

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL  
MESTRADO EM MEIO AMBIENTE E QUALIDADE AMBIENTAL

Arthur Pereira dos Santos

Crescimento urbano e expansão minerária: a dinâmica do comportamento das partículas inaláveis e da temperatura da superfície no perímetro urbano de Paracatu – MG

Uberlândia  
2020

Arthur Pereira dos Santos

Crescimento urbano e expansão minerária: a dinâmica do comportamento das partículas inaláveis e da temperatura da superfície no perímetro urbano de Paracatu – MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Gestão e Monitoramento ambiental, para obtenção do título de “Mestre”.

Prof. Dr. Fernando Luiz de Paula Santil  
(Orientador)

Profa. Dra. Samara Carbone  
(Coorientadora)

Uberlândia  
2020

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S237 2020	<p>Santos, Arthur Pereira dos, 1993- CRESCIMENTO URBANO E EXPANSÃO MINERÁRIA: A DINÂMICA DO COMPORTAMENTO DAS PARTÍCULAS INALÁVEIS E DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO URBANO DE PARACATU – MG [recurso eletrônico] / Arthur Pereira dos Santos. - 2020.</p> <p>Orientador: Fernando Luiz de Paula Santil. Coorientadora: Samara Carbone. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.103">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.103</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Santil, Fernando Luiz de Paula, 1964-, (Orient.). II. Carbone, Samara, 1982-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental  
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 7/2020 - PPGMQ				
Data:	18 de Novembro de 2020	Hora de início:	8:00	Hora de encerramento:	11:50
Matrícula do Discente:	11912MQA004				
Nome do Discente:	Arthur Pereira dos Santos				
Título do Trabalho:	Crescimento urbano e expansão minerária: a dinâmica do comportamento das Partículas Inaláveis e da Temperatura da Superfície no perímetro urbano de Paracatu - MG				
Área de concentração:	Ciências exatas e da Terra: Geociências				
Linha de pesquisa:	Gestão e Monitoramento Ambiental				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Análise da exploração dos recursos minerais e a sua influência na saúde do município de Paracatu – MG				

Reuniu-se por meio de webconferencia, por meio da Plataforma conferenciaweb da rnp no LINK <https://conferenciaweb.rnp.br/webconf/ppgmq-programa-de-pos-graduacao-em-qualidade-ambiental>, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental, assim composta: Professores Doutores: Roberto Terumi Atarrassi - UFU; Ana Paula Marques Ramos - UNOESTE e Fernando Luiz de Paula Santil - UFU orientador(a) do(a) candidato.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Fernando Luiz de Paula Santil, 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(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

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. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Marques Ramos, Usuário Externo**, em 18/11/2020, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Luiz de Paula Santil, Professor(a) do Magistério Superior**, em 18/11/2020, às 20:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Terumi Atarassi, Professor(a) do Magistério Superior**, em 18/11/2020, às 22:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2397983** e o código CRC **7A43968E**.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>3</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>7</b>
1.2.1 Atividade de mineração no Brasil .....	7
1.2.2 Breve visão da atividade de mineração em Minas Gerais .....	8
1.2.3 Atividade de mineração em Paracatu – MG .....	9
1.2.4 A mineração e os conflitos sociais e ambientais em Paracatu - MG .....	11
1.2.5 Qualidade do ar - Fundamentos legais .....	13
1.2.6 Poluentes atmosféricos .....	14
1.2.7 Material particulado .....	15
1.2.8 Meteorologia e dispersão dos poluentes .....	17
1.2.9 Sensoriamento Remoto e o seu uso na análise de Ilhas de Calor .....	18
1.2.10 Planejamento urbano e clima urbano .....	20
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>32</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>33</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	<b>36</b>
2.2.1 Área de estudo .....	36
2.2.2 Obtenção dos dados de qualidade do ar e comparação com os valores vigentes na legislação brasileira .....	36
2.2.3 Análise estatística dos valores das estações de qualidade do ar .....	39
2.2.4 Média da concentração mensal do MP <sub>10</sub> e o acúmulo pluviométrico mensal no município de Paracatu - MG .....	39
2.2.5 Predominância da direção e da velocidade do vento nos dias que ultrapassaram o valor limite da legislação .....	39
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>40</b>

<b>2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>57</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>58</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>61</b>
3.2.1 Área de estudo .....	61
3.2.2 Aquisição dos dados .....	62
3.2.3 Extração da LST das imagens orbitais .....	64
3.2.4 Média das imagens, extração dos valores dos pixels das máscaras e análise dos dados.....	65
3.2.5 Análise dos bairros que mais e menos variaram em sua LST.....	65
3.2.6 Análise do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) .....	66
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>66</b>
<b>3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>79</b>

## **CAPÍTULO 1**

## RESUMO

SANTOS, Arthur Pereira dos. **Crescimento urbano e expansão minerária: a dinâmica do comportamento das partículas inaláveis e da temperatura da superfície no perímetro urbano de Paracatu – MG**. 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.103><sup>1</sup>

A mineração, no Brasil e no mundo, tem influenciado as dinâmicas socioespaciais e socioambientais locais, regionais e globais. Diante das práticas hegemônicas que destacam o papel central dessa atividade para com o desenvolvimento econômico, essa atividade é sempre vista como uma atividade estratégica e de grande desenvolvimento tecnológico. No entanto, o que muitas vezes se desconhece é que, por mais que seja uma atividade caracterizada por ocasionar impactos negativos, a sociedade nunca esteve tão dependente desse setor econômico. Portanto, este capítulo de dissertação objetivou compreender como se deu a apropriação minerária no Brasil, no estado de Minas Gerais (MG) e no município de Paracatu, área de estudo deste trabalho, visando, dessa forma, compreender as controvérsias em decorrência de uma extensa discussão sobre a influência da atividade minerária no bem-estar dos seus munícipes, da possível contaminação por metais pesados por diferentes vias, das desapropriações de comunidades tradicionais e, recentemente, diante de sua expansão, dos moradores de bairros periféricos da cidade. Para tanto e, devido ao fato de essa atividade ocorrer há décadas a céu aberto, foi abordado, por meio de revisão bibliográfica, abordagens que tangem o monitoramento da poluição atmosférica e do comportamento das partículas inaláveis com diâmetro menor que  $<10\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ), bem como a apresentação da legislação brasileira vigente e a influência dos parâmetros meteorológicos para a dispersão dos poluentes. Além do mais, diante do cenário de expansão da atividade minerária e da malha urbana do município de Paracatu, levantou-se, por meio de revisão de literatura, tópicos que devem ser considerados no que se refere ao crescimento das atividades antrópicas e as suas influências no meio ambiente e no bem-estar dos munícipes. Nesse sentido, um dos impactos ocasionados com essas expansões é a alteração da temperatura superficial da área. Portanto, ao se pensar em um planejamento ambiental adequado para esses locais, é necessário o monitoramento ambiental eficaz e, também, o emprego de geotecnologias no levantamento e avaliação do território. Por fim, vale frisar que este estudo é justificado devido à necessidade de se oferecer subsídios ao planejamento territorial do município de Paracatu – MG, porque nada se conhece, até o momento, sobre o papel que o seu crescimento desempenhou em sua temperatura superficial e muito pouco foi verificado com relação à poluição atmosférica ocasionada pela atividade de mineração a céu aberto localizada no limite do perímetro urbano desse.

**Palavras-chave:** atividade de mineração. expansão urbana. geotecnologias.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Fernando Luiz de Paula Santil – UFU e Samara Carbone - UFU

## ABSTRACT

SANTOS, Arthur Pereira dos. **Urban growth and mining expansion: the dynamics of the behavior of inalable particles and surface temperature in the urban perimeter of Paracatu – MG. 2020.** 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.103><sup>1</sup>

Mining operation, in Brazil and in the world, has influenced local, regional and global socio-spatial and socio-environmental dynamics. Considering the hegemonic practices that highlight the central role of this activity in relation to economic development, this activity is always seen as a strategic activity and of a great technological development. However, what is often unknown is that, although it is an activity characterized by its negative impacts, society has never been more dependent on this economic sector. Therefore, this dissertation chapter aimed to understand how mining appropriation took place in Brazil, in the state of Minas Gerais (MG) and in the municipality of Paracatu, area of study for this work, aiming, in this regard, to understand the controversies due to an extensive discussion about the influence of mining operation on the well-being of its residents, the possible contamination by heavy metals by different routes, the expropriation of traditional communities and, recently, due to its expansion, the residents of the city's peripheral neighborhoods. Therefore, and due to the fact that this activity has been occurring for decades as an open pit minning, approaches that address the monitoring of atmospheric pollution and the behavior of inhalable particles with a diameter less than  $<10\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) have been addressed, as well as the current Brazilian legislation and the influence of meteorological parameters for the dispersion of pollutants. Furthermore, considering the scenario of expansion of the mining operation and the urban mesh of the municipality of Paracatu, topics that should be considered in terms of the growth of anthropic activities and their influences were discussed through a literature review on the environment and the well-being of citizens. In this regard, one of the impacts caused by these expansions is the change in the surface temperature of the area. Therefore, when thinking about adequate environmental planning for these locations, it is necessary to have effective environmental monitoring and also the use of geotechnologies in the assessment and evaluation of the territory. Finally, its noteworthy to stress that this study is justified due to the need to offer subsidies to the territorial planning of the municipality of Paracatu - MG, because nothing is known, so far, about the role that its growth played in its surface temperature and very little has been verified in relation to the atmospheric pollution caused by the open mining activity located at the limit of its urban perimeter.

