resultou em uma pequena degradação de 12%.

**Figura 31.** Fotodegradação do azul de metileno na ausência do catalisador (a). Tempo total de 180 min. Espectro de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (b), (c) 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  e (d) 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ . (e) Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno. Para as amostras obtidas no tempo de 2 minutos.



Fonte: o Autor (2017).

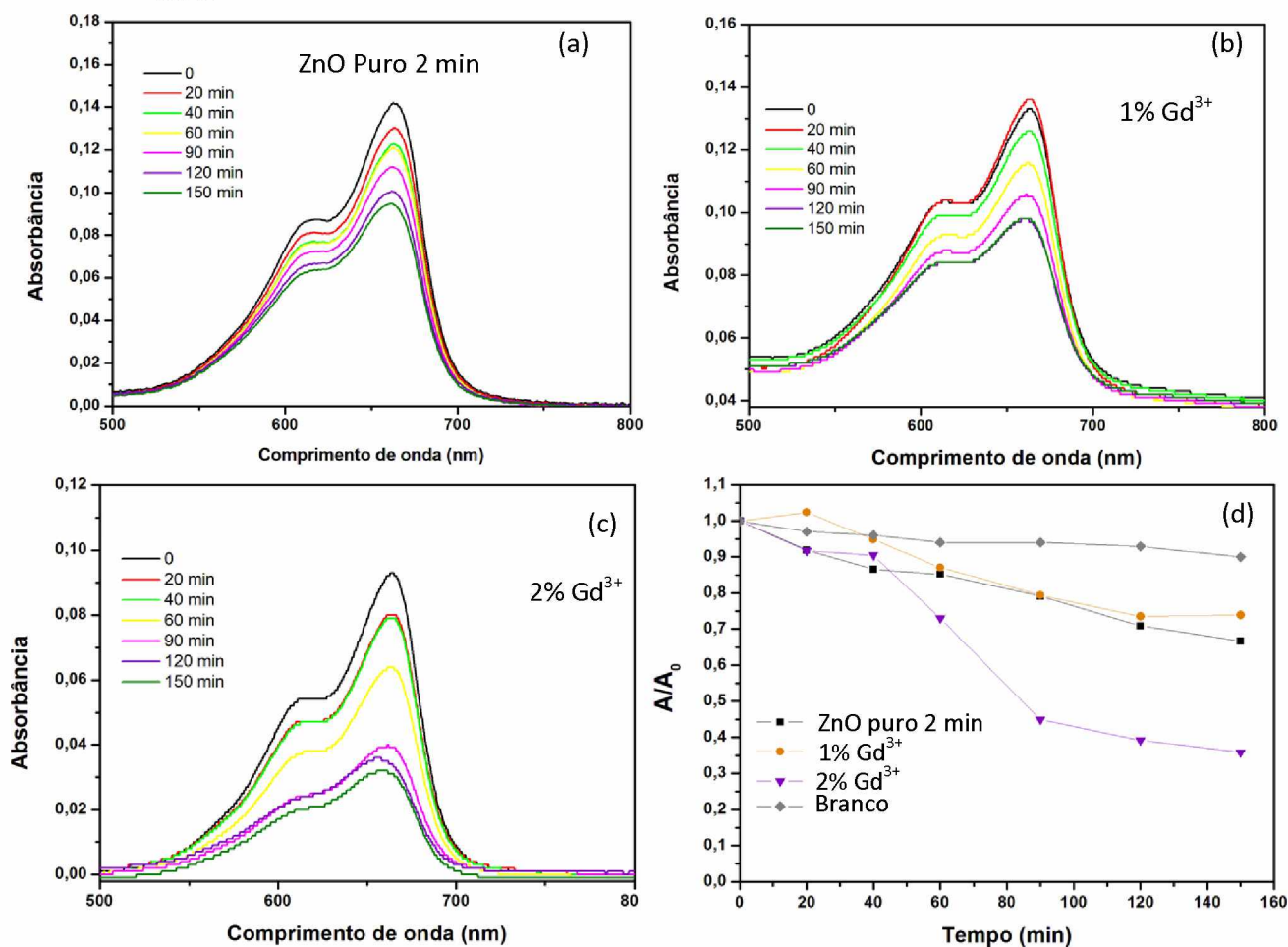
**Figura 32.** Espectros de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  e (c) 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 2 minutos.



**Fonte:** o Autor (2017).



**Figura 33.** Espectros de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de  $Gd^{3+}$  e (c) 2% em mol de  $Gd^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 2 minutos.



**Fonte:** o Autor (2017).

A eficiência fotocatalítica variou com a concentração dos íons dopantes na rede cristalina do ZnO. As eficiências fotodescoloração são apresentadas na Tabela 20.

A amostra que apresentou maior atividade fotocatalítica foi a amostra dopada com 2 mol% de  $Gd^{3+}$  (65% de fotodescoloração), mesmo apresentando um menor valor de área superficial ( $5,30 \text{ m}^2/\text{g}$ ) que a amostra de ZnO puro ( $15,78 \text{ m}^2/\text{g}$ ).

**Tabela 20.** Eficiência de fotodescoloração para as diferentes amostras obtidas no tempo de 2 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Amostras	(%) Fotodescoloração
ZnO Puro	33
1% Ce <sup>4+</sup>	34
2% Ce <sup>4+</sup>	22
1% Sm <sup>3+</sup>	45
2% Sm <sup>3+</sup>	46
1% Gd <sup>3+</sup>	26
2% Gd <sup>3+</sup>	65

**Fonte:** o Autor (2017).

É conhecido que a eficiência do processo fotocatalítico é determinada pela separação dos pares de elétrons-buracos na superfície do catalisador e a separação desses portadores de carga fotogerados pode ser devido à estrutura cristalina do óxido, assim como, os defeitos estruturais e a presença dos íons dopantes incorporados na rede (HERRMANN, 2005b; CHANG e WACLAWIK, 2012; AHMED *et al.*, 2014; KHATAEE *et al.*, 2015). Entre esses fatores, os defeitos de superfície devem ser considerados na maioria dos casos, exceto para monocristais perfeitos.

A partir do aumento da quantidade de íons Gd<sup>3+</sup> incorporados na rede do ZnO, há mais íons Gd<sup>3+</sup> disponíveis para capturar os elétrons na superfície da banda de condução do ZnO, impedindo assim, a recombinação do par elétron-buraco e aumentando a separação de cargas e consequentemente, tem-se uma maior eficiência fotocatalítica quando comparada com a amostra de ZnO puro. Os íons Gd<sup>3+</sup> podem ser encontrados preferencialmente nos interstícios da rede cristalina há então, uma modificação na densidade de cargas superficiais, melhorando a atividade fotocatalítica. Este comportamento também foi observado para as amostras dopadas com íons Sm<sup>3+</sup>, porém de forma menos significativa. O aumento na quantidade dos íons faz com eles atuem como aprisionadores de elétrons, consequentemente, há um maior número de elétrons e buracos nos sítios ativos da superfície do ZnO, melhorando a eficiência da

fotocatálise e resultando numa maior atividade (OPREA *et al.*, 2012; KHATAEE *et al.*, 2015; THANGARAJ *et al.*, 2015).

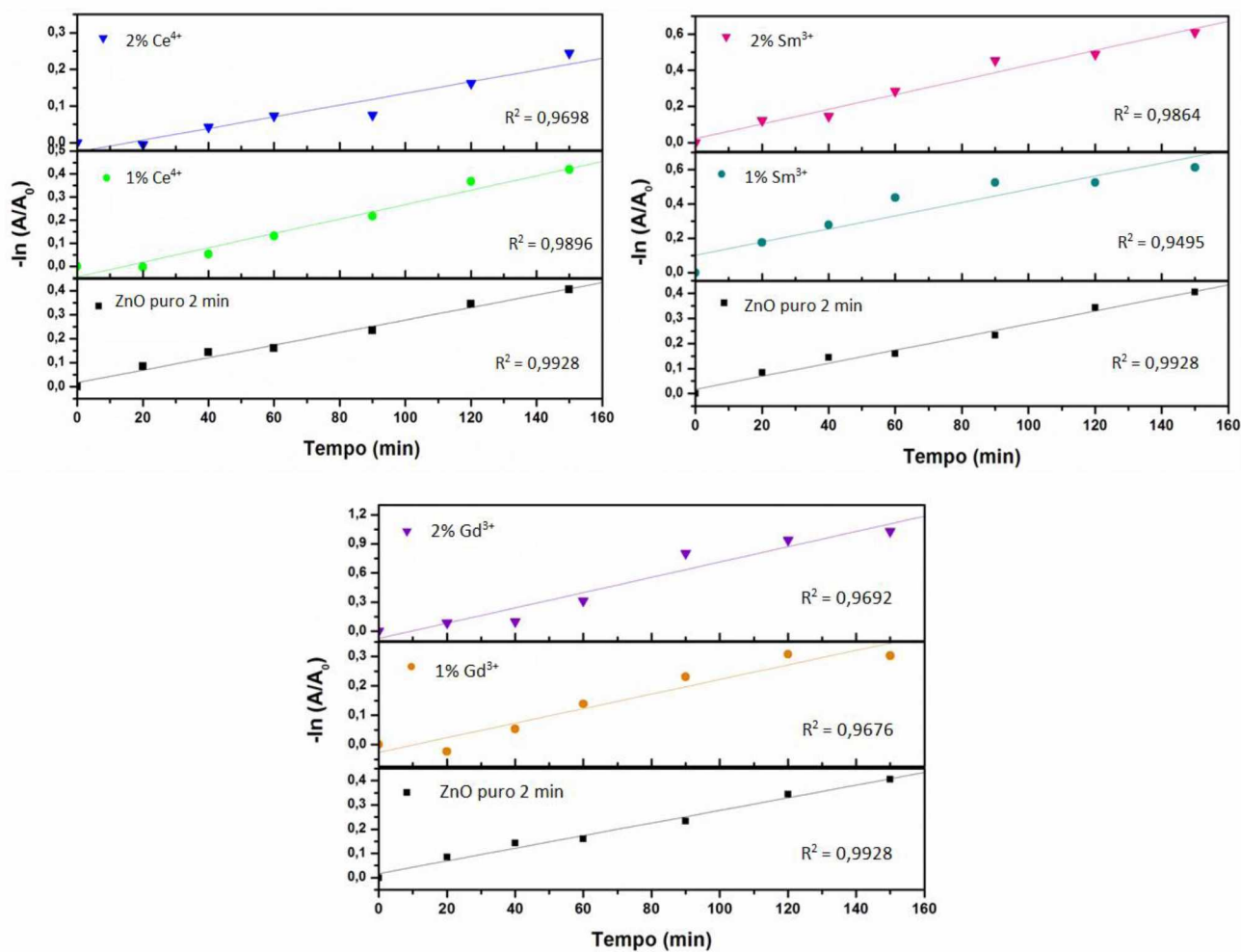
A amostra dopada com 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  apresentou maior eficiência fotocatalítica quando comparada com a amostra dopada com 2% em mol. Esse aumento na concentração levou a um excesso dos íons  $\text{Ce}^{4+}$  na superfície do ZnO, que levaram a uma redução da quantidade de  $\text{O}_2$  adsorvido e consequentemente, diminui a fotoatividade do catalisador (LIANG *et al.*, 2015). As amostras dopadas com  $\text{Ce}^{4+}$  apresentaram uma menor eficiência fotocatalítica em comparação as demais, mesmo apresentando valores maiores de área superficial (Tabela 18). Estes íons, portanto, não atuaram significativamente como aprisionadores de elétrons na superfície do ZnO, especialmente a amostra com 2% de  $\text{Ce}^{4+}$  que apresentou uma fase secundária (7% de  $\text{CeO}_2$ ) que pode ser interferente na fotodegradação.

A fotodescoloração do azul de metileno sob irradiação UV-vis obedece ao modelo de Langmuir-Hinschelwood bem estabelecido na literatura (CHAKRABARTI e DUTTA, 2004; YANG *et al.*, 2010; OLIVEIRA, D. F. M. *et al.*, 2012), de acordo com a equação (19):

$$\ln(A/A_0) = -kt \quad (19)$$

Em que,  $A$  é a absorbância da solução em um tempo  $t > 0$ , e  $A_0$  é a absorbância inicial da solução e  $k$  é constante aparente de velocidade ( $\text{min}^{-1}$ ). As relações lineares entre  $\ln(A/A_0)$  e o tempo de irradiação são mostrados na Figura 34 e as constantes aparentes  $k$  calculadas são apresentadas na Tabela 21.

**Figura 34.** A descoloração de AM mediada pelos catalisadores ZnO puro, 1% em mol e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 2 minutos, ajustados de acordo com uma cinética de pseudo-primeira ordem.



**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 21.** Constante aparente de velocidade  $k$  calculada para os diferentes catalisadores preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 2 minutos.

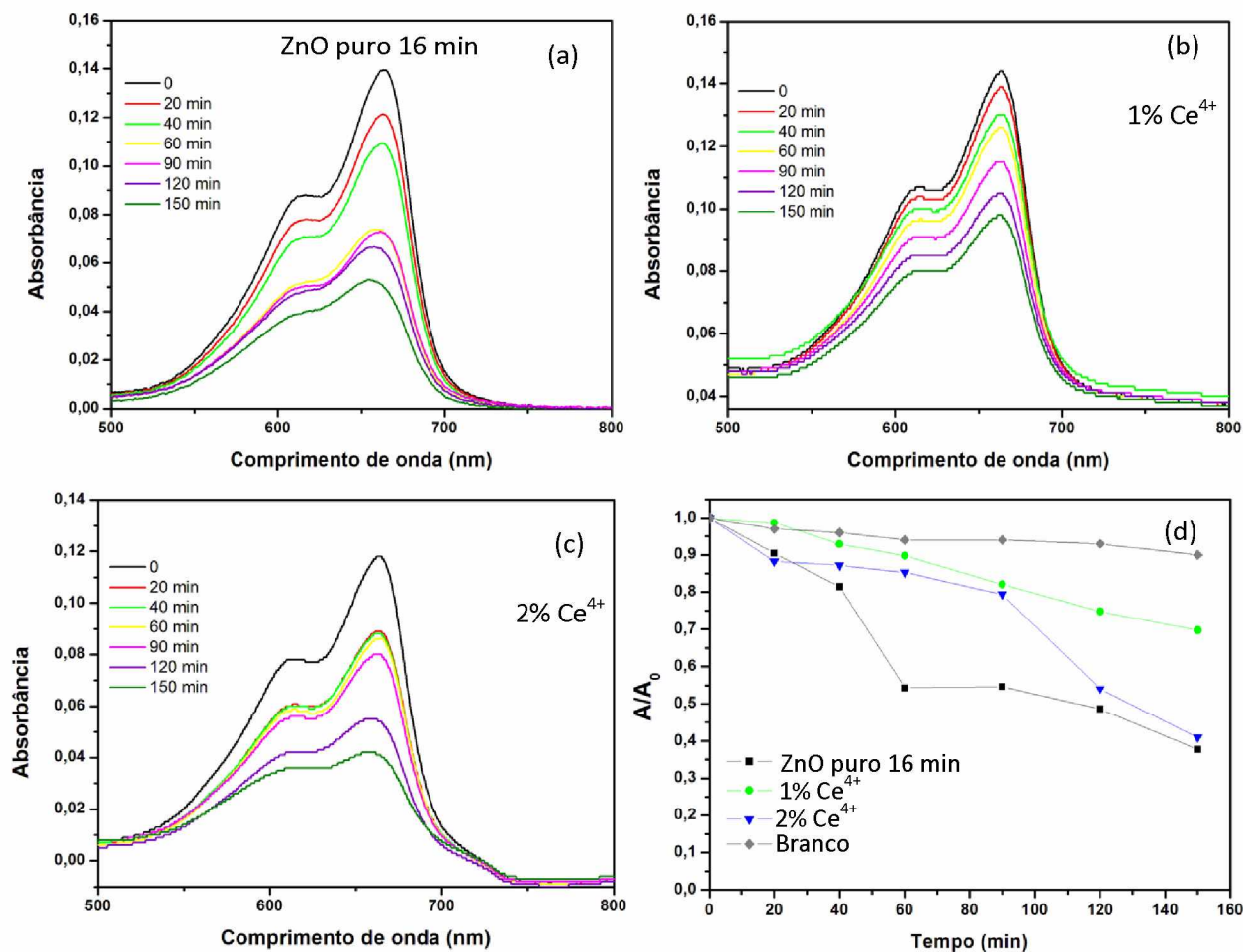
Amostras	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
ZnO Puro	0,0027
1% $\text{Ce}^{4+}$	0,0028
2% $\text{Ce}^{4+}$	0,0016
1% $\text{Sm}^{3+}$	0,0038
2% $\text{Sm}^{3+}$	0,0041
1% $\text{Gd}^{3+}$	0,0025
2% $\text{Gd}^{3+}$	0,0079

**Fonte:** o Autor (2017).

Os resultados confirmam a melhor atividade fotocatalítica da amostra dopada com 2% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  com valor de constante de velocidade de  $0,0079 \text{ min}^{-1}$ , quase três vezes maior quando comparado à amostra pura.

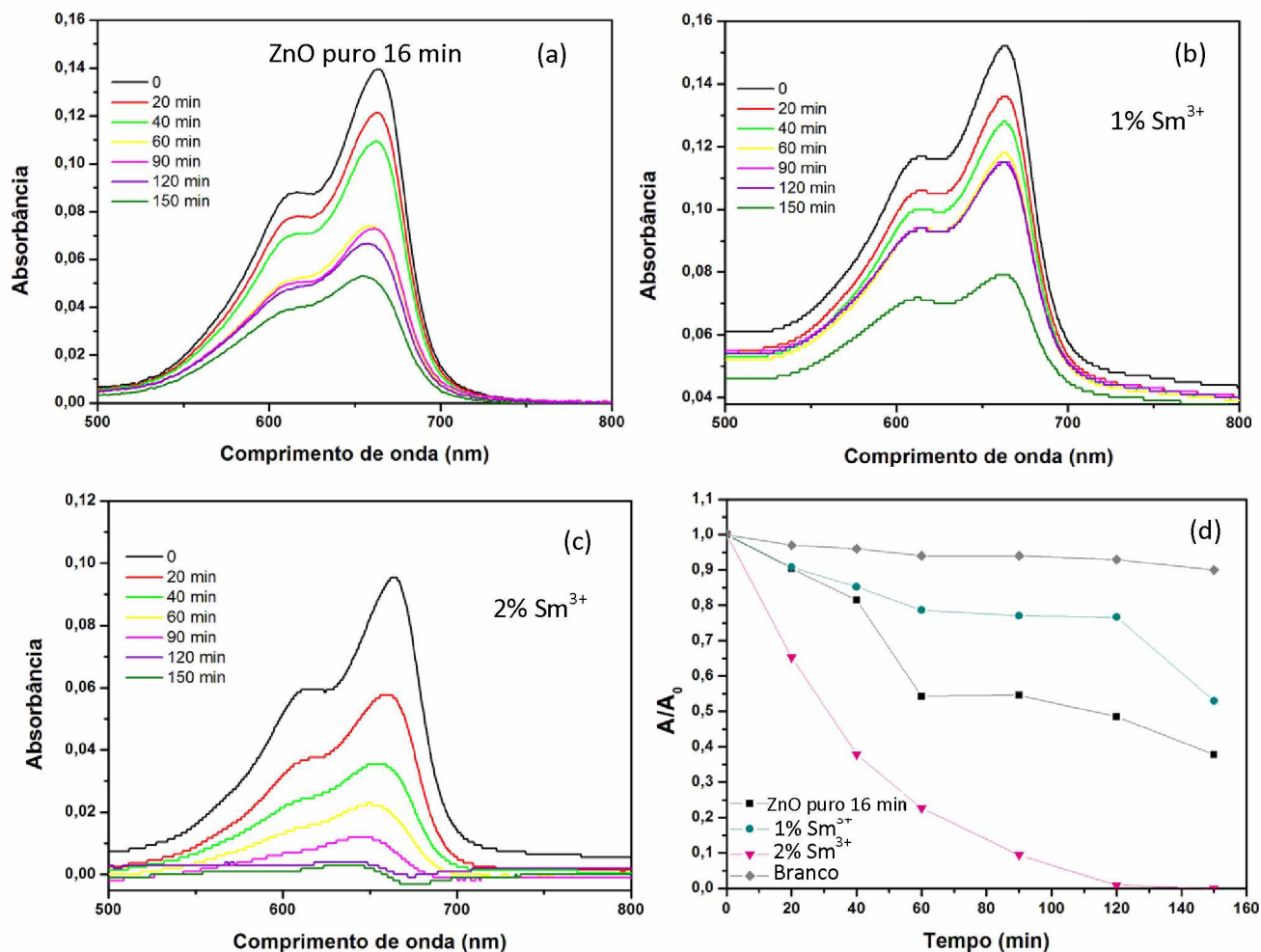
A variação de absorbância na presença das amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  sintetizadas no tempo de síntese hidrotérmica de 16 minutos seguem nas Figuras 35 - 37.

**Figura 35.** Espectro de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  e (c) 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 16 minutos.



**Fonte:** o Autor (2017).

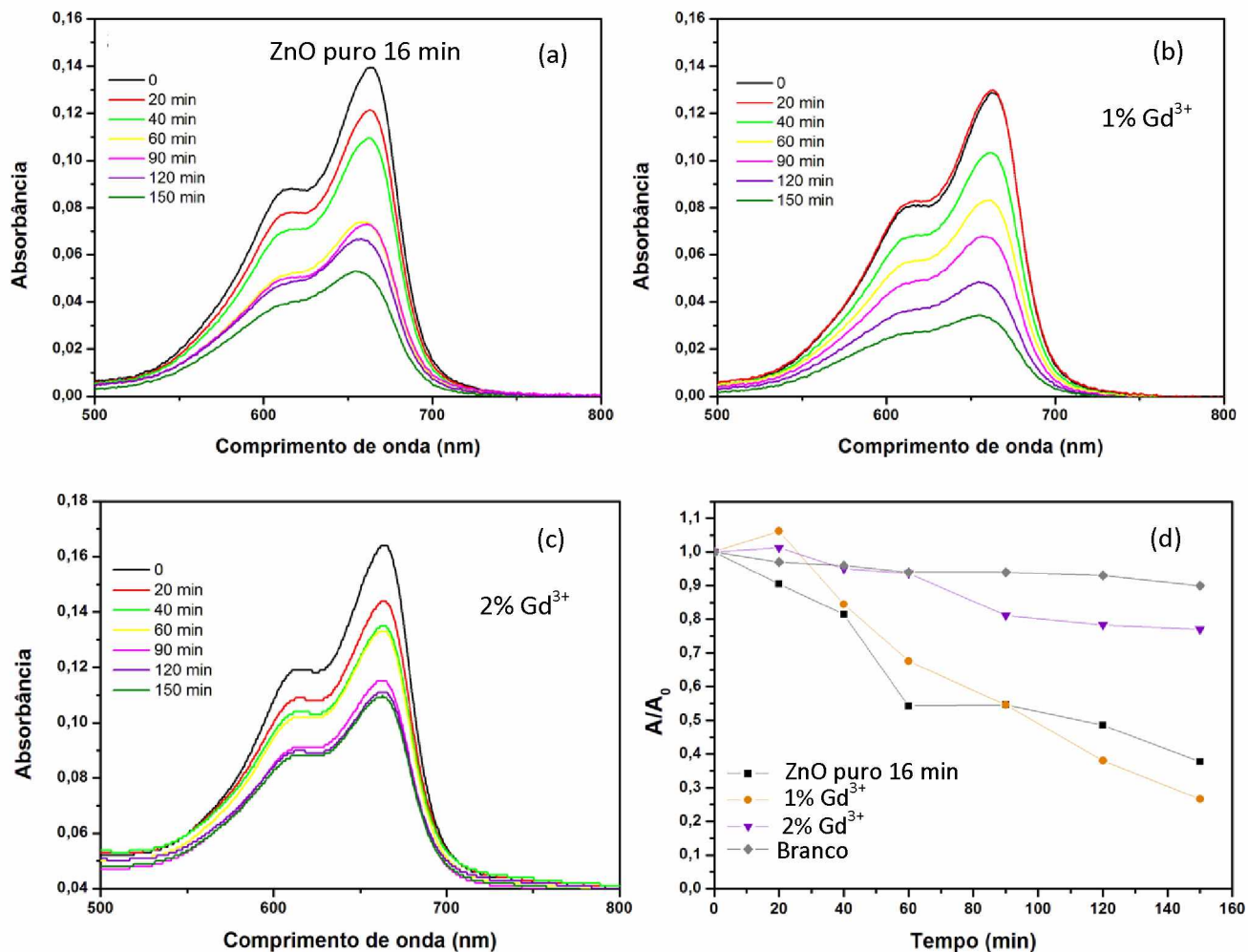
**Figura 36.** Espectro de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  e (c) 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 16 minutos.



Fonte: o Autor (2017).



**Figura 37.** Espectro de absorbância no UV-vis do azul de metileno na presença de ZnO puro (a), (b) 1% em mol de  $Gd^{3+}$  e (c) 2% em mol de  $Gd^{3+}$ . Curso temporal de degradação fotocatalítica de azul de metileno (d). Para as amostras obtidas no tempo de 16 minutos.



Fonte: o Autor (2016).

A eficiência fotocatalítica da descoloração do corante variou com os íons dopantes inseridos na rede cristalina do ZnO e também com a variação do tempo de síntese hidrotérmica de micro-ondas. As eficiências de fotodescoloração são apresentadas na Tabela 22.



**Tabela 22.** Eficiência de fotodescoloração para as diferentes amostras obtidas no tempo de 16 minutos pelo método hidrotérmico de micro-ondas.

Amostras	(%) Fotodescoloração
ZnO Puro	63
1% Ce <sup>4+</sup>	31
2% Ce <sup>4+</sup>	59
1% Sm <sup>3+</sup>	48
2% Sm <sup>3+</sup>	100
1% Gd <sup>3+</sup>	73
2% Gd <sup>3+</sup>	23

**Fonte:** o Autor (2017).

A variação no tempo de síntese hidrotérmica de micro-ondas das nanoestruturas de ZnO puro e dopadas com os íons TR, gerou uma mudança na atividade fotocatalítica. Em geral, as amostras sintetizadas no tempo de 16 minutos apresentaram maior eficiência de descoloração do corante.

As morfologias destas nanoestruturas são do tipo placas com nanopartículas sobre sua superfície (Figuras 24 e 24.1), o que está influenciando também nas propriedades fotocatalíticas das amostras. O melhor desempenho das amostras na forma de placas pode ser explicado conjuntamente a um maior valor de área superficial em relação às amostras obtidas em apenas 2 minutos (Tabelas 18 e 19), já que essas apresentam uma morfologia irregular e aglomerada, com partículas variando de forma triangular e circular (Figuras 23 e 23.1). A relação do aspecto de nanoplacas ou nanofolhas pode aumentar a separação dos portadores de carga fotogerados. Assim, os centros de recombinação tendem a diminuir com um número menor de junções interparticulares, e a alta deslocalização de elétrons em maior proporção nas nanoplacas leva a maior eficiência. Os átomos da superfície são mais reativos que os átomos presentes no volume das nanoestruturas, estes possuem sítios com ligação pendentes fazendo com que as nanopartículas sejam mais ativas e forneçam estados eletrônicos adicionais, tendo, consequentemente, maior reatividade (RÓZ *et al.*, 2015). Com o aumento da área superficial, proporcionalmente tem-se um aumento da reatividade e da

atividade fotocatalítica. A boa atividade fotocatalítica de ZnO com morfologia do tipo placas ou folhas frente a degradação de corantes orgânicos também foi relatado na literatura.

M. Rezaei e A. Habibi-Yangjeh (2013) sintetizaram ZnO na forma de placas aglomeradas dopado com 5 - 10% em mol de  $Ce^{4+}$  e observaram uma melhora na atividade fotocatalítica à medida que as placas tornaram-se mais regulares, obtendo 70% de fotodescoloração do azul de metileno em 100 minutos de experimento para a amostra dopada com 10% em mol de  $Ce^{4+}$ .

A. Khataee *et. al* (2015) descreveram a formação de ZnO na forma de placas dopado com 5% em mol de  $Gd^{3+}$  por irradiação ultrassônica, as amostras apresentaram uma boa atividade fotocatalítica com 90% de fotodescoloração do corante *acid orange 7* em 90 minutos de experimento.

S. Akir *et. al* (2016) sintetizaram ZnO com diferentes morfologias, tais como, nanoesferas, nanobastões e nanofolhas, sendo que, as amostras na forma de folhas apresentaram melhor atividade fotocatalítica frente as demais. As nanofolhas apresentaram 70% de fotodescoloração da rodamin B em 120 minutos de experimento.

Para a amostra de ZnO puro, a melhora na atividade fotocatalítica pode ser explicada pela densidade de defeitos estruturais e eletrônicos presentes na amostra, principalmente os defeitos do tipo vacâncias de oxigênio e oxigênio intersticial. As vacâncias de oxigênio e oxigênio intersticial são capazes de melhorar a eficiência da separação de cargas, diminuindo a taxa de recombinação do par-elétron buraco. Estudos ainda revelam que os sítios de vacância de oxigênios suprimem de forma mais satisfatória a recombinação excitônica (ZHENG *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2012).

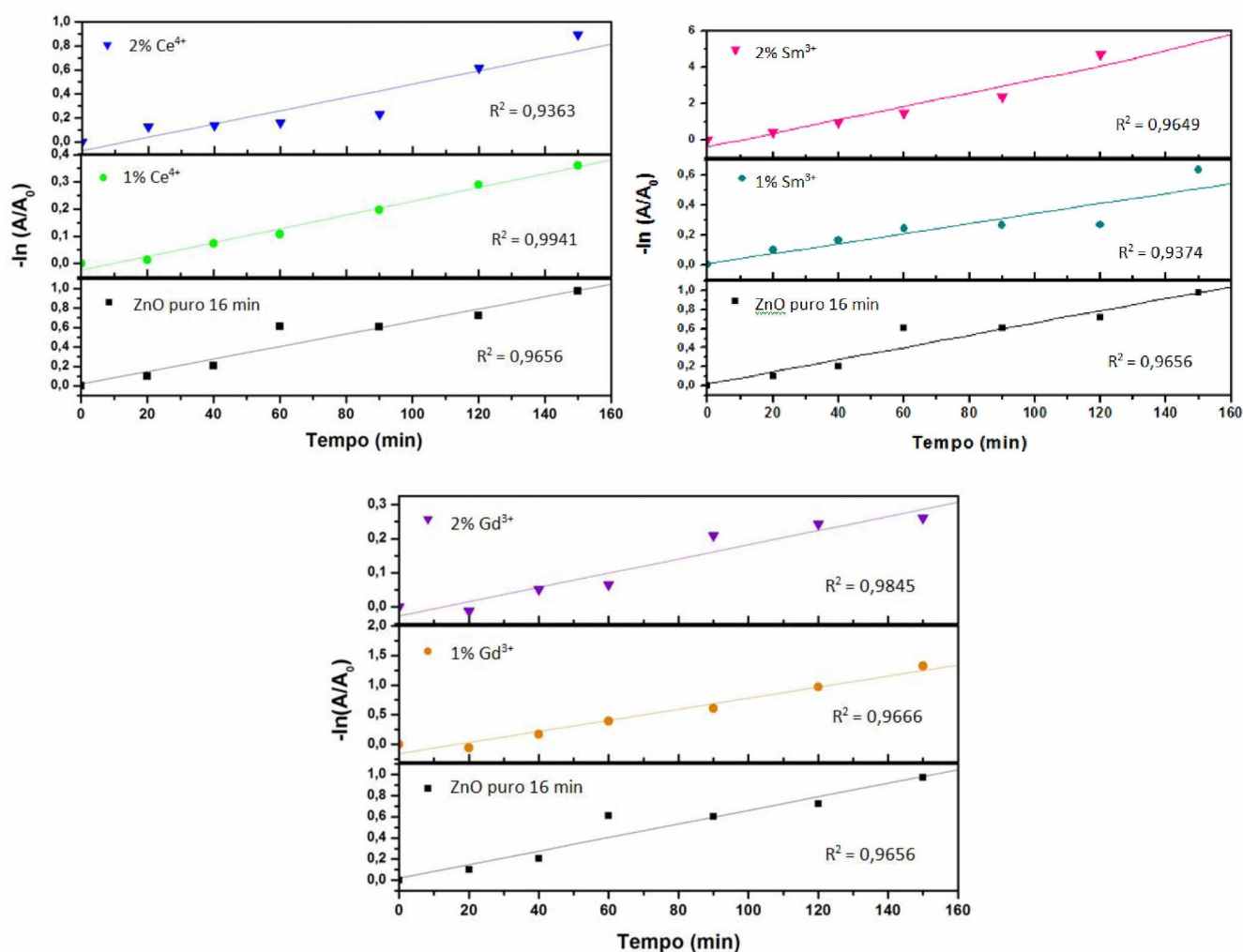
Quando aumenta a concentração de íons  $Sm^{3+}$  de 1% para 2% em mol, há uma quantidade maior de íons  $Sm^{3+}$  disponíveis para capturar os elétrons na superfície da banda de condução do ZnO, evitando assim, a rápida recombinação do par elétron-buraco. A presença da fase secundária  $Sm(OH)_3$  na amostra dopada com 2% em mol de  $Sm^{3+}$  pode ter influenciado a excelente eficiência de fotodescoloração da amostra, como relatado na literatura. Y. Lixiong *et. al* (2015) descreveram a formação de compósitos  $Sm(OH)_3$ -ZnO e em comparação com as amostras de ZnO e  $Sm(OH)_3$  puras e observaram que os compósitos exibiram uma melhor atividade fotocatalítica, devido à formação dessas heterojunções eficientes.

Na dopagem com íons  $Gd^{3+}$ , na concentração de 1% em mol apresentou maior eficiência fotocatalítica quando comparada com a concentração de 2% em mol (73% de

descoloração). Nessa concentração, os íons  $\text{Gd}^{3+}$  capturam melhor os elétrons, suprimindo a recombinação do par elétron-buraco, aumentando a eficiência fotocatalítica. A dopagem com íons  $\text{Ce}^{4+}$  não melhorou significativamente a atividade fotocatalítica das amostras quando comparado ao  $\text{ZnO}$  puro; a separação de cargas não ocorreu de forma muito eficiente.

As relações lineares entre  $\ln(A/A_0)$  e o tempo de irradiação são mostrados na Figura 38 e as constantes aparentes  $k$  calculadas são apresentadas na Tabela 23.

**Figura 38.** A descoloração de AM mediada pelos catalisadores  $\text{ZnO}$  puro, 1% em mol e 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 16 min, ajustados de acordo com uma cinética de pseudo-primeira ordem.



**Fonte:** o Autor (2017).

**Tabela 23.** Constante aparente de velocidade  $k$  calculada para os diferentes catalisadores preparados pelo método hidrotérmico de micro-ondas durante 16 minutos.

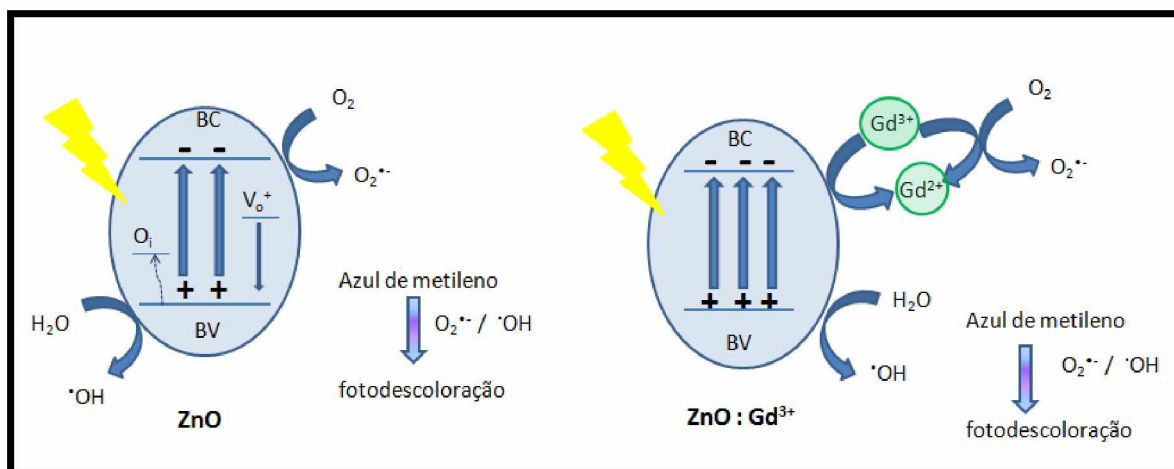
Amostras	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
ZnO Puro	0,0065
1% $\text{Ce}^{4+}$	0,0024
2% $\text{Ce}^{4+}$	0,0059
1% $\text{Sm}^{3+}$	0,0034
2% $\text{Sm}^{3+}$	0,036
1% $\text{Gd}^{3+}$	0,0093
2% $\text{Gd}^{3+}$	0,0021

**Fonte:** o Autor (2017).

Os resultados confirmaram a melhora da atividade fotocatalítica com a dopagem de 1% em mol de  $\text{Gd}^{3+}$  e 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  quando comparados à amostra pura.

O possível mecanismo descritivo da fotodescoloração do azul de metileno na presença do catalisador ZnO puro e dopado com  $\text{Gd}^{3+}$ , por exemplo, é apresentado na Figura 39. Para a amostra pura, as vacâncias de oxigênio irão na atuar captura dos elétrons, retardando a recombinação do par elétron-buraco. Já as amostras dopadas, por exemplo, o íon  $\text{Gd}^{3+}$  é capaz de aprisionar os elétrons de forma mais eficiente, gerando espécies  $\text{Gd}^{2+}$  instáveis que reagem com  $\text{O}_2$  gerando o radical superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ). Por outro lado, os buracos fotoinduzidos reagem com a  $\text{H}_2\text{O}$  adsorvida na superfície do ZnO gerando os radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ). Ambas as espécies radicalares são responsáveis pela degradação dos contaminantes orgânicos (KHATAEE *et al.*, 2015; LIANG *et al.*, 2015; AKIR *et al.*, 2016).

**Figura 39.** Esquema proposto para a fotodegradação de azul de metileno utilizando ZnO puro e dopado com  $Gd^{3+}$  sob irradiação UV-Vis.



**Fonte:** o Autor (2017).

Vale a pena notar a eficácia do método hidrotérmico de micro-ondas utilizado neste trabalho em produzir nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons:  $Ce^{4+}$ ,  $Sm^{3+}$  e  $Gd^{3+}$  em condições mais brandas de temperatura e em tempos de reação mais curtos, quando comparado com outros métodos encontrados na literatura, tais como o hidrotérmico convencional, método de decomposição térmica e sínteses por combustão (OPREA *et al.*, 2012; FAISAL *et al.*, 2013; CHANG, LIN e HSU, 2014; ÖKTE, 2014; AHMAD *et al.*, 2015; LIANG *et al.*, 2015; THANGARAJ *et al.*, 2015). Portanto, acredita-se que a presença de defeitos estruturais de superfície nos produtos finais influencia nas propriedades fotoluminescentes (resulta em emissões visíveis) e nas promissoras propriedades fotocatalíticas na fotodegradação do corante azul de metileno.