**Keywords:** mining operation. urban expansion. geotechnology.

---

<sup>1</sup> Supervising communitte: Fernando Luiz de Paula Santil – UFU e Samara Carbone - UFU

## 1.1 INTRODUÇÃO

A atmosfera terrestre é de suma importância e necessária para a manutenção da vida no nosso planeta. Porém, suas características podem ser alteradas por meio de fenômenos naturais ou ações antropogênicas. Nesse viés, a atividade de mineração é caracterizada por ocasionar impactos ambientais negativos, diretos e indiretos, na atmosfera (FARIA; BLANCO, 2020) por, dentre outros fatores, implicar na supressão de vegetação e/ou impedimento de sua regeneração (MECHI; SANCHES, 2010).

O cenário exposto, atrelado à proximidade da malha urbana de um município, torna fundamental um monitoramento ambiental por parte dos órgãos ambientais e públicos fiscalizadores, pois, ao mesmo tempo em que os centros urbanos ganham protagonismo econômico e político, afirmando-se como espaços territoriais mais propícios à criação de riqueza e de emprego, também são dotados de um conjunto de aspectos negativos associados à degradação ambiental ocasionado pelo seu crescimento desordenado (ABIKO; MORAES, 2009). Nesse sentido, Toffoli et al. (2020) ratifica que a necessidade da análise de parâmetros da superfície terrestre aumenta com a substituição de coberturas superficiais naturais e apropriação desses espaços para atividades antrópicas. Assim sendo, entender as mudanças na cobertura terrestre é fundamental para melhorar gestão dos recursos naturais locais (CAVALCANTE et al., 2020).

Este trabalho, dividido em 3 capítulos, baseia-se na hipótese de que a falta de planejamento urbano ambiental, atrelada à exploração de recursos minerais, influencia, de maneira negativa, o ambiente e o bem-estar dos munícipes da área em estudo, o município de Paracatu – MG. A escolha dessa área ocorreu em função da proximidade geográfica da exploração de uma das maiores minas de ouro (Au) a céu aberto do Brasil com o perímetro urbano do município.

## **1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **1.2.1 Atividade de mineração no Brasil**

A existência e a importância da atividade de mineração na economia do Brasil são históricas, estando essa atividade presente desde a colonização ao tempo atual (BRITO et al., 2019; COUTINHO, 2008).

O Brasil Colônia (1500 - 1822) se destacou por ser um período de grande expectativa de Portugal para encontrar metais preciosos. Com a descoberta do Au, houve a atração populacional, sendo o ciclo desse mineral o principal responsável pela interiorização do país (FERNANDES; ARAÚJO, 2016; FIGUEIROA, 1994).

Posteriormente, no Brasil Império (1822 – 1888), já do meio para o final dessa era, devido ao fato de existirem inúmeras minas abandonadas do período anterior, abriu-se as atividades de exploração mineral para a iniciativa privada, ocasionando na atração de outros países para o Brasil para a extração de Au e Ferro (Fe) (ABREU; LAGO, 2010). Com isso, novas tecnologias alcançaram o país, com destaque para as escavações subterrâneas e as máquinas a vapor (FERNANDES; ARAÚJO, 2016).

Já no período republicano (1889 - 1964), o Brasil foi destaque pelo crescimento industrial das diretrizes nacionalistas do presidente Getúlio Vargas. Com isso, a indústria mineral se responsabilizou por fornecer os insumos básicos para o desenvolvimento econômico do país (CORONEL et al., 2014).

Neste momento, a atividade de mineração era considerada como uma atividade de porte médio. Porém, ainda estava voltada a atender as necessidades do mercado interno, fato que mudou completamente no período da ditadura militar (VILLAS-BÔAS, 1995).

Na fase da ditadura militar (1964-1985), empreendimentos multinacionais de grande porte vieram para o Brasil e o país alcançou elevado crescimento econômico. Com isso, a Companhia Vale do Rio Doce se consolidou no cenário mundial de produtor e exportador de minério de ferro. Além disso, a atividade de mineração brasileira chegou a apresentar taxas anuais de crescimento de mais de 10% (FERNANDES; ARAÚJO, 2016; LINS et al., 2000; VILLAS-BÔAS, 1995).

Atualmente, o país vive seu período republicano iniciado pela redemocratização pós-ditadura. O setor é, juntamente com o agronegócio, responsável pelo equilíbrio da economia brasileira (FERNANDES; ARAÚJO, 2016).

Não obstante, por estar associada à extração de recursos naturais não renováveis, a atividade de mineração é considerada por ter alto poder de impactar, negativamente, o meio ambiente, sendo caracterizada por ser insustentável (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2001).

Em oposição ao exposto, a mineração é a base da sociedade industrial moderna, fornecendo matéria-prima para todos os demais setores da economia, sendo, portanto, essencial ao desenvolvimento econômico (OLIVEIRA, 2018).

### **1.2.2 Breve visão da atividade de mineração em Minas Gerais**

O estado de Minas Gerais (MG), cujo sinônimo – informal – está relacionado a “algo de cada”, faz total honra ao seu nome, e isso está diretamente vinculado à sua abrangência mineralógica (REZENDE, 2016; ROESER; ROESER, 2010).

Por mais que a procura e a exploração de minério por parte dos bandeirantes tenha se iniciado no século XVII e sendo MG o estado brasileiro mais procurado e explorado por esses, ainda hoje, o estado continua entre os maiores produtores minerais do país (REZENDE, 2016; AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2018; TONIETTO).

Similar a riqueza mineral do estado, esse também é responsável por sediar os últimos desastres no país relacionados à atividade de mineração. O que aconteceu em Brumadinho – MG (2019) realçou que o estado e os órgãos competentes pela fiscalização ambiental e de barragens de atividade de mineração aprenderam pouco, ou quase nada, do que já havia ocorrido em Mariana – MG (2015).

O descrito é corroborado à similaridade dos dois desastres, podendo-se destacar a falha no monitoramento da barragem de rejeitos, na análise de risco de estruturas contidas nas barragens e na participação, direta ou indireta, da empresa Vale S/A (REZENDE; SILVA, 2019).

A situação apresentada torna-se ainda mais crítica pois, após o ocorrido em Mariana, o estado chegou a realizar alterações na legislação que tange o licenciamento ambiental no setor mineral, tratando de casos específicos de licenciamento ambiental de barragens de rejeitos de mineração, evidenciando, portanto, falhas e/ou negligência por parte dos órgãos fiscalizadores voltados para a função ambiental (REZENDE; SILVA, 2019).

Em consequência do impacto ocasionado pelo exposto, MG perdeu o posto de maior produtor mineral do Brasil, conforme o anuário mineral brasileiro divulgado pela Agência Nacional de Mineração (AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO, 2019), e isso pode estar relacionando, dentre outros fatores, à paralisação da produção mineral em Brumadinho, mas também com o ‘efeito cascata’ que a empresa Vale S/A vem passando no estado, diante dos diversos processos judiciais por sucessivas tragédias (DOMINGUES et al., 2019).

### **1.2.3 Atividade de mineração em Paracatu – MG**

No município de Paracatu (MG) está localizada uma das maiores minas de exploração de Au a céu aberto do país, operando 24 h por dia (KINROSS, 2020).

Desde a sua origem, esse município está correlatado ao Au, sendo caracterizada por José Rodrigues Frois que, ao se estabelecer no povoado São Domingos, em Paracatu, enviou uma carta ao governador comunicando que, nas cabeceiras do Rio Paracatu, havia uma quantidade de Au muito grande (PIMENTEL, 2020).

Devido à descoberta, a visibilidade do município por sua abundância mineral contribuiu, rapidamente, para o crescimento do arraial de São Luiz e Sant’Anna das Minas do Paracatu e, após um período de grande crescimento, o arraial foi elevado à vila, em 1798, sendo denominado de Paracatu do Príncipe (PIMENTEL, 2020).

Décadas após o primeiro período de exploração mineral no município, ocorreram surtos de garimpo, com a introdução de técnicas rudimentares na região (Figura 1.1). Os pontos mais importantes de exploração garimpeira se localizavam no córrego Rico (nome que faz referência à alta concentração de Au encontrada nesse corpo hídrico). Porém, essas atividades garimpeiras deixaram um rastro de assoreamento e completa destruição da vegetação nas marginais do córrego (SILVA, 2004).

Com relação à exploração de Au no município, essa foi realizada, inicialmente, pela empresa Rio Paracatu Mineração (RPM), quando estudos realizados na década de 80 detectaram a cubagem de uma jazida de baixo teor aurífero no local denominado Morro do Ouro (denominação do local onde encontra-se a exploração mineral), justamente no limite da zona urbana da cidade (ANDRADE et al., 2019).

Figura 1.1 Garimpo rudimentar no córrego Rico.



Fonte: Arquivo público municipal de Paracatu.

Em 2003, a empresa canadense Kinross Gold Corporation adquiriu participação nos lucros da mina Morro do Ouro. Já no ano seguinte, a empresa canadense adquiriu o que restava do capital da RPM e, em 2005, iniciou suas atividades em Paracatu (KINROSS, 2020).

Após início da expansão da planta industrial, em 2008, a Kinross passou a executar um novo projeto de ampliação, em decorrência da descoberta de reservas desconhecidas de minério de ouro. Portanto, a empresa triplicou a capacidade de produção da mina, elevando a capacidade de lavra para 61 milhões t/ano, e garantiu a operação da empresa na região até o ano de 2030 (FIRMIANO, 2020).

Vale destacar que, atualmente, a exploração mineral da Kinross em Paracatu trabalha com o menor teor aurífero do mundo (0,4 gramas por tonelada de minério) (KINROSS, 2020).

Além do Au, a mineração no município ocorre, também, com a exploração de Zinco (Zn) e Chumbo (Pb), sendo esses de responsabilidade da multinacional Nexa Resources, antiga Votorantim Metais Zinco, com início das operações datada em 1988 (NEXA, 2020). De acordo com informações coletadas no sítio eletrônico da empresa, em 2010, recebeu o prêmio de maior produtora de zinco da América Latina e, já no ano de 2012, tornou-se a maior fabricante de níquel eletrolítico da América Latina, líder no mercado brasileiro de alumínio e posicionada entre as cinco maiores produtoras de Zn do mundo (NEXA, 2020).

Em Paracatu, a Nexa atua na atividade de mineração na mina Morro Agudo, situada 50 km da malha urbana do município. Além do Zn, ocorre no local a extração de

pó de calcário, sendo esse um subproduto comercializado como corretivo na agricultura (NEXA 2020).

#### **1.2.4 A mineração e os conflitos sociais e ambientais em Paracatu - MG**

O contexto socioambiental relacionado à atividade de mineração no município engloba conflitos de interesse de todas as partes. Por ser responsável por grande parte do Produto Interno Bruto (PIB) do município e gerar, aproximadamente, 5000 empregos diretos e indiretos, o fator “dependência”, em determinadas ocasiões, compete com os fatores sociais e ambientais (CASTILHOS et al., 2020).

Diariamente, no período da tarde (entre 15 h e 16 h), centenas de buracos são detonados com explosivos. Vale ressaltar que, no Brasil, o minério de onde é extraído o Au é rico em arsenopirita, ou seja, o Au encontra-se associado ao arsênio (As). Isso acontece, por exemplo, em Ouro Preto - MG, onde as águas subterrâneas presentes em antigas minas de ouro registram presença de doses significativas desse elemento tóxico, e também em outros locais como Crixás - GO e na Fazenda Brasileiro - BA (ARAUJO et al., 2014).

Nesse sentido, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) editou a Portaria nº 09, de 07 de fevereiro de 2020, definindo a Suspensão Temporária das outorgas de direito de uso de recursos hídricos no Córrego Rico e na sua bacia de contribuição, por 5 anos, a contar da publicação. A portaria, já em vigor, foi publicada no Diário do Executivo no dia 18 de fevereiro (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2020).

O exposto se deve à Nota Técnica nº 30/IGAM/GEMOQ/2019, que verificou, no Córrego Rico, valores elevados de As, sobretudo no trecho localizado a jusante do município de Paracatu, cujos valores chegam a ultrapassar os limites legais em 100 vezes (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2020).

A nota técnica supracitada destaca que o As apresenta elevada toxidez para a biota e população humana e informa que o trecho do córrego Rico avaliado não está apto para os usos estabelecidos para águas de Classe 2, quais sejam, abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; recreação de contato primário; irrigação; aquicultura e atividade de pesca (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS, 2020).

Vale destacar que o As está entre os elementos mais nocivos à saúde humana, assim como o Hg, o Pb e o Cádmiio (Cd). Porém, o efeito tóxico das espécies de As depende, principalmente, de sua forma química, o que torna ainda mais complexo a associação entre problemas de saúde e a contaminação por esse (BRAGA et al., 2005).

Além disso, o As é classificado como cancerígeno humano de Grupo I pela Agência Internacional para Pesquisas sobre Câncer (IARC) e pela Agência Ambiental Norte-Americana (EPA), o que torna o contexto ainda mais preocupante.

Em vista da situação descrita, Santos (2012) destacou o Relatório de Desenvolvimento Sustentável emitido em 2003 pela Rio Tinto Brasil (RTZ), em que foi verificado que quantidade de As na denominada “poeira fugitiva” (Figura 1.2) da mina Morro do Ouro aumentou de 3,42 kg em 2001 para 6,10 kg em 2003.

Figura 1.2 - Poeira fugitiva na área de exploração de ouro a céu aberto da Kinross em Paracatu – MG.



Fonte: NEVES (2008) e BARROS (2015).

Em relação aos conflitos sociais, além da proximidade da área de exploração mineral com a malha urbana do município, o Ministério Público Federal (MPF) pressupôs que a expansão da mineradora causou e, ainda causa, danos patrimoniais e morais às famílias quilombolas Machadinho, Amaros e São Domingos que habitavam e/ou habitam a região (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2010).

Esse contexto é relacionado ao fato de que, em suas expansões, a mineradora comprava as áreas dos quilombolas e, conseqüentemente, desagregava do local as suas identidades culturais (SOUZA et al., 2010; MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2010).

Além disso, com o projeto de expansão, houve a necessidade de construir uma nova barragem de rejeitos, ocupando um vale que, originalmente, pertencia à comunidade quilombola Machadinho (SOUZA et al., 2010).

Diante desse conflito, a Justiça Federal localizada em Patos de Minas (MG) concedeu uma liminar na Ação Civil Pública que proibia a mineradora de realizar qualquer atividade, em um raio de 500 metros, da comunidade remanescente Quilombo dos Amaros (MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, 2010).

### **1.2.5 Qualidade do ar - Fundamentos legais**

Uma rede de monitoramento atmosférico é considerada quando há duas ou mais estações de medições das concentrações de poluentes atmosféricos, estabelecidas em determinada região geográfica, em que medidas regulares de determinados poluentes e parâmetros meteorológicos são realizadas para determinar e/ou verificar a presença de poluição e/ou estabelecer as tendências das concentrações de poluentes atmosféricos no tempo (FRONDIZI, 2008).

De acordo com o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, INEMA, (2016), o objetivo do monitoramento da qualidade do ar é avaliar, constantemente, as propriedades que tornam o ar um ambiente favorável ao ser humano e ao meio ambiente, sendo possível de se observar os valores das emissões referentes às fontes fixas e móveis.

Fronidzi (2008) ratifica que uma estação de monitoramento da qualidade do ar pode objetivar, também, dentre outras disposições: a) verificar o adequamento aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental federal, estadual ou municipal; b) verificar se há tendência de evolução na concentração dos poluentes; c) obter dados da área em questão para serem aplicados em pesquisas, estudos de zoneamento e programas de controle e; d) avaliar o impacto ambiental de determinada fonte na qualidade do ar.

Atualmente, os padrões de qualidade do ar no Brasil são regidos pela Resolução nº 491 do CONAMA, que entrou em vigor no ano de 2018, e são divididos em Padrões Intermediários (PI) no qual são estabelecidos como temporários, a serem cumpridos em etapas, e os valores de qualidade do ar recomendados pela OMS, como Padrões Finais (PF) (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2018). A Tabela 1.1 apresenta os padrões de qualidade do ar definidos por essa Resolução.

Tabela 1.1 - Padrões de qualidade do ar definidos pela Resolução n° 491 do CONAMA.