## 5. CONCLUSÕES

As nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  foram obtidas com sucesso pelo método hidrotérmico de micro-ondas sob baixa temperatura de síntese e em curto período de reação. O método hidrotérmico de micro-ondas é simples e fácil de ser operado, permite uma nucleação homogênea das partículas, sendo também ambientalmente correto para preparar rapidamente nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons TR com forma e tamanho controláveis.

Os resultados de DRX e refinamento Rietveld indicaram alta cristalinidade e periodicidade a longo alcance das amostras obtidas. Pelo método de refinamento Rietveld foi possível determinar os parâmetros de rede das nanoestruturas e os coeficientes de confiabilidade, exibindo resultados confiáveis e com credibilidade para um bom refinamento. Com a inserção dos íons terras raras na rede cristalina do ZnO foi observado um aumento nos parâmetros de rede e uma expansão da cela unitária.

Por microscopia eletrônica de varredura por emissão de campo MEV-FEG verificou-se o papel fundamental do tempo de síntese na formação das nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons TR. As amostras sintetizadas em 2 minutos apresentaram partículas com formas arredondadas a triangulares e com a mudança no tempo de síntese para 16 minutos, observou uma morfologia na forma de placas ligeiramente aglomeradas com espessura em torno de 35 nm. Os espectros EDX confirmaram a composição das amostras, verificando a presença dos elementos dopantes Ce, Sm e Gd.

As medidas de reflectância difusa possibilitou estimar a energia de *band gap* dos materiais, e não houve diferenças significativas nesses valores com a inserção dos íons dopantes na rede do ZnO.

Pela análise dos espectros Raman, as amostras de ZnO puro e dopados com íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  apresentaram o modo  $\text{E}_2^{\text{high}}$  em  $438 \text{ cm}^{-1}$  característico da estrutura hexagonal do tipo wurtzita do ZnO. As amostras dopadas com 2% em mol de  $\text{Ce}^{4+}$  apresentou a formação da segunda fase  $\text{CeO}_2$ . A formação de fase secundária  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  foi observada para a amostra dopada com 2% em mol de  $\text{Sm}^{3+}$  no tempo de 16 minutos, consistente com os resultados de DRX. Os valores de largura à meia altura mostram que a dopagem origina perturbações na rede cristalina e os maiores valores são apresentados para a dopagem com íons  $\text{Ce}^{4+}$ , o que indica um maior grau de desordem estrutural a curto alcance.

Todas as amostras apresentaram promissoras propriedades fotoluminescentes com banda larga na região visível do espectro e emissão máxima na região verde-laranja do espectro visível. A variação no tempo de síntese (2 e 16 minutos) influenciou as propriedades fotoluminescentes dos materiais. Para as amostras obtidas em 16 minutos, na dopagem com 2% em mol de TR apresentaram uma melhor organização estrutural a curto-médio alcance, o que não foi observado para as amostras sintetizadas a 2 minutos.

A variação no tempo de síntese hidrotérmica de micro-ondas das nanoestruturas de ZnO puro e dopado com os íons TR, gerou mudanças na atividade fotocatalítica. Em geral, as amostras sintetizadas no tempo de 16 minutos apresentaram uma maior eficiência de descoloração do azul de metileno. O melhor desempenho das amostras na forma de placas pôde ser explicado, conjuntamente a um maior valor de área superficial em relação às amostras obtidas em 2 minutos, visto que essas amostras apresentam uma morfologia irregular e aglomerada.

As amostras que apresentaram melhor atividade fotocatalítica frente à degradação do corante azul de metileno foram as seguintes amostras: 1% em mol de  $Gd^{3+}$  16 min, 2% em mol de  $Gd^{3+}$  2 min e 2% em mol de  $Sm^{3+}$  16 min, com 73%, 65% e 100% de fotodescoloração, respectivamente.

Em vista dos argumentos apresentados, constata-se a eficiência do método hidrotérmico de micro-ondas na obtenção dos nanomateriais, com propriedades fotoluminescentes e fotocatalíticas promissoras sob condições mais amenas de temperatura e tempo de reação, quando comparado principalmente com método hidrotérmico convencional.

Portanto, este trabalho mostra que a inserção dos íons cério, samário e gadolínio na estrutura cristalina do óxido de zinco, juntamente com a variação do tempo de síntese hidrotérmica, promovem modificações nas propriedades estruturais, eletrônicas, morfológicas, fotoluminescentes e fotocatalíticas do ZnO.

## 6. PERSPECTIVAS

Para as amostras de ZnO puro e dopado com os íons  $\text{Ce}^{4+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  obtidas pelo método hidrotérmico de micro-ondas, pretende-se:

- Realizar novas sínteses para obtenção das amostras de ZnO co-dopado com  $\text{Sm}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ ;  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$ ;  $\text{Eu}^{3+}$  e  $\text{Gd}^{3+}$  para os estudos das propriedades ópticas e fotocatalíticas.
- Sintetizar ZnO dopado com não-metais, como carbono (C), nitrogênio (N) e enxofre (S), de modo a otimizar a aplicação em fotocatalise solar e UV-vis.
- Simular os materiais dopados com a presença de defeitos estruturais intrínsecos do ZnO e o dopante no interstício para avaliar a influência deles nas propriedades ópticas e magnéticas do óxido.
- Avaliar a atividade fotocatalítica dos materiais frente à degradação de outros corantes orgânicos.



## 7. REFERÊNCIAS

ABI-AAD, E.; BECHARA, R.; GRIMBLOT, J.; ABOUKAIS, A. Preparation and characterization of ceria under an oxidizing atmosphere. Thermal analysis, XPS, and EPR study. **Chemistry of Materials**, v. 5, p. 793-797, 1993.

ABRÃO, A. **Química e tecnologia das terras-raras**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM - Centro de Tecnologia Mineral - CNPq, 1994. 212p.

ACHOURI, F.; CORBEL, S.; BALAN, L.; MOZET, K.; GIROT, E.; MEDJAHDI, G.; BEN SAID, M.; GHRABI, A.; SCHNEIDER, R. Porous Mn-doped ZnO nanoparticles for enhanced solar and visible light photocatalysis. **Materials & Design**, v. 101, p. 309-316, 2016.

AGGARWAL, N.; KAUR, K.; VASISHTH, A.; VERMA, N. K. Structural, optical and magnetic properties of Gadolinium-doped ZnO nanoparticles. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, p. 1-6, 2016.

AHMAD, M.; AHMED, E.; HONG, Z. L.; KHALID, N. R.; AHMED, W.; ELHISSI, A. Graphene-Ag/ZnO nanocomposites as high performance photocatalysts under visible light irradiation. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 577, p. 717-727, 2013.

AHMAD, M.; AHMED, E.; ZAFAR, F.; KHALID, N. R.; NIAZ, N. A.; HAFEEZ, A.; IKRAM, M.; KHAN, M. A.; HONG, Z. L. Enhanced photocatalytic activity of Ce-doped ZnO nanopowders synthesized by combustion method. **Journal of Rare Earths**, v. 33, p. 255-262, 2015.

AHMED, F.; ARSHI, N.; ANWAR, M. S.; DANISH, R.; KOO, B. H. Morphological evolution of ZnO nanostructures and their aspect ratio-induced enhancement in photocatalytic properties. **RSC Advances**, v. 4, p. 29249-29263, 2014.

AKHOON, S. A.; RUBAB, S.; SHAH, M. A. A benign hydrothermal synthesis of nanopencils-like zinc oxide nanoflowers. **International Nano Letters**, v. 5, p. 9-13, 2015.

AKIR, S.; BARRAS, A.; COFFINIER, Y.; BOUOUDINA, M.; BOUKHERROUB, R.; OMRANI, A. D. Eco-friendly synthesis of ZnO nanoparticles with different morphologies and their visible light photocatalytic performance for the degradation of Rhodamine B. **Ceramics International**, v. 42, p. 10259-10265, 2016.

ALVI, N. H.; WILLANDER, M.; NUR, O. The effect of the post-growth annealing on the electroluminescence properties of n-ZnO nanorods/p-GaN light emitting diodes. **Superlattices and Microstructures**, v. 47, p. 754-761, 2010.

AMGARTEN, D. R. **Determinação do volume específico de poros de sílicas cromatográficas por dessorção de líquidos em excesso**. 2006. 80 (Dissertação de mestrado). Instituto de Química, Universidade estadual de campinas - UNICAMP, Campinas, SP.

ANICETE-SANTOS, M.; ORHAN, E.; DE MAURERA, M. A. M. A.; SIMÕES, L. G. P.; SOUZA, A. G.; PIZANI, P. S.; LEITE, E. R.; VARELA, J. A.; ANDRÉS, J.; BELTRÁN, A.; LONGO, E. Contribution of structural order-disorder to the green photoluminescence of PbWO<sub>4</sub>. **Physical Review B**, v. 75, p. 165105, 2007.

ASSADI, M. H. N.; ZHANG, Y.; ZHENG, R.-K.; RINGER, S. P.; LI, S. Structural and electronic properties of Eu- and Pd-doped ZnO. **Nanoscale Research Letters**, v. 6, 2011.

BARBOZA, A. C. R. N.; CRUZ, C. V. M. S.; GRAZIANI, M. B.; LORENZETTI, M. C. F.; SABADINI, E. Aquecimento em forno de microondas / desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Química Nova**, v. 24, p. 901-904, 2001.

BARUAH, S.; DUTTA, J. Hydrothermal growth of ZnO nanostructures. **Science and Technology of Advanced Materials**, v. 10, 2009.

Bases de estruturas cristalinas - Portal Periodicos CAPES.  
<http://bdec.dotlib.com.br/cliente/login> , acessado no período de 2014-2016.

BERGER, D. **Efeito da pressão na obtenção e nas propriedades óticas e sensoras de filmes finos à base de  $\text{SnO}_2$  com a adição de  $\text{ZnO}$** . 2013. 105p (Doutorado em Química). Instituto de Química, Universidade estadual paulista “Julio de Mesquita Filho” - UNESP, Araraquara - SP.

BESSEKHOUAD, Y.; ROBERT, D.; WEBER, J. V. Photocatalytic activity of  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  and  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$  heterojunctions. **Catalysis Today**, v. 101, p. 315-321, 2005.

BISH, D. L.; HOWARD, S. A. Quantitative phase analysis using the Rietveld method. **Journal of Applied Crystallography**, v. 21, p. 86-91, 1988.

BLASSE, G.; GRABMAIER, B. C. **Luminescent materials**. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1994.

BLIN, J.-L.; STÉBÉ, M.-J.; ROQUES-CARMES, T. Use of ordered mesoporous titania with semi-crystalline framework as photocatalyst. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 407, p. 177-185, 2012.

BOUJNAH, M.; BOUMDYAN, M.; NAJI, S.; BENYOUSSEF, A.; EL KENZ, A.; LOULIDI, M. High efficiency of transmittance and electrical conductivity of V doped  $\text{ZnO}$  used in solar cells applications. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 671, p. 560-565, 2016.

BRILLAS, E. A review on the degradation of organic pollutants in waters by UV photoelectro-Fenton and solar photoelectro-Fenton. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, p. 393-417, 2014.

BRITO, H. F.; HÖLSÄ, J.; LAAMANEN, T.; LASTUSAARI, M.; MALKAMÄKI, M.; RODRIGUES, L. C. V. Persistent luminescence mechanisms: human imagination at work. **Optical Materials Express**, v. 2, p. 371-381, 2012.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. **Journal of the American Chemical Society**, v. 60, p. 309-319, 1938.

BURUNGALE, V. V.; SATALE, V. V.; MORE, A. J.; SHARMA, K. K. K.; KAMBLE, A. S.; KIM, J. H.; PATIL, P. S. Studies on effect of temperature on synthesis of hierarchical TiO<sub>2</sub> nanostructures by surfactant free single step hydrothermal route and its photoelectrochemical characterizations. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 470, p. 108-116, 2016.

CANHAM, L. T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers. **Applied Physics Letters**, v. 57, p. 1046-1048, 1990.

CAO, S.; ZENG, W.; LONG, H.; ZHANG, H. Hydrothermal synthesis of novel flower-needle NiO architectures: Structure, growth and gas response. **Materials Letters**, v. 159, p. 385-388, 2015.

CASALI, G. P.; MAZZO, T.; LONGO, E.; MUCCILLO, R. Síntese e propriedades fotoluminescentes do óxido de cério dopado com magnésio. **Cerâmica**, v. 60, p. 371-378, 2014.

CAVALCANTE, L. S.; GURGEL, M. F. C.; SIMÕES, A. Z.; LONGO, E.; VARELA, J. A.; JOYA, M. R.; PIZANI, P. S. Intense visible photoluminescence in Ba(Zr<sub>0.25</sub>Ti<sub>0.75</sub>)O<sub>3</sub> thin films. **Applied Physics Letters**, v. 90, p. 011901, 2007.

CAVALCANTE, L. S.; SCZANCOSKI, J. C.; LI, M. S.; LONGO, E.; VARELA, J. A. beta-ZnMoO<sub>4</sub> microcrystals synthesized by the surfactant-assisted hydrothermal method: Growth process and photoluminescence properties. **Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 396, p. 346-351, 2012.

CAVALCANTE, L. S.; SIMÕES, A. Z.; ESPINOSA, J. W. M.; SANTOS, L. P. S.; LONGO, E.; VARELA, J. A.; PIZANI, P. S. Study of structural evolution and photoluminescent properties at room temperature of Ca(Zr,Ti)O<sub>3</sub> powders. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 464, p. 340-346, 2008.

CHAKRABARTI, S.; DUTTA, B. K. Photocatalytic degradation of model textile dyes in wastewater using ZnO as semiconductor catalyst. **Journal of Hazardous Materials**, v. 112, p. 269-278, 2004.

CHANG, C.-J.; LIN, C.-Y.; CHEN, J.-K.; HSU, M.-H. Ce-doped ZnO nanorods based low operation temperature NO<sub>2</sub> gas sensors. **Ceramics International**, v. 40, p. 10867-10875, 2014.

CHANG, C.-J.; LIN, C.-Y.; HSU, M.-H. Enhanced photocatalytic activity of Ce-doped ZnO nanorods under UV and visible light. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 45, p. 1954-1963, 2014.

CHANG, J.; WACLAWIK, E. R. Facet-controlled self-assembly of ZnO nanocrystals by non-hydrolytic aminolysis and their photodegradation activities. **CrystEngComm**, v. 14, p. 4041-4048, 2012.

CHANG, Y.-C. Temperature-dependence cathodoluminescence of ultra-sharp ZnO nanopagoda arrays. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 617, p. 16-20, 2014.

CHAUHAN, M.; KUMAR, R.; UMAR, A.; CHAUHAN, S.; KUMAR, G.; FAISAL, M.; HWANG, S.; AL-HAJRY, A. Utilization of ZnO nanocones for the photocatalytic degradation of acridine orange. **Journal of nanoscience and nanotechnology**, v. 11, p. 4061-4066, 2011.

CHAWL, S.; SAROHA, M.; KOTNALA, R. K. White light emitting magnetic ZnO:Sm nanoparticles prepared by inclusive Co-precipitation synthesis. **Electronic Materials Letters**, v. 10, p. 73-80, 2014.

CHEN, S.; HAO, X.; LIANG, X.; ZHANG, Q.; ZHANG, C.; ZHOU, G.; SHEN, S.; JIA, G.; ZHANG, J. Inorganic Nanomaterials as Carriers for Drug Delivery. **Journal of Biomedical Nanotechnology**, v. 12, p. 1-27, 2016.

CHEN, Y.-C.; LO, S.-L. Effects of operational conditions of microwave-assisted synthesis on morphology and photocatalytic capability of zinc oxide. **Chemical Engineering Journal**, v. 170, p. 411-418, 2011.

CHENG, H. M.; CHIU, W. H.; LEE, C. H.; TSAI, S. Y.; HSIEH, W. F. Formation of Branched ZnO Nanowires from Solvothermal Method and Dye-Sensitized Solar Cells Applications. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 112, p. 16359-16364, 2008.

CULLITY, B. D.; WEYMOUTH, J. W. Elements of X-ray Diffraction. **American Journal of Physics**, v. 25, p. 394-395, 1957.

DA SILVA, L. F.; AVANSI, W.; MOREIRA, M. L.; MESQUITA, A.; MAIA, L. J. Q.; ANDRES, J.; LONGO, E.; MASTELARO, V. R. Relationship between Crystal Shape, Photoluminescence, and Local Structure in SrTiO<sub>3</sub> Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Method. **Journal of Nanomaterials**, v. 2012, p. 1-6, 2012.

DA SILVA, L. F.; CATTO, A. C.; AVANSI JR, W.; CAVALCANTE, L. S.; MASTELARO, V. R.; ANDRÉS, J.; AGUIR, K.; LONGO, E. Acetone gas sensor based on  $\alpha$ -Ag<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> nanorods obtained via a microwave-assisted hydrothermal route. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 683, p. 186-190, 2016.

DAKHLAOUI, A.; JENDOUBI, M.; SMIRI, L. S.; KANAIEV, A.; JOUINI, N. Synthesis, characterization and optical properties of ZnO nanoparticles with controlled size and morphology. **Journal of Crystal Growth**, v. 311, p. 3989-3996, 2009.

DAMEN, T. C.; PORTO, S. P. S.; TELL, B. Raman Effect in Zinc Oxide. **Physical Review**, v. 142, p. 570-574, 1966.

DAN, W.; JIANFENG, H.; LIXIONG, Y.; HAIBO, O.; JIAYIN, L.; JIANPENG, W. Facile synthesis and enhanced photocatalytic activity of Sm(OH)<sub>3</sub> nanorods. **RSC Advances**, v. 4, p. 44491-44494, 2014.

DE MOURA, A. P.; LIMA, R. C.; MOREIRA, M. L.; VOLANTI, D. P.; ESPINOSA, J. W. M.; ORLANDI, M. O.; PIZANI, P. S.; VARELA, J. A.; LONGO, E. ZnO architectures synthesized by a microwave-assisted hydrothermal method and their photoluminescence properties. **Solid State Ionics**, v. 181, p. 775-780, 2010.

DE MOURA, A. P.; LIMA, R. C.; PARIS, E. C.; LI, M. S.; VARELA, J. A.; LONGO, E. Formation of beta-nickel hydroxide plate-like structures under mild conditions and their optical properties. **Journal of Solid State Chemistry**, v. 184, p. 2818-2823, 2011.

DING, K.; WANG, D.; YANG, P.; CHENG, X. Synthesis of anatase titanium dioxide nanocaps via hydrofluoric acid etching towards enhanced photocatalysis. **Materials Research Bulletin**, v. 74, p. 311-318, 2016.

DOS REIS, P. M.; DE OLIVEIRA, A. S.; PECORARO, E.; RIBEIRO, S. J. L.; GOES, M. S.; NASCIMENTO, C. S.; GONCALVES, R. R.; DOS SANTOS, D. P.; SCHIAVON, M. A.; FERRARI, J. L. Photoluminescent and structural properties of ZnO containing  $\text{Eu}^{3+}$  using PEG as precursor. **Journal of Luminescence**, v. 167, p. 197-203, 2015.

DOS SANTOS, M. L.; LIMA, R. C.; RICCARDI, C. S.; TRANQUILIN, R. L.; BUENO, P. R.; VARELA, J. A.; LONGO, E. Preparation and characterization of ceria nanospheres by microwave-hydrothermal method. **Materials Letters**, v. 62, p. 4509-4511, 2008.

DREXLER, K. E. **Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation**. California, USA: Jhon Wiley & Sons, Inc, 1992. 547.

DROUILLY, C.; KRAFFT, J. M.; AVERSENG, F.; CASALE, S.; BAZER-BACHI, D.; CHIZALLET, C.; LECOCQ, V.; VEZIN, H.; LAURON-PERNOT, H.; COSTENTIN, G. ZnO Oxygen Vacancies Formation and Filling Followed by in Situ Photoluminescence and in Situ EPR. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 116, p. 21297-21307, 2012.

ELISEEVA, S. V.; BUENZLI, J.-C. G. Rare earths: jewels for functional materials of the future. **New Journal of Chemistry**, v. 35, p. 1165-1176, 2011.

FAISAL, M.; ISMAIL, A. A.; IBRAHIM, A. A.; BOUZID, H.; AL-SAYARI, S. A. Highly efficient photocatalyst based on Ce doped ZnO nanorods: Controllable synthesis and enhanced photocatalytic activity. **Chemical Engineering Journal**, v. 229, p. 225-233, 2013.

FANG, D.; LI, C.; WANG, N.; LI, P.; YAO, P. Structural and optical properties of Mg-doped ZnO thin films prepared by a modified Pechini method. **Crystal Research and Technology**, v. 48, p. 265-272, 2013.

FARBOD, M.; JAFARPOOR, E. Hydrothermal synthesis of different colors and morphologies of ZnO nanostructures and comparison of their photocatalytic properties. **Ceramics International**, v. 40, p. 6605-6610, 2014.

FAROOQI, M. M. H.; SRIVASTAVA, R. K. Enhanced UV-vis photoconductivity and photoluminescence by doping of samarium in ZnO nanostructures synthesized by solid state reaction method. **Optik**, v. 127, p. 3991-3998, 2016.

FLEMBAN, T. H.; SEQUEIRA, M. C.; ZHANG, Z.; VENKATESH, S.; ALVES, E.; LORENZ, K.; ROQAN, I. S. Identifying the influence of the intrinsic defects in Gd-doped ZnO thin-films. **Journal of Applied Physics**, v. 119, 2016.

FTERICH, M.; BEN NASR, F.; LEFI, R.; TOUMI, M.; GUERMAZI, S. Effect of concentration of hexamethylenetetramine in structure, microstructure and optical properties of CuO nanoparticles synthesized by hydrothermal route. **Materials Science in Semiconductor Processing**, v. 43, p. 114-122, 2016.

FUJISHIMA, A.; HONDA, K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. **Nature**, v. 238, p. 37-38, 1972.



GÁLICO, D. A. **Síntese e caracterização de complexos de naproxeno com lantanídeos (III) e ítrio (III) no estado sólido com exceção do promécio**. 2014. 94p (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais). Faculdade de Ciências - Campus Bauru, Universidade estadual paulista “Julio de Mesquita Filho” - UNESP, Bauru - SP.

GARCIA, N. Theory of scanning tunneling microscopy and spectroscopy - resolution, image and field states, and thin oxide layers. **Ibm Journal of Research and Development**, v. 30, p. 533-542, 1986.

GIRALDI, T. R.; SANTOS, G. V. F.; DE MENDONCA, V. R.; RIBEIRO, C.; WEBER, I. T. Effect of synthesis parameters on the structural characteristics and photocatalytic activity of ZnO. **Materials Chemistry and Physics**, v. 136, p. 505-511, 2012.

HAFFAD, S.; CICERO, G.; SAMAH, M. Structural and electronic properties of ZnO nanowires: a theoretical study. **Energy Procedia**, v. 10, p. 128-137, 2011.

HEMALATHA, P.; KARTHICK, S. N.; HEMALATHA, K. V.; YI, M.; KIM, H. J.; ALAGAR, M. La-doped ZnO nanoflower as photocatalyst for methylene blue dye degradation under UV irradiation. **Journal of Materials Science-Materials in Electronics**, v. 27, p. 2367-2378, 2016.

HERRMANN, J. M. Heterogeneous photocatalysis: fundamentals and applications to the removal of various types of aqueous pollutants. **Catalysis Today**, v. 53, p. 115-129, 1999.

HERRMANN, J. M. Heterogeneous photocatalysis: State of the art and present applications. **Topics in Catalysis**, v. 34, p. 49-65, 2005a.

HERRMANN, J. M. Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications In honor of Pr. R.L. Burwell Jr. (1912–2003), Former Head of Ipatieff Laboratories, Northwestern University, Evanston (Ill). **Topics in Catalysis**, v. 34, p. 49-65, 2005b.

HERRMANN, J. M.; DUCHAMP, C.; KARKMAZ, M.; HOAI, B. T.; LACHHEB, H.; PUZENAT, E.; GUILLARD, C. Environmental green chemistry as defined by photocatalysis. **Journal of Hazardous Materials**, v. 146, p. 624-629, 2007.

HOFFMANN, M. R.; MARTIN, S. T.; CHOI, W. Y.; BAHNEMANN, D. W. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. **Chemical Reviews**, v. 95, p. 69-96, 1995.

HONORATO, A. C.; MACHADO, J. M.; CELANTE, G.; BORGES, W. G. P.; DRAGUNSKI, D. C.; CAETANO, J. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 705-710, 2015.

HOUAS, A.; LACHHEB, H.; KSIBI, M.; ELALOUI, E.; GUILLARD, C.; HERRMANN, J. M. Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 31, p. 145-157, 2001.

HU, D.; LIU, X.; DENG, S.; LIU, Y.; FENG, Z.; HAN, B.; WANG, Y.; WANG, Y. Structural and optical properties of Mn-doped ZnO nanocrystalline thin films with the different dopant concentrations. **Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures**, v. 61, p. 14-22, 2014.

HUANG, J. F.; XIA, C. K.; CAO, L. Y.; ZENG, X. R. Facile microwave hydrothermal synthesis of zinc oxide one-dimensional nanostructure with three-dimensional morphology. **Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-State Materials**, v. 150, p. 187-193, 2008.

IJIMA, S. Helical microtubules of graphitic carbon. **Nature**, v. 354, p. 56-58, 1991.

ISHIZUMI, A.; FUJITA, S.; YANAGI, H. Influence of atmosphere on photoluminescence properties of Eu-doped ZnO nanocrystals. **Optical Materials**, v. 33, p. 1116-1119, 2011.

JANITABAR-DARZI, S. Structural and Photocatalytic Activity of Mesoporous N-Doped TiO<sub>2</sub> with Band-to-Band Visible Light Absorption Ability. **Particulate Science and Technology**, v. 32, p. 506-511, 2014.

JANOTTI, A.; VAN DE WALLE, C. G. Native point defects in ZnO. **Physical Review B**, v. 76, p. 165202, 2007.

JANOTTI, A.; VAN DE WALLE, C. G. Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor. **Reports on Progress in Physics**, v. 72, p. 1-29, 2009.

JANSEN, E.; SCHAFER, W.; WILL, G. R values in analysis of powder diffraction data using Rietveld refinement. **Journal of Applied Crystallography**, v. 27, p. 492-496, 1994.

JIANG, J. Y.; LI, Y. F.; TAN, S. W.; HUANG, Z. Y. Synthesis of zinc oxide nanotetrapods by a novel fast microemulsion-based hydrothermal method. **Materials Letters**, v. 64, p. 2191-2193, 2010.

JIAO, M.; NGUYEN VIET, C.; NGUYEN VAN, D.; NGUYEN DUC, H.; NGUYEN VAN, H.; HJORT, K.; HUGO, N. On-chip hydrothermal growth of ZnO nanorods at low temperature for highly selective NO<sub>2</sub> gas sensor. **Materials Letters**, v. 169, p. 231-235, 2016.

JOHNSON, K.; SANDOE, J. Solvent LiCl-KCl in the nephelauxetic series for trivalent rare earths. **Canadian Journal of Chemistry**, v. 46, p. 3457-3462, 1968.

JUNG, Y.-I.; NOH, B.-Y.; LEE, Y.-S.; BAEK, S.-H.; KIM, J. H.; PARK, I.-K. Visible emission from Ce-doped ZnO nanorods grown by hydrothermal method without a post thermal annealing process. **Nanoscale Research Letters**, v. 7, p. 43-43, 2012.

KAJBAFVALA, A.; GHORBANI, H.; PARAVAR, A.; SAMBERG, J. P.; KAJBAFVALA, E.; SADRNEZHAAD, S. K. Effects of morphology on photocatalytic performance of Zinc oxide nanostructures synthesized by rapid microwave irradiation methods. **Superlattices and Microstructures**, v. 51, p. 512-522, 2012.

KANG, J.-G.; MIN, B.-K.; SOHN, Y. Synthesis and characterization of  $\text{Sm}(\text{OH})_3$  and  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  nanoroll sticks. **Journal of Materials Science**, v. 50, p. 1958-1964, 2015.

KANNADASAN, N.; SHANMUGAM, N.; CHOLAN, S.; SATHISHKUMAR, K.; POONGUZHALI, R.; VIRUTHAGIRI, G. Synergistic effect of bimetal ions (Ce, Pb) incorporation on optical, structural, and sensory activity of ZnO nanocrystals. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 19, p. 757-768, 2015.

KAUR, P.; KUMAR, S.; CHEN, C. L.; HSU, Y.-Y.; CHAN, T.-S.; DONG, C.-L.; SRIVASTAVA, C.; SINGH, A.; RAO, S. M. Investigations on structural, magnetic and electronic structure of Gd-doped ZnO nanostructures synthesized using sol-gel technique. **Applied Physics A**, v. 122, p. 1-8, 2016.

KHATAEE, A.; SOLTANI, R. D. C.; KARIMI, A.; JOO, S. W. Sonocatalytic degradation of a textile dye over Gd-doped ZnO nanoparticles synthesized through sonochemical process. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 23, p. 219-230, 2015.

KIM, B. Y.; YUN, J.-I. Optical absorption and fluorescence properties of trivalent lanthanide chlorides in high temperature molten  $\text{LiCl-KCl}$  eutectic. **Journal of Luminescence**, v. 178, p. 331-339, 2016.

KIOMARSIPOUR, N.; RAZAVI, R. S. Characterization and optical property of ZnO nano-, submicro- and microrods synthesized by hydrothermal method on a large-scale. **Superlattices and Microstructures**, v. 52, p. 704-710, 2012.

KODAIRA, C. A. **Síntese e Espectroscopia de Sistema envolvendo Tungstato e íons Terras Raras**. 2003. 177p (Tese de Doutorado). Instituto de Química, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP.

KOMARNENI, S.; KATSUKI, H. Nanophase materials by a novel microwave-hydrothermal process. **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, p. 1537-1543, 2002.

KOMARNENI, S.; KATSUKI, H. Microwave-hydrothermal synthesis of barium titanate under stirring condition. **Ceramics International**, v. 36, p. 1165-1169, 2010.

KOMARNENI, S.; ROY, R.; LI, Q. H. Microwave-hydrothermal synthesis of ceramic powders. **Materials Research Bulletin**, v. 27, p. 1393-1405, 1992.

KORZHIK, M. V.; PAVLENKO, V. B.; TIMOSCHENKO, T. N.; KATCHANOV, V. A.; SINGOVSKII, A. V.; ANNENKOV, A. N.; LIGUN, V. A.; SOLSKII, I. M.; PEIGNEUX, J. P. Spectroscopy and Origin of Radiation Centers and Scintillation in  $\text{PbWO}_4$  Single Crystals. **physica status solidi (a)**, v. 154, p. 779-788, 1996.

KRUK, M.; JARONIEC, M. Gas Adsorption Characterization of Ordered Organic-Inorganic Nanocomposite Materials. **Chemistry of Materials**, v. 13, p. 3169-3183, 2001.

KUBELKA, P.; MUNK, F. Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. **Zeitschrift fuer technische Physik**, v. 12, p. 8, 1931.

KUMAR, R.; KUMAR, G.; AKHTAR, M. S.; UMAR, A. Sonophotocatalytic degradation of methyl orange using ZnO nano-aggregates. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 629, p. 167-172, 2015.

KUMAR, R.; UMAR, A.; KUMAR, G.; AKHTAR, M. S.; WANG, Y.; KIM, S. H. Ce-doped ZnO nanoparticles for efficient photocatalytic degradation of direct red-23 dye. **Ceramics International**, v. 41, p. 7773-7782, 2015.

KUMAR, R. D.; KARUPPUCHAMY, S. Microwave mediated synthesis of nanostructured  $\text{Co-WO}_3$  and  $\text{CoWO}_4$  for supercapacitor applications. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 674, p. 384-391, 2016.

KUMAR, S.; SINGH, V.; TANWAR, A. Structural, morphological, optical and photocatalytic properties of Ag-doped ZnO nanoparticles. **Journal of Materials Science-Materials in Electronics**, v. 27, p. 2166-2173, 2016.

KUMAR, S. G.; DEVI, L. G. Review on Modified  $\text{TiO}_2$  Photocatalysis under UV/Visible Light: Selected Results and Related Mechanisms on Interfacial Charge Carrier Transfer Dynamics. **Journal of Physical Chemistry A**, v. 115, p. 13211-13241, 2011.

KUMAR, S. G.; RAO, K. S. R. K. Tungsten-based nanomaterials ( $\text{WO}_3$  &  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$ ): Modifications related to charge carrier transfer mechanisms and photocatalytic applications. **Applied Surface Science**, v. 355, p. 939-958, 2015.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. D.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, p. 78-82, 2002.

LACHHEB, H.; PUZENAT, E.; HOUAS, A.; KSIBI, M.; ELALOUI, E.; GUILLARD, C.; HERRMANN, J. M. Photocatalytic degradation of various types of dyes (Alizarin S, Crocein Orange G, Methyl Red, Congo Red, Methylene Blue) in water by UV-irradiated titania. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 39, p. 75-90, 2002.

LANG, J. H.; WANG, J. Y.; ZHANG, Q.; LI, X. Y.; HAN, Q.; WEI, M. B.; SUI, Y. R.; WANG, D. D.; YANG, J. H. Chemical precipitation synthesis and significant enhancement in photocatalytic activity of Ce-doped  $\text{ZnO}$  nanoparticles. **Ceramics International**, v. 42, p. 14175-14181, 2016.

LARSON, A. C.; DREELE, R. B. V. **General Structure Analysis System (GSAS)**. p.86-748. 2000

LASTUSAARI, M.; LAAMANEN, T.; MALKAMÄKI, M.; ESKOLA, K. O.; KOTLOV, A.; CARLSON, S.; WELTER, E.; BRITO, H. F.; BETTINELLI, M.; JUNGNER, H.; HÖLSÄ, J. The Bologna Stone: history's first persistent luminescent material. **European Journal of Mineralogy**, v. 24, p. 885-890, 2012.

LEBEDEV, V. A.; GAVRILOV, A. I.; SHAPOREV, A. S.; IVANOV, V. K.; CHURAGULOV, B. R.; TRET'YAKOV, Y. D. Hydrothermal and hydrothermal-microwave syntheses of oriented nanorods of zinc oxide on an ITO substrate. **Doklady Chemistry**, v. 444, p. 117-119, 2012.

LEE, J. H.; YANG, Y. S. Effect of hydrolysis conditions on morphology and phase content in the crystalline TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized from aqueous TiCl<sub>4</sub> solution by precipitation. **Materials Chemistry and Physics**, v. 93, p. 237-242, 2005.

LEE, K. M.; LAI, C. W.; NGAI, K. S.; JUAN, J. C. Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: A review. **Water Research**, v. 88, p. 428-448, 2016.

LEI, W.; ZHANG, T.; GU, L.; LIU, P.; RODRIGUEZ, J. A.; LIU, G.; LIU, M. Surface-Structure Sensitivity of CeO<sub>2</sub> Nanocrystals in Photocatalysis and Enhancing the Reactivity with Nanogold. **Acs Catalysis**, v. 5, p. 4385-4393, 2015.

LEITNER, J.; KAMRADEK, M.; SEDMIDUBSKY, D. Thermodynamic properties of rock-salt ZnO. **Thermochimica Acta**, v. 572, p. 1-5, 2013.

LEONELLI, R.; BREBNER, J. L. Time-resolved spectroscopy of the visible emission band in strontium titanate. **Physical Review B**, v. 33, p. 8649-8656, 1986.

LI, D.; HUANG, J.-F.; CAO, L.-Y.; LI, J.-Y.; OUYANG, H.-B.; YAO, C.-Y. Microwave hydrothermal synthesis of Sr<sup>2+</sup> doped ZnO crystallites with enhanced photocatalytic properties. **Ceramics International**, v. 40, p. 2647-2653, 2014.

LI, X.; LIU, P.; MAO, Y.; XING, M.; ZHANG, J. Preparation of homogeneous nitrogen-doped mesoporous TiO<sub>2</sub> spheres with enhanced visible-light photocatalysis. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 164, p. 352-359, 2015.

LI, X.; ZHOU, X.; LIU, Y.; SUN, P.; SHIMANOE, K.; YAMAZOE, N.; LU, G. Microwave hydrothermal synthesis and gas sensing application of porous ZnO core-shell microstructures. **RSC Advances**, v. 4, p. 32538-32543, 2014.

LIANG, Y.; GUO, N.; LI, L.; LI, R.; JI, G.; GAN, S. Preparation of porous 3D Ce-doped ZnO microflowers with enhanced photocatalytic performance. **Rsc Advances**, v. 5, p. 59887-59894, 2015.

LIBERATTI, V. R.; AFONSO, R.; LUCILHA, A. C.; DA SILVA, P. R. C.; DALL, L. H. Fotocatálise do azul de metileno na presença de óxido de bismuto sob irradiação de luz UV e solar. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 35, p. 55-62, 2014.

LIENHARD, J. H. **A Heat Transfer Textbook**. 4<sup>a</sup> Ed. Dover Publications, 2013. 768p.

LIM, K.; HAMID, M. A. A.; SHAMSUDIN, R.; AL-HARDAN, N. H.; MANSOR, I.; CHIU, W. Temperature-Driven Structural and Morphological Evolution of Zinc Oxide Nano-Coalesced Microstructures and Its Defect-Related Photoluminescence Properties. **Materials**, v. 9, 2016.

LIMA, R. C.; MACARIO, L. R.; ESPINOSA, J. W. M.; LONGO, V. M.; ERLO, R.; MARANA, N. L.; SAMBRANO, J. R.; DOS SANTOS, M. L.; MOURA, A. P.; PIZANI, P. S.; ANDRES, J.; LONGO, E.; VARELA, J. A. Toward an understanding of intermediate- and short-range defects in ZnO single crystals. A combined experimental and theoretical study. **Journal of Physical Chemistry A**, v. 112, p. 8970-8978, 2008.

LIMA, R. C.; PARIS, E. C.; LEITE, E. R.; ESPINOSA, J. W. M.; SOUZA, A. G.; LONGO, E. Structural order-disorder transformations monitored by X-ray diffraction and photoluminescence. **Journal of Chemical Education**, v. 84, p. 814-817, 2007.

LIMA, S. A. M.; CREMONA, M.; DAVOLOS, M. R.; LEGNANI, C.; QUIRINO, W. G. Electroluminescence of zinc oxide thin-films prepared via polymeric precursor and via sol-gel methods. **Thin Solid Films**, v. 516, p. 165-169, 2007.

LIU, J.; HOSSEINPOUR, P. M.; LUO, S.; HEIMAN, D.; MENON, L.; ARENA, D. A.; LEWIS, L. H. TiO<sub>2</sub> nanotube arrays for photocatalysis: Effects of crystallinity, local order, and electronic structure. **Journal of Vacuum Science & Technology A**, v. 33, 2015.

LIU, M.; PIAO, L.; ZHAO, L.; JU, S.; YAN, Z.; HE, T.; ZHOU, C.; WANG, W. Anatase TiO<sub>2</sub> single crystals with exposed {001} and {110} facets: facile synthesis and enhanced photocatalysis. **Chemical Communications**, v. 46, p. 1664-1666, 2010.



LIU, Z. F.; SHAN, F. K.; SOHN, J. Y.; KIM, S. C.; KIM, G. Y.; LI, Y. X. Photoluminescence of ZnO:Ga Thin Films Fabricated by Pulsed Laser Deposition Technique. **Journal of Electroceramics**, v. 13, p. 183-187, 2004.