<b>Poluente Atmosférico</b>	<b>Período de Referência</b>	<b>PI-1</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>PI-2</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>PI-3</b> µg/m <sup>3</sup>	<b>PF</b> µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>Material Particulado - MP<sub>10</sub></b>	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
<b>Material Particulado - MP<sub>2,5</sub></b>	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual <sup>1</sup>	20	17	15	10	-
<b>Dióxido de Enxofre - SO<sub>2</sub></b>	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual <sup>1</sup>	40	30	20	-	-
<b>Dióxido de Nitrogênio - NO<sub>2</sub></b>	1 hora <sup>2</sup>	260	240	220	200	-
	Anual <sup>1</sup>	60	50	45	40	-
<b>Ozônio - O<sub>3</sub></b>	8 horas <sup>3</sup>	140	130	120	100	-
<b>Fumaça</b>	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual <sup>1</sup>	40	35	30	20	-
<b>Monóxido de Carbono - CO</b>	8 horas <sup>3</sup>	-	-	-	-	9
<b>Partículas Totais em Suspensão - PTS</b>	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual <sup>4</sup>	-	-	-	80	-
<b>Chumbo - Pb<sub>5</sub></b>	Anual <sup>1</sup>	-	-	-	0,5	-
<b>1 - Média aritmética anual</b>						
<b>2 - Média horária</b>						
<b>3 - Máxima média móvel obtida no dia</b>						
<b>4 - Média geométrica anual</b>						
<b>5 - Medido nas partículas totais em suspensão</b>						

Fonte: CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (2018).

### 1.2.6 Poluentes atmosféricos

Um poluente atmosférico é considerado qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características que tornem ou possuem a capacidade de tornar o ar impróprio à saúde, sendo esse danoso à fauna, à flora e

ocasionando inconveniência para o bem-estar público (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2018).

Assim sendo, a poluição do ar é considerada quando o ar contém, em sua composição, um ou mais poluentes, definidos pela legislação específica do local, em concentração suficiente de ocasionar impacto negativo ao ser humano, aos animais e vegetais, aos materiais e ao meio ambiente (BRAGA et al., 2005).

Em se tratando de poluentes atmosféricos, esses são, em sua maioria, substâncias adicionadas, formadas ou emitidas no ar - poluentes primários e poluentes secundários - pelas atividades humanas, possuindo, portanto, efeito adverso (ARBEX et al., 2012; BRAGA et al., 2005).

Os poluentes primários são os lançados diretamente no ar. Dentre esses, pode-se destacar o Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Monóxido de Carbono (CO) e Materiais Particulados (MP) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020). Já os poluentes secundários são formados na atmosfera por meio de reações químicas como, por exemplo, o O<sub>3</sub>, que é essencial para a sobrevivência humana na estratosfera, mas quando formado na troposfera se torna um poluente atmosférico e também o MP (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020; VALLERO, 2014).

Convém ressaltar que a formação de poluentes secundários necessita de certo tempo e ocorre à medida que as massas de ar se deslocam. Portanto, é normal que concentrações elevadas desses poluentes atinjam áreas mais afastadas das fontes de emissão que os poluentes primários (DRUMM, 2014).

No Brasil, o MMA define os poluentes atmosféricos relacionados com a qualidade do ar em: Aldeídos (RCHO), SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, hidrocarbonetos (HC), MP, CO, O<sub>3</sub> e poluentes climáticos de vida curta (PCVC).

### **1.2.7 Material particulado**

Com relação ao monitoramento da qualidade do ar de poluentes atmosféricos, o parâmetro mais comum é o MP, que representa a quantidade de matéria particulada presente em determinado volume ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (BAIRD, 2002).

O MP é, usualmente, classificado pela sua propriedade física e é considerado uma mistura de partículas de diferentes fontes e de diferentes tamanhos, composições e propriedades (VALLERO, 2014).

Essas partículas, também chamadas de aerossóis, são formadas por diversos componentes como ácidos (sulfatos e nitratos, por exemplo), orgânicos, metais, solo e partículas de poeira (SANTOS et al., 2019). O MP pode também se formar na atmosfera a partir de gases como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos, principalmente, em atividades de combustão (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2001).

Baird (2002) ressalta que o tamanho das partículas são, individualmente, invisíveis a olho nu, porém, quando se trata do conjunto dessas partículas, essas, geralmente, formam uma neblina que pode reduzir a visibilidade. Usualmente, distingue-se o MP em diferentes níveis, sendo:

- **MP<sub>10</sub>**: correspondem a toda faixa de partículas finas e os menores membros da faixa de partículas grossas (partículas inaláveis). Apresentam diâmetro entre 2,5 a 10  $\mu\text{m}$  (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018; UNITED STATES ENVIRONMENTAL, 2006, 2004).
- **MP<sub>2,5</sub>**: corresponde apenas as partículas finas (partículas respiráveis). O seu tamanho varia de 2,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro ou menores (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2018; UNITED STATES ENVIRONMENTAL, 2006, 2004).
- **Partículas Totais em Suspensão (PTS)**: podem ser definidas como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 50  $\mu\text{m}$  (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Vale frisar que os efeitos do MP na saúde humana dependem da sua dimensão. As partículas de MP<sub>10</sub>, por serem inaláveis, geralmente, apenas entram no sistema respiratório superior. Já o MP<sub>2,5</sub>, consegue alcançar além da laringe e as frações menores (MP<sub>1,0</sub>) podem ser encontradas, até mesmo, nos alvéolos pulmonares (UNITED STATES ENVIRONMENTAL, 2016).

Em relação ao meio ambiente, devido ao fato de as partículas poderem ser transportadas por longas distâncias pelo vento, podendo serem depositadas em solo ou água, podem causar a acidificação desses, o esgotamento dos nutrientes no solo - afetando

a diversidade dos ecossistemas -, danificar rochas, materiais e/ou objetos culturalmente importantes, como estátuas e monumentos (UNITED STATES ENVIRONMENTAL, 2006, 2004).

### **1.2.8 Meteorologia e dispersão dos poluentes**

As condições meteorológicas são os principais fatores que causam as variações do dia a dia nas concentrações de poluentes e desempenham papel importante na dispersão ou acumulação de poluentes (MOREIRA et al., 2008).

Sendo assim, ocorrências de violações ao padrão e episódios críticos de poluição do ar estão interligados as condições atmosféricas, pois essas atuam diretamente na transformação e dispersão dos poluentes emitidos, com a influência significativa de variáveis como velocidade e direção dos ventos, precipitação, temperatura, umidade, radiação e condições de instabilidade atmosférica (CARVALHO et al., 2015; SANTOS et al., 2018).

As condições meteorológicas influenciam diretamente na dispersão e na deposição dos gases emitidos na atmosfera (MOREIRA; TIRABASSI, 2004) e algumas dessas circunstâncias podem prognosticar níveis críticos de poluição do ar, como: a intensidade e direção dos ventos, a temperatura e a umidade relativa do ar (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2006).

Convém ressaltar que a baixa umidade relativa e a reduzida velocidade do vento tendem a elevar os níveis de poluentes. Já a ocorrência de precipitação pluviométrica e o aumento da velocidade do vento contribuem para a dispersão e diluição dos poluentes e, conseqüentemente, para a redução da concentração dos mesmos. Nesse contexto, destaca-se que, como na estação do verão ocorrem maiores volumes de chuvas do que do inverno, por exemplo, a tendência é que para poluentes como o  $MP_{10}$ , a concentração seja menor no período do verão (MONTE et al., 2016).

De acordo com Torres (2005), mesmo mantidas as fontes de emissão, a qualidade do ar pode mudar em função das condições meteorológicas, determinando uma maior ou menor diluição dos poluentes. Portanto, observa-se que, no inverno do Brasil, a qualidade do ar é inferior no que tange a alguns parâmetros, pois nessa estação, é mais desfavorável a dispersão dos poluentes (estabilidade atmosférica). O autor ressalta que a interação entre

as condições atmosféricas e as fontes de poluição é que vai definir o nível de qualidade do ar, que, por sua vez, determina o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar nos receptores.

### 1.2.9 Sensoriamento Remoto e o seu uso na análise de Ilhas de Calor

Em suma, o sensoriamento remoto consiste, basicamente, no registro da informação de um determinado local por meio de instrumentos, sejam eles câmeras, lasers, e até mesmo dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas de aeronaves ou satélites, e a análise da informação desse registro adquirido por meio visual ou processamento. Portanto, seu nome faz referência à obtenção de dados por meio de sensores (sensoriamento) de forma distante (remoto) (JENSEN, 2009).

Devido ao fato de as informações serem coletadas a partir de sensores orbitais, atualmente, há inúmeras possibilidades para que isso aconteça, visto a presença de diversos satélites que possuem sensores acoplados, sendo capazes de imagear a superfície da Terra, sendo que as diferenças entre esses sistemas estão relacionadas à qualidade da imagem gerada pelo sensor e/ou às próprias características do sensor (LI et al, 2016).