LIXIONG, Y.; FEIFEI, W.; JIANZHONG, M.; JIANFENG, H.; XINGANG, K.; DAN, W.; WEI, H. High photocatalytic activity of Sm(OH)<sub>3</sub>-ZnO composites synthesized by a facile hydrothermal method. **Materials Letters**, v. 152, p. 109-112, 2015.

LOPES, J. E. M.; OLIVEIRA, M. M.; COSTA, M. D. G. S.; DE FIGUEREDO, G. P.; VASCONCELOS, J. S.; RANGEL, J. H. G. Chemical synthesis and characterization of Nb-ZrO<sub>2</sub>. **Ceramics International**, v. 42, p. 861-873, 2016.

LOPES, W. S.; AZEVEDO, M. G. C. D. O.; LEITE, V. D.; SOUSA, J. T.; BURITI, J. S. Degradation of 17  $\alpha$ -ethinylestradiol in water by heterogeneous photocatalysis. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 728-736, 2015.

LUCENA, P. R. D.; PONTES, F. M.; PINHEIRO, C. D.; LONGO, E.; PIZANI, P. S.; LÁZARO, S.; SOUZA, A. G.; SANTOS, I. M. G. D. Fotoluminescência em materiais com desordem estrutural. **Cerâmica**, v. 50, p. 138-144, 2004.

LUCILHA, A. C.; TAKASHIMA, K. Efeitos de agentes oxidantes e oxigênio dissolvido na descoloração do azo corante acid orange 7 por fotólise e fotocatalise. **Química Nova**, v. 32, p. 1399-1404, 2009.

LUO, Y.; WANG, K.; QIAN, Q.; ZHENG, W.; XUE, H.; HUANG, B.; XIAO, L.; CHEN, Q. Fabrication and photocatalytic properties of Gd-doped ZnO nanoparticle-assembled nanorods. **Materials Letters**, v. 149, p. 70-73, 2015.

MACHADO, A. E. H.; FRANCA, M. D.; VELANI, V.; MAGNINO, G. A.; VELANI, H. M. M.; FREITAS, F. S.; MULLER, P. S.; SATTLER, C.; SCHMUCKER, A. Characterization and evaluation of the efficiency of TiO<sub>2</sub>/zinc phthalocyanine nanocomposites as photocatalysts for wastewater treatment using solar irradiation. **International Journal of Photoenergy**, v. 2008, p. 1-12, 2008.

MACHADO, T. C. **Degradação fotocatalítica de rosuvastatina em solução aquosa empregando ZnO em suspensão. Cinética, subprodutos e toxicidade.** 2011. 96p (Mestrado em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

MAHMOUD, W. E. Synthesis and optical properties of Ce-doped ZnO hexagonal nanoplatelets. **Journal of Crystal Growth**, v. 312, p. 3075-3079, 2010.

MARINHO, J. Z.; MONTES, R. H. O.; DE MOURA, A. P.; LONGO, E.; VARELA, J. A.; MUNOZ, R. A. A.; LIMA, R. C. Rapid preparation of  $\alpha$ -FeOOH and  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures by microwave heating and their application in electrochemical sensors. **Materials Research Bulletin**, v. 49, p. 572-576, 2014.

MARINHO, J. Z.; ROMEIRO, F. C.; LEMOS, S. C. S.; MOTTA, F. V.; RICCARDI, C. S.; LI, M. S.; LONGO, E.; LIMA, R. C. Urea-Based Synthesis of Zinc Oxide Nanostructures at Low Temperature. **Journal of Nanomaterials**, v. 2012, p. 1-7, 2012.

MARINHO, J. Z.; SILVA, R. A. B.; BARBOSA, T. G. G.; RICHTER, E. M.; MUNOZ, R. A. A.; LIMA, R. C. Graphite-Composite Electrodes Bulk-Modified with (BiO)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Plates-Like Nanostructures for Trace Metal Determination by Anodic Stripping Voltammetry. **Electroanalysis**, v. 25, p. 765-770, 2013.

MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C. Terras raras: aplicações industriais e biológicas. **Química Nova**, v. 28, p. 111-117, 2005.

MARY, J. A.; VIJAYA, J. J.; KENNEDY, L. J.; BOUOUDINA, M. Microwave-assisted synthesis, characterization and antibacterial properties of Ce-Cu dual doped ZnO nanostructures. **Optik**, v. 127, p. 2360-2365, 2016.

MELLO, P. H. D. **Estudo teórico sobre corantes catiônicos e possíveis modelos que expliquem a interação com a argila do tipo montmorilonita.** 2006. 118p (Doutorado em Físico-Química). Instituto de Química, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos, SP.

MENDES, P. G.; MOREIRA, M. L.; TEBCHERANI, S. M.; ORLANDI, M. O.; ANDRES, J.; LI, M. S.; DIAZ-MORA, N.; VARELA, J. A.; LONGO, E. SnO<sub>2</sub> nanocrystals synthesized by microwave-assisted hydrothermal method: towards a relationship between structural and optical properties. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 14, p. 750-757, 2012.

MERESHCHENKO, A. S.; OLSHIN, P. K.; MYASNIKOVA, O. S.; PANOV, M. S.; KOCHEMIROVSKY, V. A.; SKRIPKIN, M. Y.; MOROZ, P. N.; ZAMKOV, M.; TARNOVSKY, A. N. Ultrafast Photochemistry of Copper(II) Monochlorocomplexes in Methanol and Acetonitrile by Broadband Deep-UV-to-Near-IR Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy. **Journal of Physical Chemistry A**, v. 120, p. 1833-1844, 2016.

MHLONGO, G. H.; SHINGANGE, K.; TSHABALALA, Z. P.; DHONGE, B. P.; MAHMOUD, F. A.; MWAKIKUNGA, B. W.; MOTAUNG, D. E. Room temperature ferromagnetism and gas sensing in ZnO nanostructures: Influence of intrinsic defects and Mn, Co, Cu doping. **Applied Surface Science**, v. 390, p. 804-815, 2016.

MICHA, D. N.; PENELLO, G. M.; KAWABATA, R. M. S.; CAMAROTTI, T. "Vendo o invisível": experimentos de visualização do infravermelho feitos com materiais simples e de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, p. 01-06, 2011.

MISHRA, B. G.; RAO, G. R. Promoting effect of ceria on the physicochemical and catalytic properties of CeO<sub>2</sub>-ZnO composite oxide catalysts. **Journal of Molecular Catalysis a-Chemical**, v. 243, p. 204-213, 2006.

MORKOÇ, H.; OZGUR, U. **Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology**. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2009. 469.

MOUSSA, H.; GIROT, E.; MOZET, K.; ALEM, H.; MEDJANDI, G.; SCHNEIDER, R. ZnO rods/reduced graphene oxide composites prepared via a solvothermal reaction for efficient sunlight-driven photocatalysis. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 185, p. 11-21, 2016.

MURMU, P. P.; MENDELSBERG, R. J.; KENNEDY, J.; CARDER, D. A.; RUCK, B. J.; MARKWITZ, A.; REEVES, R. J.; MALAR, P.; OSIPOWICZ, T. Structural and photoluminescence properties of Gd implanted ZnO single crystals. **Journal of Applied Physics**, v. 110, 2011.

NAKATA, K.; FUJISHIMA, A. TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Design and applications. **Journal of Photochemistry and Photobiology C-Photochemistry Reviews**, v. 13, p. 169-189, 2012.

NGUYEN DUC, D.; CAO THAI, S.; PHAM VU, L.; NGUYEN HUU, C.; PHAM THE, K.; PHAM THANH, H.; NGO NGOC, H. Magnetic properties of sol-gel synthesized C-doped ZnO nanoparticles. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 668, p. 87-90, 2016.

NISKANEN, M.; KUISMA, M.; CRAMARIUC, O.; GOLOVANOV, V.; HUKKA, T. I.; TKACHENKO, N.; RANTALA, T. T. Porphyrin adsorbed on the (1010) surface of the wurtzite structure of ZnO - conformation induced effects on the electron transfer characteristics. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 15, p. 17408-17418, 2013.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. **Química Nova**, v. 21, p. 69-72, 1998.

NUNES, J. M. A.; ESPINOSA, J. W. M.; GURGEL, M. F. C.; PIZANI, P. S.; LEAL, S. H.; SANTOS, M. R. M. C.; LONGO, E. Photoluminescent properties of lead zirconate powders obtained by the polymeric precursor method. **Ceramics International**, v. 38, p. 4593-4599, 2012.

OJHA, A. K.; SRIVASTAVA, M.; KUMAR, S.; HASSANEIN, R.; SINGH, J.; SINGH, M. K.; MATERNY, A. Influence of crystal size on the electron-phonon coupling in ZnO nanocrystals investigated by Raman spectroscopy. **Vibrational Spectroscopy**, v. 72, p. 90-96, 2014.

ÖKTE, A. N. Characterization and photocatalytic activity of Ln (La, Eu, Gd, Dy and Ho) loaded ZnO nanocatalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 475, p. 27-39, 2014.

OLIVEIRA, D. F. M.; BATISTA, P. S.; MULLER JR, P. S.; VELANI, V.; FRANÇA, M. D.; DE SOUZA, D. R.; MACHADO, A. E. H. Evaluating the effectiveness of photocatalysts based on titanium dioxide in the degradation of the dye Ponceau 4R. **Dyes and Pigments**, v. 92, p. 563-572, 2012.

OLIVEIRA, L. H. **Influência dos íons  $\text{Cu}^{2+}$  nas propriedades ópticas dos pós de  $(\text{Ca}_{1-x}\text{Cu}_x)\text{TiO}_3$  preparados por métodos químicos**. 2012. 102p (Doutorado em Química Inorgânica). Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

OLIVEIRA, L. H.; DE MOURA, A. P.; MAZZO, T. M.; RAMÍREZ, M. A.; CAVALCANTE, L. S.; ANTONIO, S. G.; AVANSI, W.; MASTELARO, V. R.; LONGO, E.; VARELA, J. A. Structural refinement and photoluminescence properties of irregular cube-like  $(\text{Ca}_{1-x}\text{Cu}_x)\text{TiO}_3$  microcrystals synthesized by the microwave-hydrothermal method. **Materials Chemistry and Physics**, v. 136, p. 130-139, 2012.

OPREA, O.; VASILE, O. R.; VOICU, G.; CRACIUN, L.; ANDRONESCU, E. Photoluminescence, magnetic properties and photocatalytic activity of  $\text{Gd}^{3+}$  doped ZnO nanoparticles. **Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures**, v. 7, p. 1757-1766, 2012.

OSMAN, M. A.; EL-SAID, W. A.; OTHMAN, A. A.; ABD-ELRAHIM, A. G. Influence of thermally induced structural and morphological changes, and UV irradiation on photoluminescence and optical absorption behavior of CdS nanoparticles. **Journal of Physics D-Applied Physics**, v. 49, 2016.

OTHMAN, A. A.; ALI, M. A.; IBRAHIM, E. M. M.; OSMAN, M. A. Influence of Cu doping on structural, morphological, photoluminescence, and electrical properties of ZnO nanostructures synthesized by ice-bath assisted sonochemical method. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 683, p. 399-411, 2016.

OZGUR, U.; ALIVOV, Y. I.; LIU, C.; TEKE, A.; RESHCHIKOV, M. A.; DOGAN, S.; AVRUTIN, V.; CHO, S. J.; MORKOC, H. A comprehensive review of ZnO materials and devices. **Journal of Applied Physics**, v. 98, 2005.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 582-590, 2011.

PAL, U.; SANDOVAL, A.; MADRID, S. I. U.; CORRO, G.; SHARMA, V.; MOHANTY, P. Mixed titanium, silicon, and aluminum oxide nanostructures as novel adsorbent for removal of rhodamine 6G and methylene blue as cationic dyes from aqueous solution. **Chemosphere**, v. 163, p. 142-152, 2016.

PALARD, M.; BALENCIE, J.; MAGUER, A.; HOCHÉPIED, J.-F. Effect of hydrothermal ripening on the photoluminescence properties of pure and doped cerium oxide nanoparticles. **Materials Chemistry and Physics**, v. 120, p. 79-88, 2010.

PALFI, T.; WOJNAROVITS, L.; TAKACS, E. Mechanism of azo dye degradation in Advanced Oxidation Processes: Degradation of Sulfanilic Acid Azochromotrop and its parent compounds in aqueous solution by ionizing radiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 80, p. 462-470, 2011.

PAN, H. Principles on design and fabrication of nanomaterials as photocatalysts for water-splitting. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 584-601, 2016.

PAN, J.; LI, J.; YAN, Z.; ZHOU, B.; WU, H.; XIONG, X. SnO<sub>2</sub>@CdS nanowire-quantum dots heterostructures: tailoring optical properties of SnO<sub>2</sub> for enhanced photodetection and photocatalysis. **Nanoscale**, v. 5, p. 3022-3029, 2013.

PAN, L.; MUHAMMAD, T.; MA, L.; HUANG, Z.-F.; WANG, S.; WANG, L.; ZOU, J.-J.; ZHANG, X. MOF-derived C-doped ZnO prepared via a two-step calcination for efficient photocatalysis. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 189, p. 181-191, 2016.

PANDEY, P.; KURCHANIA, R.; HAQUE, F. Z. Structural, diffused reflectance and photoluminescence study of cerium doped ZnO nanoparticles synthesized through simple sol–gel method. **Optik - International Journal for Light and Electron Optics**, v. 126, p. 3310-3315, 2015.

PANDIYARAJAN, T.; MANGALARAJA, R. V.; KARTHIKEYAN, B.; SATHISHKUMAR, P.; MANSILLA, H. D.; CONTRERAS, D.; RUIZ, J. UV-A light-induced photodegradation of Acid Blue 113 in the presence of Sm-doped ZnO nanostructures. **Applied Physics A**, v. 119, p. 487-495, 2015.

PAPOULIS, D.; KOMARNENI, S.; PANAGIOTARAS, D.; STATHATOS, E.; TOLI, D.; CHRISTOFORIDIS, K. C.; FERNANDEZ-GARCIA, M.; LI, H.; YIN, S.; SATO, T.; KATSUKI, H. Halloysite-TiO<sub>2</sub> nanocomposites: Synthesis, characterization and photocatalytic activity. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 132, p. 416-422, 2013.

PATTERSON, E. M.; SHELDEN, C. E.; STOCKTON, B. H. Kubelka-Munk Optical-Properties of a barium-sulfate white reflectante standard. **Applied Optics**, v. 16, p. 729-732, 1977.

PAUFLER, P. R. A. Young (ed.). The Rietveld Method. International Union of Crystallography. Oxford University Press 1993. 298 p. ISBN 0–19–855577–6. **Crystal Research and Technology**, v. 30, p. 494-494, 1995.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRLZ, G. S.; VYVYAN, J. R. **Introduction to Spectroscopy**. 4<sup>a</sup> ed. Brooks/Cole, 2008.

PHURUANGRAT, A.; KUNTALUE, B.; THONGTEM, S.; THONGTEM, T. Synthesis of cubic CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles by microwave-hydrothermal method and their magnetic properties. **Materials Letters**, v. 167, p. 65-68, 2016.

PINATTI, I. M.; MAZZO, T. M.; GONCALVES, R. F.; VARELA, J. A.; LONGO, E.; ROSA, I. L. V. CaTiO<sub>3</sub> and Ca<sub>1-3x</sub>Sm<sub>x</sub>TiO<sub>3</sub>: Photoluminescence and morphology as a

result of Hydrothermal Microwave Methodology. **Ceramics International**, v. 42, p. 1352-1360, 2016.

PISANI JÚNIOR, R.; TONUCCI, L. R. D. S.; INNOCENTINI, M. D. D. M. Inativação de pseudomonas aeruginosa em resíduos de serviços de saúde por microondas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, p. 284-290, 2008.

QIN, N.; XIANG, Q.; ZHAO, H.; ZHANG, J.; XU, J. Evolution of ZnO microstructures from hexagonal disk to prismoid, prism and pyramid and their crystal facet-dependent gas sensing properties. **CrystEngComm**, v. 16, p. 7062-7073, 2014.

QIU, Y.; CHEN, W.; YANG, S. Facile hydrothermal preparation of hierarchically assembled, porous single-crystalline ZnO nanoplates and their application in dye-sensitized solar cells. **Journal of Materials Chemistry**, v. 20, p. 1001-1006, 2010.

RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; AHMAD, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, p. 70-80, 2010.

RAI, P.; KWAK, W.-K.; YU, Y.-T. Solvothermal Synthesis of ZnO Nanostructures and Their Morphology-Dependent Gas-Sensing Properties. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 5, p. 3026-3032, 2013.

RAVELLI, D.; FAGNONI, M.; DONDI, D.; ALBINI, A. Significance of TiO<sub>2</sub> Photocatalysis for Green Chemistry. **Journal of Advanced Oxidation Technologies**, v. 14, p. 40-46, 2011.

REZAEI, M.; HABIBI-YANGJEH, A. Microwave-assisted preparation of Ce-doped ZnO nanostructures as an efficient photocatalyst. **Materials Letters**, v. 110, p. 53-56, 2013.

RICCARDI, C. S.; LIMA, R. C.; DOS SANTOS, M. L.; BUENO, P. R.; VARELA, J. A.; LONGO, E. Preparation of CeO<sub>2</sub> by a simple microwave-hydrothermal method. **Solid State Ionics**, v. 180, p. 288-291, 2009.



RIDHA, N. J.; UMAR, A. A.; ALOSFUR, F.; JUMALI, M. H. H.; SALLEH, M. M. Microwave Assisted Hydrothermal Method for Porous Zinc Oxide Nanostructured-Films. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 13, p. 2667-2674, 2013.

RIETVELD, H. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. **Journal of applied Crystallography**, v. 2, p. 65-71, 1969.

ROHATGI-MUKHERJEE, K. K. **Fundamentals of Photochemistry**. Wiley, 1978. 363p.

ROMEIRO, F. C.; MARINHO, J. Z.; SILVA, A. C. A.; CANO, N. F.; DANTAS, N. O.; LIMA, R. C. Photoluminescence and Magnetism in  $Mn^{2+}$ -Doped ZnO Nanostructures Grown Rapidly by the Microwave Hydrothermal Method. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 117, p. 26222-26227, 2013.

RÓZ, A. L. D.; LEITE, F. D. L.; FERREIRA, M.; JÚNIOR, O. N. D. O. **Nanoestruturas: princípios e aplicações**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 320p.

RUNOWSKI, M.; LIS, S. Synthesis of lanthanide doped  $CeF_3:Gd^{3+}$ ,  $Sm^{3+}$  nanoparticles, exhibiting altered luminescence after hydrothermal post-treatment. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 661, p. 182-189, 2016.

SAKATA, M.; COOPER, M. J. An analysis of the Rietveld refinement method. **Journal of Applied Crystallography**, v. 12, p. 554-563, 1979.

SAMADI, M.; ZIRAK, M.; NASERI, A.; KHORASHADIZADE, E.; MOSHFEGH, A. Z. Recent progress on doped ZnO nanostructures for visible-light photocatalysis. **Thin Solid Films**, v. 605, p. 2-19, 2016.

SANCHEZ, C.; DORIA, J.; PAUCAR, C.; HERNANDEZ, M.; MOSQUERA, A.; RODRIGUEZ, J. E.; GOMEZ, A.; BACA, E.; MORAN, O. Nanocrystalline ZnO films prepared via polymeric precursor method (Pechini). **Physica B-Condensed Matter**, v. 405, p. 3679-3684, 2010.

SANSEVERINO, A. M. Microondas em síntese orgânica. **Química Nova**, v. 25, p. 660-667, 2002.

SARMIENTO, G. P.; ZELCER, A.; ESPINOSA, M. S.; BABAY, P. A.; MIRENDA, M. Photochemistry of imidazolium cations. Water addition to methylimidazolium ring induced by UV radiation in aqueous solution. **Journal of Photochemistry and Photobiology a-Chemistry**, v. 314, p. 155-163, 2016.

SASTRI, V. S.; BÜNZLI, J.-C.; RAO, V. R.; RAYUDU, G. V. S.; PERUMAREDDI, J. R. Introduction. In: (Ed.). **Modern Aspects of Rare Earths and Their Complexes**. Amsterdam: Elsevier, 2003. p.1-72.

ŠĆEPANOVIĆ, M.; GRUJIĆ-BROJČIN, M.; VOJISAVLJEVIĆ, K.; BERNIK, S.; SREČKOVIĆ, T. Raman study of structural disorder in ZnO nanopowders. **Journal of Raman Spectroscopy**, v. 41, p. 914-921, 2010.

SCOTTI, R.; LIMA, E. C.; BENVENUTTI, E. V.; PIATNICKI, C. M. S.; DIAS, S. L. P.; GUSHIKEM, Y.; KUBOTA, L. T. Azul de metileno imobilizado na celulose/TiO<sub>2</sub> e SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>: propriedades eletroquímicas e planejamento fatorial. **Química Nova**, v. 29, p. 208-212, 2006.

SERRA, O. A.; CICILLINI, S. A.; ISHIKI, R. R. A new procedure to obtain Eu<sup>3+</sup> doped oxide and oxosalt phosphors. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 303–304, p. 316-319, 2000.

SERRA, O. A.; LIMA, J. F.; DE SOUSA FILHO, P. C. A Luz e as Terras Raras. **Revista Virtual de Química**, v. 7, p. 242-266, 2015.

SHACKELFORD, J. F. **Ciências dos Materiais**. 6ª Ed. São Paulo, Brasil: Pearson Prentice Hall, 2008. p. 575.

SHARMA, D.; SHARMA, S.; KAITH, B. S.; RAJPUT, J.; KAUR, M. Synthesis of ZnO nanoparticles using surfactant free in-air and microwave method. **Applied Surface Science**, v. 257, p. 9661-9672, 2011.

SHI, Q.; WANG, C.; LI, S.; WANG, Q.; ZHANG, B.; WANG, W.; ZHANG, J.; ZHU, H. Enhancing blue luminescence from Ce-doped ZnO nanophosphor by Li doping. **Nanoscale Research Letters**, v. 9, p. 1-7, 2014.

SHINGANGE, K.; TSHABALALA, Z. P.; DHONGE, B. P.; NTWAEABORWA, O. M.; MOTAUNG, D. E.; MHLONGO, G. H. OD to 3D ZnO nanostructures and their luminescence, magnetic and sensing properties: Influence of pH and annealing. **Materials Research Bulletin**, v. 85, p. 52-63, 2017.

SHIRSATH, S. E.; JADHAV, S. S.; TOKSHA, B. G.; PATANGE, S. M.; JADHAV, K. M. Influence of  $\text{Ce}^{4+}$  ions on the structural and magnetic properties of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ . **Journal of Applied Physics**, v. 110, p. 013914, 2011.

SHOJAEE, N.; EBADZADEH, T.; AGHAEI, A. Effect of concentration and heating conditions on microwave-assisted hydrothermal synthesis of ZnO nanorods. **Materials Characterization**, v. 61, p. 1418-1423, 2010.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. 4ª Ed. Porto Alegre - RS: Bookman, 2008. 847p.

SONG, L.; JIANG, Q.; DU, P.; YANG, Y.; XIONG, J. A facile synthesis of novel ZnO structures and their applications in photocatalysis. **Materials Letters**, v. 123, p. 214-216, 2014.

SOUSA, R. B.; NASCIMENTO, V. A.; MATOS, J. M. E.; LIMA, C. L.; SANTOS, C. M.; SANTOS, M. R. M. C. Síntese, caracterização e propriedade fotoluminescente de tungstato de bário puro e dopado com hólmio. **Cerâmica**, v. 61, p. 224-235, 2015.

SOUZA, A. E.; SANTOS, G. T. A.; SILVA, R. A.; MOREIRA, M. L.; VOLANTI, D. P.; PARIS, E. C.; TEIXEIRA, S. R.; LONGO, E. Morphological and Structural changes of  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$  Powders Obtained by the Microwave-Assisted Hydrothermal Method. **International Journal of Applied Ceramic Technology**, v. 9, p. 186-192, 2012.

SRDIĆ, V. V.; WINTERER, M. Aluminum-Doped Zirconia Nanopowders: Chemical Vapor Synthesis and Structural Analysis by Rietveld Refinement of X-ray Diffraction Data. **Chemistry of Materials**, v. 15, p. 2668-2674, 2003.

SRIKANTH, C. K.; JEEVANANDAM, P. Effect of anion on the homogeneous precipitation of precursors and their thermal decomposition to zinc oxide. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 486, p. 677-684, 2009.

STUDENIKIN, S. A.; GOLEGO, N.; COCIVERA, M. Fabrication of green and orange photoluminescent, undoped ZnO films using spray pyrolysis. **Journal of Applied Physics**, v. 84, p. 2287-2294, 1998.

SU, Y. L.; ZHANG, Q. Y.; PU, C. Y.; TANG, X.; ZHAO, J. J. First-principles study on the lattice dynamics of the layered ZnO in comparison with the wurtzite structure. **Solid State Communications**, v. 223, p. 19-23, 2015.

SUWANBOON, S.; AMORNPITOKSUK, P. Preparation and characterization of nanocrystalline La-doped ZnO powders through a mechanical milling and their optical properties. **Ceramics International**, v. 37, p. 3515-3521, 2011.

SUWANBOON, S.; AMORNPITOKSUK, P.; SUKOLRAT, A.; MUENSIT, N. Optical and photocatalytic properties of La-doped ZnO nanoparticles prepared via precipitation and mechanical milling method. **Ceramics International**, v. 39, p. 2811-2819, 2013.

TAN, S. T.; TAN, C. H.; CHONG, W. Y.; YAP, C. C.; UMAR, A. A.; GINTING, R. T.; LEE, H. B.; LIM, K. S.; YAHAYA, M.; SALLEH, M. M. Microwave-assisted hydrolysis preparation of highly crystalline ZnO nanorod array for room temperature photoluminescence-based CO gas sensor. **Sensors and Actuators B-Chemical**, v. 227, p. 304-312, 2016.

TAN, Y.; FANG, Z.; CHEN, W.; HE, P. Structural, optical and magnetic properties of Eu-doped ZnO films. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 509, p. 6321-6324, 2011.

TAN, Y. H.; DAVIS, J. A.; FUJIKAWA, K.; GANESH, N. V.; DEMCHENKO, A. V.; STINE, K. J. Surface area and pore size characteristics of nanoporous gold subjected to thermal, mechanical, or surface modification studied using gas adsorption isotherms, cyclic voltammetry, thermogravimetric analysis, and scanning electron microscopy. **Journal of materials chemistry**, v. 22, p. 6733-6745, 2012.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M. B.; GOMES, A. S. Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas à base de divinilbenzeno. **Química Nova**, v. 24, p. 808-818, 2001.

THANGARAJ, P.; VISWANATHAN, M. R.; BALASUBRAMANIAN, K.; PANNEERSELVAM, S.; MANSILLA, H. D.; GRACIA-PINILLA, M. A.; CONTRERAS, D.; RUIZ, J. Morphology controlled synthesis of Sm doped ZnO nanostructures for photodegradation studies of Acid Blue 113 under UV-A light. **Journal of Materials Science: Materials in Electronics**, v. 26, p. 8784-8792, 2015.

THANKACHAN, R. M.; JOY, N.; ABRAHAM, J.; KALARIKKAL, N.; THOMAS, S.; OLUWAFEMI, O. S. Enhanced photocatalytic performance of ZnO nanostructures produced via a quick microwave assisted route for the degradation of rhodamine in aqueous solution. **Materials Research Bulletin**, v. 85, p. 131-139, 2017.

TOBY, B. EXPGUI, a graphical user interface for GSAS. **Journal of Applied Crystallography**, v. 34, p. 210-213, 2001.

TROVARELLI, A. **Catalysis by ceria and related materials**. World Scientific, 2002.

TSAL, M. K.; HUANG, C. C.; LEE, Y. C.; YANG, C. S.; YU, H. C.; LEE, J. W.; HU, S. Y.; CHEN, C. H. A study on morphology control and optical properties of ZnO nanorods synthesized by microwave heating. **Journal of Luminescence**, v. 132, p. 226-230, 2012.

TSUBOI, T. Absorption spectra due to the  $4f^7 \rightarrow 4f^7$  transitions of  $Gd^{3+}$  ions in  $GdAl_3(BO_3)_4$  crystals. **Journal of Physics-Condensed Matter**, v. 10, p. 9155-9159, 1998.

VANHEUSDEN, K.; SEAGER, C. H.; WARREN, W. L.; TALLANT, D. R.; VOIGT, J. A. Correlation between photoluminescence and oxygen vacancies in ZnO phosphors. **Applied Physics Letters**, v. 68, p. 403-405, 1996.

VIJAYAPRASATH, G.; MURUGAN, R.; HAYAKAWA, Y.; RAVI, G. Optical and magnetic studies on Gd doped ZnO nanoparticles synthesized by co-precipitation method. **Journal of Luminescence**, v. 178, p. 375-383, 2016.

VOLANTI, D. P.; CAVALCANTE, L. S.; KEYSON, D.; LIMA, R. C.; DE MOURA, A. P.; MOREIRA, M. L.; GODINHO, M.; LONGO, E.; VARELA, J. A. Materiais Nanoestruturados obtidos por síntese hidrotermal assistida por microondas. **Metalurgia e Materiais**, v. 63, p. 353-357, 2007.

VON, R. Quantitative texture analysis by Rietveld refinement. **Journal of Applied Crystallography**, v. 30, p. 517-525, 1997.

WALTON, K. S.; SNURR, R. Q. Applicability of the BET Method for Determining Surface Areas of Microporous Metal–Organic Frameworks. **Journal of the American Chemical Society**, v. 129, p. 8552-8556, 2007.

WANG, C.; HUANG, Z. Controlled synthesis  $\alpha$ - $Fe_2O_3$  nanostructures for efficient photocatalysis. **Materials Letters**, v. 164, p. 194-197, 2016.

WANG, C.; ZHANG, X.; LIU, Y. Promotion of multi-electron transfer for enhanced photocatalysis: A review focused on oxygen reduction reaction. **Applied Surface Science**, v. 358, p. 28-45, 2015.

WANG, F.; CAO, L.; PAN, A.; LIU, R.; WANG, X.; ZHU, X.; WANG, S.; ZOU, B. Synthesis of tower-like ZnO structures and visible photoluminescence origins of varied-shaped ZnO nanostructures. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 111, p. 7655-7660, 2007.

WANG, F.; HAN, Y.; LIM, C. S.; LU, Y.; WANG, J.; XU, J.; CHEN, H.; ZHANG, C.; HONG, M.; LIU, X. Simultaneous phase and size control of upconversion nanocrystals through lanthanide doping. **Nature**, v. 463, p. 1061-1065, 2010.

WANG, H.; XIE, J.; YAN, K.; DUAN, M. Growth Mechanism of Different Morphologies of ZnO Crystals Prepared by Hydrothermal Method. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 27, p. 153-158, 2011.

WANG, J.; WANG, Z.; HUANG, B.; MA, Y.; LIU, Y.; QIN, X.; ZHANG, X.; DAI, Y. Oxygen Vacancy Induced Band-Gap Narrowing and Enhanced Visible Light Photocatalytic Activity of ZnO. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 4, p. 4024-4030, 2012.

WIEDMER, D.; SAGSTUEN, E.; WELCH, K.; HAUGEN, H. J.; TIAINEN, H. Oxidative power of aqueous non-irradiated TiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> suspensions: Methylene blue degradation and the role of reactive oxygen species. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 198, p. 9-15, 2016.

WU, X.; ZHANG, B.; HU, Z. Microwave hydrothermal synthesis of boehmite hollow microspheres. **Materials Letters**, v. 73, p. 169-171, 2012.

XIANG, Q.; YU, J.; JARONIEC, M. Synergetic Effect of MoS<sub>2</sub> and Graphene as Cocatalysts for Enhanced Photocatalytic H<sub>2</sub> Production Activity of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. **Journal of the American Chemical Society**, v. 134, p. 6575-6578, 2012.

XING, Z.; GENG, B.; LI, X.; JIANG, H.; FENG, C.; GE, T. Self-assembly fabrication of 3D porous quasi-flower-like ZnO nanostrip clusters for photodegradation of an organic dye with high performance. **CrystEngComm**, v. 13, p. 2137-2142, 2011.

YANG, H.; LI, G.; AN, T.; GAO, Y.; FU, J. Photocatalytic degradation kinetics and mechanism of environmental pharmaceuticals in aqueous suspension of TiO<sub>2</sub>: A case of sulfa drugs. **Catalysis Today**, v. 153, p. 200-207, 2010.

YANG, J.; GAO, M.; YANG, L.; ZHANG, Y.; LANG, J.; WANG, D.; WANG, Y.; LIU, H.; FAN, H. Low-temperature growth and optical properties of Ce-doped ZnO nanorods. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 2646-2650, 2008.

YANG, J. H.; GAO, M.; YANG, L. L.; ZHANG, Y. J.; LANG, J. H.; WANG, D. D.; WANG, Y. X.; LIU, H. L.; FAN, H. G. Low-temperature growth and optical properties of Ce-doped ZnO nanorods. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 2646-2650, 2008.

YANG, J. L.; AN, S. J.; PARK, W. I.; YI, G. C.; CHOI, W. Photocatalysis using ZnO thin films and nanoneedles grown by metal-organic chemical vapor deposition. **Advanced Materials**, v. 16, p. 1661-1664, 2004.

YANG, L.; KRUSE, B. Revised Kubelka–Munk theory. I. Theory and application. **Journal of the Optical Society of America A**, v. 21, p. 1933-1941, 2004.

YANG, P.; LU, C.; HUA, N.; DU, Y. Titanium dioxide nanoparticles co-doped with Fe<sup>3+</sup> and Eu<sup>3+</sup> ions for photocatalysis. **Materials Letters**, v. 57, p. 794-801, 2002.

YAYAPAO, O.; THONGTEM, S.; PHURUANGRAT, A.; THONGTEM, T. Sonochemical synthesis, photocatalysis and photonic properties of 3% Ce-doped ZnO nanoneedles. **Ceramics International**, v. 39, p. S563-S568, 2013.

YIN, M.; WANG, F.; FAN, H.; XU, L.; LIU, S. Heterojunction CuO@ZnO microcubes for superior p-type gas sensor application. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 672, p. 374-379, 2016.

YINGYING, L.; LESHU, Y.; HEYONG, H.; YUYING, F.; DONGZHEN, C.; XIN, X. Application of the soluble salt-assisted route to scalable synthesis of ZnO nanopowder with repeated photocatalytic activity. **Nanotechnology**, v. 23, p. 065402, 2012.



YOUSEFI, M.; AMIRI, M.; AZIMIRAD, R.; MOSHFEGH, A. Z. Enhanced photoelectrochemical activity of Ce doped ZnO nanocomposite thin films under visible light. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 661, p. 106-112, 2011.

YU, W. L.; ZHANG, J. F.; PENG, T. Y. New insight into the enhanced photocatalytic activity of N-, C- and S-doped ZnO photocatalysts. **Applied Catalysis B-Environmental**, v. 181, p. 220-227, 2016.

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano)materiais. **Química Nova**, v. 30, p. 1469-1479, 2007.

ZHANG, L.; HUANG, H. Structural transformation of ZnO nanostructures. **Applied Physics Letters**, v. 90, 2007.

ZHANG, R.; YIN, P.-G.; WANG, N.; GUO, L. Photoluminescence and Raman scattering of ZnO nanorods. **Solid State Sciences**, v. 11, p. 865-869, 2009.

ZHAO, X.; LI, M.; LOU, X. Sol-gel assisted hydrothermal synthesis of ZnO microstructures: Morphology control and photocatalytic activity. **Advanced Powder Technology**, v. 25, p. 372-378, 2014.

ZHENG, Y.; CHEN, C.; ZHAN, Y.; LIN, X.; ZHENG, Q.; WEI, K.; ZHU, J.; ZHU, Y. Luminescence and Photocatalytic Activity of ZnO Nanocrystals: Correlation between Structure and Property. **Inorganic Chemistry**, v. 46, p. 6675-6682, 2007.

ZHOU, C.; GENG, Y.; CHEN, Q.; XU, J.; HUANG, N.; GAN, Y.; ZHOU, L. A novel PbS/TiO<sub>2</sub> composite counter electrode for CdS quantum dot-sensitized ZnO nanorods solar cells. **Materials Letters**, v. 172, p. 171-174, 2016.

ZHOU, L.; WANG, W. Z.; XU, H. L.; SUN, S. M.; SHANG, M. Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hierarchical Nanostructures: Controllable Synthesis, Growth Mechanism, and their Application in Photocatalysis. **Chemistry-a European Journal**, v. 15, p. 1776-1782, 2009.

ZHU, K.; ZHANG, Y.; QIU, H.; MENG, Y.; GAO, Y.; MENG, X.; GAO, Z.; CHEN, G.; WEI, Y. Hierarchical Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microsphere/reduced graphene oxide composites as a capable anode for lithium-ion batteries with remarkable cycling performance. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 675, p. 399-406, 2016.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



**Manuella Verdinelli de Paula Reis**

**Avaliação de meios de armazenagem e  
substâncias moduladoras na preservação da  
viabilidade e inibição clástica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Área de Concentração: Clínica Odontológica Integrada.

Uberlândia-MG

2017

**Manuella Verdinelli de Paula Reis**

**Avaliação de meios de armazenagem e  
substâncias moduladoras na preservação da  
viabilidade e inibição clástica**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Área de Concentração: Clínica Odontológica Integrada.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos José Soares

**Co-orientadora:** Profa. Dra. Camilla Christian Gomes Moura

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Carlos José Soares – UFU

Profa. Dra. Paula Dechichi – UFU

Profa. Dra. Priscilla Barbosa Ferreira Soares – UFU

Prof. Dr. Marcos Vinícius da Silva - UFTM

Profa. Dra. Maria Angélica Hueb de Menezes Oliveira – UNIUBE

Uberlândia-MG

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

- R375a  
2017      Reis, Manuella Verdinelli de Paula, 1987  
            Avaliação de meios de armazenagem e substâncias moduladoras na  
            preservação da viabilidade e inibição clástica / Manuella Verdinelli de  
            Paula Reis. - 2017.  
            90 f. : il.
- Orientador: Carlos José Soares.  
            Coorientadora: Camilla Christian Gomes Moura.  
            Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa  
de Pós-Graduação em Odontologia.  
            Inclui bibliografia.
1. Odontologia - Teses. 2. Periodontia - Teses. 3. Reabsorção da raiz  
(Dentes) - Teses. 4. Dentes - Reimplante - Teses. I. Soares, Carlos José, .  
II. Moura, Camilla Christian Gomes, 1979. III. Universidade Federal de  
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

---

CDU: 616.314



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Ata da defesa de TESE DE DOUTORADO junto ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia.

Defesa de: Tese de Doutorado nº 018- COPOD

Data: 20/02/2017

Discente: **Manuella Verdinelli de Paula Reis (11313ODO006)**

Título do Trabalho: Avaliação de meios de armazenagem e substâncias moduladoras na preservação da viabilidade e inibição clástica

Área de concentração: Clínica Odontológica Integrada.

Linha de pesquisa: Processo de reparo.

Projeto de Pesquisa de vinculação: Processo de reparo.

As oito horas e trinta minutos do dia vinte de fevereiro de 2017 no Anfiteatro Bloco 4L Anexo A, sala 23 Campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em janeiro de 2017, assim composta: Professores Doutores: Paula Dechichi (UFU); Priscilla Barbosa Ferreira Soares (UFU); Marcos Vinícius da Silva (UFTM); Maria Angélica Hueb de Menezes Oliveira (UNIUBE); Carlos José Soares (UFU) orientador(a) do(a) candidato(a) **Manuella Verdinelli de Paula Reis**.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa Dr. Carlos José Soares apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

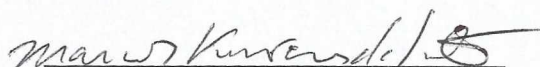
A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores (a)(s), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Finalizada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais.

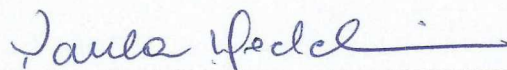
Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o(a) candidato(a) A provado(a).


Esta defesa de Tese de Doutorado é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

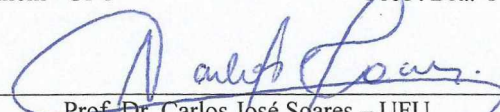
Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos às 12 horas e 40 minutos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

  
Prof.ª Dra. Maria Angélica Hueb de Menezes Oliveira - UNIUBE)

  
Prof. Dr. Marcos Vinícius da Silva -UFTM

  
Prof.ª Dra. Paula Dechichi- UFU

  
Prof.ª Dra. Priscilla Barbosa Ferreira Soares- UFU

  
Prof. Dr. Carlos José Soares - UFU  
Orientador(a)



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho às crianças e jovens que sofreram avulsão e tiveram seus dentes perdidos precocemente devido ao trauma.

Dedico este trabalho por uma Odontologia melhor, baseada em evidência científica com novas perspectivas para o futuro, especialmente para os casos de avulsão dental.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que sempre ilumina os meus dias, me fortalece quando preciso, proporcionando coragem e sabedoria para lidar com os desafios da vida.

Aos meus pais, Herminio e Rosane, que me educaram com princípios, e sempre apoiaram e incentivaram meus estudos, para que um dia eu pudesse ter oportunidades que eles não tiveram.

Ao meu noivo Eder, que me ensinou a olhar a vida com outros olhos, me dá coragem e esperança para os novos dias. Obrigada por apoiar e incentivar minhas escolhas.

Ao meu irmão Marcel, sempre presente na minha vida e acreditando no meu crescimento.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos José Soares, pelas oportunidades que me proporcionou durante esses anos. Obrigada pelo incentivo e apoio para o meu crescimento profissional. Tenho orgulho de ter sido sua orientada por 6 anos ao todo, espero que tenha retribuído toda sua dedicação e confiança em mim.

A minha co-orientadora, Profa. Dra. Camilla Christian Gomes Moura, pela dedicação e ensinamentos que compartilhou comigo durante esses anos. Tenho certeza que você foi fundamental para a minha formação acadêmica. Obrigada pelo companheirismo e confiança que depositou em mim. Como sua primeira co-orientação de doutorado, espero ter proporcionado orgulho nesses últimos anos, podendo retribuir um pouco do que fez por mim.

A Profa. Priscilla Barbosa Ferreira Soares, pelos ensinamentos, apoio e confiança durante esses anos.

A minha aluna de iniciação científica, Gabriela, pela paciência com meu aprendizado em orientar pela primeira vez, e pela amizade que constituímos.



nesses anos. Obrigada por ter me ajudado a desenvolver parte dessa tese, e estar presente em todos os momentos que precisei.

A Aletheia, por todo incentivo e apoio nos momentos que precisei. Agradeço pela contribuição nas análises histomorfométricas.

Ao Prof. Marcos Vinícius da Silva, pela colaboração na citometria de fluxo e separação dos monócitos humanos.

A Profa. Maria Aparecida de Souza, pela disposição em colaborar e disponibilizar a lectina necessária para a realização desse trabalho.

A Profa. Cristiane Salgueiro e Profa. Marcia Helena Sobral, por disponibilizar as diferentes formulações da água de coco liofilizada para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores dessa instituição, especialmente aos do programa de pós-graduação, que fizeram parte da minha formação.

As minhas amigas do doutorado, Luisa e Fabiane, agradeço pela amizade sincera, troca de experiências, e apoio durante esses anos.

Aos colegas da pós-graduação pelos momentos compartilhados.

Em especial a minha amiga Laila, que está sempre ao meu lado apoiando com paciência e compreensão. Obrigada pelo enorme carinho, solidariedade e pela amizade sincera que sempre posso confiar.

Ao John, técnico do CPBio, que me ajuda com o que preciso no laboratório, e pela amizade que constituímos nesse período.

As secretárias do programa de pós-graduação, Graça e Brenda, sempre atenciosas e à disposição para ajudar em tudo que eu precisasse.

A Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Uberlândia, por permitir meu crescimento pessoal e profissional, desde a graduação. Tenho imenso orgulho de ser aluna desta Instituição.

As agências de fomento: Capes, pela concessão da bolsa; FAPEMIG e CNPq, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desse trabalho.

A banca examinadora, composta pelos professores Paula Dechichi, Priscilla Barbosa Ferreira Soares, Marcos Vinícius da Silva, Maria Angélica Hueb de Menezes Oliveira e Carlos José Soares. Aos membros suplentes representados pelo professor Darcey Zanetta Barbosa e professora Yara Terezinha Corrêa Silva Sousa.

E a todas as pessoas que torceram pelo meu sucesso e contribuíram de alguma forma para que essa etapa fosse vencida!

## EPÍGRAFE

"A persistência é o caminho do êxito."

*Charles Chaplin*

## SUMÁRIO

Lista de abreviaturas	1
Resumo	2
Abstract	5
1. Introdução e Referencial Teórico	8
2. Objetivos	13
3. Objetivos específicos (capítulos)	14
3.1. Capítulo 1 - <i>Evaluation of effect of different storage media on the root dentine composition and viability of fibroblasts evaluated by different assay methods.</i>	17
3.2. Capítulo 2 - <i>Replanted teeth stored in a newly developed powdered coconut water formula.</i>	25
3.3. Capítulo 3 - <i>Effect of lectin (ScLL) on fibroblasts stimulated with LPS – an in vitro study.</i>	38
3.4. Capítulo 4 - <i>Effect of ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> on fibroblasts stimulated-LPS on cell viability and cytokine release – an in vitro study.</i>	47
3.5. Capítulo 5 - <i>Effects of Lectin (ScLL) on osteoclast maturation – an in vitro study.</i>	61
4. Considerações finais	78
5. Conclusões	81
6. Referências	83
7. Anexos	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µm - micrômetro

mm - milímetro

15-Deoxy- $\Delta^{12,14}$ -PG J2 - 15d-PGJ<sub>2</sub>

ACP-404 - Água de coco em pó

FTIR - Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier

HBSS - Solução Salina Balanceada de Hank's

IL-6 - Interleucina 6

IL-10 - Interleucina 10

LP - Ligamento periodontal

LPS - Lipopolissacarídeo

ScLL - Lectina de *Synadenium carinatum*

TNF - Fator de necrose tumoral

TGFβ - Fator de transformação do crescimento

# Resumo

---

## RESUMO

Estudos têm proposto o uso de diferentes soluções para armazenagem de dentes avulsionados, tais como leite, HBSS, e mais recentemente a água de coco. Contudo, é recomendável que esses meios apresentem capacidade imunomodulatória, a fim de controlar a resposta inflamatória após o reimplante tardio, o que favoreceria melhor prognóstico clínico. Diante disso, o objetivo geral deste estudo foi avaliar o efeito de soluções utilizadas como meios de armazenagem e substâncias com propriedades imunomoduladoras, na preservação da viabilidade celular e inibição da atividade clástica, por meios de experimentos *in vitro* e *in vivo*. Este estudo envolveu cinco objetivos específicos.

**Objetivo 1:** avaliar o efeito dos meios de armazenagem na viabilidade de fibroblastos gengivais humanos (FGH) por meio de análise de multiparamétrica da citotoxicidade; e, seus efeitos na superfície externa da dentina radicular bovina por meio de análise com FTIR. **Objetivo 2:** avaliar histomorfometricamente o processo de reparo do periodonto de dentes de cães reimplantados após armazenagem em duas formulações diferentes de água de coco liofilizada. **Objetivo 3:** avaliar o efeito da lectina (ScLL), na viabilidade, proliferação e liberação de IL-10 em FGH estimulados com LPS. **Objetivo 4:** avaliar o efeito de 15d-PGJ<sub>2</sub> e ScLL em FGH estimulados com LPS quanto a viabilidade, liberação de IL-6 e TGFβ-1. **Objetivo 5:** avaliar a viabilidade de células periféricas mononucleares de sangue humano estimuladas com LPS e em macrófagos murinos RAW 264.7 tratados com ScLL, bem como seus efeitos na osteoclastogênese *in vitro*, e na liberação de TNF-α e NO. Frente aos resultados destes objetivos conclui-se que: 1) o leite de soja apresentou maior viabilidade quando comparado aos meios HBSS e leite integral, enquanto que na composição da dentina todos os meios apresentaram comportamento similar. E, do ponto de vista clínico o tempo de armazenagem de até 1h mostrou ser fator crucial para o prognóstico de dentes reimplantados; 2) Em relação à água de coco liofilizada, a formulação ACP-404 I foi capaz de preservar o LP e limitar os níveis de reabsorção superficial; 3) As concentrações testadas de ScLL em cultura de fibroblastos não apresentaram citotoxicidade, e não gerou efeito negativo nos parâmetros proliferação celular e liberação de IL-10; 4) A

concentração de ScLL 5 µg/ml não interferiu na viabilidade celular. Em relação ao parâmetro liberação de IL-6, ScLL 2 µg/ml e 15d-PGJ<sub>2</sub> 1 µg/ml demonstrou menores níveis desta citocina inflamatória, e todas as substâncias testadas não tiveram efeito na liberação de TGFβ-1; 6) E por fim, ScLL na concentração de 5 µg/ml suprimiu a osteoclastogênese *in vitro*, sem interferir na viabilidade de células periféricas de sangue humano e precursoras de osteoclastos murinos, e não apresentou efeito na liberação de TNF-α e NO. Portanto, este estudo foi o primeiro passo para avaliar o uso de ScLL como agente imunomodulatório para prevenir a reabsorção em dentes avulsionados, e futuramente sua associação com a água de coco liofilizada, pode gerar perspectivas de inovação tecnológica e transferência de tecnologia com geração de novos produtos para dentes avulsionados.



# Abstract

---

## ABSTRACT

Studies have proposed the use of different solutions for storage of avulsed teeth, such as milk, HBSS, and recently the coconut water. However, it would be interesting the association of these storage media with some immunomodulatory substance that be able to control the inflammatory response after late replantation, and improve the prognosis in such cases. Thus, the general objective of the present study was to evaluate the effect of storage media and modulatory substances on preservation viability and inhibit the osteoclast activity, by *in vitro* and *in vivo* studies. This study involved five specific objectives: **Objective 1:** evaluate the effect of storage media on viability of human gingival fibroblasts (HGF) by multiparametric cytotoxic assay; and, on the external superficial of bovine root dentine by FTIR analysis. **Objective 2:** evaluate the periodontal healing process quantitatively and qualitatively of dog teeth replanted after storage in two different formulations of powdered coconut water by histomorphometric analysis. **Objective 3:** evaluate the effect of lectin (ScLL), stimulated with LPS, on the viability, proliferation and release of IL-10 in HGF. **Objective 4:** evaluate the effect of 15d-PGJ<sub>2</sub> and ScLL in HGF LPS-stimulated on viability, and release of IL-6 and TGFβ-1. **Objective 5:** evaluate the viability of ScLL in peripheral blood mononuclear cells (PBMC) stimulated with LPS and in murine macrophage RAW 264.7, as well as their effects on the osteoclastogenesis *in vitro*, and on the release of TNF-α and NO. Based on the results of these objectives is possible to conclude that: 1) the soy milk presented higher viability when compared with HBSS and whole milk, whereas the solutions behaved similarly on the dentine composition. Clinically the time at 1 h is a crucial factor in the prognosis of dental replantation; 2) In relation the powdered coconut water, ACP-404 I formulation was able to preserve the normal periodontium and limit the level of surface resorption. Additionally, this study demonstrated that the adjustment of the pH of coconut water is essential to maintain the normal periodontium; 3) The ScLL concentrations tested as possible immunomodulator agent were not cytotoxic, and had not effect on the cell proliferation and release of IL-10 parameters; 4) In the others analysis assay, the concentration of ScLL 5 µg/ml did not interfere in the cell viability. In relation to release of IL-6 parameter, ScLL 2 µg/ml and 15d-PGJ<sub>2</sub> 1 µg/ml demonstrated the lowest levels of this

inflammatory cytokine, and all the tested substances had no effect on the release of TGF $\beta$ -1; 5) Finally, ScLL in the concentration 5  $\mu$ g/ml suppressed the *in vitro* osteoclastogenesis, without interfering in the PBMC and murine osteoclast precursors viability, and no presented effect on the release of TNF- $\alpha$  and NO. Therefore, it is the first step to evaluate the use of ScLL as immunomodulatory agent to prevent the resorption in avulsed teeth, and in the future their association with the powdered coconut water, which may open up new perspectives innovation and transferring of technology with the generation of the new products for treating avulsed teeth.

# **Introdução**

## **E Referencial Teórico**

---

## 1. INTRODUÇÃO E REFERENCIAL TEÓRICO

A avulsão dentária é caracterizada pelo deslocamento completo do dente do alvéolo, sendo considerada uma das formas mais severas de traumatismo dento-alveolar (Gopikrishna *et al.* 2008a). Este tipo de trauma acomete principalmente crianças e adolescentes, com incidência de 16% de todas as lesões traumáticas (Andreasen, 1970). Neste tipo de lesão ocorre comprometimento do suprimento neurovascular, o que pode resultar em danos à estrutura do periodonto e perda da vitalidade pulpar (Martin & Pileggi, 2004). O tratamento ideal é o reimplante imediato que deve ser realizado o mais próximo possível da ocorrência do trauma. Para obtenção de melhor prognóstico, é imperioso que o dente permaneça o menor tempo possível fora do alvéolo e que o meio de armazenagem seja adequado (Martin & Pileggi, 2004). Entretanto, na maioria dos casos de avulsão, o dente é reimplantado após longo período extra-alveolar, sendo muitas vezes mantido seco ou em meio inadequado (Soares *et al.* 2008; Andersson *et al.* 2012). Em busca de minimizar futuras complicações como anquilose e reabsorção por substituição, as quais se figuram entre as principais causas de insucesso no reimplante, podendo levar a perda do elemento dental, o dente deve ser armazenado em meio que seja capaz de manter a viabilidade das células do ligamento periodontal (Gopikrishna *et al.* 2008a; Souza *et al.* 2011). O meio de armazenagem ideal deve ter pH apropriado, cerca de 7.0, osmolaridade fisiológica, e conter substâncias nutritivas tais como, aminoácidos, vitaminas e proteínas que permitam a manutenção de sua vitalidade celular (Pearson *et al.* 2003).

A Solução Salina Balanceada de Hank's (HBSS) tem sido recomendada como meio de armazenagem para dentes avulsionados pela Associação Americana de Endontistas (AAE) (Andersson *et al.* 2012), entretanto este meio não está prontamente disponível para a população (Moazami *et al.* 2012). O leite bovino é outra solução amplamente aceita como meio de armazenagem para dentes avulsionados, mantendo a viabilidade das células LP por longos períodos (Souza *et al.* 2010; Souza *et al.* 2011). Estudos têm sido realizados indicando o leite de soja como meio de armazenagem alternativo (Moazami *et al.* 2012; Moura *et al.* 2012; Silva *et al.* 2013), devido a presença de

minerais e vitaminas, e ao consumo de produtos à base de soja ter aumentado em muitos países.

Considerando todas estas propriedades que devem ser levadas em consideração na escolha de um meio de armazenagem adequado, estudos têm proposto a água de coco como meio para armazenagem e transporte de dentes avulsionados (Gopikrishna *et al.* 2008a; Gopikrishna *et al.* 2008b; Moreira-Neto *et al.* 2009; Souza *et al.* 2011). A água de coco é rica em aminoácidos essenciais, proteínas, vitaminas, minerais, eletrólitos e açúcares, os quais são responsáveis por sua alta osmolaridade. Estes nutrientes são fatores importantes para a preservação da viabilidade das células LP (Gopikrishna *et al.* 2008a; Gopikrishna *et al.* 2008b). Entretanto, a água de coco possui pH ácido, fator deletério para o metabolismo celular (Moreira-Neto *et al.* 2009; Silva *et al.* 2013; Moura *et al.* 2014; de Paula Reis *et al.* 2014). Substâncias como  $\text{NaHCO}_3$  (Gopikrishna *et al.* 2008b; Soares *et al.* 2016) e trietanolamina (Moura *et al.* 2014; de Paula Reis *et al.* 2014; Soares *et al.* 2016) têm sido testadas para neutralizar o pH da água de coco, o que permitiria seu uso como meio de armazenagem para dentes avulsionados. No entanto, a neutralização da água de coco para obter pH de aproximadamente 7,0 não é acessível em condições domésticas, pois seria necessário o uso de um medidor de pH. Apesar dos resultados promissores, obtidos *in vitro* (Moreira-Neto *et al.* 2009; Moura *et al.* 2014; Soares *et al.* 2016) e *in vivo* (de Paula Reis *et al.* 2014) em estudos nos quais o pH da água de coco foi neutralizado, é importante considerar as limitações deste produto, tais como pH ácido e rápida deterioração mesmo em embalagem longa-vida. Diante disso, foi desenvolvido um meio de preservação feito a partir da água de coco, porém na forma em pó (ACP-404), a qual já possuiria valores de pH e osmolaridade ajustados. Este produto, denominado ACP-404, possui um prazo de validade de aproximadamente dois anos e é facilmente reconstituído em água filtrada, o que torna viável seu uso e distribuição como meio de armazenagem. Recentemente, nosso grupo de pesquisa avaliou três diferentes formulações de ACP-404 para preservação de células LP, o qual confirmou a habilidade desses meios em preservar as células LP e indicou seu uso como possível meio de armazenagem (Moura *et al.* 2017).

Contudo, os fatores psicológicos envolvidos no momento do acidente e principalmente, a falta de informação sobre os cuidados a serem tomados, faz com que o dente permaneça seco e seja reimplantado tardiamente (Trope, 2011; Tuna *et al.* 2014). Nestes casos, a resposta à injúria leva a uma cadeia de reações bioquímicas, na qual os fibroblastos são as primeiras células a responder aos danos causados aos tecidos (Gunraj, 1999). Essas células têm como função manter a integridade da raiz, conseqüentemente, quando ocorre algum dano às mesmas, pode comprometer a camada de cemento e dentina. Assim, precursores de células clásticas serão recrutados e ativados na presença de mediadores inflamatórios para as áreas expostas da superfície dentinária, levando à reabsorção radicular (Trope, 2011; Gunraj, 1999). Muitos agentes com possíveis propriedades antirreabsorção, tais como alendronato, Emdogain (Yang *et al.* 2015; Schjott *et al.* 2005), e zolendronato (Choi *et al.* 2010) têm sido estudados para tratamento da superfície radicular antes do reimplante tardio. Entretanto, estes agentes apresentam resultados parcialmente satisfatórios no controle ou prevenção da reabsorção radicular (Schjott *et al.* 2005; Poi *et al.* 2007; Panzarini *et al.* 2012). Considerando que a reabsorção tem um aspecto imunoinflamatório, seria interessante avaliar substâncias capazes de modular a cascata de eventos moleculares envolvidos na ativação de células clásticas.

A partir do látex extraído da planta Euphorbiaceae *Synadenium carinatum* é obtida a lectina ligante de d-galactose (ScLL), a qual está envolvida em diversos eventos biológicos (Souza *et al.* 2013). As lectinas de forma geral, interferem em processos celulares cruciais, tais como endocitose, regulação e migração celular, e processo de defesa. No caso específico da lectina ScLL, seu uso tem sido demonstrado com sucesso em modelos de inflamação crônica (Rogerio *et al.* 2007), leishmaniose (Afonso-Cardoso *et al.* 2011) e neosporose (Cardoso *et al.* 2012). No entanto, até o presente momento, a ScLL ainda não foi avaliada em modelos envolvendo células da cavidade oral.

Outro componente com capacidade imunomodulatória já confirmada é a prostaglandina ciclopentanona, 15-Deoxy- $\Delta^{12,14}$ -PG J2 (15d-PGJ<sub>2</sub>), a qual demonstrou resultados promissores em diferentes modelos experimentais *in vitro* (Nakamura *et al.* 2013) e *in vivo* (Napimoga *et al.* 2012; Quinteiro *et al.* 2012;

Nakamura *et al.* 2013). O 15d-PGJ<sub>2</sub> possui diversas atividades fisiológicas, sendo um dos produtos da via ciclo-oxigenase (COX)-2 (Napimoga *et al.* 2012). Porém difere das outras prostaglandinas em vários aspectos, tanto quimicamente, como biologicamente, principalmente devido aos seus efeitos anti-inflamatórios (Napimoga *et al.* 2012; Quinteiro *et al.* 2012), anti-tumorais (Nakamura *et al.* 2013) e antinociceptivos (Quinteiro *et al.* 2012). Seu efeito imunomodulatório foi comprovado em modelo murino de periodontite (Napimoga *et al.* 2012), no qual 15d-PGJ<sub>2</sub> diminuiu a reabsorção óssea e a resposta inflamatória. No entanto, não foi cogitado até o momento seu possível uso para tratamento da superfície de dentes reimplantados tardiamente.

Diante do exposto, torna-se importante, além de avaliar substâncias que possam ser utilizadas como meio de transporte e armazenagem, também buscar substâncias para tratamento da raiz de dentes que permaneceram longo tempo fora do alvéolo, nos quais substâncias com capacidade imunomoduladora se fazem necessárias para auxiliar no controle das reações celulares e bioquímicas que culminarão posteriormente na reabsorção dental e insucesso do tratamento.



# Objetivos

---

## **2. Objetivos**

### **Objetivo Geral**

Avaliar o efeito de várias substâncias utilizadas como meios de armazenagem e substâncias com propriedades imunomoduladoras, na preservação da viabilidade celular e inibição da atividade clástica, por meios de experimentos *in vitro* e *in vivo*.

### **Objetivos Específicos**

#### **Objetivo específico 1**

Capítulo 1 - *Evaluation of effect of different storage media on the root dentine composition and viability of fibroblasts evaluated by different assay methods.*

Este objetivo específico avaliou o efeito dos meios de armazenagem HBSS, leite integral e leite de soja na: 1) viabilidade de fibroblastos gengivais humanos (FGH) por meio de análise de multiparamétrica da citotoxicidade; 2) e, seus efeitos na superfície externa da dentina radicular bovina em relação aos parâmetros  $-OH$  e  $-PO_4^{3-}$  por meio de análise com FTIR.

#### **Objetivo específico 2**

Capítulo 2 - *Replanted teeth stored in a newly developed powdered coconut water formula.*

Este objetivo específico avaliou histomorfometricamente o processo de reparo do periodonto de dentes de cães reimplantados após armazenagem em duas formulações diferentes de água de coco liofilizada com osmolaridade e pH ajustados.

#### **Objetivo específico 3**

Capítulo 3 - *Effect of lectin (ScLL) on fibroblasts stimulated with LPS – an in vitro study.*

Este objetivo específico avaliou o efeito da lectina (ScLL), na viabilidade, proliferação e liberação de IL-10 em fibroblastos gengivais estimulados com LPS.

#### **Objetivo específico 4**

Capítulo 4 - *Effect of ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> on fibroblasts stimulated-LPS on cell viability and cytokine release – an in vitro study.*

Este objetivo específico avaliou o efeito de 15d-PGJ<sub>2</sub> e ScLL em fibroblastos gengivais estimulados com LPS quanto a viabilidade, e liberação de IL-6 e TGFβ-1.

#### **Objetivo específico 5**

Capítulo 5 - *Effects of Lectin (ScLL) on osteoclast maturation – an in vitro study.*

Este objetivo específico avaliou a viabilidade de células mononucleares de sangue periférico humano estimuladas com LPS e macrófagos murinos RAW 264.7, tratados com ScLL, bem como seus efeitos na osteoclastogênese *in vitro*, e na liberação de TNF-α e NO.

# Capítulos

---

# Capítulos

---

## 3.1 CAPÍTULO 1

***Evaluation of effect of different storage media on the root dentine composition and viability of fibroblasts evaluated by different assay methods.***

Artigo publicado no periódico International Endodontic Journal

# Effect of different storage media on root dentine composition and viability of fibroblasts evaluated by several assay methods

M. V. P. Reis<sup>1</sup>, G. L. Souza<sup>1</sup>, C. C. G. Moura<sup>2</sup>, P. B. F. Soares<sup>3</sup> & C. J. Soares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials; <sup>2</sup>Biomechanics Research Group, Department of Endodontics; and <sup>3</sup>Biomechanics Research Group, Department of Periodontology and Implantology, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil

## Abstract

**Reis MVP, Souza GL, Moura CCG, Soares PBF, Soares CJ.** Effect of different storage media on root dentine composition and viability of fibroblasts evaluated by several assay methods. *International Endodontic Journal*.

**Aim** To perform multiparametric analysis of the effects of soya milk (SM), whole milk (WM) and Hank's balanced salt solution (HBSS) on the viability of fibroblasts (HGF). The study also aimed to evaluate the influence of these solutions on bovine root dentine according to OH<sup>-</sup> and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> on the surface.

**Methodology** The HGF cytotoxicity was determined according to XTT, NR and SRB assays at 1, 3 and 6 h. Root dentine fragments were assessed by Fourier infrared (FTIR) spectrophotometer before and after immersion in the solutions for the same periods. The positive control group included cells and tooth fragments maintained in Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM), and the negative control included tooth fragments that were kept dry. Data were analysed using ANOVA and Tukey's test.

**Results** No significant difference was found in cell viability evaluated by XTT ( $P > 0.05$ ). Using the NR assay, WM and HBSS had significantly lower cell viability compared to the positive control group at 6 h ( $P < 0.05$ ). SM had similar cell viability to the positive control group at all periods evaluated when assessed using all three tests ( $P > 0.05$ ). A significant difference was found in values of OH<sup>-</sup> for the negative control group at 1 h ( $P = 0.002$ ).

**Conclusions** Soya milk promoted better cell viability, whereas on dentine composition, the solutions behaved similarly. The association of different assay methods is promising for improving cell viability analysis. The 1-h time-point is a crucial factor in the prognosis of dental replantation because the teeth remain more hydrated and help maintain cell viability.

**Keywords:** assay method, cell viability, root dentine, storage media, tooth avulsion.

Received 28 June 2016; accepted 8 December 2016

## Introduction

In cases of tooth avulsion, immediate replantation is considered the ideal treatment. However, in most situations, there is replantation delay (Gopikrishna *et al.* 2008a), which influences the prognosis.

According to the extra-alveolar dry period and storage conditions, pulp necrosis and degeneration of periodontal ligament cells (PDLs) may occur (Moraes-Neto *et al.* 2009). Therefore, to minimize the primary causes of tooth loss, ankylosis and root resorption, it is of utmost importance that the storage medium maintains PDL cell viability (Barrett & Kenny 1997, Gopikrishna *et al.* 2008a, Souza *et al.* 2011).

Hank's balanced salt solution (HBSS) and bovine milk have been recommended for tooth storage (Trope 2011, Andersson *et al.* 2012). Milk is widely

Correspondence: Carlos José Soares, Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials, Federal University of Uberlândia, Av Pará 1720, Block 4L, Campus Umuarama, Uberlândia, MG 38408-325, Brazil (e-mail: carlosjsoares@umuarama.ufu.br).

used worldwide, easy to access, is inexpensive and contains nutrients that maintain cell vitality for longer time periods (Souza *et al.* 2010). Recently, soya milk (SM) was proposed (Moazami *et al.* 2012, Moura *et al.* 2012) as an alternative storage medium. SM possesses minerals and vitamins, nourishes PDL cells and maintains their viability (Moazami *et al.* 2012). These characteristics are crucial to preserve cells, as demonstrated in various studies (Moazami *et al.* 2012, Moura *et al.* 2012, Silva *et al.* 2013). Although several reports have evaluated the influence of storage media on cell viability (Moazami *et al.* 2012, Silva *et al.* 2013, Moura *et al.* 2014), the results are conflicting. Furthermore, no study has reported the effect of these storage media on root dentine composition.

Dentine extracellular matrix consists of approximately 47% (v/v) mineral, 30% (v/v) protein and 21% (v/v) water (Legeros 1991). Additionally, the demineralized dentine surface has a lower level of mineral crystals and high surface area of organic matrix (Zhang *et al.* 2012). Type I collagen accounts for approximately 90% of the protein fraction (Magne *et al.* 2004). In cases of dental trauma, specific dentine proteins (phosphophoryn and sialoprotein) can be exposed (Hidalgo *et al.* 2005). These soluble noncollagenous proteins that are released from dentine can interfere with mineralization (DeSteno & Feagin 1975). The influence of storage media on dentine surfaces is important. Therefore, it would be interesting to evaluate the  $\text{OH}^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  parameters, which are related to a variety of the dentine components (Eliades *et al.* 2013, Feitosa *et al.* 2013), representing the water and mineralized dentine levels.

No previous study has analysed the influence of HBSS, whole milk (WM) and SM using a multiparameter cytotoxicity test in conjunction with Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis. To improve analysis of the ideal storage medium, it is necessary to use different techniques that enhance the prediction of performance on avulsed teeth. FTIR instrument has been applied within the new noninvasive method for analysing small samples. This innovation makes it possible to obtain the chemical characterization and calculate with accuracy the concentrations of the organic and inorganic elements (Khaustova *et al.* 2010, Prati *et al.* 2016).

Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effect of HBSS, WM and SM on: (i) the viability of immortalized human gingival fibroblasts (HGF) using a multiparameter cytotoxicity assay, and (ii) the

external surface of bovine root dentine in response to the connection parameters,  $\text{OH}^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ , by FTIR analysis. The null hypotheses were as follows: (i) the SM, WM, HBSS and DMEM (positive control) would exhibit similar performance for cell preservation over the short and long term, and (ii) the SM, WM, HBSS and DMEM would exhibit similar performance to dried dentine (negative control) on root dentine composition over the time.

## Materials and methods

### FTIR analysis

Intact bovine incisors were collected, the soft tissues and debris were removed, and the teeth stored in distilled water at 4 °C. The selected teeth were sectioned below the cement–enamel junction using a diamond disc (Buehler, Lake Bluff, IL, USA) to remove the crown. The root dentine specimens were obtained from the mesial root sectioned in the middle of the canal (size  $3.0 \times 3.0$  mm,  $n = 75$ ) and submitted to ultrasonic cleaning (T7, C/T, Thornton, Vinhedo, SP, Brazil) with distilled water over 20 min for each surface.

Five root dentine specimens for each group were submitted to FTIR analysis before and after immersion in the following experimental solutions: soya milk – SM (Ades Original, Unilever, Pouso Alegre, MG, Brazil), whole milk – WM (Itambé, Pirituba, SP, Brazil) and HBSS (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) with Dulbecco's modified Eagle's medium – DMEM (Vitrocell Embriolife, Campinas, SP, Brazil) as a positive control group. For the negative control group, the dentine fragments were kept dry over gauze. The specimens were maintained at room temperature for 1, 3 and 6 h; they were then prepared for FTIR measurements. The samples were dried (excess solution was removed using absorbent paper points) and the root surface was positioned on contact with the attenuated total reflectance (ATR) area. FTIR analysis was performed using the ATR-FTIR Vertex 70/80 (Bruker, Ettlingen, Germany), and the scanning range was set from 400 to  $4000 \text{ cm}^{-1}$  with a resolution of  $4 \text{ cm}^{-1}$  and 32 scan co-addition. Spectra were subjected to baseline corrections.

FTIR measurements and curve fitting analysis were performed using OPUS 6.5 software (Bruker). The following peaks were adopted for analysis:  $\text{OH}^-$  ( $3300 \text{ cm}^{-1}$ ) and  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $1020 \text{ cm}^{-1}$ ). The



calculated curve values were submitted to statistical analysis.

### Cell viability assay

HGF cells (Cell Bank of Rio de Janeiro, Federal University of Rio de Janeiro, RJ, Brazil) were cultured in 50-cm<sup>2</sup> culture flasks using DMEM supplemented with 10% foetal bovine serum (FBS) (Vitrocell Embriolife) in a humidified incubator with 5% CO<sub>2</sub> and 95% air at 37 °C until confluence. The cells were detached from the flask, counted in a hemocytometer and placed in 100 µL of DMEM in 96-well plates (Coastar Corp., Cambridge, MA, USA) at an initial density of  $2 \times 10^4$  cells well<sup>-1</sup>. The plates were incubated for 24 h to allow for cell attachment. The medium was removed from each well and replaced by one of the previously described experimental solutions. The positive control group included cells maintained in 10% DMEM. The plates were incubated for 1, 3 and 6 h; afterwards, they were prepared to evaluate cell viability using a multiparametric commercial kit (Cytotox, Xenometrix AG, Allschwil, Switzerland) according to the manufacturer's instructions. The viability according to mitochondrial dehydrogenase activity was evaluated using the XTT assay (2,3-bis-(2-methoxy-4-nitro-5-sulphophenyl)-2H-tetrazolium-5-carboxanilide). The absorbance was measured at 480 nm by a UV-vis microplate reader (Biochrom, Cambridge, UK).

The cells evaluated with the XTT test were washed and assayed with the neutral red uptake test (NR). The optical density (OD) of the supernatant was read at 540 nm. After the NR test, fixed cells were washed and the total density of adherent cells was evaluated according to the sulforhodamine B (SRB). Cells were treated with SRB solution; after washing, the dye was extracted and the OD was read at 540 nm.

### Statistical analysis

Data were subjected to analysis of normality using the Shapiro–Wilk and Levene's tests. The NR and SRB data were evaluated with log transformation followed by one-way analysis of variance (ANOVA) and then the Tukey and Dunnett tests to compare the control and experimental groups. The XTT data were not normally distributed; therefore, the Kruskal–Wallis test was used ( $P < 0.05$ ). Data for  $-\text{OH}^-$  and  $-\text{PO}_4^{3-}$  were analysed using the Kruskal–Wallis test and one-way ANOVA followed by the Tukey test, respectively. The Dunnett test was performed to

compare the control and experimental groups. The Pearson correlation test was also performed. The statistical analyses were performed using SigmaPlot 12.0 software (Systat Software, San Jose, CA, USA) with statistical significance set at a value of  $\alpha = 0.05$ .

## Results

### FTIR analysis

The mean and standard deviation values of  $\nu_1 \text{OH}^-$  and  $\nu_2 \text{PO}_4^{3-}$  are shown in Fig. 1. The  $\nu_1 \text{OH}^-$  values were significantly higher at the period of 1 h ( $P = 0.017$ ) compared to periods of 3 and 6 h in the positive control and experimental groups. However, a significant difference was found for the negative control group compared to the positive and experimental groups at 1 h ( $P = 0.002$ ). The  $\nu_2 \text{PO}_4^{3-}$  values were not significantly different between the solutions and storage time ( $P > 0.1$ ).

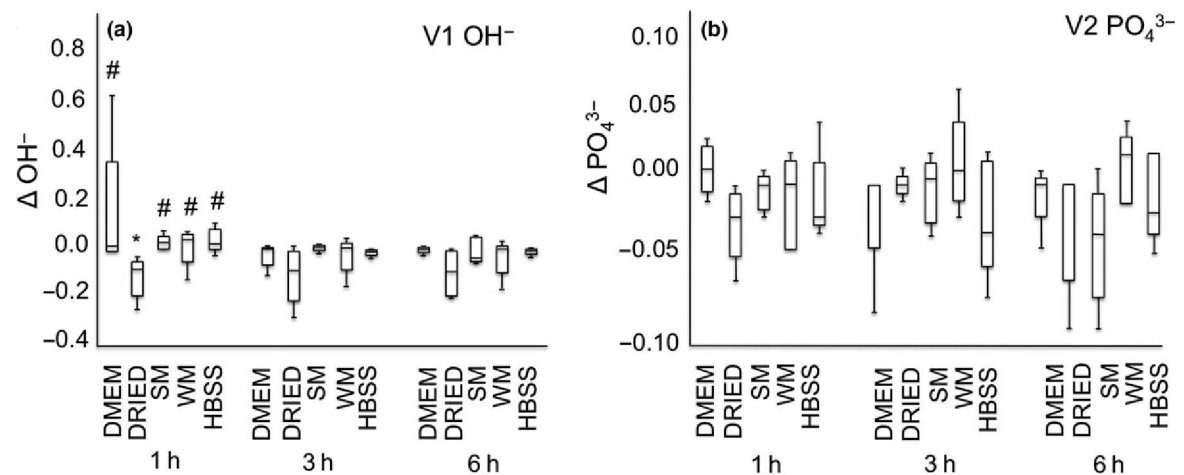
### Cell viability assay

The cell viability evaluated by XTT is shown in Fig. 2a. No significant difference was found between the experimental and control groups ( $P = 0.23$ ). The cell viability evaluated by NR is shown in Fig. 2b. At 1 h, only SM was similar to the control group ( $P = 0.151$ ). At 3 h, all groups had variability that was similar to the control group ( $P = 0.32$ ). WM had significantly lower viability than SM at 6 h ( $P < 0.001$ ), and all groups were significantly different compared to the control group at this time period ( $P < 0.001$ ), except SM, which was similar to the control group ( $P = 0.713$ ). For the viability determined by SRB (Fig. 2c), no significance difference was found between the experimental and control groups at 1 h and 3 h. At 6 h, only SM was similar to the control group ( $P = 1.000$ ).

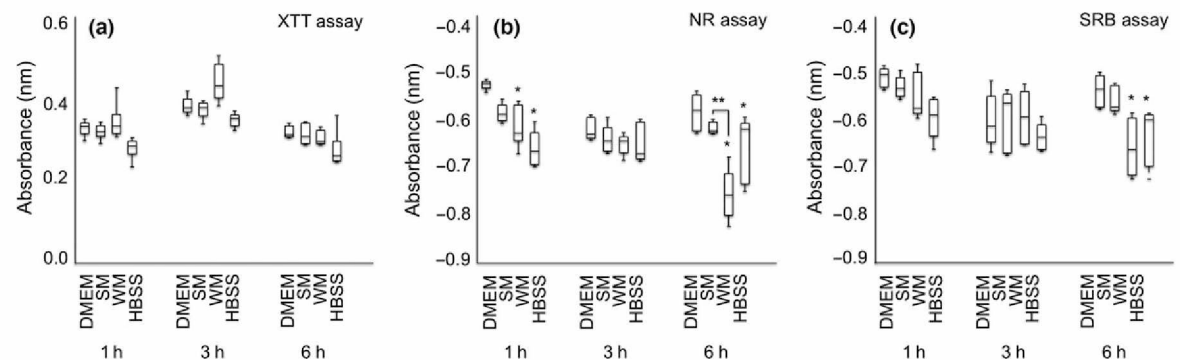
## Discussion

The first null hypothesis was accepted, because cell viability analysis performed using the XTT assay revealed similar results for all storage media compared with the positive control group (DMEM). The second null hypothesis was rejected, and the negative control (dried dentine) had lower levels of  $\text{OH}^-$  at 1 h. This study employed a multiparametric assay to evaluate the cell viability for the following three parameters: XTT, NR and SRB. The simultaneous





**Figure 1** FTIR analysis at 1, 3 and 6 h for parameters  $\text{OH}^-$  (a) and  $-\text{PO}_4^{3-}$  (b). DMEM: positive control group. Dried, negative control group; SM, soya milk; WM, whole milk; HBSS, Hank's balanced salt solution. \* $P < 0.05$  compared with positive control group (DMEM). # $P < 0.05$  compared with negative control group.