Nessa conjuntura, o sensoriamento remoto trabalha em conformidade com outras ciências, principalmente no que tange a estudos ambientais, haja vista a utilização de técnicas de sensoriamento remoto a fim de identificar, dentre outros aspectos, estudos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, de uso e cobertura da terra, do crescimento urbano e da formação de ilhas de calor superficial (COELHO, 2010; FLORENZANO 2008, 2007, 2005; JENSEN, 2009, LIU 2006; PONZONI E SHIMABUKURO, 2010).

Em julho de 1972 foi lançado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), nos Estados Unidos, um satélite denominado por Earth Resources Technology Satellite (ERTS 1) que, posteriormente, foi renomeado para LANDSAT, que são destinados à exploração dos recursos do planeta Terra (LIU, 2015). A Tabela 1.2 apresenta o histórico de lançamentos desse satélite.

Tabela 1.2 - Série LANDSAT, período de revisita e seus respectivos sensores.

Satélite	Lançado em	Desativado em	Período de revisita	Instrumentos sensores
<b>LANDSAT 1</b>	23/07/1972	06/01/1978	18 dias	RBV e MSS <sup>1</sup>

<b>LANDSAT 2</b>	22/01/1975	25/02/1972	18 dias	RBV e MSS <sup>1</sup>
<b>LANDSAT 3</b>	05/03/1978	31/03/1983	18 dias	RBV e MSS <sup>1</sup>
<b>LANDSAT 4</b>	16/07/1982	15/06/2001	16 dias	MSS e TM <sup>2</sup>
<b>LANDSAT 5</b>	01/03/1984	05/06/2013	16 dias	MSS e TM <sup>2</sup>
<b>LANDSAT 6</b>	05/10/1993	Perdido após o lançamento	16 dias	ETM <sup>3</sup>
<b>LANDSAT 7</b>	15/04/1999	Ativo com restrição	16 dias	ETM+ <sup>4</sup>
<b>LANDSAT 8</b>	11/02/2013	Ativo	16 dias	OLI e TIRS <sup>5</sup>

Fonte: Embrapa (2013).

<sup>1</sup>Return Beam Vidicon e Multispectral Scanner System; <sup>2</sup>Multispectral Scanner System e Thematic Mapper; <sup>3</sup>Enhanced Thematic Mapper; <sup>4</sup> Enhanced Thematic Mapper Plus; <sup>5</sup>Operation Land Imager e Thermal Infrared Sensor.

Dentre as distintas aplicações da série LANDSAT, pode-se destacar: a) acompanhamento do uso e ocupação do solo; b) monitoramento de áreas de preservação, atividades de mineração, queimadas e desmatamento; c) dinâmicas de urbanização; d) detecção de invasões em áreas indígenas e; e) secas e inundações (LIU, 2015).

No que diz respeito à utilização de imagens de satélite para fins de estudos de temperatura de superfície – *Land Surface Temperature* (LST) – a faixa do espectro utilizada é a do termal, que consegue captar a radiação emitida pelas superfícies (STEINKE et al., 2010). Essa região é conhecida como termal pois, o que se detecta no sensor é a radiação emitida pelos objetos. Há de se considerar, nesse ponto, que essa intensidade de radiação é em função da LST (STEINKE et al., 2010).

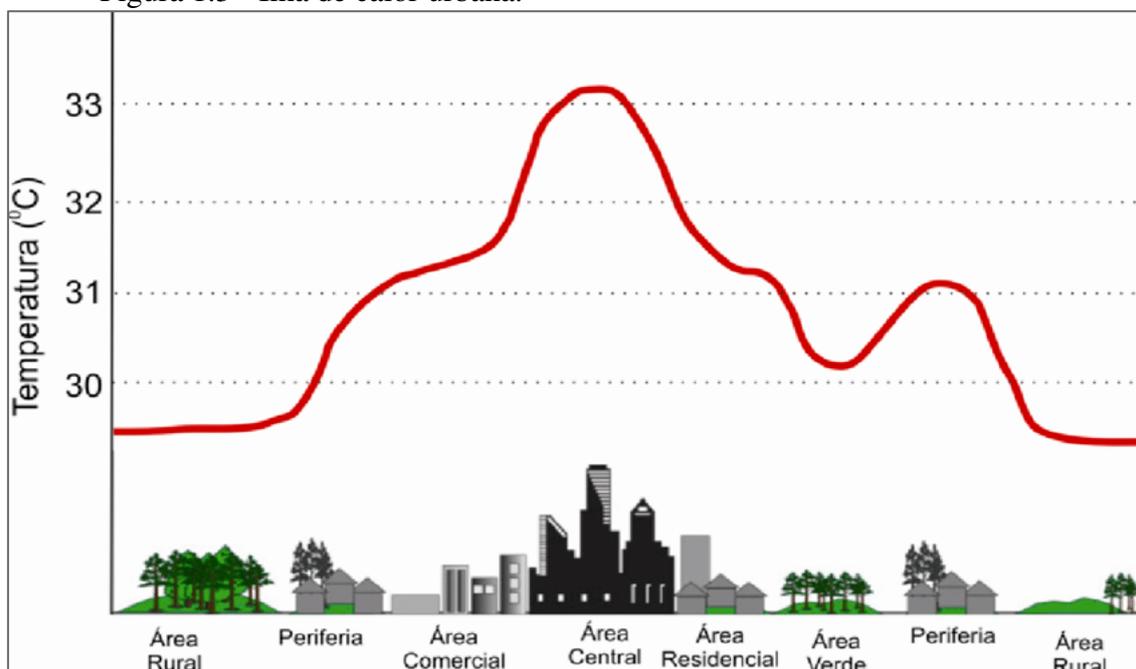
Considerando a possibilidade de verificar o comportamento térmico das diferentes tipologias de cobertura do solo pelo fornecimento de LST, vale destacar que o sensoriamento remoto vem se destacando em estudos de ordem ambiental e territorial, sendo primordial em pesquisas relacionadas com o clima urbano (BARBOSA; VECHCHIA, 2009). Nas cidades, o processo de substituição da superfície natural por áreas artificiais e lançamento de gases e MP na atmosfera colaboram para a degradação ambiental e a mudança dos padrões climáticos locais (FERREIRA et al., 2010; BARROS; LOMBARDO, 2016).

A urbanização, iniciada por volta de 1950, alterou as paisagens naturais. O crescimento desordenado das grandes cidades e suas crescentes interferências no meio ambiente as tornou, e torna cada vez mais, menos sustentáveis (HAUGHTER; HUNTER, 1994). Diante disso, o que vem acontecendo nos centros urbanos é a criação de um clima

próprio no local, relacionado ao impacto do desenvolvimento urbano no balanço de calor da superfície (OKE et al.,1999), ocasionando na formação do fenômeno de ilha de calor, que pode ser considerado o mais evidente exemplo de mudança climática provocada por ação antrópica (BARROS; LOMBARDO, 2016; OKE, 1978).

Em consequência do exposto, na maioria dos casos, o clima urbano é caracterizado por ter uma temperatura que pode ser 1° ou 2° C mais elevadas do que as áreas circunvizinhas, podendo chegar, em alguns casos, a uma diferença de até 3° C nas grandes metrópoles (AZEVEDO et al., 2013), conforme verificado na Figura 1.3.

Figura 1.3 - Ilha de calor urbana.



Fonte: Azevedo et al. (2013, p. 176).

Vale ressaltar que no Brasil, quando se trata da relação entre o crescimento demográfico e as áreas urbanas, a situação é preocupante, pois, é comum nos municípios brasileiros o crescimento da malha urbana sem o devido planejamento urbano e territorial, o que pode comprometer a qualidade ambiental local (BARBOSA; VECCHIA, 2009).

### 1.2.10 Planejamento urbano e clima urbano

O conceito de planejamento urbano sempre esteve relacionado a outros termos, como, por exemplo, gestão urbana e urbanismo. Porém, todos esses vocábulos possuem

algo em comum: a cidade. Entretanto, o importante é compreender que o planejamento urbano não pode ser restrito a uma disciplina específica, mas sim, abrir-se para conhecimentos e metodologias (DUARTE, 2009).

Nesse sentido e para Oliveira (2011), o planejamento urbano é um dos elementos fundamentais para compreender a real situação do espaço urbano, pois, na busca pela manutenção de seus interesses, gestores utilizam o espaço urbano de maneira desigual e contraditória, em que os interesses individuais sobressaem sobre o coletivo.