**Figure 2** Analysis of absorbance values (cell viability) at 1, 3 and 6 h by XTT (a), NR (b) and SRB (c) assay. DMEM, positive control group; SM, soya milk; WM, whole milk; HBSS, Hank's balanced salt solution. \* $P < 0.05$  compared with positive control group (DMEM). \*\* $P < 0.05$  compared between the experimental groups.

evaluation of different cell viability parameters increases the chance of detecting the possible cytotoxic effects of the storage medium on HGF cells (De-Deus *et al.* 2009, Scelza *et al.* 2012). The principle of the XTT test consists of identifying viable cells through the ability of their mitochondrial enzymes to convert XTT to a soluble salt (Scelza *et al.* 2012). Coloured substances may inhibit dehydrogenases, which can lead to erroneous results. As a consequence media without phenol red were used, increasing the sensitivity of the assay. The NR assay is based on the capacity of viable cells to integrate neutral red dye within lysosomes, and the quantity of the dye incorporated into cells is proportional to the number of cells that lack a damaged membrane. The SRB test

involves a sensitive toxicology marker; the dye electrostatically binds to cellular proteins such that the number of cells is correlated with the total protein content. The association of these methods allows for correlation of different parameters and increases the validity of the results (Scelza *et al.* 2012).

The results revealed that SM tended to perform better than WM according to the NR assay. However, previous studies revealed conflicting results about the ability of WM to maintain cell viability over time (Silva *et al.* 2013, Moura *et al.* 2014). The reduced viability of cells stored in WM may be explained by changes in their characteristics for longer periods. It has been hypothesized that the pH of milk decreases over time, which results in an inadequate environment for

preserving cell viability (Bloml f & Otteskog 1980, Moura *et al.* 2014). Furthermore, the present study used different cell models, including fibroblasts (HGF), the predominant gingival connective tissue. Despite the similarity in the morphology of fibroblasts and PDL cells, their characteristics in culture are different (Scheres *et al.* 2010). However, studies on immortalized cell cultures provide complementary models with easy reproducibility, which justifies their use.

FTIR analysis was performed to examine the changes that could occur in the composition of root dentine after storage in the media. The specimens were previously stored in distilled water alone to avoid any negative influence on dentine composition. The OH<sup>-</sup> (3720–2600 cm<sup>-1</sup>) and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (1180–920 cm<sup>-1</sup>) regions were analysed; these are associated with water and mineralized dentine, enabling examination of alterations connected to the loss of collagen and demineralization of dentine (Eliades *et al.* 2013, Feitosa *et al.* 2013). Therefore, FTIR was used to evaluate the chemical interactions and ultra-morphology changes on the dentine surface (Eliades *et al.* 2013, Feitosa *et al.* 2013), demonstrating it is a useful tool in dental research. At present, this study is the first published report of the use of FTIR to analyse the storage media used for avulsed teeth. The FTIR results demonstrated a significant decrease in OH-bonds, resulting in dehydration of the tooth with time, which may influence cell viability (Trope 2011).

The better performance of SM in most tests may be due to its nutritional properties. The process of grinding the soya beans with water preserves the proteins of the soluble carbohydrates, unsaturated fats, vitamins and minerals present in soya beans. One of the advantages of this solution compared to other products is the rich source of phyto-oestrogens such as isoflavones, including genistein, daidzein and glycitein (Nourozi *et al.* 2015). These components may positively influence cell growth and proliferation because antioxidant elements may increase the success of replantation (Buttke & Trope 2003). Antioxidant agents facilitate the decomposition of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) to water, protecting cells from oxygen radical-mediated damage (Halliwell & Gutteridge 1990). Considering the difference in the chemical composition of the storage media might increase cell viability (Gopikrishna *et al.* 2008b), studies have shown its effectiveness can also be influenced by time (Huang *et al.* 1996, Souza *et al.* 2010), which is supported by the results of the present study. Considering that avulsed teeth are generally not quickly reimplanted,

the teeth should be stored in an adequate environment until replantation (Gopikrishna *et al.* 2008a). Thus, the present study was designed to evaluate storage times of 1, 3 and 6 h to be clinically relevant. The extraoral time and storage medium are considered critical factors for prognosis of avulsed teeth (Moreira-Neto *et al.* 2009, Caglar *et al.* 2010). After avulsion, the PDL cells are deprived of blood supply, which is necessary to maintain their cell metabolism. As the prognosis of replanted teeth is correlated with the amount of viable PDL cells, the storage medium should maintain cell viability over extended periods (Caglar *et al.* 2010). In the current study, long storage periods affected cell viability considering that in the NR and SRB assay, all solutions had decreased performance at 6 h compared to the positive control group (DMEM) and only SM was similar to DMEM. In addition, FTIR analysis also confirmed the effect of storage time on dentine characteristics as the time at 1 h was associated with the best performance of all solutions for root dentine composition, and it remained more hydrated during this period. The three time periods that were evaluated correspond to storage situations that are standard (1 h), moderate (3 h) and extreme (6 h), which reduce the effectiveness of the storage media. Extrapolating the results to clinical practice, it may be inferred that even in storage solutions with power nutrients, the tooth should not be stored for periods exceeding 1 h, which probably compromises the prognosis of replantation. Despite the favourable results found in this preliminary study, more studies need to be conducted *in vitro* and *in vivo* with different methodologies to evaluate the capacity of these media to safely transport avulsed teeth.

## Conclusion

Soya milk performed better in maintaining cell viability, whereas the solutions behaved similarly with respect to the dentine composition. The comparison of different assay methods is promising for improving cell viability analysis. The time at 1 h is a clinically crucial factor in the prognosis of dental replantation because the teeth remain better hydrated, contributing to the maintenance of cell viability.

## Acknowledgements

This study was supported by the Research Support FAPEMIG APQ 02145-14, Foundation of the State of Minas Gerais, CNPq 474505/2013-8 and CAPES.



## Conflict of interest

The authors have stated explicitly that there are no conflict of interests in connection with this article.

## References

- Andersson L, Andreasen JO, Day P *et al.* (2012) 1. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dental Traumatology* **28**, 88–96.
- Barrett EJ, Kenny DJ (1997) Avulsed permanent teeth: a review of the literature and treatment guidelines. *Endodontics Dental Traumatology* **13**, 153–63.
- Blomlöf L, Otteskog P (1980) Viability of human periodontal ligament cells after storage in milk or saliva. *Scandinavian Journal of Dental Research* **88**, 436–40.
- Buttke TM, Trope M (2003) Effect of catalase supplementation in storage media for avulsed teeth. *Dental Traumatology* **19**, 103–8.
- Caglar E, Sandalli N, Kusec OO *et al.* (2010) Viability of fibroblasts in a novel probiotic storage media. *Dental Traumatology* **26**, 383–7.
- De-Deus G, Canabarro A, Alves G, Linhares A, Senne MI, Granjeiro JM (2009) Optimal cytocompatibility of a bio-ceramic nanoparticulate cement in primary human mesenchymal cells. *Journal of Endodontics* **35**, 1387–90.
- DeSteno CV, Feagin FF (1975) Effect of matrix bound phosphate and fluoride on mineralization of dentine. *Calcified Tissue International* **17**, 151–9.
- Eliades G, Mantzourani M, Labella R, Mutti B, Sharma D (2013) Interactions of dentine desensitisers with human dentine: morphology and composition. *Journal of Dentistry* **41**, S28–39.
- Feitosa VP, Bazzocchi MG, Putignano A *et al.* (2013) Dicalcium phosphate ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) precipitation through ortho- or meta-phosphoric acid-etching: effects on the durability and nanoleakage/ultra-morphology of resin-dentine interfaces. *Journal of Dentistry* **41**, 1068–80.
- Gopikrishna V, Baweja PS, Venkateshbabu N, Thomas T, Kandaswamy D (2008a) Comparison of coconut water, propolis, HBSS, and milk on PDL cell survival. *Journal of Endodontics* **34**, 587–9.
- Gopikrishna V, Thomas T, Kandaswamy D (2008b) A quantitative analysis of coconut water: a new storage media for avulsed teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* **105**, 61–5.
- Halliwell B, Gutteridge JM (1990) The antioxidants of human extracellular fluids. *Archives Biochemistry Biophysics* **280**, 1–8.
- Hidalgo MM, Itano EN, Consolaro A (2005) Humoral immune response of patients with dental trauma and consequent replacement resorption. *Dental Traumatology* **21**, 218–21.
- Huang SC, Remeikis NA, Daniel JC (1996) Effects of long-term exposure of human periodontal ligament cells to milk and other solutions. *Journal of Endodontics* **22**, 30–3.
- Khaustova S, Shkurnikov M, Tonevitsky E, Artyushenko V, Tonevitsky A (2010) Noninvasive biochemical monitoring of physiological stress by Fourier transform infrared saliva spectroscopy. *Analyst* **135**, 3183–92.
- Legeros RZ (1991) Calcium phosphates in enamel, dentine and bone. In: Myers HM, ed. *Calcium Phosphate in Oral Biology and Medicine*. Karger: New York, USA, pp. 108.
- Magne D, Bluteau G, Lopez-Cazaux S *et al.* (2004) Development of an odontoblast in vitro model to study dentine mineralization. *Connective Tissue Research* **45**, 101–8.
- Moazami F, Mirhadi H, Geramizadeh B, Sahebi S (2012) Comparison of soymilk, powdered milk, Hank's balanced salt solution and tap water on periodontal ligament cell survival. *Dental Traumatology* **28**, 132–5.
- Moreira-Neto JJ, Gondim JO, Raddi MS, Pansani CA (2009) Viability of human fibroblasts in coconut water as a storage medium. *International Endodontic Journal* **42**, 827–30.
- Moura CCG, Soares PBF, Reis MV, Fernandes Neto AJ, Soares CJ (2012) Soy milk as a storage medium to preserve human fibroblast cell viability: an in vitro study. *Brazilian Dental Journal* **23**, 559–63.
- Moura CC, Soares PB, de Paula Reis MV, Fernandes Neto AJ, Zanetta Barbosa D, Soares CJ (2014) Potential of coconut water and soy milk for use as storage media to preserve the viability of periodontal ligament cells: an in vitro study. *Dental Traumatology* **30**, 22–6.
- Nourozi M, Haghollahi F, Ramezanzadeh F, Hanachi P (2015) Effect of soy milk consumption on quality of life in Iranian postmenopausal women. *Journal of Family & Reproductive Health* **9**, 93–100.
- Prati S, Sciutto G, Bonacini I, Mazzeo R (2016) New frontiers in application of FTIR microscopy for characterization of cultural heritage materials. *Topics in Current Chemistry* **374**, 26.
- Scelza MZ, Linhares AB, da Silva LE, Granjeiro JM, Alves GG (2012) A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of endodontic sealers with primary human osteoblasts. *International Endodontic Journal* **45**, 12–8.
- Scheres N, Laine ML, de Vries TJ, Everts V, van Winkelhoff AJ (2010) Gingival and periodontal ligament fibroblasts differ in their inflammatory response to viable *Porphyromonas gingivalis*. *Journal of Periodontal Research* **45**, 262–70.
- Silva EJ, Rollemberg CB, de Souza Coutinho-Filho T, Zaia AA (2013) A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of soy milk with different storage media. *Dental Traumatology* **29**, 319–22.
- Souza BDM, Lückemeyer DD, Felipe WT, Simões CM, Felipe MC (2010) Effect of temperature and storage

- media on human periodontal ligament fibroblast viability. *Dental Traumatology* **26**, 271–5.
- Souza BD, Lückemeyer DD, Reyes-Carmona JF, Felipe WT, Simões CM, Felipe MC (2011) Viability of human periodontal ligament fibroblasts in milk, Hank's balanced salt solution and coconut water as storage media. *International Endodontic Journal* **44**, 111–5.
- Trope M (2011) Avulsion of permanent teeth: theory to practice. *Dental Traumatology* **27**, 281–94.
- Zhang X, Neoh KG, Lin CC, Kishen A (2012) Remineralization of partially demineralized dentine substrate based on a biomimetic strategy. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* **23**, 733–42.

# Capítulos

---

## 3.2 CAPÍTULO 2

*Replanted teeth stored in a newly developed powdered coconut water formula.*

Artigo a ser enviado para publicação no periódico Dental Traumatology

## **Replanted teeth stored in a newly developed powdered coconut water formula**

Manuella Verdinelli de Paula Reis,<sup>a</sup> Camilla Christian Gomes Moura,<sup>b</sup> Aletheia Moraes Rocha,<sup>a</sup> Priscilla Barbosa Ferreira Soares,<sup>c</sup> Cristiane Clemente de Mello Salgueiro,<sup>d</sup> Márcia Helena Niza Ramalho Sobral,<sup>d</sup> Carlos José Soares <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>b</sup> Department of Endodontics, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>c</sup> Department of Oral and Maxillofacial Surgery and Implantology, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>d</sup> Veterinary Sciences Institute, Ceará State University, Fortaleza, Brazil.

**Running title:** Storage of the avulsed teeth

**Keywords:** Avulsed tooth, histologic analysis, replantation, storage media

### **\*Corresponding Author**

Prof. Carlos José Soares, DDS, MSc, PhD

Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials,

Federal University of Uberlândia, MG, Brazil

Av Pará 1720, Campus Umuarama, Block 4L, annex B, Uberlândia, MG, Brazil.

Zip-Code: 38405-328

E-mail address: carlosjsoares@ufu.br

## ABSTRACT

**Introduction:** A newly developed powdered coconut water formula (ACP-404) has been proposed to preserve periodontal ligament cell viability. This study investigated the periodontal healing process of dog teeth replanted after storage in ACP-404 with two different osmolalities (ACP-404 I, ACP-404 II), in coconut water long-shelf (CW), or in pH-neutralized coconut water long-shelf (pH-CW) by histomorphometric analysis compared with immediate replantation and dry conditions.

**Methods:** Sixty roots of 10 adult beagle dogs were extracted and randomly subjected to the following protocols: immediate replantation after extraction (positive control); dry conditions (negative control); and storage in ACP-404 I, ACP-404 II, CW, or pH-CW for 50 minutes before replantation. The animals were euthanized 28 days postoperatively and processed for histomorphometric analysis using an optical microscope. The data were statistically analysed using the Kruskal-Wallis test with post-analysis using Dunnett's test.

**Results:** ACP-404 I and pH-CW performed similarly to the positive control group in the normal periodontium condition ( $p < 0.05$ ). ACP-404 I presented the lowest level of surface resorption compared to the other groups ( $p < 0.05$ ). However, all storage solutions had similar periodontal conditions for repaired resorption areas, inflammatory root resorption, ankylosis, and replacement resorption ( $p > 0.05$ ).

**Conclusions:** ACP-404 I presented better performance and was able to preserve the normal periodontium and avoid higher levels of surface resorption.

**Key Words:** Avulsed tooth, histologic analysis, replantation, storage media.

## INTRODUCTION

In most cases of avulsion, the long-term prognosis of replanted teeth is influenced by significant extra-alveolar time and dry or inadequate wet storage (1, 2). Furthermore, it is known that the major causes of replantation failure and tooth loss are associated with ankylosis and root resorption (3). Thus, it is important the teeth should be stored in a medium capable of maintaining periodontal ligament (PDL) cell viability (3, 4). To allow cell survival, the potential storage medium must have nutritional substances, appropriate pH, physiological osmolality (5), and accessibility (6). Considering these requirements, studies have proposed coconut water (CW) as a storage medium for avulsed teeth (3, 4, 7). CW contains amino acids, proteins and minerals, which are essential for nourishing and preserving the viability of PDL cells (4). However, CW possesses an acid pH that compromises cell metabolism (3, 8), and thus it is important to use some substance able to maintain a neutral pH for a long time (7, 9). Considering this requirement, studies have been performed using  $\text{NaHCO}_3$  (7) and triethanolamine (9-12) to neutralize the pH of CW, allowing its use as a storage media for avulsed teeth. However, it is not possible to adjust the pH of CW to 7.0 in domestic conditions. To address this limitation, a powdered coconut water (ACP-404) with adjusted pH and osmolality was developed, which can be reconstituted in filtered water. Recently, an *in vitro* study was conducted using three different formulations of ACP-404 for PDL cell preservation, which confirmed its ability to preserve PDL cells and indicated its use as a storage medium (11). However, until now, no *in vivo* study has been performed evaluating the effects of ACP-404 as a storage medium for avulsed teeth. As *in vitro* studies need to be validated by *in vivo* animal analysis before clinical tests, the purpose of the current study was to evaluate the healing process of dog teeth replanted after storage in two different formulations of ACP-404, with neutral pH and different osmolalities values (closer to that of blood plasma; and greater than this value), by histomorphometrical analysis. The null hypotheses were 1) ACP-404 I and ACP-404 II used as storage media for avulsed teeth would exhibit similar performance to pH-CW neutralized with triethanolamine and 2) ACP-404 I and ACP-404 II are similar to immediate replantation.



## MATERIALS & METHODS

This study was approved by the local Animal Ethics Committee (Protocol No. 101). A total of ten adult beagle dogs of 18 months of age and weighing 5.55 – 7.10 kg were used. Sixty mature incisors were selected for extraction and were randomly assigned to the groups, totalling 10 teeth in each group. The animals were pre-anesthetized intramuscularly with atropine sulphate base (Atropion; Ariston Indústrias Químicas e Farmacêuticas, São Paulo, SP, Brazil; 0.04 mg/kg body weight). Then, the animals were anesthetized by intramuscular injection using xylazine hydrochloride (Anasedan; AgriBrands Ltda, São Paulo, SP, Brazil; 1 mg/kg body weight) and a 1:1 combination of tiletamine hydrochloride and zolazepam hydrochloride (Zoletil 50; Virbac S.A., Carros, France; 50 mg/kg body weight). As a complementary local anaesthetic, 2% mepivacaine (DFL; Indústria de Comércio S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brazil) was administered (Sottovia et al., 2010). The teeth were extracted using elevators and forceps as atraumatically as possible and immediately stored in the experimental solutions at room temperature for 50 minutes: CW long-shelf (Ducoco, Linhares, ES, Brazil; 445 mOsm kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, pH 4.88); pH-CW long-shelf with the pH adjusted using triethanolamine (Bothânica, Uberlândia, MG, Brazil; 443 mOsm kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, pH 7.27); and ACP-404 I (250 mOsm kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, pH 7.0); ACP-404 II (372 mOsm kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, pH 7.0). The ACP-404 formulations were prepared with 100 mL of filtered H<sub>2</sub>O. The positive control group consisted of immediately replanted teeth, which were only irrigated with a 0.9% saline solution (0.9% sodium chloride, Drogasil S.A, Uberlândia, MG, Brazil). For the negative control group, the crown was attached to a piece of wax, and the root was exposed to air for 50 minutes.

After this time, the teeth were replanted in the socket using light finger pressure and splinted with semi-rigid contention for 14 days. After 28 days, the dogs were euthanized using a massive dose of intravenous sodium pentobarbital at 100 mg/kg body weight, and the replanted teeth were removed in blocks. The specimens were fixed in a 10% formalin solution for 48 h, decalcified in 10% formic acid, separated into thirds (cervical, middle, and apical), and embedded in paraffin. The samples were sectioned perpendicular to the long axes of the roots in step-serial sections (5 µm) at approximately 100 µm intervals and stained with haematoxylin and eosin.

### **Histomorphometrical Analysis**

Five sections per root third (fifteen per root) were analysed around the entire perimeter. The images of the root were captured under 4x magnification using a digital camera (DXM-1200, Nikon, Tokyo, Japan) attached to an optical microscope (Nikon Eclipse E200). All of the root perimeters were measured using the Motic Images Advanced 3.2 software (Moticam Pro 252B, Tokyo, Japan). The roots were analysed according to the characteristics observed in the normal periodontium, repaired resorption areas, inflammatory root resorption, ankylosis, replacement resorption, and surface resorption (10; Table 1). The total perimeter and the perimeter corresponding to each event were measured in micrometres and transformed into percentages for statistical analysis.

### **Statistical Analysis**

The data were analysed for normality using the Shapiro-Wilk test and equality of variances using Levene's test. The significance of the difference among the groups was determined by Kruskal-Wallis test ( $p < 0.05$ ). Dunnett's test was used to define significant differences for each periodontal condition between experimental groups compared with the controls ( $p < 0.05$ ). The statistical analysis was performed using the Sigma Plot 12.0 software (Systat Software, San Jose, CA, USA), and statistical significance was accepted at  $\alpha=0.05$ .

## **RESULTS**

### **Histomorphometrical Analysis**

The normal periodontium condition was significantly higher for the ACP-404 I group than for the CW and ACP-404 II groups ( $p < 0.001$ ; Fig. 1A). When was compared the positive control group with all groups, similar normal periodontium conditions was found, except for the CW and negative control groups ( $p < 0.001$ ; Fig. 1A), which showed similar results to each other. The level of surface resorption was significantly lower for ACP-404 I group than for the other experimental groups ( $p < 0.001$ ; Fig. 1B). The ACP-404 I and pH-CW groups presented similar levels of surface resorption to the positive control group ( $p < 0.001$ ; Fig. 1B). The highest levels of surface resorption were found in the negative control group ( $p < 0.001$ ; Fig. 1B). All storage solutions resulted in similar periodontal conditions for the repaired resorption areas, inflammatory root resorption,

ankylosis, and replacement resorption ( $p > 0.05$ ; Fig. 1C-F). Illustrative images of the periodontal conditions evaluated are shown in Fig. 2A-F.

## DISCUSSION

The first null hypothesis was partially accepted, as ACP-404 II performed similarly to pH-CW, which was previously demonstrated to be an effective storage medium *in vivo* (10) and *in vitro* (9) studies. However, the ACP-404 I formulation presented lower levels of surface resorption than pH-CW. The second hypothesis was rejected as teeth stored in ACP-404 II showed significantly more surface resorption than immediately replanted teeth (positive control group). In fact, ACP-404 II also presented higher values of surface resorption than ACP-404 I, which indicates that the former solution is probably more effective as a storage medium. On the other hand, both ACP-404 formulas exhibited similar abilities to maintain normal periodontium to the positive control, which mimics immediate replantation. These findings corroborate with previous *in vitro* results (11) demonstrating that ACP-404 I and ACP-404 II exhibited similar levels of ability to maintain cell viability to the positive control group, which represents the best clinical situation in cases of avulsion (13-15).

The differences observed in histomorphometric analysis between ACP-404 I and pH-CW may be related to different pH control systems. The group pH-CW, which used triethanolamine as a neutralizer agent, was included in the current research due to favourable results in previous studies (9-12). However, the use of this substance as a neutralizing agent is not feasible under home and school conditions. Additionally, CW presents rapid deterioration even in the long-shelf preparation, rendering its use as a tooth preservation medium unfeasible. Considering these limitations, it was proposed the development of a product with pre-established pH and osmolality, able to maintain the excellent nutritional properties of CW, with a longer shelf-life and the ability to be stored for long periods – ACP-404. Initially, three different formulations were proposed, with osmolalities ranging from 250 to 372 mOsm kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O (ACP-404 I, ACP-404 II, and ACP-404 III). However, the *in vitro* results (11) showed poorer performance by the ACP-404 III formulation (300 mOsm kg<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, pH 7.4), which was excluded in this study. Those findings were probably attributable to the sodium phosphate dibasic anhydrous used as a pH neutralizer in the ACP-404 III formulation, rendering it inadequate for preserving the viability of periodontal ligament cells. However, the formulations ACP-404 I and ACP-

404 II, which presented similar results *in vitro* (11), showed statistically significant differences in the current study regarding the normal periodontium condition and surface resorption. The findings confirm the need for *in vivo* studies to validate the results obtained *in vitro*. Considering that the two different formulas ACP-404 I and ACP-404 II were subjected to the same pH control system (using glycine), the differences observed in the histomorphometric analysis may have some relation to the differences in osmolality. Though the influence of osmolality on cell survival was initially discarded in the *in vitro* analysis (11), the methodology used in that study did not allow evaluation the interaction between other cell elements present in the periodontal membrane that participate in the immunological response related to periodontal healing or root resorption (10,16).

The unfavourable performance of CW, similar to dry conditions (negative control), with higher values of surface resorption, is probably related to its acidic pH, which affects cell metabolism (3, 4). Though the current literature shows conflicting results regarding the potential use of CW as a storage medium (3-5, 17, 18), recent studies confirm the importance of adjusting the pH of the CW (7, 10-12), which has proven to be an essential step for its use as an interim storage medium for avulsed teeth. On the other hand, the percentages of ankylosis and replacement resorption in the CW and negative control groups were extremely low and showed no differences from the other experimental groups. These findings were especially surprising in the negative control group because the teeth were not placed in any storage solution for 50 minutes. Although it is not possible to state the reasons for these results, it is possible that the vast experience of the surgical team resulted in minimal trauma during the extraction of the teeth, which limited the damage to the PDL cells and cement, consequently contributing to the prognosis of replantation. Another factor that probably contributed to the low percentage of unfavourable events in all studied groups was the short time during which the teeth were out of the alveolus, which may have limited the damage to the cells. This period was chosen according to previous *in vivo* researches using animal model to avulsion (10, 14). Regarding the lack of inflammatory resorption, it was expected to be minimal in all studied groups, as demonstrated previously in a study using similar methodology (10). Despite the pulp necrosis observed in all sections, these findings support the idea that endodontic treatment can be postponed for up to 40 days without impairing the periodontal healing (19). However, this experimental model was used under aseptic

conditions, and in the clinical practice, the avulsed teeth are susceptible to contamination depending on the conditions of the accident, reducing the period recommended for endodontic treatment to 10 days (2). Despite the limitations of preclinical models using animals, this step is essential for improving patient treatment outcomes. Dogs are often used as a model for replantation as they show similar wound-healing processes to humans (20).

Though the methodology used in this study did not exactly determine the mechanisms responsible for the higher levels of normal periodontium and lower levels of resorption under the hyposmotic conditions observed in the teeth previously stored in ACP-404-I. The current findings are satisfactory for selecting this formulation as a potential commercial product for the storage of avulsed teeth.

## **CONCLUSION**

This *in vivo* study confirmed the potential of ACP-404 I as a possible new storage medium for avulsed teeth, which was able to preserve the normal periodontium and limit the level of surface resorption. Additionally, this study demonstrated that the adjustment of the pH of coconut water is essential to maintain the normal periodontium.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This study was supported by grants from FAPEMIG APQ 02145-14, CAPES and CNPq 474505/2013-8. The authors report no conflicts of interest related to this study.

## **REFERENCES**

1. Soares Ade J, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC, de Souza-Filho FJ. Relationship between clinical-radiographic evaluation and outcome of teeth replantation. *Dent Traumatol* 2008;124: 183-8.
2. Andersson L, Andreasen JO, Day P et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dent Traumatol* 2012;28:88-96.
3. Souza BD, Lückemeyer DD, Reyes-Carmona JF, Felipe WT, Simões CM, Felipe MC. Viability of human periodontal ligament fibroblasts in milk, Hank's

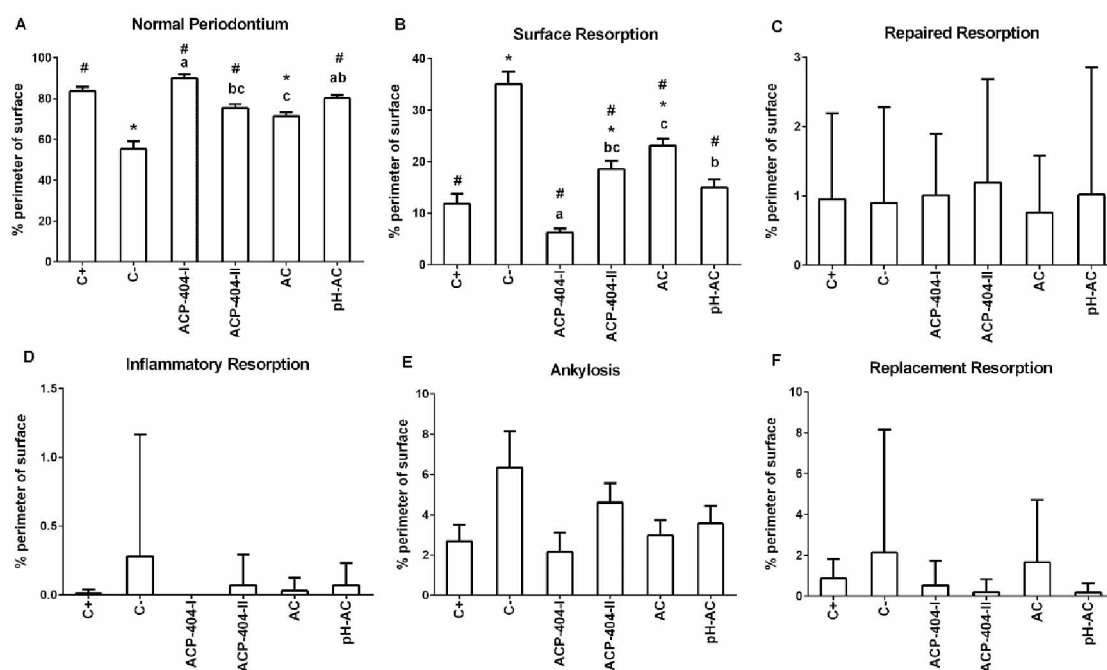
- balanced salt solution and coconut water as storage media. *Int Endod J* 2011;44:111-5.
4. Gopikrishna V, Thomas T, Kandaswamy D. A quantitative analysis of coconut water: a new storage media for avulsed teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008a;105:61-5.
  5. Pearson RM, Liewehr FR, West LA, Patton WR, McPherson JC 3rd, Runner RR. Human periodontal ligament cell viability in milk and milk substitutes. *J Endod* 2003;29:184–6.
  6. Huang SC, Remeikis NA, Daniel JC. Effects of long-term exposure of human periodontal ligament cells to milk and other solutions. *J Endod* 1996;22:30-3.
  7. Moreira-Neto JJ, Gondim JO, Raddi MS, Pansani CA. Viability of human fibroblasts in coconut water as a storage medium. *Int Endod J* 2009;42:827-30.
  8. Silva EJ, Rollemberg CB, de Souza Coutinho-Filho T, Zaia AA. A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of soy milk with different storage media. *Dent Traumatol* 2013;29:319-22.
  9. Moura CC, Soares PB, de Paula Reis MV, Fernandes Neto AJ, Zanetta Barbosa D, Soares CJ . Potential of coconut water and soy milk for use as storage media to preserve the viability of periodontal ligament cells: an in vitro study. *Dent Traumatol* 2014;30:22-6.
  10. de Paula Reis MV, Moura CC, Soares PB et al. Histologic and micro-computed tomographic analyses of replanted teeth stored in different kind of media. *J Endod* 2014;40:665-9.
  11. Moura CC, Soares PB, Reis MV, et al. Powdered coconut water as a storage medium to preserve the viability of periodontal ligament cells: a laboratory study. *Int Endod J* 2017;50:84-89.
  12. Soares PBF, Rocha AM, Reis MVP, Moura CCG, Soares CJ. Evaluation of coconut water neutralized by different agents on the viability of human fibroblasts: an in vitro study. *Rev Odontol UNESP* 2016;45:234-9.
  13. Andreasen JO. Effect of extra-alveolar period and storage media upon periodontal and pulpal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Int J Oral Surg* 1981;10:43–53.

14. Andreasen JO, Kristerson L. The effect of limited drying or removal of the periodontal ligament. Periodontal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Acta Odontol Scand* 1981;39:1–13.
15. Andreasen JO, Andreasen FM, Skeie A, Hjørting-Hansen E, Schwartz O. Effect of treatment delay upon pulp and periodontal healing of traumatic dental injuries – a review article. *Dent Traumatol* 2002;18:116–28.
16. Sottovia AD, Sottovia Filho D, Poi WR, Panzarini SR, Luize DS, Sonoda CK. Tooth replantation after use of Euro-Collins solution or bovine milk as storage medium: a histomorphometric analysis in dogs. *J Oral Maxillofac Surg* 2010;68:111-9.
17. Gopikrishna V, Baweja PS, Venkateshbabu N, Thomas T, Kandaswamy D. Comparison of coconut water, propolis, HBSS, and milk on PDL cell survival. *J Endod* 2008b;34:587-9.
18. Macway-Gomez S, Lallier TE. Pedialyte promotes periodontal ligament cell survival and motility. *J Endod* 2013;39:202-7.
19. Azevedo PC, Moura CC, Zanetta-Barbosa D, Bernadineli N. Time of endodontic treatment in autogenic transplants of mature teeth: histological study in dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:287-93.
20. Andreasen JO, Andersson L. Critical considerations when planning experimental in vivo studies in dental traumatology. *Dent Traumatol* 2011;27:275-80.

**TABLE**

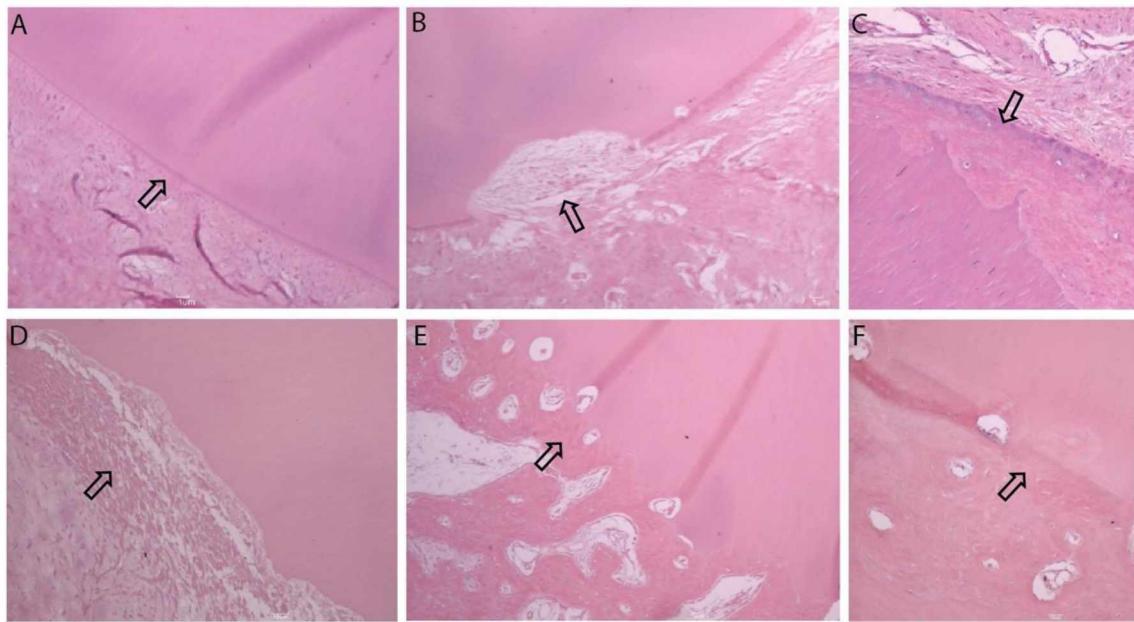
Table 1. Characterization of the phenomena evaluated.

Phenomena	Characteristics
Normal periodontium	No evidence of inflammatory cells. Presence of an intact cementum layer surface surrounded by connective tissue.
Surface resorption	Shallow areas of resorption in root, possibly extending to dentin, without inflammatory cells.
Inflammatory resorption	Extensive resorption of root accompanied by inflammatory cells, with osteoclasts generally present.
Ankylosis	Obliteration of the periodontal ligament space resulting in bone and dentin contact.
Replacement resorption	Areas of direct bony union with dentin with resorption of cementum and dentin.
Repaired resorption areas	Resorption cavities filled with cementum or cementum –like tissue.

**FIGURES****Figure 1.** Results of histological analyses of the A) Normal periodontium. B) Surface resorption. C) Repaired resorption. D) Inflammatory resorption. E) Ankylosis. F)



Replacement resorption. Statistical significance was determined using Kruskal-Wallis and Dunnett's tests. Different letters compared between the experimental groups ( $p < 0.05$ ). \*  $p < 0.05$  compared with the positive control (immediate replantation). #  $p < 0.05$  compared with the negative control (dry conditions). Error bars represent the standard deviation of the mean.



**Figure 2.** Histological images of A) Normal periodontium – organized PDL with collagen fibres and cementum layer (arrow). B) Surface resorption with cavity areas (arrow). C) Presence of reparative tissue (arrow) and delayed reorganization of PDL fibres. D) Inflammatory root resorption area with destruction of root dentin (arrow). E) The bone tissue occupies an area of resorbed dentin, characteristic of replacement resorption (arrow). F) Ankylosis areas (arrow) (magnification 10X).

# Capítulos

---

## 3.3 CAPÍTULO 3

***Effect of lectin (ScLL) on fibroblasts stimulated with LPS – an in vitro study.***

Artigo publicado no periódico Brazilian Oral Research

## Effect of lectin (ScLL) on fibroblasts stimulated with LPS – an *in vitro* study

Manuella Verdinelli de Paula REIS<sup>(a)</sup>  
Camilla Christian Gomes MOURA<sup>(b)</sup>  
Marcus Vinicius da SILVA<sup>(c)</sup>  
Maria Aparecida de SOUZA<sup>(d)</sup>  
Priscilla Barbosa Ferreira SOARES<sup>(e)</sup>  
Carlos José SOARES<sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup>Universidade Federal de Uberlândia – UFU, School of Dentistry, Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>(b)</sup>Universidade Federal de Uberlândia – UFU, School of Dentistry, Biomechanics Research Group, Department of Endodontics, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>(c)</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM, Institute of Biomedical Sciences, Department of Immunology, Uberaba, MG, Brazil.

<sup>(d)</sup>Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Institute of Biomedical Sciences, Department of Immunology, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>(e)</sup>Universidade Federal de Uberlândia – UFU, School of Dentistry, Biomechanics Research Group, Department of Periodontology and Implantology, Uberlândia, MG, Brazil.

**Declaration of Interests:** The authors certify that they have no commercial or associative interest that represents a conflict of interest in connection with the manuscript.

### Corresponding Author:

Carlos José Soares  
E-mail: carlosjssoares@ufu.br

DOI: 10.1590/1807-3107BOR-2016.vol30.0140

Submitted: Dec 8, 2015  
Accepted for publication: Jul 28, 2016  
Last revision: Nov 11, 2016

**Abstract:** The lectin (ScLL) extracted from the *Synadenium carinatum* plant has been evaluated as an immunomodulator in diseases such as asthma, neosporosis and leishmaniasis. However, it has not yet been evaluated in the oral cavity. This study evaluated the effect of ScLL on viability, proliferation and release of IL-10 in human gingival fibroblasts (HGF) stimulated with lipopolysaccharide (LPS). HGF were stimulated with LPS 1 µg/ml and treated with ScLL in concentrations of 10, 5 and 2 µg/ml for 1 and 5 h, and evaluated by flow cytometry for viability, apoptosis (initial/advanced) and necrosis. The supernatant was collected to detect release of IL-10 by ELISA. The proliferation was assessed with the BrdU assay. Positive control consisted of cells maintained in Dulbecco's Modified Eagles Medium (DMEM), and the negative control, of those kept in tap water. Data were analyzed by ANOVA and Dunnett's test ( $\alpha = 0.05$ ). No significant difference was found for ScLL concentrations regarding viability or initial and advanced apoptosis ( $p=0.455$ ). All the groups, including the positive control, had a significantly lower necrosis parameter than negative control at 5 h ( $p < 0.001$ ). No difference was found for proliferation among the experimental groups ( $p = 0.832$ ). ScLL at 5 and 2 µg/ml resulted in a lower release of IL-10 than positive and negative controls at 5 h ( $p = 0.047$ ). The results indicated that ScLL concentrations tested were not cytotoxic, and had no effect on proliferation and release of IL-10 parameters. A thorough understanding of ScLL, regarding its immunomodulatory potential, may open the door to new perspectives for dentistry.