Assim sendo, as técnicas de sensoriamento remoto e SIG, associadas aos métodos convencionais de análise, constituem-se em instrumentos importantes para realizar um planejamento urbano adequado (BARROS; LOMBARDO, 2013), sendo que a Organização Mundial de Meteorologia – WMO (1996) apresentou as primeiras diretrizes e recomendações para o planejamento e projeto urbano, retratando o conforto térmico.

É nesse contexto que surgem as preocupações com a degradação do ambiente urbano e a qualidade de vida urbana, pois, no Brasil, o clima urbano, geralmente, não faz parte das políticas de planejamento e gestão do espaço urbano, o que acaba potencializando, ainda mais, problemas socioambientais que tem relação com o comportamento do clima urbano (SILVA et al., 2017).

Nesse cenário, Souza (2004) afirma que as cidades mal planejadas sofrem graves problemas com o fenômeno da ilha de calor, sendo evidente para Silva et al. (2017) a necessidade do desenvolvimento de estudos que tratem sobre o clima urbano, sobretudo com trabalhos capazes de subsidiar o planejamento urbano, visto que, o crescimento acelerado e desordenado das cidades é caracterizado como o principal responsável pelos problemas socioambientais ligados ao comportamento climático urbano.

## REFERÊNCIAS

ABIKO, A.; MORAES, O. B. Desenvolvimento urbano sustentável. **TT/PCC**, São Paulo, v. 26. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/files/alex/tt26desurbsustentavel.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2020.

ABREU, M. P.; LAGO, L. A. C. **A economia brasileira no Império, 1822-1889**. Texto para Discussão, n. 584. Rio de Janeiro: PUC-Rio, Departamento de Economia, 2010. DOI: Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/176067/1/td584.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro**: principais substâncias metálicas 2018. Ano Base 2017. Disponível em: [http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_2018.pdf](http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2018.pdf). Acesso em: 10 mar. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Anuário Mineral Brasileiro** – Principais Substâncias Metálicas 2019. Ano Base 2018. 2020. Disponível em: [http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb\\_2019\\_ano\\_base\\_2018\\_3](http://www.anm.gov.br/dnmp/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2019_ano_base_2018_3). Acesso em: 10 mar. 2020.

NEVES, S. **Poeira branca venenosa**. Paracatu, 2008. Portal: Alerta Paracatu. Disponível em <http://alertaparacatu.blogspot.com/2008/01/poeira-branca.html>. Acesso em: 03 set. 2019.

ANDRADE, L. F. S.; ALCÂNTARA, V. D. C.; PAIVA, A. L. D. Contradições do espaço social: estudo das representações produzidas pelos atingidos pela mineração de ouro em Paracatu, MG. **Farol-Revista de Estudos Organizacionais e Sociedade**, Belo Horizonte, v. 6, no. 15 (2019): 79-114. DOI: <https://doi.org/10.25113/farol.v6i15.4108>. Disponível em: <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/farol/article/view/4108>. Acesso em: 15 set. 2020.

ARAÚJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNANDES, F. R. C. **Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente**. CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1845>. Acesso em: 15 jun. 2014.

ARBEX, M. A.; SANTOS, U. P.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. A. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 38, no. 5. 643-655. 2012. Disponível em: [http://www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe\\_artigo.asp?id=79](http://www.jornaldepneumologia.com.br/detalhe_artigo.asp?id=79). Acesso em: 10 mar. 2020.

AZEVEDO, T. S. TAVARES, A. C.; SILVA, B. B.; PIOVEZAN, V.; RAFAEL, V. Z.; ANDRÉ, C. J.; REGINA, I. Ilhas de calor e *Aedes aegypti*: um estudo preliminar para a cidade de Santa Bárbara d'Oeste, SP-BRA, utilizando sensoriamento remoto. **Geografia da Saúde**: experiências do grupo de pesquisas sobre desastres (NUPED) da UNESP, Rio Claro, São Paulo, Brasil. Herstellung: Novas Edições Acadêmicas, p. 19-33, 2013. DOI: 10.13140/2.1.4021.4727. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/268207670\\_Ilhas\\_de\\_calor\\_e\\_aedes\\_aegypti\\_um\\_estudo\\_preliminar\\_para\\_a\\_cidade\\_de\\_Santa\\_Barbara\\_d'oeste\\_sp\\_-\\_Bra\\_utilizando\\_sensoriamento\\_remoto](https://www.researchgate.net/publication/268207670_Ilhas_de_calor_e_aedes_aegypti_um_estudo_preliminar_para_a_cidade_de_Santa_Barbara_d'oeste_sp_-_Bra_utilizando_sensoriamento_remoto). Acesso em: 15 ago. 2020.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto alegre: Bookman, 2002.

BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: estudo de caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, São Carlos, v. 6, n. 3, p. 273-278, 2009. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(03\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(03)%2007.pdf). Acesso em: 10 mar. 2020.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. DOI: [10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783](https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783). Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/97783>. Acesso em: 02 abr. 2020.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 186-197, 2013. DOI: [10.11606/issn.2179-0892.geousp.2013.74310](https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2013.74310). Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74310>. Acesso em: 02 abr. 2020.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988**. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 1988.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre a qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 22 ago. 1990. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Brasília, DF, 1981.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989. **Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR**. Brasília: Brasília, DF, 1989.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 nov. 2018.

BRITO, D. H. S.; SAMPAIO, R. J.; SILVA, P. S. D. Neoextrativismo e o Projeto Pedra de Ferro em Caetité e Pindaré-BA: discutindo conflitos socioambientais e os desafios à sustentabilidade na mineração. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 185-203, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/remea.v36i1.8719>. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/8719>. Acesso em: 12 fev. 2020.

CARVALHO, V. S. B.; FREITAS, E. D.; MARTINS, L. D.; MARTINS, J. A.; ANDRADE, F. M. Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies. **Environmental Science & Policy**, [s.l.] v. 47, p. 68-79, 2015. DOI: [10.1016/j.envsci.2014.11.001](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.001). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002728398>. Acesso em: 14 jul. 2020.

CASTILHOS, Zuleica Carmen et al. Avaliação da contaminação ambiental por arsênio e estudo epidemiológico da exposição humana em Paracatu-MG - Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 186-211, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2020v9i1.p186-12>. Disponível em: <https://patua.iec.gov.br/bitstream/handle/iec/4074/Avalia%c3%a7%c3%a3o%20da%20contamina%c3%a7%c3%a3o%20ambiental%20por%20ars%c3%a3o%20e%20estudo%20epidemiol%c3%b3gico%20da%20exposi%c3%a7%c3%a3o%20humana%20em%20Paracatu-MG%20-%20Brasil.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 jul. 2020.

CAVALCANTE, J. C.; ALMEIDA, C. A.; CASTELO, T. B. Análise de NDVI e temperatura da superfície terrestre utilizando a plataforma do Google Earth Engine em área de savana amazônica e floresta secundária, no município de Vigia – PA. **Revista de Geociências do Nordeste**, [s.l.], 6(1), pp.64-70. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n1ID18978>. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/18978>. Acesso em: 18 jul. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade do ar no estado de São Paulo – poluentes**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, 2001. 150 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade do ar - Poluentes**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, 2020.

COELHO, A. L. N. Sistema de Informações Geográficas (SIG) como Suporte na Elaboração de Planos Diretores Municipais. **Caminhos de Geografia (UFU)**, Uberlândia, v. 10, p. 93-110. 2009. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15920>. Acesso em: 05 jan. 2020.

COELHO, A. L. N. Uso de Produtos de Sensoriamento Remoto para Delimitação de Área Efetivamente Inundável: estudo de caso do baixo curso do rio Benevente Anchieta - ES. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s.l.], v. 4, p. 53-63. 2010. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistageograficaacademica/2010/vol4/no2/5.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CORONEL, D. A.; DE AZEVEDO, A. F. Z.; CAMPOS, A. C. Política industrial e desenvolvimento econômico: A reatualização de um debate histórico. **Brazilian Journal of Political Economy**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 103-119, 2014. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31572014000100007>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/pdf/rep/v34n1/v34n1a07.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

COUTINHO, M. Economia de Minas e economia da mineração em Celso Furtado. **Nova Economia**, [s.l.], v. 18, p. 361-378, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-63512008000300002>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-63512008000300002&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-63512008000300002&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 02 abr. 2020.

DANI, S. U. **Arsênio em Paracatu atinge níveis de genocídio**. 2010. Disponível em:  
<http://alertaparacatu.blogspot.com/2010/07/arsenio-em-paracatu-atinge-niveis-de.html>.  
 Acesso em: 14 abr. 2020.

DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; CARDOSO, D. F.; SIMONATO, T. C.; NAHAS, M. **Efeitos econômicos da paralisação de parte da produção minerária em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Cedeplar, UFMG; 2019. Disponível em:  
[https://pesquisas.face.ufmg.br/nemea/wp-content/uploads/sites/20/2019/02/Nota-tecnica\\_MineracaoMG-1.pdf](https://pesquisas.face.ufmg.br/nemea/wp-content/uploads/sites/20/2019/02/Nota-tecnica_MineracaoMG-1.pdf). Acesso em: 02 mar. 2020.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E., FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n. 1., v. 18. 66-78. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117010537>. Disponível em:  
<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/10537>. Acesso em: 06 jun. 2020.

DUARTE, F. **Planejamento urbano**. [s.l.], Editora Ibepex, 2009.

EMBRAPA. **LANDSAT – Land Remote Sensing Satélite**. 2013. Disponível em:  
[https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao\\_landsat.html](https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html)

FARIA, L. P. C.; BLANCO, C. J. C. Emissão de poeira em pátio de estocagem de minério de ferro: uma abordagem ambiental e ocupacional. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 2, 2020. DOI: [10.33448/rsd-v9i1.1873](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1873). Disponível em:  
<https://www.rsjournal.org/index.php/rsd/article/view/1873>. Acesso em: 08 abr. 2020.

FERNANDES, F. R. C.; ARAUJO, E. R. **Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2016. p. 65–88.

FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Anthropogenic heat in the city of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [s.l.], v. 101, p. 9-19, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0322-7>. Disponível em:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-010-0322-7#citeas>. Acesso em: 06 mar. 2020.

FIGUEIRÔA, S. Mineração no Brasil: aspectos técnicos e científicos de sua história na colônia e no império (séculos XVIII-XIX). **América Latina en la historia económica**,

[s.l.] v. 1, n. 1, p. 41-55, 1994. Disponível em: <http://148.207.158.226/index.php/ALHE/article/download/143/206>. Acesso em: 18 jan. 2020.

FIRMIANO, F. D. A Lógica destrutiva da mineração em Paracatu. **Revista Nera**, Presidente Prudente, v. 23, n. 53, p. 47-65, 2020. DOI: <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i53.6847>. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/6847>. Acesso em: 03 dez. 2019.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na Geografia Aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, [s.l.], p. 24 – 29, 2005. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0002>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47272>. Acesso em: 15 abr. 2020.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto: Imagens de satélites para estudos ambientais**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FRONDIZI, C. A. **Monitoramento da qualidade do ar: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2008.

Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. FEAM. **Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Belo Horizonte** - Ano Base de 2013. Relatório Técnico. Belo Horizonte: FEAM, 2016.

BARROS, J. N. **Mineração e violação de direitos: o caso da empresa Kinross em Paracatu**. Rio de Janeiro: Justiça Global, [2015]. [http://www.global.org.br/wp-content/uploads/2017/12/Minera%C3%A7%C3%A3o\\_e\\_Viola%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Direitos\\_Paracatu.pdf](http://www.global.org.br/wp-content/uploads/2017/12/Minera%C3%A7%C3%A3o_e_Viola%C3%A7%C3%A3o_de_Direitos_Paracatu.pdf). Acesso em: 24 mar. 2020.

HAUGHTER, G.; HUNTER, C. **Sustainable Cities**. London: J. Kingsley Publishers, 1994.

WORKING GROUP ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS. **Part C: arsenic, metals, fibres, and dusts**. Lyon, France: World Health Organization, 2009. 527 p. (IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans; v. 100C).

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da qualidade das águas do Estado de Minas Gerais: relatório trimestral, 3º trimestre de 2009**. Belo Horizonte: IGAM, 2009.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (BA). Bahia. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/>. Acesso em: 15 set. 2020.

JENSEN, J. R. **Jungho. Remote sensing change detection in urban environments.** In: GEO-SPATIAL technologies in urban environments. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. p. 7-31. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-69417-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-69417-5_2). Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-69417-5\\_2#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-69417-5_2#citeas). Acesso em: 08 ago. 2020.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**, São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

KINROSS. **Conheça a Kinross.** Paracatu, 2020. Disponível em: <http://www.kinross.com.br/a-kinross/conheca/>. Acesso em: 15 set. 2019.

LI, Y.; ZHANG, Y.; TAO, C.; ZHU, H. Content-based high-resolution remote sensing image retrieval via unsupervised feature learning and collaborative affinity metric fusion. **Remote Sensing**, Nanjing, v. 8, n. 9, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8090709>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/9/709>. Acesso em: jul. 2020.

LINS, F. A. F; LOUREIRO, F. E. V. L; ALBUQUERQUE, G. A. S. C. **Brasil 500 anos: a construção do Brasil e da América Latina pela Mineração.** Rio de Janeiro, CETEM/MCTI, 2000.

LIU, P. W. G.; JOHNSON, R. Forecasting peak daily ozone levels-I. A regression with time series errors model having a principal component trigger to fit 1991 ozone levels. **Journal of the Air & Waste Management Association**, [s.l.], v. 52, n. 9, p. 1064-1074, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1080/10473289.2002.10470841>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.2002.10470841>. Acesso em: 26 ago. 2020.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto.** Campo Grande: Editora UNIDERP, 2006.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. **Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo.** Estudos avançados, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração mineral.** Brasília, DF, 2001. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/arquivos/MANUAL\\_mineracao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/MANUAL_mineracao.pdf). Acesso em: 18 ago. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Poluentes Atmosféricos.** Brasília, DF, Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentesatmosf%C3%A9ricos>.

MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente e Sociedade** Campinas, v. 7, n. 2, p. 159-172. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200010>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2004000200010&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2004000200010&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 06 set. 2020.

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. R. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100002>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2008000100002&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2008000100002&script=sci_abstract&tlng=es). Acesso em: 21 jul. 2020.

BRASIL. Ministério Público Federal. Procuradoria da República em Minas Gerais. **Justiça impede mineradora de construir estrada em terras de comunidade quilombola**. Patos de Minas, 10 maio 2010. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/noticias-mg/justica-impede-mineradora-de-construir-estrada-em-terras-de-comunidade-quilombola-em-minas-gerais>. Acesso em: 15 dez. 2020.

NEXA. **Conheça a Nexa**: história. São Paulo, 2020. Portal. Disponível em: <https://www.nexaresources.com/pt/history>. Acesso em: 12 fev. 2020.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen, 1978.

OKE, T. R. et al. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**, [s.l.] v. 33, n. 24/25, p. 3919-3930, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00134-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135223109900134X>. Acesso em: 02 set. 2020.

OLIVEIRA, D.A.M. Discurso e planejamento urbano no Brasil. *Revista Geográfica de América Central* 2, [s.l.] n. 47E. 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2213>. Acesso em: 06 ago. 2020.

OLIVEIRA, L.P. Licenciamento ambiental em barragens de rejeito após a tragédia de Mariana-MG. **Revista Técnico-Científica**, Curitiba, n. 14, 2018. Disponível em: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/view/452>. Acesso em: 23 set. 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulphur Dioxide**. Global update 2005. Summary of Risk Assessment. Geneva, 2006.

PIMENTEL, H. U. **A história de Paracatu**. Paracatu, 2020. Disponível em: <http://paracatu.mg.gov.br/cidade>.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José Dos Campos, SP: Parêntese, 2010.

REZENDE, E.; SILVA, V. V. C. De Mariana a Brumadinho: a efetividade da responsabilidade civil ambiental para a adoção das medidas de evacuação. **Revista do Direito**, Santa Cruz do Sul, v. 1, n. 57, p. 160-181, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/rdunisc.v1i57.13569>. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/direito/article/view/13569>. Acesso em: 13 set. 2020.

REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160304>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132016000300375&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-45132016000300375&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 12 set. 2020.

ROESER, H. M. P; ROESER, P. A. O Quadrilátero Ferrífero-MG, Brasil: aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Geonomos**, Ouro Preto, v. 18, p. 34-37, 2010. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v18i1.67>. Disponível em: [https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/8341/1/ARTIGO\\_Quadril%c3%a1teroFerr%c3%adferoBrasil.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/8341/1/ARTIGO_Quadril%c3%a1teroFerr%c3%adferoBrasil.pdf). Acesso em: 06 ago. 2020.

SANTOS, G.; SANTOS, M. D.; JUNIOR, J. C. F. M; CHAVES, M.B.; SILVA, D. M. D. S.; GUMBOSKI, E. L. Avaliação do potencial bioindicador de *Alchornea glandulosa* no monitoramento da poluição atmosférica. **Acta Biológica Catarinense**, [s.l.]. v. 6, n. 1, pp.93-102. 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/236355406.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2020.

SANTOS, M. J. **O ouro e a dialética territorial em Paracatu, MG: opulência e resistência**. 2012. 193 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2012.