**Keywords:** Mannose-binding Lectin; Fibroblasts; Lipopolysaccharides; Cell Survival; Tooth Avulsion.

## Introduction

Dental avulsion is considered a severe dental trauma resulting from the complete displacement of a tooth from its alveolar socket. The periodontal ligament (PDL), alveolar bone, gingival mucosa and dental pulp tissue are frequently affected.<sup>1,2</sup> The damage may be irreversible, resulting in root resorption, ankylosis or tissue necrosis, which influence tooth replantation prognosis.<sup>1,2,3</sup> Considering that immediate replantation is not always possible, it is important to preserve the PDL cells for successful replantation of the avulsed tooth.<sup>1,2</sup> Studies have been performed to determine an effective method for preserving PDL cells using different



storage media, such as Hank's Balanced Salt Solution (HBSS), milk and coconut water.<sup>2,4</sup> However, the psychological factors involved at the time of the accident, and, especially, the lack of information about first aid regarding tooth avulsion, may result in delayed replantation, which often occurs after a longer extra-alveolar dry period.<sup>1,2</sup> In these cases, the response of a tooth to an injury triggers a biochemical chain reaction; in this process, the fibroblasts are the first cells to respond to the early signs of tissue damage.<sup>5</sup> PDL cells are responsible for maintaining the integrity of the root; irritation or injury to these cells may cause damage to the cementum and dentin. Consequently, clastic cells will be attracted to the areas of the exposed dentin surface, leading to root resorption.<sup>1,3,5</sup> In addition, exposure of root dentin proteins, phosphophoryn and sialoprotein, may also cause an immunopathological reaction.<sup>6</sup>

Antiresorptive substances such as alendronate,<sup>7</sup> gallium nitrate<sup>8</sup> and Emdogain<sup>3,9</sup> have been studied for root surface treatment associated with later replantation. However, these agents yielded unsatisfactory results in controlling or preventing root resorption.<sup>3,9</sup> Considering that root resorption has an immune-inflammatory aspect,<sup>10</sup> it would be interesting to evaluate substances capable of modulating the cascade of molecular events. Although the mechanism of traumatic resorption is complex and poorly understood, osteoprotegerin (OPG) and the receptor activator of nuclear factor-kappa B ligand (RANKL) are known regulators of bone formation.<sup>10</sup> The effects of RANKL are opposite from those of OPG; consequently, the disruption of OPG/RANKL pathways leads to low bone mass, which may contribute to root resorption.<sup>11</sup> Moreover, OPG and RANKL are mediated by the Wnt signaling pathway that simultaneously downregulates RANKL and upregulates OPG in the presence of a positive stimulus.<sup>12</sup> Thus, the latter contributes to bone formation and inhibits bone resorption.<sup>12</sup> Considering that RANKL and OPG are regulated by modulators of the immune system (hormones and cytokines),<sup>10</sup> treatment of the root surface using immunomodulatory active components of medicinal plants would be a new and interesting challenge.

Latex extracted from the Euphorbiaceae *Synadenium carinatum* plant yields D-galactose binding lectin (ScLL).<sup>13</sup> Lectins are involved in several biological events, such as endocytosis, cell migration, cell regulation and immune defense processes.<sup>14</sup> The anti-inflammatory effects of ScLL have been successfully demonstrated in models of chronic inflammation,<sup>13</sup> leishmaniasis<sup>15</sup> and neosporosis.<sup>16</sup> Despite its anti-inflammatory activity,<sup>13,15,16</sup> ScLL has not been evaluated in the oral cavity until the present time. The purpose of the present study was to investigate the effect of ScLL, stimulated with *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharides (LPS), on the viability, proliferation and release of IL-10 in gingival fibroblasts. The first null hypothesis was that cells stimulated with LPS and treated with ScLL would not affect proliferation or cell viability. The second null hypothesis was that the levels of IL-10 would be the same for both treated and control groups.

## Methodology

### Cell culture

Immortalized human gingival fibroblasts (HGF) (Cell Bank of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) were used in the present study. The cells were cultured in T-50 flasks containing Dulbecco's Modified Eagles Medium (DMEM) (Vitrocell Embriolife, Campinas, SP, Brazil), supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS) (Vitrocell Embriolife), in a humidified incubator with 5% CO<sub>2</sub> and 95% air at 37°C, until confluence. The HGF were trypsinized with trypsin-EDTA (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), counted in a hemocytometer and seeded into 96-well plates (Coastar Corp., Cambridge, MA, USA) at 2 × 10<sup>4</sup> cells/well in DMEM with 10% FBS. After 24 h, the cells were stimulated with 1 µg/ml of LPS from *P. gingivalis* (Invivogen, San Diego, CA, USA) in DMEM with 10% FBS for 24 h. Then, the medium containing LPS was removed and the cells were treated with 10, 5 and 2 µg/ml of ScLL (Federal University of Uberlandia Herbarium) in a fresh, serum-free medium for 1 and 5 h. The positive control group contained the cells maintained in 10% DMEM (not LPS-stimulated), representing their physiological behavior. The negative control group contained the cells kept in tap water (LPS-stimulated), mimicking the worst clinically



occurring situation. The tests were performed with six samples per group. After the incubation period with ScLL, the culture medium supernatant was collected for IL-10 dosage by ELISA. The cells were prepared for analysis by flow cytometry.

### Flow Cytometry

This assay was performed following ScLL treatment, using an Annexin V/Dead Cell Apoptosis Kit (Invitrogen, Carlsbad, CA, USA), according to the manufacturer's instructions. The HGF were trypsinized, rinsed with phosphate-buffered saline (PBS) and re-suspended using annexin buffer. The cells were incubated using 5  $\mu$ l of annexin V and 1  $\mu$ l of propidium iodide (PI; 100  $\mu$ g/ml) for 15 minutes. Flow cytometric analysis was performed using a FACSCalibur flow cytometer (BD Biosciences, San Jose, CA, USA). The data were obtained using CellQuest 5.1 software (BD Biosciences) and analyzed using FlowJo software (Tree Star Inc., Ashland, OR, USA). The results were converted into percentages, according to medium fluorescence intensity.

### Cell Proliferation Assay

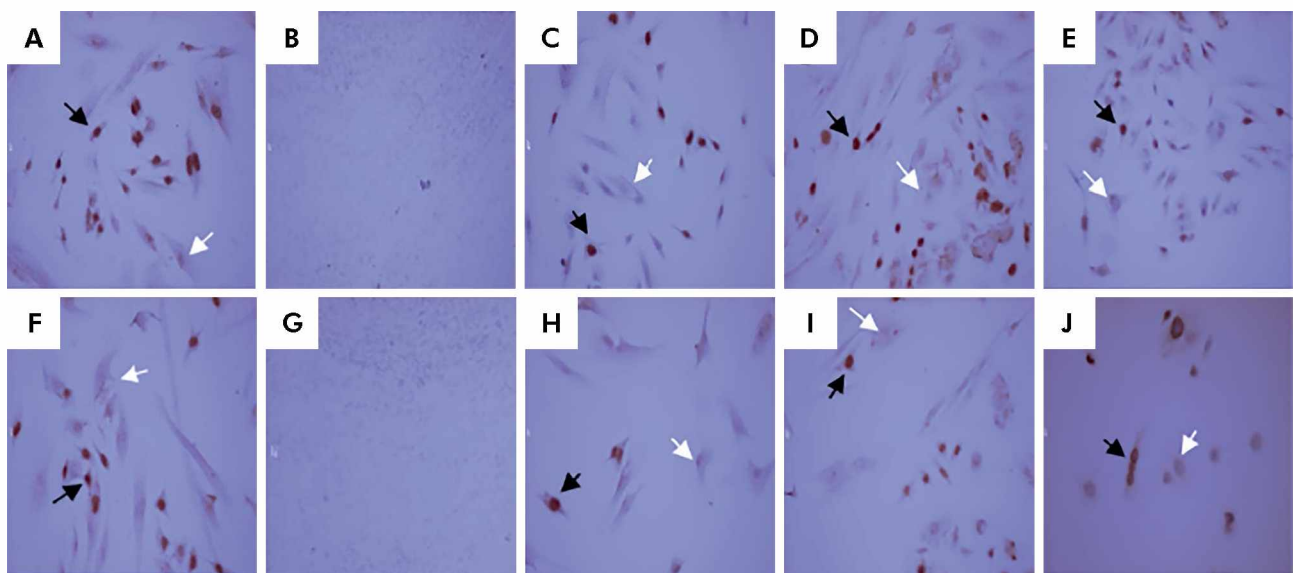
The proliferation rate of HGF cells was determined using a bromodeoxyuridine (BrdU) staining kit

(Invitrogen). Then  $2 \times 10^4$  cells were seeded on coverslips in 48-well plates for 24 h. The HGF were stimulated with or without LPS and treated with ScLL for the same duration described previously. Next, the cells were incubated in a humidified incubator with 5% CO<sub>2</sub> and 95% air at 37°C for 3 days to evaluate the proliferation potential assay. After this period, the HGF were labelled with BrdU for 24 h, fixed with methanol for 30 minutes at 4°C, and stained according to the kit procedure for cultured cells. Three samples per condition were used in this test.

Three images of each coverslip were taken at 10x magnification for analysis. The images were taken using a digital camera (DXM-1200, Nikon, Tokyo, Japan) attached to an optical microscope (Nikon Eclipse E200). The number of positive proliferative nucleic cells were counted and expressed in percentages, for statistical analysis (Figure 1 A-J).

### Cytokine Assay

The number of IL-10 cytokines released in the cell culture supernatants was evaluated using a sandwich ELISA kit (PeproTech, Rocky Hill, NJ, USA), according to the manufacturer's instructions. Absorbance was recorded using a microplate reader



**Figure 1.** BrdU assay of HGF cells showed proliferative cells represented by labeled brown nucleus (black arrow) and no labeled nucleus (white arrow). Positive control group (DMEM) at 1 h (A); Negative control group (tap water) at 1 h (B); ScLL 10  $\mu$ g/ml at 1 h (C); ScLL 5  $\mu$ g/ml at 1 h (D); ScLL 2  $\mu$ g/ml at 1 h (E); DMEM at 5 h (F); Tap water at 5 h (G); ScLL 10  $\mu$ g/ml at 5 h (H); ScLL 5  $\mu$ g/ml at 5 h (I); ScLL 2  $\mu$ g/ml at 5 h (J). 10 $\times$  magnification. Bars scale 10  $\mu$ m.

(Biochrom, Cambridge, UK) at 405 nm wavelength. The results obtained for absorbance were interpolated into a standard curve, using the Microplate Manager 4.0 software (Bio-rad, Hercules, CA, USA).

### Statistical Analysis

Data of flow cytometry (cell viability, advanced apoptosis and necrotic cells), proliferation and IL-10 were analyzed for normality and homoscedasticity using Shapiro-Wilk's and Levene's tests. The one-way ANOVA and Tukey tests were used to compare data for cell viability, advanced apoptosis, necrotic cells, proliferation and IL-10 between the treated groups. Initial apoptosis was analyzed using the Kruskal-Wallis test ( $p < 0.05$ ). Dunnett's test was used to compare the control groups (positive and negative) with the experimental groups. Statistical significance was set at  $\alpha = 0.05$ . Statistical analysis was performed using Sigma Plot 12.0 software (Systat Software, San Jose, CA, USA).

## Results

### Cell viability, apoptosis and necrosis

Figure 2A shows cell viability and standard deviations. No significant differences were found among cell viability ( $p = 0.455$ ), initial apoptosis and advanced apoptosis ( $p = 0.956$ ) for the groups treated with different concentrations of ScLL (Figure 2A-C). The percentage of necrotic cells was statistically higher for the group treated with ScLL 2  $\mu\text{g}/\text{ml}$  at 1 h, compared with the other ScLL treated groups ( $p = 0.001$ ). No significant differences were found among the groups (Figure 2D) at 5 h. All the ScLL treated groups and the negative control group had lower percentages of viable cells at 1 h and 5 h, compared with the positive control ( $p = 0.002$ ).

Regarding the initial apoptosis, no significant difference was found between the ScLL treatments and the positive control at 1 h. However, the values were significantly higher for the treated groups at 5 h, compared with the positive control ( $p < 0.001$ ). All the ScLL treated groups had significantly higher values for advanced apoptosis than the positive control ( $p < 0.001$ ) at 1 h. No statistically significant difference was found between the positive control and the ScLL treated groups at 5 h.

The percentage of necrotic cells was statistically higher for the treated group than the positive control at 1 h. However, no significant differences were found among the groups at 5 h. The negative control showed the lowest percentage of viable cells of all groups, regardless of the evaluation time ( $p < 0.001$ ). The initial apoptosis presented similar values for the ScLL treated groups and the negative control at 5 h. The advanced apoptosis values were significantly higher for the negative control group, compared with all other the groups ( $p < 0.001$ ), at 1 and 5 h. The level of necrosis for the positive control was lower than the negative control ( $p < 0.001$ ) at 1 h. All ScLL treated groups and the positive control group had significantly lower values than the negative control ( $p < 0.001$ ) at 5 h.

### Cell proliferation

Cell proliferation means and standard deviations are shown in Figure 3. Cell proliferation was similar for all experimental groups ( $p = 0.832$ ). The groups treated with ScLL 2  $\mu\text{g}/\text{ml}$  and ScLL 5  $\mu\text{g}/\text{ml}$  presented proliferation values similar to those of the positive control group, regardless of the time evaluated. The negative control group had lower values than those of the treated groups, for all tested concentrations except ScLL 10  $\mu\text{g}/\text{ml}$  at 5 h ( $p < 0.001$ ). Cell proliferation for the positive control group was significantly higher, compared with the negative control group, regardless of the time point analyzed ( $p < 0.001$ ).

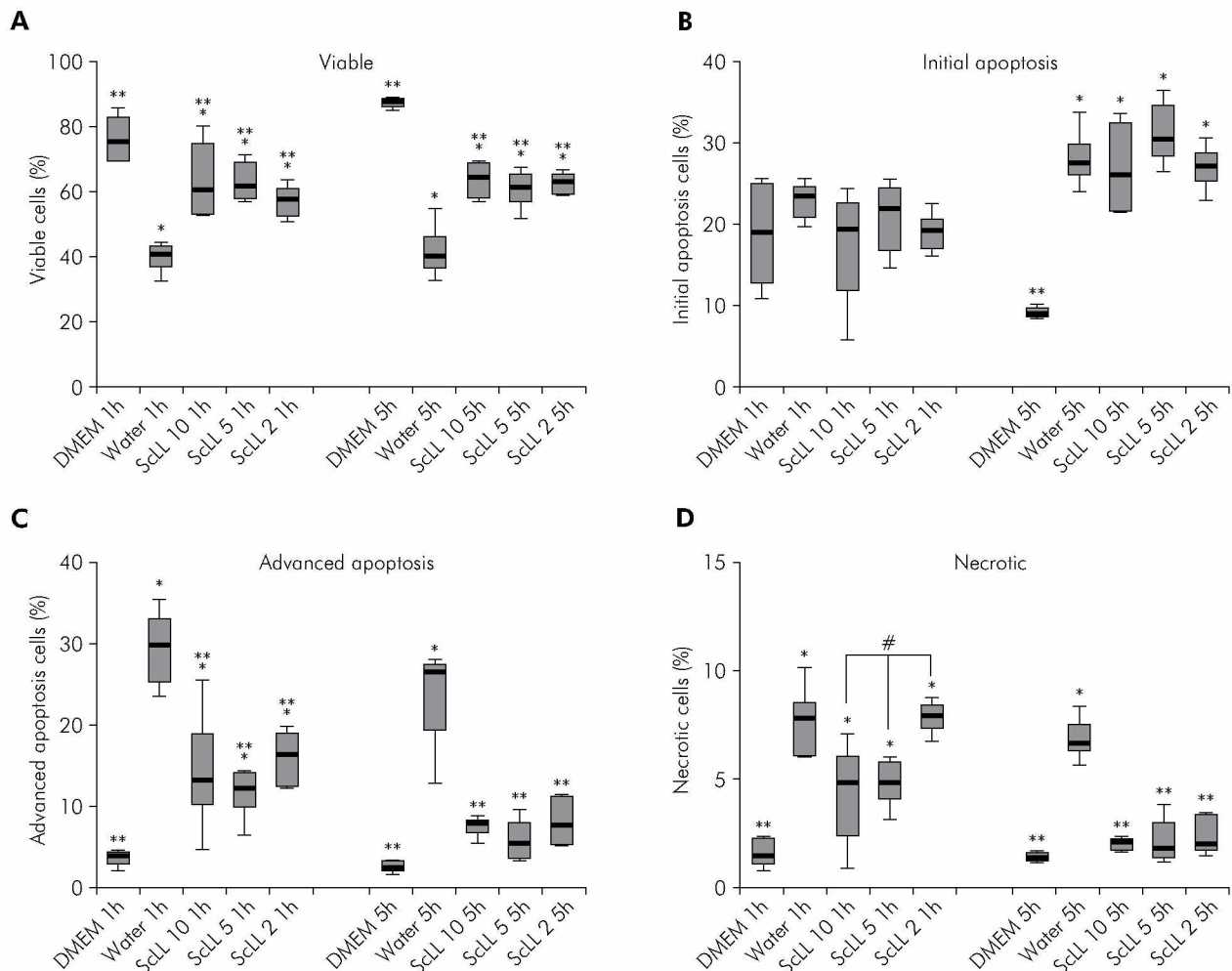
### Release of IL-10

Figure 4 shows means and standard errors for the release of IL-10. Similar values were found for the positive control and the ScLL treated groups at 1 h, except for ScLL 10  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , which showed lower IL-10 ( $p = 0.026$ ) release. ScLL treated groups had values similar to those of the negative control group at 1 h. Dunnett's test showed that treatment with ScLL 5 and 2  $\mu\text{g}/\text{ml}$  resulted in lower releases of IL-10 than those of the positive and negative control groups at 5 h ( $p < 0.001$ ).

## Discussion

The effect of different ScLL concentrations on the viability, proliferation and release of IL10 using immortalized HGF cells was evaluated in the present study. The use of immortalized cell cultures in a





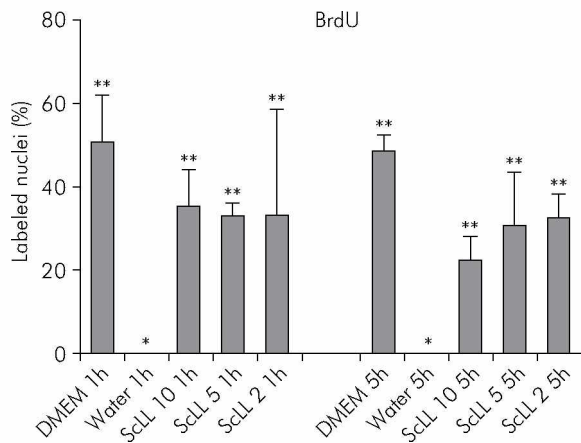
**Figure 2.** Results of flow cytometry analyses of the percentage of viable cells at 1 and 5 h (A); initial apoptosis cells at 1 and 5 h (B); advanced apoptosis cells at 1 and 5 h (C); necrotic cells at 1 and 5 h (D). Statistical significance was determined using one-way ANOVA and Dunnet's test. # $p < 0.05$  compared between the experimental groups. \* $p < 0.05$  compared with positive control (DMEM). \*\* $p < 0.05$  compared with negative control (tap water).

preliminary study assessing drugs and medicines is widely supported in the literature.<sup>17</sup> These types of cells have a known behavior and less heterogeneity than cells from primary culture.<sup>19</sup> This allows easy reproducibility with no ethical conflicts involving research using human material. It is known that the phenotypic and genotypic characteristics of gingival fibroblasts differ from those of periodontal fibroblasts.<sup>18</sup> However, immortalized PDL cells are not available for this protocol; therefore, this preliminary study opted for the HGF lineage.

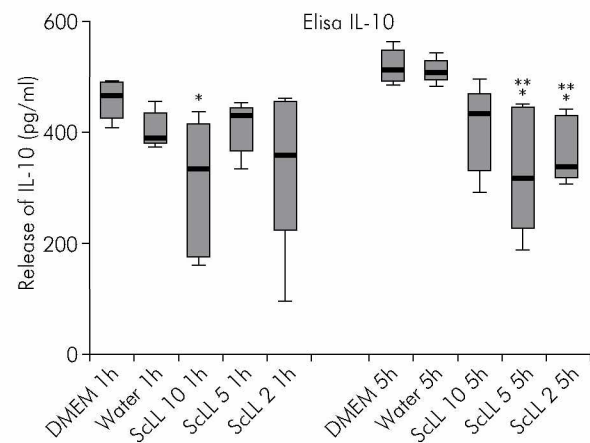
Avulsed teeth become susceptible to contamination because the teeth usually fall to the ground, resulting in possible infection and inflammatory response.<sup>1,3,10</sup>

Therefore, it was decided that the study cells would be stimulated with LPS in order to mimic situations that occur clinically. Studies have shown that gingival fibroblasts express Toll-like receptors and CD14 in response to LPS.<sup>19,20</sup> LPS induces stress, which mediates the activation of mitogen-activated protein kinase (MAPK) signaling pathways, following the inflammatory response.<sup>21</sup> The MAPKs are serine threonine kinases that mediate the intracellular signaling associated with cellular activities, such as apoptosis, proliferation, differentiation and survival.<sup>22</sup> The use of fibroblasts activated with LPS in drug tests is supported in the literature.<sup>23</sup>

In the current study, the activated fibroblasts were evaluated regarding viability, initial/advanced



**Figure 3.** Comparison of cell proliferation percentage at 1 and 5 h. Statistical significance was determined using a one-way ANOVA and Dunnet's test. \* $p < 0.05$  compared with positive control (DMEM). \*\* $p < 0.05$  compared with negative control (tap water).



**Figure 4.** Release of IL-10 in HGFs examined by Elisa at 1 and 5 h. Statistical significance was determined using one-way ANOVA and Dunnet's test. # $p < 0.05$  compared between the experimental groups. \* $p < 0.05$  compared with positive control (DMEM). \*\* $p < 0.05$  compared with negative control (tap water).

apoptosis and necrosis using flow cytometry with annexin and PI labeling. PI is a nucleic acidbinding dye, impermeable to live and apoptotic cells; the high affinity of annexin for the phosphatidylserine exposed on the outer cell membrane is acquired early in the apoptosis process. Programmed cell death differs from necrosis in terms of the changes in biochemical and morphological characteristics, such as loss of membrane asymmetry and compaction/fragmentation of the nuclear chromatin. It is possible to distinguish the cells just beginning the programmed death process from those that are already at an advanced stage. This is important for analyses conducted for longer periods, such as the 5 h group. Compared with other methods of viability assays, cytometry is more accurate and yields more reliable results.<sup>24</sup> The highest viability levels were found for the positive control group, compared with the groups treated with the lectin ScLL and stimulated with LPS, since the presence of this endotoxin can trigger the cell death mechanism.<sup>25</sup> However, the fact that the viability of the ScLL groups differs from that of the negative control group shows that none of the ScLL concentrations used are cytotoxic. On the other hand, the substances tested were probably not able to block the molecular events that trigger the apoptotic process. This could be reflected by the higher percentage of advanced apoptotic cells in the ScLL treated groups than in the positive control group. Although analyses

at the molecular and cellular levels were not conducted, lectin could act on any point of the apoptotic pathway, since the treated groups presented better results than the negative control group.

Considering that the presence of an immune inflammatory agent such as LPS could change the proliferative capacity of cells,<sup>21</sup> and that treatment with ScLL could have a positive effect, analyses of cell proliferation were performed. The BrdU assay was chosen because it is an effective method of detecting changes in proliferation, which can be incorporated into the DNA of replicating cells.<sup>25</sup> The null hypothesis, regarding cells stimulated with LPS and treated with ScLL, was rejected since proliferation was higher for the experimental groups, compared with the negative control.

Another important factor, involved in establishing inflammatory reactions that can initiate resorption, is the release of cytokines by cells.<sup>10</sup> IL-10 is a key regulator of immune responses, which inhibits the expression of pro-inflammatory cytokines, chemokines and receptors,<sup>23</sup> and which affects T-cell activation by suppressing CD28 and CD2.<sup>26</sup> Its function is to protect the inflammatory responses of microbial infection, and to limit the production of TLR agonists such as LPS, which are induced cytokines and chemokines.<sup>27</sup> Furthermore, IL-10 promotes cell survival, proliferation and differentiation.<sup>27</sup> Thus, higher levels of IL-10 were expected in the treated groups than in the control groups, since the levels of



this cytokine provide protection against hard-tissue resorption in the periodontal microenvironment of replanted teeth.<sup>10</sup> The second null hypothesis, namely that the levels of IL-10 are the same for both treated and control groups, was rejected since the detected IL-10 values of ScLL 5 and 2 µg/ml were different for both positive and negative controls at 5 h.

Despite the limitations of the present study, which did not include a group treated with LPS, the results presented here suggest that lectin ScLL may be promising in dentistry, specifically in the concentrations of 5 and 2 µg/ml, which do not indicate a dose-dependent effect on cell viability/proliferation and release of IL-10. However, the immunoregulatory functions of ScLL may depend on cell type, which may elicit the release of different cytokines, such as IL-12, IL-1β, TNF-α and IL-10. To this effect, more research using different models of avulsion are required so

that the potential of ScLL as an immunomodulator of fibroblasts may be studied more accurately, particularly, the association of storage media with the nutritional capacity of this lectin for use as an additional product for avulsed teeth.

## Conclusion

Based on the results of the present study, it can be concluded that the ScLL concentrations tested were not cytotoxic, and had no effect on proliferation and release of IL-10 parameters.

## Acknowledgments

The authors would like to thank the CPBio Dental Research Center for Biomechanics, Biomaterials and Cell Biology of the Federal University of Uberlândia. This research was financial supported by FAPEMIG, CNPq and CAPES.

## References

1. Trope M. Avulsion of permanent teeth: theory to practice. *Dent Traumatol.* 2011;27(4):281-94. doi:10.1111/j.1600-9657.2011.01003.x
2. Tuna EB, Yaman D, Yamamoto S. What is the best root surface treatment for avulsed teeth? *Open Dent J.* 2014;8(8):175-9. doi:10.2174/1874210601408010175
3. Schjøtt M, Andreasen JO. Emdogain does not prevent progressive root resorption after replantation of avulsed teeth: a clinical study. *Dent Traumatol.* 2005;21(1):46-50. doi:10.1111/j.1600-9657.2004.00295.x
4. Moura CCG, Soares PBF, Reis MV, Fernandes Neto AJ, Soares CJ. Soy milk as a storage medium to preserve human fibroblast cell viability: an in vitro study. *Braz Dent J.* 2012;23(5):559-63. doi:10.1590/S0103-64402012000500015
5. Gunraj MN. Dental root resorption. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;88(6):647-53. doi:10.1016/S1079-2104(99)70002-8
6. Hidalgo MM, Itano EN, Consolaro A. Humoral immune response of patients with dental trauma and consequent replacement resorption. *Dent Traumatol.* 2005;21(4):218-21. doi:10.1111/j.1600-9657.2005.00296.x
7. Lustosa-Pereira AL, Garcia RB, Moraes IG, Bernardineli N, Bramante CM, Bortoluzzi EA. Evaluation of the topical effect of alendronate on the root surface of extracted and replanted teeth: microscopic analysis on rat's teeth. *Dent Traumatol.* 2006;22(1):30-5. doi:10.1111/j.1600-9657.2006.00417.x
8. Mori GG, Moraes IG, Garcia RB, Borro LCB, Purificação BR. Microscopic investigation of the use of gallium nitrate for root surface treatment in rat teeth submitted to delayed replantation. *Braz Dent J.* 2007;18(3):198-201. doi:10.1590/S0103-64402007000300004
9. Poi WR, Carvalho RM, Panzarini SR, Sonoda CK, Manfrin TM, Rodrigues TS. Influence of enamel matrix derivative (Emdogain) and sodium fluoride on the healing process in delayed tooth replantation: histologic and histometric analysis in rats. *Dent Traumatol.* 2007;23(1):35-41. doi:10.1111/j.1600-9657.2006.00481.x
10. Roskamp L, Westphalen VD, Carneiro E, Fariniuk LF, Silva Neto UX, Westphalen FH. Relationship between extra-alveolar time and atopy in the prognosis of the replantation of avulsed teeth. *J Trauma.* 2010;69(6):E79-81. doi:10.1097/TA.0b013e3181ec112b
11. Tyrovola JB, Spyropoulos MN, Makou M, Perrea D. Root resorption and the OPG/RANKL/RANK system: a mini review. *J Oral Sci.* 2008 Dec;50(4):367-76. doi:10.2334/josnusd.50.367
12. Goldring SR, Goldring MB. Eating bone or adding it: the Wnt pathway decides. *Nat Med.* 2007;13(2):133-4. doi:10.1038/nm0207-133
13. Rogerio AP, Cardoso CR, Fontanari C, Souza MA, Afonso-Cardoso SR, Silva EVG, et al. Anti-asthmatic potential of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex. *Glycobiology.* 2007;17(8):795-804. doi:10.1093/glycob/cwm053

14. Sharon N, Lis H. Carbohydrates in cell recognition. *Sci Am.* 1993;268(1):82-9. doi:10.1038/scientificamerican0193-82
15. Afonso-Cardoso SR, Silva CV, Ferreira MS, Souza MA. Effect of the *Synadenium carinatum* latex lectin (ScLL) on *Leishmania (Leishmania) amazonensis* infection in murine macrophages. *Exp Parasitol.* 2011;128(1):61-7. doi:10.1016/j.exppara.2011.02.006
16. Cardoso MR, Mota CM, Ribeiro DP, Noleto PG, Andrade WB, Souza MA et al. Adjuvant and immunostimulatory effects of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex (ScLL) in the mouse model of vaccination against neosporosis. *Vet Res (Faisalabad).* 2012;43(1):76. doi:10.1186/1297-9716-43-76
17. Niu N, Wang L. In vitro human cell line models to predict clinical response to anticancer drugs. *Pharmacogenomics.* 2015;16(3):273-85. doi:10.2217/pgs.14.170
18. Scheres N, Laine ML, de Vries TJ, Everts V, van Winkelhoff AJ. Gingival and periodontal ligament fibroblasts differ in their inflammatory response to viable *Porphyromonas gingivalis*. *J Periodontal Res.* 2010;45(2):262-70. doi:10.1111/j.1600-0765.2009.01229.x
19. Wang PL, Oido-Mori M, Fujii T, Kowashi Y, Kikuchi M, Suetsugu Y et al. Heterogeneous expression of Toll-like receptor 4 and downregulation of Toll-like receptor 4 expression on human gingival fibroblasts by *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharide. *Biochem Biophys Res Commun.* 2001;288(4):863-7. doi:10.1006/bbrc.2001.5842
20. Wang PL, Ohura K. *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharide signaling in gingival fibroblasts-CD14 and Toll-like receptors. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2002;13(2):132-42. doi:10.1177/154411130201300204
21. Seo T, Cha S, Kim TI, Lee JS, Woo KM. *Porphyromonas gingivalis*-derived lipopolysaccharide-mediated activation of MAPK signaling regulates inflammatory response and differentiation in human periodontal ligament fibroblasts. *J Microbiol.* 2012;50(2):311-9. doi:10.1007/s12275-012-2146-x
22. Lim W, Choi H, Kim J, Kim S, Jeon S, Zheng H et al. Anti-inflammatory effect of 635 nm irradiations on in vitro direct/indirect irradiation model. *J Oral Pathol Med.* 2015;44(2):94-102. doi:10.1111/jop.12204
23. Jung IH, Lee DE, Yun JH, Cho AR, Kim CS, You YJ, et al. Anti-inflammatory effect of (-)-epigallocatechin-3-gallate on *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharide-stimulated fibroblasts and stem cells derived from human periodontal ligament. *J Periodontal Implant Sci.* 2012;42(6):185-95. doi:10.5051/jpis.2012.42.6.185
24. Nebe-von-Caron G, Stephens PJ, Hewitt CJ, Powell JR, Badley RA. Analysis of bacterial function by multi-colour fluorescence flow cytometry and single cell sorting. *J Microbiol Methods.* 2000;42(1):97-114. doi:10.1016/S0167-7012(00)00181-0
25. Urnowey S, Ansai T, Bitko V, Nakayama K, Takehara T, Barik S. Temporal activation of anti- and pro-apoptotic factors in human gingival fibroblasts infected with the periodontal pathogen, *Porphyromonas gingivalis*: potential role of bacterial proteases in host signalling. *BMC Microbiol.* 2006;6(1):26. doi:10.1186/1471-2180-6-26
26. Waal Malefyt R, Abrams J, Bennett B, Figdor CG, Vries JE. Interleukin 10 (IL-10) inhibits cytokine synthesis by human monocytes: an autoregulatory role of IL-10 produced by monocytes. *J Exp Med.* 1991;174(5):1209-20. doi:10.1084/jem.174.5.1209
27. Akdis CA, Akdis M. Mechanisms and treatment of allergic disease in the big picture of regulatory T cells. *J Allergy Clin Immunol.* 2009;123(4):735-46. doi:10.1016/j.jaci.2009.02.030

# Capítulos

---

## 3.4 CAPÍTULO 4

***Effect of ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> on fibroblasts stimulated-LPS on cell viability and cytokine release – an in vitro study.***

Artigo a ser enviado para publicação no periódico Brazilian Dental Journal

Effect of ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> on fibroblasts stimulated-LPS on cell viability and cytokine release – an *in vitro* study.

Short title: Effect of ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> on fibroblasts.

Manuella Verdinelli de Paula Reis,<sup>a</sup> Camilla Christian Gomes Moura,<sup>b</sup> Priscilla Barbosa Ferreira Soares,<sup>c</sup> Maria Aparecida de Souza,<sup>d</sup> Carlos José Soares<sup>a \*</sup>

<sup>a</sup> Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>b</sup> Biomechanics Research Group, Department of Endodontics, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>c</sup> Biomechanics Research Group, Department of Periodontology and Implantology, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>d</sup> Institute of Biomedical Sciences, Department of Immunology, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

\*Corresponding Author

Carlos José Soares,

Department of Operative Dentistry and Dental Materials,

Federal University of Uberlândia,

Av Pará 1720, Block 4L, Campus Umuarama, Uberlândia, MG 38408-325, Brazil.

E-mail address: carlosjsoares@ufu.br

## Summary

This study evaluated the effect of cyclopentenone-type PG, 15-Deoxy- $\Delta^{12,14}$ -PG J2 (15d-PGJ<sub>2</sub>) and lectin (ScLL) on viability, release of IL-6 and TGF $\beta$ -1 in human gingival fibroblasts (HGF) stimulated with lipopolysaccharide (LPS). HGF were stimulated with LPS 10  $\mu$ g/ml and treated with: 15d-PGJ<sub>2</sub> 2 and 1  $\mu$ g/ml, ScLL 5 and 2  $\mu$ g/ml, for 1 and 3h, and evaluated for viability by MTT assay. The supernatant was collected to detect release of IL-6 and TGF $\beta$ -1 by ELISA. Positive control consisted of cells maintained in Dulbecco's Modified Eagles Medium (DMEM), and the negative control, of those kept in LPS. Data were analyzed by ANOVA and Dunnett's test ( $\alpha=0.05$ ). No significant difference was found in the viability between experimental groups at 1h ( $p>0.05$ ). Absorbance levels of ScLL 5  $\mu$ g/ml was similar to positive control in evaluated periods ( $p>0.05$ ), whereas all the other groups had lower levels compared to the positive control ( $p<0.05$ ). The IL-6 release was statistically higher for ScLL 5  $\mu$ g/ml and 15d-PGJ<sub>2</sub> 2  $\mu$ g/ml at 1h, compared with the other treated groups and positive control group ( $p<0.05$ ). No significant differences were found among the groups at 3 h ( $p>0.05$ ), except for ScLL 2  $\mu$ g/ml and 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu$ g/ml, which showed lower IL-6 release compared to negative control ( $p<0.05$ ). No significant difference was found among the groups for TGF $\beta$ -1 release ( $p>0.05$ ). The results indicated that ScLL 5  $\mu$ g/ml not interfere in viability, ScLL 2  $\mu$ g/ml and 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu$ g/ml demonstrated reduced the IL-6 release. The substances tested had no effect on release of TGF $\beta$ -1.

Keywords: Lectin (ScLL), 15d-PGJ<sub>2</sub>, fibroblasts, LPS, cell viability.

## Introduction

The ideal conduct for avulsed teeth is their immediate replantation, but in the most of time this is not possible. In this way, the duration of the tooth's extra-alveolar dry time, its storage medium, replantation time and survival of the PDL cells are crucial factors that determine the prognosis (2). Taking to consideration these requirements to achieve a more favorable prognosis after replantation, the use of storage media that preserve the PDL cell viability has been considered as more important than the extra-alveolar period (2). However, in the clinical conditions has been observed that the patients no have knowledge about these storage media, and consequently occurs the delayed replantation (3). In this situation, the dry storage of avulsed teeth, leads to death of PDL cells, consequently, the presence of necrotic PDL remnants can trigger the development of root resorption (1). In order to increase the chance of survival avulsed tooth, several therapies have been proposed before replantation to prevent or delay root resorption (4) in cases of late replantation. It has been suggest the application in root surface of the 2% acidulated phosphate sodium fluorided or propolis solution 15% (4) over the root surface. However, these substances do not have active principles that could modulate immune-inflammatory reactions, which triggers the root resorption (5). In this aspect, the use of substances with potential to modulate the inflammatory response, and act as a possible therapy for late replanted teeth replacing the acid-root treatments, it would be a new and interesting challenge.

Some substances tested to treat root surface before delayed tooth replantation possess efficacy as osteoporotic therapeutic agents, inhibiting osteoclast activity (6). Among these substances is Emdogain, alendronate, odanacatib (6). In the last years, compounds of natural origin, obtained from plants, as curcumin and piperine, have been tested as anti-inflammatory and anti-osteoclastogenic drugs with potential use to treatment and prevention of replacement resorption on replanted teeth (7). In this way, a recent study tested the effect of an lectin obtained from a plant on stimulated gingival fibroblasts with promising results (8), which may in the future to be used as possible therapy of delayed replanted teeth. Lectins are carbohydrate-binding proteins involved in various biological process, including cell-cell recognition, proliferation, migration, adhesion and biochemical responses (9). The lectin isolated from the plant Euphorbiaceae *Synadenium carinatum* latex (ScLL) exhibits immunoregulatory functions (10). This capacity of ScLL

in modulate the inflammatory activity have been demonstrated in models of chronic inflammation, such as leishmaniose (11), asthma (10) and neosporosis (12).

Another component with immunomodulatory capacity is the cyclopentenone-type PG, 15-Deoxy- $\Delta^{12,14}$ -PG J<sub>2</sub> (15d-PGJ<sub>2</sub>), which demonstrated promising results in different experimental models *in vitro* (13) and *in vivo* (13-14). The 15d-PGJ<sub>2</sub> has a wide spectrum of physiological activities, is one of the terminal products of the cyclooxygenase (COX)-2 pathway (14). Moreover, differs from other prostaglandins in several aspects, chemically and biologically, mainly due to their anti-tumor effects (13) and anti-inflammatory (14). In addition, 15d-PGJ<sub>2</sub> was previously evaluated in a periodontitis mouse model, demonstrating immunomodulatory effects, decreasing bone resorption, and inflammatory responses (14). However, more studies evaluating the effect of 15d-PGJ<sub>2</sub> in other cells of oral cavity, and comparing them with other potentially immunomodulating substances are of interest in dentistry.

The purpose of this study was to investigate the effect of 15d-PGJ<sub>2</sub> and ScLL on gingival fibroblasts stimulated with *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharides (LPS) in the viability, and release of the IL-6 and TGF $\beta$ -1. The hypothesis was that cells stimulated with LPS and treated with ScLL or 15d-PGJ<sub>2</sub>, will demonstrate cell viability and release of TGF $\beta$ -1 similar to positive control group; and levels of IL-6 will be lower on treated groups than in negative control group.

## Materials and Methods

### Cell culture

Immortalized human gingival fibroblasts (HFG) (Cell Bank of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) were cultured in T-50 culture flasks containing Dulbecco's Modified Eagles Medium (DMEM) (Vitrocell Embriolife, Campinas, SP, Brazil) and supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS) (Vitrocell Embriolife) in a humidified incubator with 5% CO<sub>2</sub> and 95% air at 37°C, until confluence. HFG's were trypsinized, and plated on 96-well culture (Coastar Corp., Cambridge, MA, USA) with DMEM 10% at a cell density of  $2 \times 10^4$  cells/well. After 24h, the medium was softly removed from each well and replaced by LPS 10  $\mu$ g/ml from *P. gingivalis* (Invivogen, San Diego, CA, USA) in DMEM 10% for 24h. Then, the medium was removed and treated with ScLL (2  $\mu$ g/ml, 5  $\mu$ g/ml) (Herbarium of Federal University of Uberlandia, UFU), and 15d-PGJ<sub>2</sub> (1  $\mu$ g/ml,

2 µg/ml) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) in DMEM 10% for 1 and 3 h. Positive control group was maintained in DMEM 10% (no LPS-stimulated), and the negative control group was stimulated with LPS. After the period of incubation, the cells were prepared for analysis of cell viability and cytokine assay.

#### Cell Viability Assay

The cell viability was evaluated using the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) (Sigma-Aldrich) assay. After removing the medium, the cells were rinsed with a phosphate-buffer solution (PBS), and MTT solution (5 mg/ml) was added to the cells and incubated at 37°C for 4 h to allow development of the formazan crystals. The supernatant of each well was replaced with the same volume of dimethyl sulfoxide (Sigma-Aldrich) to dissolve the crystals. Optical density was measured at 570 nm using a microplate reader (Biochrom, Cambridge, UK, England).

#### Cytokine Assay

IL-6 and TGFβ-1 levels were analyzed after 24 h of cell exposure to the ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub>. Cytokine levels were measured in culture supernatants using a sandwich Elisa kit for IL-6 (PeproTech, Rocky Hill, NJ, USA), and TGFβ-1 (Sigma-Aldrich) according to manufacturer's instructions. Absorbance was recorded using a microplate reader (Biochrom) at 405 nm wavelength for IL-6, and 450 nm for TGFβ-1. The results obtained for absorbance were interpolated into a standard curve, using the Microplate Manager 4.0 software (Bio-rad, Hercules, CA, USA).

#### Statistical Analysis

Data of MTT, IL-6 and TGFβ-1 were subjected to analysis of normality using Shapiro-Wilk and Levene's tests. The MTT data were evaluated with log transformation followed by one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey test to compare the experimental groups ( $p < 0.05$ ). Data for IL-6 and TGFβ-1 were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey test. The Dunnet's test was performed to compare the control and experimental groups. The statistical analyses were performed using SigmaPlot 12.0 software (Systat Software, San Jose, CA, USA) with statistical significance set at a value of  $\alpha = 0.05$ .

#### Results



## Cell Viability

The cell viability evaluated by MTT is shown in Fig. 1. No significant difference was found between the experimental groups at 1 h ( $p > 0.05$ ). However, ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  presented a higher cell viability than 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu\text{g/ml}$  and 2  $\mu\text{g/ml}$ , at 3 h ( $p < 0.001$ ). The absorbance levels of ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  was similar to positive control group (DMEM) in both evaluated periods ( $p > 0.05$ ). All the other groups had lower levels of absorbance compared to the positive control, at 1 and 3 h ( $p < 0.05$ ). The experimental groups were similar to the negative control (LPS) in both evaluated periods ( $P > 0.05$ ), except the positive control ( $p < 0.05$ ).

## Release of IL-6 and TGF $\beta$ -1

The release of IL-6 and TGF $\beta$ -1 is shown in Fig. 2 and 3, respectively. The level of IL-6 was statistically higher for the group treated with ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  and 15d-PGJ<sub>2</sub> 2  $\mu\text{g/ml}$  at 1 h, compared with the other treated groups and positive control group ( $p < 0.05$ ). Similar values were found for the negative control and treated groups at 1 h, except for 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu\text{g/ml}$ , which showed lower IL-6 release ( $p = 0.04$ ). No significant differences were found among the groups at 3 h ( $p > 0.05$ ), except for ScLL 2  $\mu\text{g/ml}$  and 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu\text{g/ml}$ , which showed lower IL-6 release compared to the negative control group ( $p < 0.05$ ). Regarding the TGF $\beta$ -1 release, no significant difference was found among the groups in both evaluated periods ( $p > 0.05$ ).

## Discussion

The effect of different ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> concentrations on the viability, release of IL-6 and TGF $\beta$ -1 using immortalized HGF cells was evaluated in the current study. These substances were chosen because of their immunomodulatory potential already confirmed in other cellular models, which was evaluated until the moment in cell cultures that mimic conditions found in the oral cavity. It is important to note that the use of immortalized cell cultures in a preliminary study assessing drugs and medicines is recommended in the literature (7,8). Moreover, established cell lines have enhanced reproducibility of the results, unlimited life span, and higher rate of cell multiplication compared to primary culture cells (15). Although the phenotypic and genotypic characteristics of gingival fibroblasts differ from those of periodontal fibroblasts (16), immortalized PDL cells are

not available for this protocol. Therefore, in this preliminary study was selected the HGF lineage.

In the most of cases of tooth avulsion occurs infection and inflammatory response, because the teeth normally fall to the ground and become susceptible to contamination (1). Therefore, in the present study, the cells were stimulated with LPS in order to mimic situations that occur clinically. Studies have shown that gingival fibroblasts express Toll-like receptors and CD14 in response to LPS (15). It is known that LPS induces cell stress, which is associated with the activation of mitogen-activated protein kinase (MAPK), following the inflammatory response (17). The MAPK mediate the intracellular signaling related with cellular activities, such as apoptosis, differentiation and cell survival (18). Studies using fibroblasts activated with LPS in drug tests is recommended in this area (8). Considering that the presence of LPS could interfere on cell viability, the current research evaluated it parameter by MTT assay. Tetrazolium salts have become widely used to in cell biology assays, due to its ability to convert the yellow tetrazolium salt MTT into dark blue formazan crystals through the mitochondrial activity of living cells. Compared with other viability assays, the MTT assay is simple, fast, precise, sensitive and reproducible (19). In the current study, the highest viability levels were found for the positive control group, this result can be related with the absence of the LPS, which may trigger the cell death mechanism (20). However, the fact that the ScLL 5 µg/ml shows similar viability to positive control group, suggest that this ScLL concentration may act on any point of the apoptotic pathway, blocking the molecular events in the apoptotic process, maintaining viability levels similar to basal cell parameters.

Considering that LPS could be able to induce the fibroblasts to some pro-inflammatory reaction, and that treatment with ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> could have a regulatory effect in this parameter, analyses of release of IL-6 and TGFβ-1 were performed. IL-6 is produced by human fibroblasts when stimulated by the presence of bacteria and their products, exercising a key role in the regulation of the immune response (21). Furthermore, IL-6 is involved in a broad spectrum of biological activities, as well as in cellular defense, or acting on various target cells. This cytokine acts on bone, where it affects mainly osteoclastogenesis and bone resorption (21). Taking to consideration the anti-inflammatory role of the substances tested, it was expected find lower levels of IL-6 in the treated groups than in the negative control group in the current study. However, only

the ScLL 2 µg/ml and the 15d-PGJ<sub>2</sub> 1 µg/ml showed a significant reduction in the release of IL-6. This result may indicate that these substances were able to modulate the release of this inflammatory cytokine in stimulated fibroblasts, in a concentration dependent-way.

Another relevant factor evaluated is the release of cytokine TGFβ, which has an important role in promoting fibroblasts differentiation at sites of inflammation and repair (22). In the current study, curiously, no differences were found in TGFβ-1 levels among the groups. It is possible that the 24 h time period for detection of TGFβ-1 levels in the present study may not have been enough to release this cytokine in gingival fibroblasts. Furthermore, the amount of LPS used to stimulate HGF cells may not have been sufficient to induce the release of TGFβ-1 at that time. It since, has been demonstrated that the TGFβ production differed between PDL cells and gingival fibroblasts, and that this difference could be attributed at the highest concentration of *P. gingivalis* LPS used to stimulate (23). Although it has not been evaluated in the present study, the joint production of TGFβ-1 and IL-6 may induce the release of Th17 cells profile (24), which can result in tissue inflammation, since their presence was demonstrated in the chronic periodontal inflammation (25). Therefore, more studies evaluating other cytokines and other cellular profiles should be performed seeking to contribute with the present findings.

Despite the limitations of the present study, the results presented here suggest that lectin ScLL and 15d-PGJ<sub>2</sub> may be promising in dentistry, specifically in the lower concentrations, which indicate a positive effect on the evaluated parameters, such as cell viability, release of IL-6 and TGFβ-1. However, it should consider that 15d-PGJ<sub>2</sub> is a commercial product, sold at small aliquots, which represents a higher cost and also greater difficulty in handling when compared to ScLL. This fact justifies the choice of ScLL for future research in biological models of greater complexity. Therefore, more research using different models *in vitro* and *in vivo* are required in order to evaluate the potential of ScLL as an immunomodulator and anti-resorption agent for avulsion therapy. Moreover, future researches should evaluate the use of immunomodulator agents in association of storage media with the nutritional capacity for use as a product for avulsed teeth.

## Conclusion

Based on the results of the present study, it can be concluded that ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  did not interfere in cell viability. In relation of the parameter release of IL-6, ScLL 2  $\mu\text{g/ml}$  and the 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu\text{g/ml}$  demonstrated reduced the levels of this inflammatory cytokine. All the concentrations tested had no effect on release of TGF $\beta$ -1.

## Resumo

Este estudo avaliou o efeito da ciclopentanona PG, 15-Deoxy- $\Delta^{12,14}$ -PG J2 (15d-PGJ<sub>2</sub>) e da lectina (ScLL) na viabilidade, liberação de IL-6 e TGF $\beta$ -1 em fibroblastos gengivais humanos (FGH) estimulados com lipopolissacarídeo (LPS). FGH foram estimulados com LPS 10  $\mu\text{g/ml}$  e tratados com: 15d-PGJ<sub>2</sub> 1 e 2  $\mu\text{g/ml}$ , ScLL 2 e 5  $\mu\text{g/ml}$ , por 1 e 3h, e avaliados quanto à viabilidade pelo método MTT. O sobrenadante foi coletado para detectar a liberação de IL-6 e TGF $\beta$ -1 por ELISA. Controle positivo consistiu de células mantidas no meio de Eagle modificado por Dulbecco's (DMEM), e o controle negativo, pelas células mantidas em LPS. Dados foram analisados pelos testes ANOVA e Dunnett's ( $\alpha=0.05$ ). Nenhuma diferença significativa foi encontrada na viabilidade entre os grupos experimentais no período 1h ( $p>0.05$ ). Os níveis de absorbância de ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  foi similar ao controle positivo nos períodos avaliados ( $p>0.05$ ), enquanto todos os outros grupos tiveram baixos níveis comparados ao controle positivo ( $p<0.05$ ). A liberação de IL-6 foi estatisticamente maior para ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  e 15d-PGJ<sub>2</sub> 2  $\mu\text{g/ml}$  no período 1h, comparado com todos os outros grupos tratados e controle positivo ( $p<0.05$ ). Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os grupos no período 3h ( $p>0.05$ ), exceto para ScLL 2  $\mu\text{g/ml}$  e 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu\text{g/ml}$ , os quais mostraram baixos níveis de liberação de IL-6 release comparados ao controle negativo ( $p<0.05$ ). Nenhuma diferença significativa foi encontrada entre os grupos para liberação de TGF $\beta$ -1 ( $p>0.05$ ). Os resultados indicam que ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  não interfere na viabilidade, ScLL 2  $\mu\text{g/ml}$  e 15d-PGJ<sub>2</sub> 1  $\mu\text{g/ml}$  demonstrou reduzir a liberação de IL-6. As substâncias testadas não têm efeito na liberação de TGF $\beta$ -1.

## Acknowledgements

This study was supported by the Research Support FAPEMIG APQ 02145-14, Foundation of the State of Minas Gerais, CNPq 474505/2013-8, and CAPES.

## References

1. Trope M. Avulsion of permanent teeth: theory to practice. *Dent Traumatol* 2011;27:281–94.
2. Gopikrishna V, Baweja PS, Venkateshbabu N, Thomas T, Kandaswamy D. Comparison of coconut water, propolis, HBSS, and milk on PDL cell survival. *J Endod* 2008; 34:587-9.
3. Andersson L, Bodin I. Avulsed human teeth replanted within 15 minutes—a long-term clinical follow-up study. *Endod Dent Traumatol* 1990; 6:37-42.
4. Gulinelli JL, Panzarini SR, Fattah CM, Poi WR, Sonoda CK, Negri MR, et al. Effect of root surface treatment with propolis and fluoride in delayed tooth replantation in rats. *Dent Traumatol* 2008;24:651-7.
5. Roskamp L, Westphalen VP, Carneiro E, Fariniuk LF, Silva Neto UX. The positive influence of atopy on the prognosis of avulsed and replanted teeth despite differences in post-trauma management. *J Endod* 2011;37:463-5.
6. Yang W, Ko H, Kim H, Kim M. The effect of cathepsin K inhibitor on osteoclastic activity compared to alendronate and enamel matrix protein. *Dent Traumatol*. 2015;31:202-8.
7. Martins CA, Leyhausen G, Volk J, Geurtsen W. Curcumin in Combination with Piperine Suppresses Osteoclastogenesis In Vitro. *J Endod*. 2015;41:1638-45.
8. Reis MV, Moura CC, Silva MV, Souza MA, Soares PB, Soares CJ. Effect of lectin (ScLL) on fibroblasts stimulated with LPS - an in vitro study. *Braz Oral Res* 2016;30:e140.
9. Souza MA, Carvalho FC, Ruas LP, Ricci-Azevedo R, Roque-Barreira MC. The immunomodulatory effect of plant lectins: a review with emphasis on ArtinM properties. *Glycoconj J* 2013;30:641-57.
10. Rogerio AP, Cardoso CR, Fontanari C, et al. Anti-asthmatic potential of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex. *Glycobiology*. 2007;17:795-804.
11. Afonso-Cardoso SR, Silva CV, Ferreira MS, Souza MA. Effect of the *Synadenium carinatum* latex (ScLL) on *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* infection in murine macrophages. *Exp Parasitol* 2011;128:61-7.

12. Cardoso MR, Mota CM, Ribeiro DP, et al. Adjuvant and immunostimulatory effects of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex (ScLL) in the mouse model of vaccination against neosporosis. *Vet Res* 2012;43:76.
13. Nakamura M, Tsumura H, Satoh T, Matsumoto K, Maruyama H, Majima M, et al. Tumor apoptosis in prostate cancer by PGD(2) and its metabolite 15d-PGJ(2) in murine model. *Biomed Pharmacother* 2013;67:66-71.
14. Napimoga MH, da Silva CA, Carregaro V, Farnesi-de-Assunção TS, Duarte PM, de Melo NF, et al. Exogenous administration of 15d-PGJ2-loaded nanocapsules inhibits bone resorption in a mouse periodontitis model. *J Immunol* 2012;189:1043-52.
15. Wang PL, Oido-Mori M, Fujii T, Kowashi Y, Kikuchi M, Suetsugu Y, et al. Heterogeneous expression of Toll-like receptor 4 and downregulation of Toll-like receptor 4 expression on human gingival fibroblasts by *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharide. *Biochem Biophys Res Commun* 2001;288:863-7.
16. Scheres N, Laine ML, de Vries TJ, Everts V, van Winkelhoff AJ. Gingival and periodontal ligament fibroblasts differ in their inflammatory response to viable *Porphyromonas gingivalis*. *J Periodontal Res* 2010;45:262-70.
17. Seo T, Cha S, Kim TI, Lee JS, Woo KM. *Porphyromonas gingivalis*-derived lipopolysaccharide-mediated activation of MAPK signaling regulates inflammatory response and differentiation in human periodontal ligament fibroblasts. *J Microbiol* 2012;50:311-9.
18. Lim W, Choi H, Kim J, Kim S, Jeon S, Zheng H et al. Anti-inflammatory effect of 635 nm irradiations on in vitro direct/indirect irradiation model. *J Oral Pathol Med* 2015;44:94-102.
19. Sepet E, Pinar A, Ilhan B, Ulukapi I, Bilir A, Tuna S. Cytotoxic effects of calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate on 3T3 fibroblast cell line in vitro. *Quintessence Int* 2009;40:e55-e61.
20. Urnowey S, Ansai T, Bitko V, Nakayama K, Takehara T, Barik S. Temporal activation of anti- and pro-apoptotic factors in human gingival fibroblasts infected with the periodontal pathogen, *Porphyromonas gingivalis*: potential role of bacterial proteases in host signalling. *BMC Microbiol* 2006;6:26.

21. Akdis M, Burgler S, Cramer R, Eiwegger T, Fujita H, Gomez E, et al. Interleukins, from 1 to 37, and interferon- $\gamma$ : receptors, functions, and roles in diseases. *J Allergy Clin Immunol* 2011;127:701-21.e1-70.
22. Rahimi F, Hsu K, Endoh Y, Geczy CL. FGF-2, IL-1 $\beta$  and TGF- $\beta$  regulate fibroblast expression of S100A8. *FEBS J* 2005;272:2811-27.
23. Morandini AC, Sipert CR, Ramos-Junior ES, Brozoski DT, Santos CF. Periodontal ligament and gingival fibroblasts participate in the production of TGF- $\beta$ , interleukin (IL)-8 and IL-10. *Braz Oral Res* 2011;25:157-62.
24. Korn T, Bettelli E, Oukka M, Kuchroo VK. IL-17 and Th17 Cells. *Annu Rev Immunol* 2009;27:485-517.
25. Cardoso CR, Garlet GP, Crippa GE, Rosa AL, Junior WM, Rossi MA, et al. Evidence of the presence of T helper type 17 cells in chronic lesions of human periodontal disease. *Oral Microbiol Immunol* 2009;24:1-6.

Figure legends

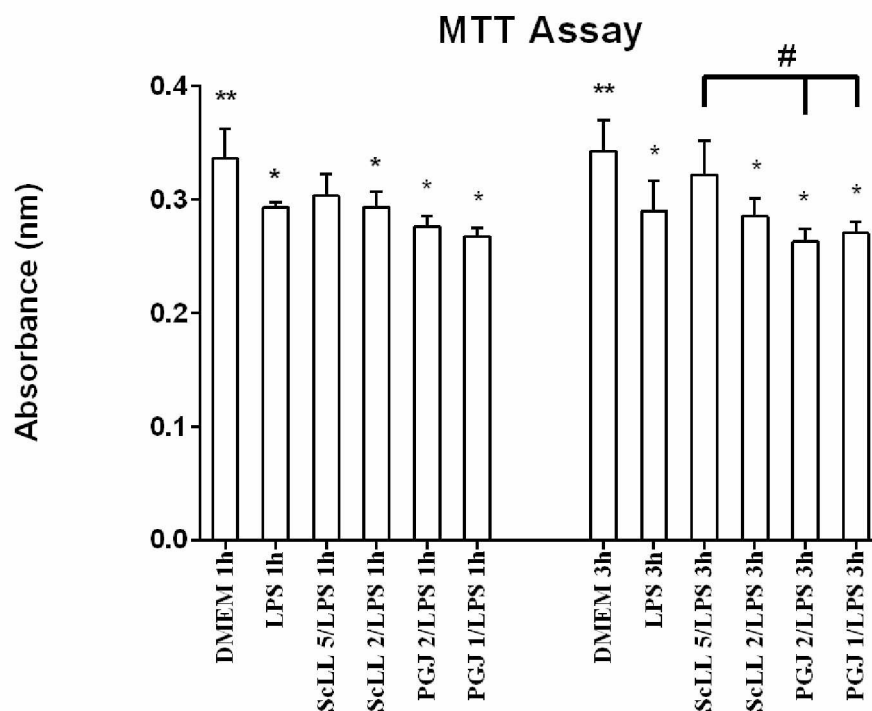


Figure 1. Effect of 15d-PGJ<sub>2</sub> and ScLL on cell viability of HGFs at 1 h and 3 h by MTT assay. Statistical significance was determined using one-way ANOVA and Dunnet's test. #p < 0.05 compared between the experimental groups. \*p < 0.05 compared with positive control (DMEM). \*\*p < 0.05 compared with negative control (LPS).

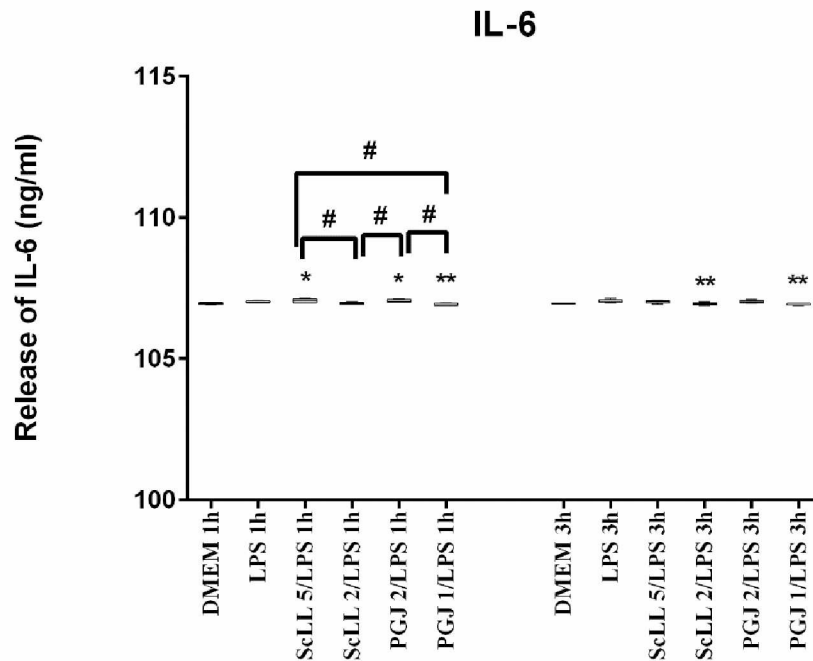


Figure 2. Release of IL-6 in HGFs examined by Elisa at 1 and 3 h. Statistical significance was determined using one-way ANOVA and Dunnet's test. # $p < 0.05$  compared between the experimental groups. \* $p < 0.05$  compared with positive control (DMEM). \*\* $p < 0.05$  compared with negative control (LPS).

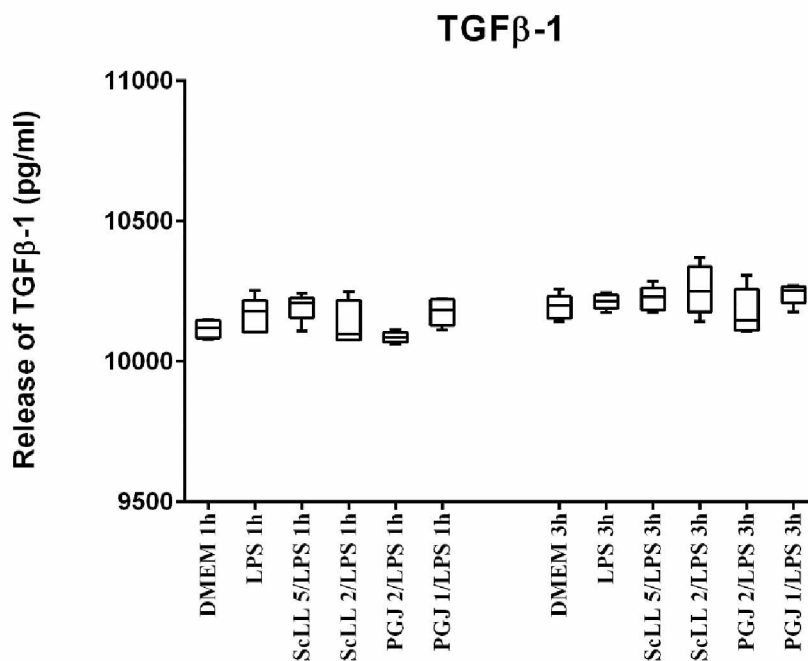


Figure 3. Release of TGFβ-1 in HGFs examined by Elisa at 1 and 3 h. Statistical significance was determined using one-way ANOVA and Dunnet's test.



# Capítulos

---

## 3.5 CAPÍTULO 5

***Effects of Lectin (ScLL) on osteoclast maturation – an in vitro study.***

Artigo a ser enviado para publicação no periódico International Endodontic Journal

## **Effects of Lectin (ScLL) on osteoclast maturation – an *in vitro* study**

Manuella Verdinelli de Paula Reis,<sup>a</sup> Camilla Christian Gomes Moura,<sup>b</sup> Gabriela Leite de Souza,<sup>b</sup> Priscilla Barbosa Ferreira Soares,<sup>c</sup> Maria Aparecida de Souza,<sup>d</sup> Carlos José Soares<sup>a \*</sup>

<sup>a</sup> Biomechanics Research Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>b</sup> Biomechanics Research Group, Department of Endodontics, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>c</sup> Biomechanics Research Group, Department of Periodontology and Implantology, School of Dentistry, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

<sup>d</sup> Institute of Biomedical Sciences, Department of Immunology, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil.

**Running title:** ScLL inhibit osteoclast maturation

### **\*Corresponding Author**

Prof. Carlos José Soares, DDS, MSc, PhD

Biomechanic Reserch Group, Department of Operative Dentistry and Dental Materials,

Federal University of Uberlândia, MG, Brazil

Av Pará 1720, Block 4L, Campus Umuarama, Uberlândia, MG 38408-325, Brazil.

E-mail address: carlosjsoares@ufu.br

## Abstract

**Introduction:** The lectin (ScLL) was recently evaluated in the oral cavity due to their anti-inflammatory activities. Thus, ScLL could be a promising agent to block osteoclast activity and prevent root resorption. This study evaluated the effect of ScLL on viability of peripheral blood mononuclear cells (PBMC) stimulated with lipopolysaccharide (LPS), and RAW 264.7 macrophage lineage; its effects on osteoclastogenesis; and release of TNF- $\alpha$  and nitric oxide (NO).

**Methods:** PBMCs were stimulated with LPS, treated with ScLL 10 and 5  $\mu\text{g/ml}$  for 1 and 5 h, and evaluated by MTT assay. The cell viability in RAW 264.7 was determined by MTT and Alamar Blue assay after ScLL treatment for 24 h. ScLL effects on RANKL-induced osteoclastogenesis of RAW cells were assessed by tartrate-resistant acid phosphatase (TRAP) staining and the F-actin ring formation. The supernatant was collected to detect release of TNF- $\alpha$  by ELISA, and NO using nitrite assay.

**Results:** ScLL 10  $\mu\text{g/ml}$  had lower viability only in RAW cells by Alamar Blue assay ( $p < 0.05$ ). ScLL suppressed the osteoclastogenesis by decreasing the TRAP activity as well as the F-actin ring formation. ScLL 10  $\mu\text{g/ml}$  showed the highest values of NO release than all the other groups ( $p < 0.05$ ). The lower levels of TNF- $\alpha$  were found for the negative control.

**Conclusions:** It showed that ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  suppressed the osteoclastogenesis *in vitro* and had no cytotoxic effect on PBMC and RAW cell cultures. These findings suggest its use as a possible antiresorptive agent in avulsed teeth.

**Key Words:** Cell viability, Lectin, Osteoclastogenesis, PBMC, RAW 264.7, Tooth Avulsion.

## Introduction

Traumatic dental injuries has been observed frequently in school-age children (Andreasen *et al.* 2010). The successful of the prognosis in such case is dependent upon immediate replantation (Andreasen & Kristerson 1981). Otherwise, delayed tooth replantation have been associated to increase risk of external root resorption, one of the main complication of tooth avulsion (Trope 2002, Trope 2011). In the avulsion injury, the neurovascular component of the periodontal ligament (PDL) is damaged leading to necrosis, release of biological messengers and macrophage activation. Consequently, osteoclasts precursors are recruited and activated in the presence of inflammatory mediators, leading to root resorption (Trope 2011). Antiresorptive agents such as alendronate (Yang *et al.* 2015), Emdogain (Schjøtt & Andreasen 2005, Yang *et al.* 2015), and odanacatib (Yang *et al.* 2015) have been evaluated *in vitro* and *in vivo* for root surface treatment associated with delayed replantation. However, these agents proving to be partially effective or associated with unacceptable side effects (Schjøtt & Andreasen 2005, Yang *et al.* 2015). Therefore, it could be interesting to look for new substances that could be effective as immunomodulators and that consequently may be effective in blocking dental resorption.

Lectins are proteins involved in several biological events (Rogerio *et al.* 2007) as endocytosis, cell migration, cell regulation and immune defense processes (Sharon & Lis 1993, Rogerio *et al.* 2007, Afonso-Cardoso *et al.* 2011, Cardoso *et al.* 2012). ScLL is D-galactose binding lectin isolated from the latex extracted from the Euphorbiaceae *Synadenium carinatum* plant. Its therapeutic potential in diseases associated with inflammatory and immune responses, including chronic inflammation (Rogerio *et al.* 2007), leishmaniasis (Afonso-Cardoso *et al.* 2011) and neosporosis (Cardoso *et al.* 2012), has been investigated. Recently, ScLL was evaluated in the oral cavity in the presence of *Porphyromonas gingivalis* lipopolysaccharides (LPS), suggesting its potential use in the dentistry as immunomodulator (Reis *et al.* 2016). All these findings provide a promising basis for evaluating the application of ScLL as a possible agent able to inhibit osteoclastogenesis.

Therefore, the aim of this *in vitro* study was to analyze the ScLL viability on human peripheral blood mononuclear cells (PBMC) stimulated with LPS, and RAW 264.7 lineage, as well as their inhibitory effects of ScLL on osteoclast formation *in vitro*; the release of tumor necrosis factor (TNF)  $\alpha$  and nitric oxide (NO). It was hypothesized that

the treatment with different concentrations of ScLL would: 1) not affect the cell viability of monocyte and macrophage cells; 2) reduce the osteoclastogenesis; 3) reduce the release of TNF- $\alpha$  and increased the production of NO in RAW 264.7 stimulated with RANKL, when compared to negative control group (without treatment).

## **Materials and Methods**

### **PBMC cell culture**

PBMCs were isolated from healthy volunteers (Dentistry School of Federal University of Uberlândia), after written informed consent obtained. The study was approved by the Ethics Committee (Protocol No. 1.480.043). Blood was diluted 1:1 in Roswell Park Memorial Institute (RPMI) medium (Vitrocell Embriolife, Campinas, SP, Brazil), layered over Ficoll<sup>®</sup>PM 400 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) and centrifuged at 650  $\times$  g, for 20 min. The interface layer was re-suspended in RPMI and then centrifuged (600  $\times$  g) for a further 10 min after which the resultant cells were re-suspended in media supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS) (Vitrocell Embriolife). Isolated cells were plated in 96-well plates at a density of  $5 \times 10^5$  cells per well to a final volume of 100  $\mu$ l of RPMI containing 10% FBS and 1% penicillin-streptomycin (complete medium) (Vitrocell Embriolife). After 2 h of incubation, cultures were vigorously rinsed RPMI to remove non-adherent cells, and then maintained in complete medium. After 24 h, cells were stimulated with 1  $\mu$ g/ml of LPS from *P. gingivalis* (Invivogen, San Diego, CA, USA) in complete medium for 24 h. Then, the medium containing LPS was removed and the cells were treated with 10 and 5  $\mu$ g/ml of ScLL (Federal University of Uberlândia Herbarium) in a fresh medium for 1 and 5 h. The positive control group contained the cells maintained in no stimulated culture medium, representing their physiological behavior. The negative control group contained the cells kept in LPS, mimicking the inflammatory condition. After the period of incubation, the cells were prepared for analysis of cell viability by 3-(4,5 dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) assay. The tests were performed with five samples per group.

### **RAW 264.7 cell culture**

Murine RAW 264.7 macrophage cell lineage was obtained from Cell Bank of Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, RJ, Brazil). Cells were plated at a density of  $2 \times 10^4$  cells/well in

96 well plates containing Dulbecco's Modified Eagles Medium (DMEM) (Vitrocell Embriolife) supplemented with 10% FBS and 1% penicillin-streptomycin, allowed to adhere overnight. Then, the cells were treated with 10 and 5  $\mu\text{g/ml}$  of ScLL in a fresh medium for 24 h. The positive control group contained the cells maintained in 10% DMEM, representing their physiological behavior. The negative control group contained the cells kept in tap water, mimicking the worst clinically occurring situation. After the period of incubation, the cells were prepared for cell viability analysis by MTT and Alamar blue viability assays. Each test was performed with five samples per group

### **Cell Viability Assays**

The cell viability of PBMCs and RAW were accessed by MTT assay. Then, MTT solution (Sigma-Aldrich) (5 mg/ml) was added to each well, and cells were incubated at 37°C for 4 h. The optical density (OD) at 570 nm was measured using a microplate reader (Biochrom, Cambridge, UK).

In another set of experiments, RAW cells ( $2 \times 10^4$  cells/well) were seeded in 96-well plates and treated with ScLL as describe previously, and the cell viability determined using Alamar Blue assay. Then, the 10% Alamar blue solution (Invitrogen, Karlsruhe, BW, Germany) was added, and cells were incubated at 37°C for 24 h. The OD at 570-600 nm was measured using a microplate reader. In both viability assays the results were expressed as absorbance levels.

### **Osteoclastogenesis Assay**

RAW cells ( $2 \times 10^4$  cells/well) were seeded in a 48-well plate on coverslips in Modified Eagle's Medium Alpha ( $\alpha$ -MEM) (Vitrocell Embriolife) supplemented with 10% FBS and 1% penicillin-streptomycin, allowed to adhere overnight. For osteoclast formation, murine RANKL (PeproTech, Rocky Hill, NJ, USA) (50 ng/ml) was added, and cells were cultured for a further 5 days. Medium and reagents were replaced on day 3. The positive control group contained the cells maintained in 10%  $\alpha$ -MEM (not induced to differentiation), and the negative control group contained the cells kept in RANKL without ScLL tretament. After the incubation period, the culture medium supernatant was collected for dosage of TNF- $\alpha$  and NO by Elisa and Griess method, respectively.

### **Tartrate-resistant Acid Phosphatase Activity**

Cells were fixed with 4% paraformaldehyde and stained for tartrate-resistant acid phosphatase (TRAP) activity. Cytochemical staining for TRAP was performed with a commercial kit (Sigma-Aldrich) and used to identify the osteoclasts. The test was performed with four samples per group. TRAP-positive cells containing 3 or more nuclei were considered active osteoclasts. Four images of each coverslip were taken at 10x magnification for analysis. Images were taken using a digital camera (DXM-I200, Nikon, Tokyo, Japan) attached to an optical microscope (Nikon Eclipse E200). The results were expressed as total number of TRAP-positive cells identified per camp of each coverslip.

### **Immunofluorescence analysis of actin ring**

Cells were fixed with 4% paraformaldehyde, permeabilized with 0.5% Triton X-100 in PBS, and incubated with 1:200 Phalloidin 488 (Invitrogen) for 1 h. After PBS wash, the cells were incubated with Hoechst (Invitrogen) 1:1000 for 5 minutes, washed again in PBS and then analyzed using an EVOS digital microscope Advanced Microscopy Group (AMG) (Life Technologies, Carlsbad, CA, USA). The test was performed with four samples per treatment group. Four images of each coverslip were taken at 20x magnification for actin rings analysis. The results were expressed as total number of actin rings identified per camp of each coverslip.

### **TNF- $\alpha$ cytokine assay**

The TNF- $\alpha$  cytokine released in the cell culture supernatants was evaluated using a sandwich ELISA kit (PeproTech), according to the manufacturer's instructions. Absorbance was recorded using a microplate reader at 405-650 nm wavelength. The results obtained for absorbance were interpolated into a standard curve, using the Microplate Manager 4.0 software (Bio-rad, Hercules, CA, USA).

### **Nitrite Assay**

The NO production in the cell culture supernatants was evaluated based on measuring nitrite as a stable end product of NO using the Griess reaction in a microplate assay. In this method, nitrite is first treated with sulfanilamide (SA), in acidic media, followed by addition of N-naphthyl-ethylenediamine (NED). The absorbance of this reaction at 540

nm is linearly proportional to the nitrite concentration in the sample. The results obtained for absorbance were interpolated into a standard curve, using the Microplate Manager 4.0 software.

### **Statistical Analysis**

Data of cell viability, TRAP, immunofluorescence analysis of actin ring, release of TNF- $\alpha$  and NO were analyzed for normality and homoscedasticity using Shapiro-Wilk's and Levene's tests. The one-way ANOVA and Tukey tests were used to compare data for TRAP, actin rings, and NO, between the treated groups. Cell viability (MTT and Alamar Blue), and TNF- $\alpha$  release were evaluated using the Kruskal-Wallis test ( $p < 0.05$ ). Dunnett's test was used to compare the control groups (positive and negative) with the experimental groups. Statistical significance was set at  $\alpha = 0.05$ . Statistical analysis was performed using Sigma Plot 12.0 software (Systat Software, San Jose, CA, USA).

### **Results**

#### **Cell viability**

Figure 1 shows cell viability and standard deviations. The levels of cell viability in PBMCs were statistically higher for the group treated with ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  at 1 h, compared with all the groups ( $p < 0.05$ ). No significant differences were found between ScLL 10  $\mu\text{g/ml}$  and positive control group (RPMI) ( $p > 0.05$ ). The values of viability for negative control group (LPS) were statistically lower compared with all the groups ( $p < 0.05$ ) at 1 h. No significant differences were found among ScLL treated groups ( $p = 0.437$ ) at 5 h. The levels of cell viability for ScLL 10  $\mu\text{g/ml}$  were statistically higher than the positive control ( $p = 0.036$ ) at 5 h. No significant differences were found between ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$  and positive control ( $p > 0.05$ ) at 5 h. All the ScLL treated groups had significantly higher values of viability than the negative control ( $p < 0.05$ ) at 5 h (Fig. 1A).

No significant differences were found among ScLL and positive control groups ( $p > 0.05$ ) for RAW cells by MTT assay (Fig. 1B). The values of viability for negative control group (tap water) were statistically lower compared with all the groups ( $p < 0.001$ ).

The levels of cell viability were statistically higher for the group treated with ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$ , compared ScLL 10  $\mu\text{g/ml}$  ( $p = 0.012$ ) by Alamar Blue assay ( Fig. 1C). All the



groups had significantly lower values of viability than positive control ( $p < 0.05$ ), except ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$ , which was similar to positive control ( $p > 0.05$ ). The values of viability for negative control were statistically lower compared with all the groups ( $p < 0.001$ ).

### **TRAP Staining and Activity**

TRAP-positive multinucleated cells - osteoclasts were observed at day 5 in RAW cultures after RANKL stimulation, whereas the osteoclasts was less expressive in the presence of ScLL (Fig. 2A). No significant differences were found among ScLL treatment and positive control groups ( $p > 0.05$ ) for TRAP activity (Fig. 2B). The cells without treatment and exposed to RANKL (negative control) had significantly the highest values of TRAP activity compared with all the groups ( $p < 0.05$ ).

### **Actin Rings**

The formation of the F-actin ring are shown in Figure 3A. The ScLL treatment reduced the F-actin ring formation, when compared with the negative control group ( $p < 0.05$ ) (Fig. 3B). All the groups had significantly higher F-actin ring formation than positive control ( $p < 0.05$ ).

### **Release of TNF- $\alpha$ and NO**

Figure 4 shows means and standard errors for the release of TNF- $\alpha$  and NO. No significant differences were found between the groups treated with ScLL ( $p = 0.339$ ) for release of TNF- $\alpha$  (Fig. 4A). Statistically significant difference was found among the positive control and all the other groups ( $p < 0.05$ ). The negative control had significantly the lower releases of TNF- $\alpha$  than all the groups ( $p < 0.05$ ).

Regarding the release of NO, ScLL 10  $\mu\text{g/ml}$  had significantly the highest values of NO compared to all the other groups ( $p < 0.05$ ) (Fig. 4B). No significant differences were found among ScLL 5  $\mu\text{g/ml}$ , positive and negative control groups ( $p > 0.05$ ).

### **Discussion**

The present study shows that ScLL suppressed the RANKL-induced osteoclastogenesis in RAW 264.7 macrophage lineage. Though, ScLL has been evaluated in the oral cavity

using other cell models (Reis *et al.* 2016), it is the first report regarding the ScLL as potential anticlastogenic agent.

Firstly, it was evaluated the cell viability of ScLL in PBMCs stimulated with LPS and murine macrophage lineage RAW 264.7. The hypothesis about the cell viability was partially accepted, since the treatment with ScLL did not affect cell viability on both cellular models, except in the concentration of 10 µg/ml. In such concentration, the group treated with ScLL presented lower levels of absorbance than positive control in Alamar blue assay. However, this difference was not observed in the MTT assay, which was performed with two types of cells and different experimental periods. Studies using different cell viability parameters increases the chance of detecting any possible cytotoxic effects related to drug concentration in cell culture assays (De-Deus *et al.* 2009, Scelza *et al.* 2012). The principle of MTT assay is convert yellow tetrazolium salt into dark blue formazan crystals by mitochondrial activity of the cells (Silva *et al.* 2015). Compared with other viability assays, the MTT assay is simple, fast, precise, sensitive and reproducible (Sepet *et al.* 2009). The Alamar Blue assay convert the resazurin (oxidized form), a non-fluorescent, blue indicator into resorufin, which is fluorescent and red in color. It is based on concept that live, metabolizing cells maintain a reducing environment within their cytosol, which can be measured spectrophotometrically using REDOX indicators (Madhumathi *et al.* 2014). The association of these methods allows the evaluation of additional parameters and increases the validity of our results (De-Deus *et al.* 2009). Take into consideration these requirements and based on these findings, no significant toxicity was caused by ScLL 5 µg/ml in any of the cells types, viability assays and experimental time.

Furthermore, it was used LPS to stimulate PBMCs in order to induce cell stress, mimicking the condition observed in the inflammatory response (Seo *et al.* 2012). Thus, it was expected that the presence of LPS could negatively interfere on cell viability. In fact, the groups treated with ScLL showed highest viability than negative control group (LPS), which suggest that ScLL can act on any point of the apoptotic pathway, blocking some molecular event in the apoptotic process.

Considering the difficulty in isolating osteoclasts *in vitro* and in order to evaluate the effects of ScLL on osteoclast precursors, it was used RAW 264. 7 cell lineage on the osteoclastogenesis model. These cultures express RANKL and can grow indefinitely as

osteoclast precursors or differentiate into TRAP-positive multinucleated cells, when co-cultured with RANKL. The osteoclasts obtained by RAW 264.7 cell differentiation express the hallmark characteristics of human osteoclasts *in vivo*, and representative properties including TRAP and cathepsin K (Wei *et al.* 2001, Collin-Osdoby *et al.* 2003). The activity of TRAP is based on a resorptive enzyme found in the membrane of the osteoclasts, and the rate of activity is proportional to the synthesis and secretion of the enzyme (Martins *et al.* 2015). The cathepsin K is a lysosomal cysteine protease localized to the ruffled border in actively resorbing osteoclasts, where it degrades the two main types of collagen, I and II, within the acidic microenvironment of resorption lacunae (Sims & Ng 2014). Furthermore, the activity of cathepsin K is essential to initiate the actin ring formation and activation of osteoclasts (Konig *et al.* 1988). Therefore, in the current study the effects of ScLL on osteoclast formation and activation was performed by TRAP activity and the presence of actin rings. Regarding those parameters, our results demonstrate that second tested hypothesis was accepted, since as ScLL inhibited some aspect of the pathway related to maturation and activity osteoclasts.

Another important factor, enrolled on the formation of multinuclear osteoclasts, is the release of cytokines. TNF- $\alpha$  is considered a potent bone-resorbing factor responsible for stimulating osteoclastic bone resorption *in vitro* and *in vivo* (Konig *et al.* 1988). This inflammatory cytokine is known to modulate RANKL expression, which stimulate osteoclast differentiation by activating NF- $\kappa$ B through intracellular mechanisms overlapping those of RANKL (Zou *et al.* 2001). Thus, lower levels of TNF- $\alpha$  were expected in the treated groups, since this cytokine act on osteoclastogenic process. Surprisingly, the third tested hypothesis was partially rejected, since as the highest levels of TNF- $\alpha$  were found in the ScLL, followed by positive control group. However, it is possible that the type of linker receptor of TNF- $\alpha$  may not function as pro-apoptotic but rather anti-apoptotic (Saile *et al.* 2001). Furthermore the cellular model used, as well as the interaction with the production of other cytokines not evaluated in this study may have influenced the release of TNF- $\alpha$  by RAW 264.7 cells.

In the bone environment a variety of cells, such as macrophages and osteoclast precursors, release the cytotoxic short-lived reactive radical NO in response to inflammatory cytokines and agents (Hibbs *et al.* 1988). NO acts as a cytotoxic agent in the host-defense mechanism (Kasten *et al.* 1994), and their production in osteoclast cultures regulates normal bone remodeling and pathological bone loss in part through affecting the

recruitment, formation, and activity of bone-resorbing osteoclasts (Zheng *et al.* 2006). Considering that dentin is a mineralized tissue with similar characteristics to bone tissue, and that the mechanisms of resorption involved in both tissues also retain some degree of similarity, it is possible that NO production also affects the mechanisms that regulate the activation of clastic cells in dental root resorption models. Therefore, high NO levels were expected in ScLL groups, since NO-generating compounds could inhibit osteoclast formation and bone resorption (Zheng *et al.* 2006). In the current study, the highest level of NO was found in the ScLL 10 µg/ml, which demonstrate to limit osteoclastogenesis concurrently stimulated by RANKL.

Despite the limitations of the present study, the findings suggest an immunoregulatory role of ScLL in the osteoclastogenesis from RAW 264. 7 cells, and reduction of the activity of mature osteoclasts *in vitro*. However, more studies should be performed using primary model cultures, followed by *in vivo* studies to confirm the role of ScLL as an agent for the prevention and treatment of resorption in replanted teeth after avulsion.

## Conclusion

Based on the results of the present study, it can be concluded that ScLL 5 µg/ml suppressed the osteoclastogenesis *in vitro*, without causing cytotoxic effects on PBMC and RAW cells, and had no effect on release of TNF-α and NO release. This study is the first step toward assessing the use of ScLL as agent for the prevention of resorption in avulsed teeth.

## Acknowledgments

This study was supported by the Research Support FAPEMIG APQ 02145-14, Foundation of the State of Minas Gerais, CNPq 474505/2013-8, and CAPES.

## References

1. Afonso-Cardoso SR, Silva CV, Ferreira MS, Souza MA (2011) Effect of the *Synadenium carinatum* latex lectin (ScLL) on *Leishmania* (*Leishmania*) *amazonensis* infection in murine macrophages. *Experimental Parasitology* **128**, 61-7.

2. Andreasen JO & Kristerson L (1981) The effect of limited drying or removal of the periodontal ligament. Periodontal healing after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Acta Odontologica Scandinavica* **39**, 1–13.
3. Andreasen JO, Lauridsen E, Andreasen FM (2010) Contradictions in the treatment of traumatic dental injuries and ways to proceed in dental trauma research. *Dental Traumatology* **26**, 16–22.
4. Cardoso MR, Mota CM, Ribeiro DP, *et al.* (2012) Adjuvant and immunostimulatory effects of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex (ScLL) in the mouse model of vaccination against neosporosis. *Veterinary Research* **43**, 76.
5. Collin-Osdoby P, Yu X, Zheng H, Osdoby P (2003) RANKL-mediated osteoclast formation from murine RAW 264.7 cells. *Methods in Molecular Medicine* **80**, 153–66.
6. De-Deus G, Canabarro A, Alves G, Linhares A, Senne MI, Granjeiro JM (2009) Optimal cytocompatibility of a bioceramic nanoparticulate cement in primary human mesenchymal cells. *Journal of Endodontics* **35**, 1387-90.
7. Hibbs JB Jr, Taintor RR, Vavrin Z, Rachlin EM (1988) Nitric oxide: a cytotoxic activated macrophage effector molecule. *Biochemical and Biophysical Research Communications* **157**, 87-94.
8. Kasten TP, Collin-Osdoby P, Patel N, *et al.* (1994) Potentiation of osteoclast bone-resorption activity by inhibition of nitric oxide synthase. *Proceedings of the National Academy Sciences of the United States of America* **91**, 3569-73.
9. König A, Muhlbauer RC, Fleisch H (1988) Tumor necrosis factor alpha and interleukin-1 stimulate bone resorption in vivo as measured by urinary [3H] tetracycline excretion from prelabeled mice. *Journal of Bone and Mineral Research* **3**, 621–627.
10. Madhumathi K, Sampath Kumar TS (2014) Regenerative potential and anti-bacterial activity of tetracycline loaded apatitic nanocarriers for the treatment of periodontitis. *Biomedical Materials* **9**, 035002.
11. Martins CA, Leyhausen G, Volk J, Geurtsen W (2015) Curcumin in Combination with Piperine Suppresses Osteoclastogenesis In Vitro. *Journal of Endodontics* **41**, 1638-45.

12. Reis MV, Moura CC, Silva MV, Souza MA, Soares PB, Soares CJ (2016) Effect of lectin (ScLL) on fibroblasts stimulated with LPS - an in vitro study. *Brazilian Oral Research* **30**, e140.
13. Rogerio AP, Cardoso CR, Fontanari C, *et al.* (2007) Anti-asthmatic potential of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex. *Glycobiology* **17**, 795-804.
14. Saile B, Matthes N, El Armouche H, Neubauer K, Ramadori G (2001) The bcl, Nf $\kappa$ B and p53/p21WAF1 systems are involved in spontaneous apoptosis and in the anti-apoptotic effect of TGF-beta or TNF-alpha on activated hepatic stellate cells. *European Journal of Cell Biology* **80**, 554-61.
15. Scelza MZ, Linhares AB, da Silva LE, Granjeiro JM, Alves GG (2012) A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of endodontic sealers with primary human osteoblasts. *International Endodontic Journal* **45**, 12-8.
16. Schjøtt M & Andreasen JO (2005) Emdogain does not prevent progressive root resorption after replantation of avulsed teeth: a clinical study. *Dental Traumatology* **21**, 46-50.
17. Seo T, Cha S, Kim TI, Lee JS, Woo KM (2012) Porphyromonas gingivalis-derived lipopolysaccharide-mediated activation of MAPK signaling regulates inflammatory response and differentiation in human periodontal ligament fibroblasts. *Journal of Microbiology* **50**, 311-9.
18. Sepet E, Pinar A, İlhan B, Ulukapi I, Bilir A, Tuna S (2009) Cytotoxic effects of calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate on 3T3 fibroblast cell line in vitro. *Quintessence International* **40**, e55-e61.
19. Sharon N & Lis H (1993) Carbohydrates in cell recognition. *Scientific American* **268**, 82-9.
20. Silva EJ, Neves AA, De-Deus G, *et al.* (2015) Cytotoxicity and gelatinolytic activity of a new silicon-based endodontic sealer. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials* **13**, e376-80.
21. Sims NA & Ng KW (2014) Implications of osteoblast-osteoclast interactions in the management of osteoporosis by antiresorptive agents denosumab and odanacatib. *Current Osteoporosis Reports* **12**, 98–106.
22. Trope M (2002) Clinical management of the avulsed tooth: present strategies and future directions. *Dental Traumatology* **18**, 1–11.

23. Trope M (2011) Avulsion of permanent teeth: theory to practice. *Dental Traumatology* **27**, 281-94.
24. Wei S, Teitelbaum SL, Wang MW, Ross FP (2001) Receptor activator of nuclear factorkappa b ligand activates nuclear factor-kappa b in osteoclast precursors. *Endocrinology* **142**, 1290–5.
25. Yang W, Ko H, Kim H, Kim M (2015) The effect of cathepsin K inhibitor on osteoclastic activity compared to alendronate and enamel matrix protein. *Dental Traumatology* **31**, 202-8.
26. Zheng H, Yu X, Collin-Osdoby P, Osdoby P (2006) RANKL stimulates inducible nitric-oxide synthase expression and nitric oxide production in developing osteoclasts. An autocrine negative feedback mechanism triggered by RANKL-induced interferon-beta via NF-kappaB that restrains osteoclastogenesis and bone resorption. *Journal of Biological Chemistry* **281**, 15809-20.
27. Zou W, HakimI, Tschoep K, Endres S, Bar-Shavit Z (2001) Tumor necrosis factor-alpha mediates RANK ligand stimulation of osteoclast differentiation by an autocrine mechanism. *Journal of Cellular Biochemistry* **83**, 70–83.

## Figures

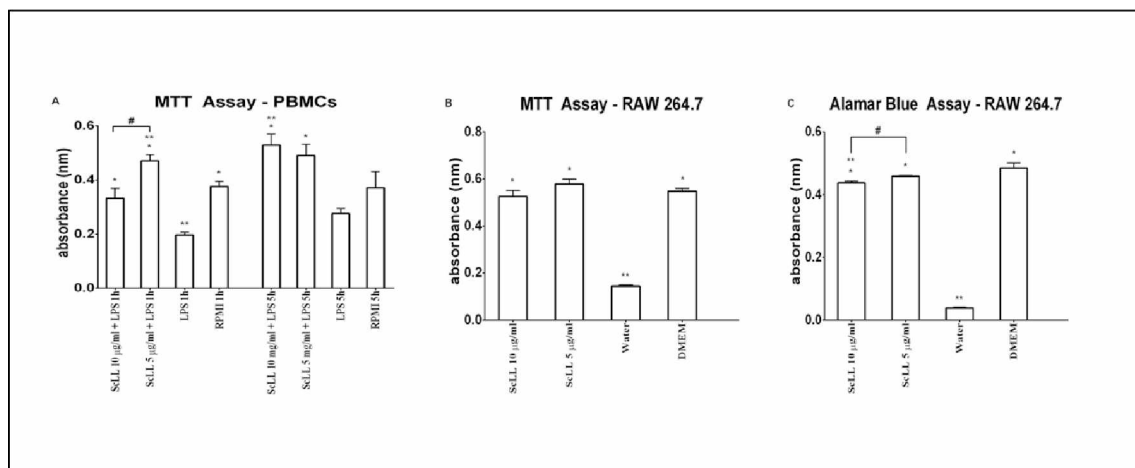


Figure 1. Effect of ScLL on cell viability of PBMCs at 1 h and 5 h (A) by MTT assay, RAW 264.7 at 24 h by MTT assay (B) and Alamar Blue assay (C). Statistical significance was determined using Kruskal-Wallis and Dunnet's test. #  $p < 0.05$  compared between the experimental groups. \*  $p < 0.05$  compared with positive control (RPMI or DMEM). \*\*  $p < 0.05$  compared with negative control (LPS or tap water).

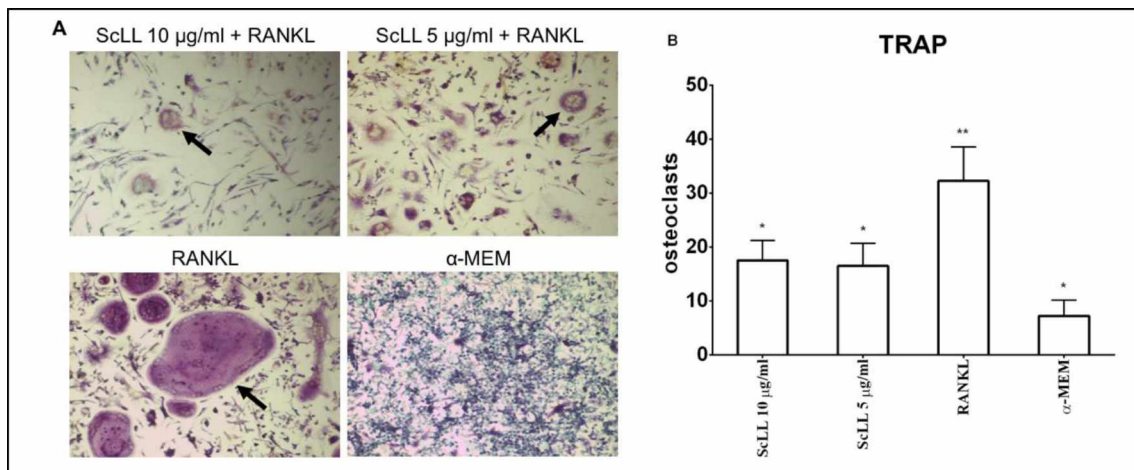


Figure 2. TRAP staining was carried out (A). TRAP-positive multinucleated cells (arrow) of RANK-L treated cells with/without ScLL as well as untreated control cells were photographed (x10 magnification). TRAP activity (B). \*\*  $p < 0.05$  compared with positive control ( $\alpha$ -MEM). \*  $p < 0.05$  compared with negative control (RANKL).

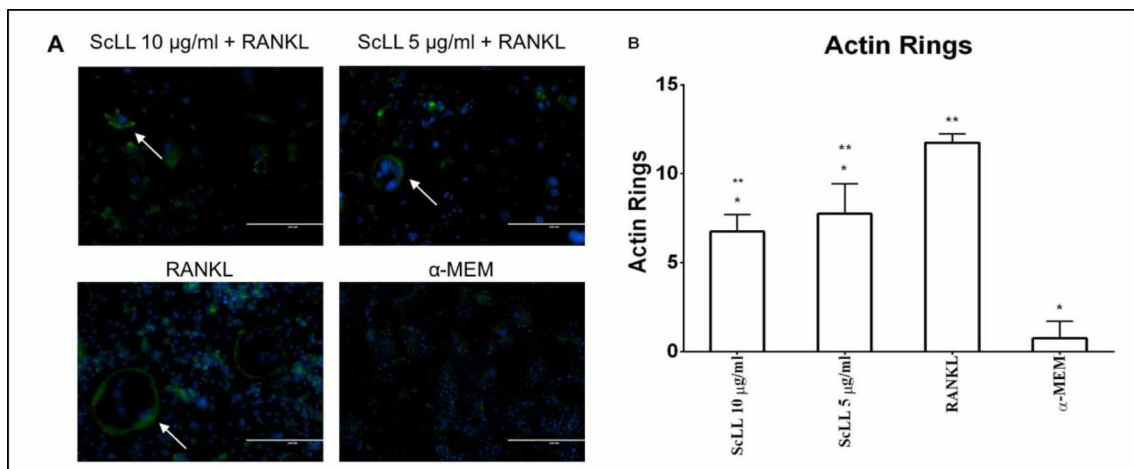


Figure 3. Immunofluorescence was carried out to detect the formation of actin rings (A). The presence of the actin rings of RANK-L treated cells with/without ScLL, and the absence in untreated control cells were photographed (x20 magnification). The number of actin ring formation was confirmed (B). \*\*  $p < 0.05$  compared with positive control ( $\alpha$ -MEM). \*  $p < 0.05$  compared with negative control (RANKL).



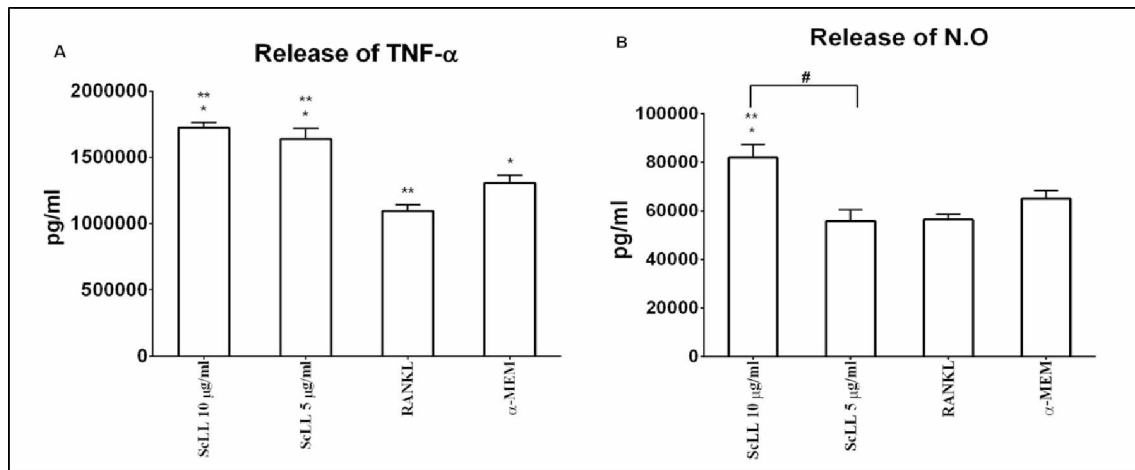


Figure 4. Release of TNF- $\alpha$  (A) and NO (B) in RAW 264.7, examined by Elisa and nitrite assay, respectively. Statistical significance was determined using Kruskal-Wallis, one-way ANOVA and Dunnet's test. #  $p < 0.05$  compared between the experimental groups. \*\*  $p < 0.05$  compared with positive control ( $\alpha$ -MEM). \*  $p < 0.05$  compared with negative control (RANKL).

# **Considerações finais**

---

Na maior parte dos casos de avulsão, o prognóstico está relacionado à resposta inflamatória, o que pode desencadear a reabsorção do dente reimplantado (Roskamp *et al.* 2011). Em busca de minimizar os danos que ocorrem ao ligamento periodontal, é recomendado armazenar o dente em meio ideal que preserve a viabilidade das células. No entanto, os meios de armazenagem recomendados pelas sociedades internacionais, tais como HBSS e leite bovino não possuem capacidade imunomodulatória, não sendo capazes de controlar a resposta inflamatória em reimplantes tardios. Diante disso, substâncias antirreabsortivas têm sido avaliadas *in vitro* e *in vivo* como tratamento radicular previamente ao reimplante tardio. Porém, seus efeitos também não são totalmente efetivos no controle ou prevenção da reabsorção (Panzarini *et al.* 2012). Considerando esses aspectos, o presente estudo que se iniciou com a avaliação de substâncias recomendadas pela comunidade científica, passando posteriormente a avaliar diferentes formulações da água de coco liofilizada, a partir das necessidades observadas por esse grupo, verificou também a necessidade de ir além, e buscar por substâncias que pudessem atuar especificamente nos remanescentes celulares de dentes reimplantados tardiamente, e que, portanto, deveriam ser produtos imunomoduladores. Preferencialmente, seguindo tendência mundial, como observado para a própolis (Pileggi *et al.* 2009), chá verde (Jung *et al.* 2012), curcumina (Martins *et al.* 2015), entre outras, essa nova substância deveria ser obtida a partir de produtos naturais, mas que pudessem atuar na resposta inflamatória e inibir a atividade clástica.

Embora exista diversos estudos *in vitro* e *in vivo* sobre meios de armazenagem para dentes avulsionados, não há consenso na literatura e a cada ano novos e mais consistentes estudos vêm sendo desenvolvido. Isso se deve a variabilidade de novos e promissores modelos experimentais desenvolvidos. Na maioria dos estudos *in vivo*, utiliza-se ratos como modelo experimental. Sabemos que os cães possuem processo de reparo similar aos humanos, conseqüentemente, estudos delineados com este tipo de animal possui maior reprodutibilidade dos resultados. Além disso, a água de coco foi escolhida como substância de eleição no presente estudo, pois é possível manter suas

propriedades quando liofilizada. Na grande parte dos estudos, a água de coco é avaliada sem o ajuste do pH, como demonstrado no estudo *in vivo*, o ajuste do pH é primordial para a manutenção da viabilidade celular. Portanto, estudos *in vivo* são importantes para validar resultados obtidos *in vitro*, e são o primeiro passo para avaliar produtos que precisam ser testados em estudos clínicos.

Os estudos *in vitro* que utilizam modelos celulares para avaliar substâncias anti-inflamatórias são similares ao do presente estudo. A associação de metodologias permite a correlação de diferentes parâmetros o que aumenta a validação dos nossos resultados. Apesar das limitações de um estudo *in vitro*, os resultados deste estudo demonstraram que ScLL na concentração de 5 µg/ml foi a substância com maior efetividade nos principais parâmetros avaliados. Dentre eles, não apresentou citotoxicidade, manteve a proliferação celular, e atuou na inibição da atividade clástica, o que comprova seu potencial como agente imunomodulatório em condições da cavidade oral. Além de suas atividades anti-inflamatórias, ScLL foi a substância de escolha para o presente estudo por ser um produto natural, extraído do látex de uma planta comum na região, e essa lectina é patenteada pela Universidade Federal de Uberlândia. Enquanto que, 15d-PGJ<sub>2</sub> é um produto comercial, vendido em pequenas alíquotas, de difícil manuseio e alto custo, quando comparado a ScLL. Estes fatos justificam a escolha da ScLL para pesquisas futuras em modelos biológicos de maior complexidade, *in vitro* e *in vivo*.

Portanto, frente aos resultados promissores de ACP-404 I e ScLL 5 µg/ml, mais pesquisas serão realizadas usando modelos *in vitro* e *in vivo* para avaliar o potencial dessas substâncias associadas, buscando desenvolver um meio de armazenagem capaz de nutrir as células, mas que também possua potencial imunomodulador para tratamento da superfície radicular de dentes avulsinados. Assim, será possível desenvolver produto comercial que seja de fácil manipulação e acesso para a população.

# Conclusões

---

Dentro das limitações deste estudo que envolveu 4 estudos *in vitro* e 1 *in vivo*, pode-se concluir que clinicamente, o tempo de 1h é fator crucial no prognóstico de dentes reimplantados, pois o dente permanece melhor hidratado, o que contribui para a manutenção da viabilidade celular. Além disso, foi confirmado o potencial da formulação ACP-404 I como possível meio de armazenagem, e ainda, a concentração de ScLL 5 µg/ml demonstrou suprimir a osteoclastogênese *in vitro*, sem causar efeitos na viabilidade celular. Diante do exposto, torna-se possível a associação de ACP-404 I e ScLL 5 µg /ml com intuito de desenvolver um produto comercial para armazenagem de dentes avulsionados que atue na prevenção das reabsorções dentárias, em casos de reimplantes tardios. Porém, enquanto este produto não estiver disponível, ainda recomenda-se o uso do leite integral como meio de armazenagem.

# Referências

---

1. Afonso-Cardoso SR, Silva CV, Ferreira MS, Souza MA. Effect of the Synadenium carinatum latex lectin (ScLL) on Leishmania (Leishmania) amazonensis infection in murine macrophages. **Exp Parasitol.** 2011 May;128(1):61-7.
2. Andersson L, Andreasen JO, Day P, Heithersay G, Trope M, Diangelis AJ et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. **Dent Traumatol.** 2012 Apr;28(2):88-96.
3. Andreasen JO. Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries. **Scand J Dent Res.** 1970;78(4):329-42.
4. Cardoso MR, Mota CM, Ribeiro DP, Noleto PG, Andrade WB, Souza MA, Silva NM, Mineo TW, Mineo JR, Silva DA. Adjuvant and immunostimulatory effects of a D-galactose-binding lectin from Synadenium carinatum latex (ScLL) in the mouse model of vaccination against neosporosis. **Vet Res.** 2012 Oct;43:76.
5. Choi SC, Kwon YD, Kim KC, Kim GT. The effects of topical application on bisphosphonates on replanted rat molars. **Dent Traumatol.** 2010 Dec;26(6):476–80.
6. de Paula Reis MV, Moura CC, Soares PB, Leoni GB, Souza-Neto MD, Barbosa DZ, Soares CJ. Histologic and micro-computed tomographic analyses of replanted teeth stored in different kind of media. **J Endod.** 2014 May;40(5):665-9.
7. aGopikrishna V, Baweja P, Venkateshbabu N, Thomas T, Kandaswamy D. A quantitative analysis of coconut water: a new storage media for avulsed teeth. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.** 2008 Feb;105(2):e61-5.
8. bGopikrishna V, Baweja PS, Venkateshbabu N, Thomas T, Kandaswamy D. Comparison of coconut water, propolis, HBSS, and milk on PDL cell survival. **J Endod.** 2008 May;34(5):587-9.
9. Gunraj MN. Dental root resorption. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.** 1999 Dec;88(6):647-53.
10. Jung IH, Lee DE, Yun JH, Cho AR, Kim CS, You YJ, Kim SJ, Choi SH. Anti-inflammatory effect of (-)-epigallocatechin-3-gallate on



- Porphyromonas gingivalis lipopolysaccharide-stimulated fibroblasts and stem cells derived from human periodontal ligament. **J Periodontal Implant Sci.** 2012;42(6):185-95.
11. Martins CA, Leyhausen G, Volk J, Geurtsen W. Curcumin in Combination with Piperine Suppresses Osteoclastogenesis In Vitro. **J Endod.** 2015 Oct;41(10):1638-45.
  12. Moreira-Neto JJ, Gondim JO, Raddi MS, Pansani CA. Viability of human fibroblasts in coconut water as a storage medium. **Int Endod J.** 2009 Sep;42(9):827-30.
  13. Martin MP, Pileggi R. A quantitative analysis of Propolis: a promising new storage media following avulsion. **Dent Traumatol.** 2004 Apr;20(2):85-9.
  14. Moazami F, Mirhadi H, Geramizadeh B, Sahebi S. Comparison of soymilk, powdered milk, Hank's balanced salt solution and tap water on periodontal ligament cell survival. **Dent Traumatol.** 2012 Apr;28(2):132-5.
  15. Moura CCG, Soares PBF, Reis MVP, Fernandes-Neto AJ, Soares CJ. Soy milk as a storage medium to preserve human fibroblast cell viability: an *in vitro* study. **Braz Dent J.** 2012; 23(5):559-63.
  16. Moura CC, Soares PB, de Paula Reis MV, Fernandes Neto AJ, Zanetta Barbosa D, Soares CJ. Potential of coconut water and soy milk for use as storage media to preserve the viability of periodontal ligament cells: an *in vitro* study. **Dent Traumatol.** 2014 Feb;30(1):22-6.
  17. Moura CC, Soares PB, Reis MV, Dechichi P, Salgueiro CC, Sobral MH, Zanetta Barbosa D, Soares CJ. Powdered coconut water as a storage medium to preserve the viability of periodontal ligament cells: a laboratory study. **Int Endod J.** 2017 Jan;50(1):84-89.
  18. Nakamura M, Tsumura H, Satoh T, Matsumoto K, Maruyama H, Majima M, Matsumoto K, Maruyama H, Majima M, Kitasato H. Tumor apoptosis in prostate cancer by PGD(2) and its metabolite 15d-PGJ(2) in murine model. **Biomed Pharmacother.** 2013 Feb;67(1):66-71.
  19. Napimoga MH, da Silva CA, Carregaro V, Farnesi-de-Assunção TS, Duarte PM, de Melo NF, Farnesi-de-Assunção TS, Duarte PM, de Melo NF, Fraceto LF. Exogenous administration of 15d-PGJ2-loaded

- nanocapsules inhibits bone resorption in a mouse periodontitis model. **J Immunol.** 2012 Jul;189(2):1043-52.
20. Panzarini SR, Trevisan CL, Brandini DA, Poi WR, Sonoda CK, Luvizuto ER, Dos Santos CL. Intracanal dressing and root canal filling materials in tooth replantation: a literature review. **Dent Traumatol.** 2012 Feb;28(1):42–8.
  21. Pearson RM, Liewehr FR, West LA, Patton WR, McPherson JC 3rd, Runner RR. Human periodontal ligament cell viability in milk and milk substitutes. **J Endod.** 2003 Mar;29(3):184-6.
  22. Pileggi R, Antony K, Johnson K, Zuo J, Shannon Holliday L. Propolis inhibits osteoclast maturation. **Dent Traumatol.** 2009 Dec;25(6):584-8.
  23. Poi WR, Carvalho RM, Panzarini SR, Sonoda CK, Manfrin TM, Rodrigues TS. Influence of enamel matrix derivative (Emdogain) and sodium fluoride on the healing process in delayed tooth replantation: histologic and histometric analysis in rats. **Dent Traumatol.** 2007 Feb;23(1):35-41.
  24. Quinteiro MS, Napimoga, MH, Mesquita KP, Clemente-Napimoga JT. The indirect antinociceptive mechanism of 15d-PGJ2 on rheumatoid arthritis-induced TMJ inflammatory pain in rats. **Eur J Pain.** 2012 Sep;16(8):1106-15.
  25. Rogerio AP, Cardoso CR, Fontanari C, Souza MA, Afonso-Cardoso SR, Silva EV, Koyama NS, Basei FL, Soares EG, Calixto JB, Stowell SR, Dias-Baruffi M, Faccioli LH. Anti-asthmatic potential of a D-galactose-binding lectin from *Synadenium carinatum* latex. **Glycobiology.** 2007 Aug;17(8):795-804.
  26. Roskamp L, Westphalen VP, Carneiro E, Fariniuk LF, Silva Neto UX. The positive influence of atopy on the prognosis of avulsed and replanted teeth despite differences in post-trauma management. **J Endod.** 2011 Apr;37(4):463-5.
  27. Schjott M, Andreasen JO. Emdogain does not prevent progressive root resorption after replantation of avulsed teeth: a clinical study. **Dent Traumatol.** 2005 Feb;21(1):46–50.

28. Silva EJ, Rollemberg CB, de Souza Coutinho-Filho T, Zaia AA. A multiparametric assay to compare the cytotoxicity of soy milk with different storage media. **Dent Traumatol**. 2013 Aug;29(4):319-22.
29. Soares Ade J, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC, de Souza-Filho FJ. Relationship between clinical-radiographic evaluation and outcome of teeth replantation. **Dent Traumatol**. 2008 Apr;24(2):183-8.
30. Souza BD, Lückemeyer DD, Reyes-Carmona JF, Felipe WT, Simões CM, Felipe MC. Viability of human periodontal ligament fibroblasts in milk, Hank's balanced salt solution and coconut water as storage media. **Int Endod J**. 2011 Feb;44(2):111-5.
31. Souza BDM, Lückemeyer DD, Felipe WT, Simões CM, Felipe MC. Effect of temperature and storage media on human periodontal ligament fibroblast viability. **DentTraumatol**. 2010 Jun;26(3):271-5.
32. Souza MA, Carvalho FC, Ruas LP, Ricci-Azevedo R, Roque-Barreira MC. The immunomodulatory effect of plant lectins: a review with emphasis on ArtinM properties. **Glycoconj J**. 2013 Oct;30(7):641-57.
33. Soares PBF, Rocha AM, Reis MVP, Moura CCG, Soares CJ. Evaluation of coconut water neutralized by different agents on the viability of human fibroblasts: an in vitro study. **Rev Odontol UNESP**. 2016;45:234-9.
34. Tuna EB, Yaman D, Yamamoto S. What is the Best Root Surface Treatment for Avulsed Teeth? **Open Dent J**. 2014 Sep;29(8):175-9.
35. Trope M. Avulsion of permanent teeth: theory to practice. **Dent Traumatol**. 2011 Aug;27(4):281-94.
36. Yang W, Ko H, Kim H, Kim M. The effect of cathepsin K inhibitor on osteoclastic activity compared to alendronate and enamel matrix protein. **Dent Traumatol**. 2015 Jun;31(3):202-8.



## 7.1 - Parecer do Comitê de Ética na Utilização de Animais.



Universidade Federal de Uberlândia  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Comissão de Ética na Utilização de Animais (CEUA)  
Avenida João Naves de Ávila, nº. 2160 - Bloco A, sala 224 - Campus Santa  
Mônica - Uberlândia-MG –  
CEP 38400-089 - FONE/FAX (34) 3239-4131; e-mail: ceua@propp.ufu.br;  
[www.comissoes.propp.ufu.br](http://www.comissoes.propp.ufu.br)

ANÁLISE FINAL Nº 203/11 DA COMISSÃO DE ÉTICA NA UTILIZAÇÃO DE  
ANIMAIS PARA O PROTOCOLO REGISTRO CEUA/UFU 101/11

Projeto Pesquisa: "Avaliação da água de coco para armazenagem de dentes  
avulsionados. Estudo experimental em cães".

Pesquisador Responsável: Carlos José Soares

O protocolo não apresenta problemas de ética nas condutas de pesquisa com  
animais nos limites da redação e da metodologia apresentadas.

SITUAÇÃO: PROTOCOLO DE PESQUISA APROVADO.

OBS: O CEUA/UFU LEMBRA QUE QUALQUER MUDANÇA NO PROTOCOLO  
DEVE SER INFORMADA IMEDIATAMENTE À CEUA PARA FINS DE  
ANÁLISE E APROVAÇÃO DA MESMA.

AO FINAL DA PESQUISA DEVE SER ENTREGUE À CEUA UM RELATÓRIO.  
O MODELO DESTES ESTÁ NO SITE.

Uberlândia, 14 de dezembro de 2011

Prof. Dr. Evandro de Abreu Fernandes  
Presidente da CEUA/UFU

## 7.2 - Parecer do Comitê de Ética de Pesquisa em Humanos.



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Avaliação de substâncias moduladoras na preservação de fibroblastos e inibição clástica - Estudo in vitro

**Pesquisador:** Camilla Christian Gomes Moura

**Área Temática:**

**Versão:** 4

**CAAE:** 49446915.3.0000.5152

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Uberlândia/ UFU/ MG

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.480.043

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

UBERLÂNDIA, 05 de Abril de 2016

---

**Assinado por:**  
Karine Rezende de Oliveira  
(Coordenador)