SANTOS, T. C.; REBOITA, M. S.; CARVALHO; V. S. B. Investigação da Relação entre Variáveis Atmosféricas e a Concentração de MP10 E O3 no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo. v. 33, n. 4, p. 631-645, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786334006>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862018000400631&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862018000400631&script=sci_arttext). Acesso em: 27 set. 2020.

SILVA, G. A. B.; DAVID, P. L. B; BIANCHI, G. A utilização do SIG para o planejamento urbano. **Revista Científica ANAP Brasil**, [s.l.], v. 10, n. 21, dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.17271/19843240102120171675>. Disponível em: [http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap\\_brasil/article/view/1675](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/1675). Acesso em: 01 jul. 2020.

SILVA, V.C. D. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**. [s.l.], v. 34, n. 3, p. 147-159, 2004. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2530/253025898005.pdf>. Acesso em: 14 set. 2020.

SOUZA, L. C. L. **Ilhas de calor**. *Jornal Unesp*, São Paulo, v. 18, n. 186, p.11, 2004.

SOUZA, K. V.; ALAMINO, R. C. J; FERNANDES, F. R. C. **Paracatu**: o conflito entre o “Rio Bom” e a mineração. *Centro de Tecnologia Mineral*, [s.l.], 259-261. 2010.

Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1170/1/Paracatu%20o%20conflito.pdf>.

Acesso em: 08 mar. 2020.

STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. *Revista Brasileira de Climatologia*, [s.l.], v. 6, p. 37-56, 2010. DOI:

<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v6i0.25604>. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25604>. Acesso em: 14 set. 2020.

TOFFOLLI, T. N; JUNIOR, R D. S. R.; FERREIRA, J. H. D. Padrão Espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) no Município de Campo Mourão/PR. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s.l.] v. 42, n. 4, p. 182-188. 2020. DOI:

[http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_4\\_182\\_188](http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_182_188). Disponível em:

<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/13502>. Acesso em: 06 jun. 2020.

TONIETTO, A.; SILVA, J. Valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil. **Revista brasileira de criminalística**, [s.l.] v. 1, n. 1, p. 31-38, 2011. Disponível em: <http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/15>. Acesso em: 05 ago. 2020.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. US EPA. **Air Quality Criteria for Particulate Matter**. (EPA/600/P-99/002aF), 2004.

United States Environmental Protection Agency. US EPA. **Expert Panel on Arsenic Carcinogenicity**: Review and Workshop, Technical Report prepared by Eastern Research Group, under contract to EPA. Washington, DC, 100 pp. 1997.

United States Environmental. US EPA. **Protection Agency**. National ambient air quality standards/Clean air act (2006). Disponível em:

<http://www.epa.gov/air/criteria.html>.

VALLERO, D. A. **Fundamentals of air pollution**. Waltham: Academic press, 2014.

VILLAS-BÔAS, A. L. **Mineração e Desenvolvimento Econômico**: a questão nacional nas estratégias de desenvolvimento do setor mineral (1930-1964). Rio de Janeiro:

CETEM/MCTI, 1995. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/278/1/sed-29I.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2020.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Climate and Urban Development**. Geneva: WMO No. 844, 1996.

## **CAPÍTULO 2**

## **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS PARTÍCULAS INALÁVEIS EM ÁREA OCUPADA POR ATIVIDADE DE MINERAÇÃO A CÉU ABERTO: UM ESTUDO DE CASO EM PARACATU – MG**

### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é verificar, por meio das partículas inaláveis com diâmetro menor que  $<10\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) medidos pelas estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas no município de Paracatu – MG, o cumprimento dos padrões anuais e diários de qualidade previstos na legislação vigente no Brasil. Para tanto, foram analisadas as concentrações médias de  $\text{MP}_{10}$  obtidas no sítio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) para os anos de 2015, 2016 e 2017 nas 5 diferentes estações situadas entre o perímetro urbano e a área de mineração a céu aberto e comparadas com os padrões permitidos e previstos na legislação. Analisou-se também o comportamento sazonal desse parâmetro nesses locais e um estudo de caso nos dias que ultrapassaram os padrões diários de qualidade. Os resultados mostram que os valores médios, anuais e diários, de  $\text{MP}_{10}$ , no período analisado, apresentaram poucas ultrapassagens do padrão primário de qualidade do ar nacional, entretanto, os valores apresentados demonstraram que a área se encontra em uma realidade totalmente distante das concentrações recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Em relação ao comportamento sazonal do  $\text{MP}_{10}$ , esse mostrou estar relacionado com a concentração pluviométrica do município. Além disso, a maioria das estações apresentaram diferença a um nível de significância de 5%, fato que pode estar relacionado com a dispersão dos poluentes e as condições meteorológicas provenientes em cada ponto de monitoramento. Foi concluído que existe na área de estudo uma relação sazonal entre a pluviosidade e as concentrações de  $\text{MP}_{10}$ . Além disso, a presença das atividades antrópicas provenientes no local pode estar influenciando pouco no parâmetro analisado, porém, diante dos valores recomendados pela OMS, o impacto da poluição atmosférica existe e deve ser monitorado pelos órgãos fiscalizadores ambientais.

**Palavras-chave:** material particulado. poluição atmosférica. monitoramento ambiental.

## **ASSESSMENT OF THE BEHAVIOR OF INHALABLE PARTICLES IN AREA OCCUPIED BY OPEN PIT MINING ACTIVITY: A CASE STUDY IN PARACATU – MG**

### **ABSTRACT**

The objective of this work is to verify, by means of inhalable particles with diameter less than  $<10\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) measured by the air quality monitoring stations located in the city of Paracatu - MG, the compliance with the annual and daily quality standards foreseen in the vigent legislation in Brazil. For that, the average concentrations of  $\text{MP}_{10}$  were obtained on the website of the State Environment Foundation (FEAM) for the years 2015, 2016 and 2017 and were analyzed in the 5 different stations, located between the urban perimeter and the open pit mining area, and compared with the standards allowed and provided by the legislation. We also analyzed the seasonal behavior of this parameter in these locations and a case study on days that exceeded daily quality standards. The results shows that the average, annual and daily values of  $\text{MP}_{10}$ , in the analyzed period, presented little surpassing of the primary standard of national air quality, however, the results demonstrated that the area is in a reality totally distant from the recommended concentrations by the World Health Organization (WHO). In regards of the seasonal behavior of  $\text{MP}_{10}$ , it was shown to be related to the municipality's rainfall. In addition to that, most stations showed a difference at a significance level of 5%, a fact that may be related to the dispersion of pollutants and the weather conditions coming from each monitoring point. It was concluded that there is a seasonal relationship in the study area between rainfall and  $\text{MP}_{10}$  concentrations. In addition, the presence of anthropogenic activities from the site may have little influence on the analyzed parameter, however, given the values recommended by the WHO, the impact of air pollution exists and should be monitored by the environmental inspection agencies.

**Keywords:** particulate material. atmospheric pollution. environmental monitoring.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Dentre os setores básicos da economia do Brasil, pode-se destacar a atividade de mineração, sendo a sua contribuição, desde que operada com responsabilidade social e ambiental, fundamental para o desenvolvimento da sociedade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2001). Porém, essa atividade é caracterizada por ocasionar impactos, negativos, no solo, na vegetação, nos recursos hídricos e no bem-estar da sociedade (LONGO et al., 2011), ocasionando, conseqüentemente, em alterações na superfície (MECHI; SANCHEZ, 2010). Esses impactos e alterações, por sua vez, são passíveis de observações e correlações a partir de dados de monitoramento do ar, do solo, da água e de saúde pública (AMORIM et al., 2016).

A poluição atmosférica existente na atividade de mineração está presente ao longo de todas as fases do empreendimento, pois essa, produz vários tipos de poluentes atmosféricos, dentre os quais se destaca o Material Particulado (MP), por apresentar um grande potencial poluidor (FREIRE; PRESCHOLDT, 2015) e se tornar, ainda, mais nocivo à saúde quando está associado a metais tóxicos (MAGALHÃES, 2010).

O MP é proveniente tanto de fontes naturais, quanto de atividades antrópicas (BRAGA et al., 2005), portanto, com relação ao monitoramento ambiental em áreas de atividade de mineração a céu aberto, pode-se destacar o monitoramento da poluição do ar, pois o principal transtorno na saúde daqueles afetados pelo segmento mineral são as doenças respiratórias decorrentes da emissão desses particulados (AMORIM et al., 2016).

Assim sendo, um dos maiores desafios da mineração – em especial aquela que é exercida próxima às aglomerações urbanas – está no máximo aproveitamento da exploração, salvaguardando os aspectos ambientais e das comunidades locais (AMORIM et al., 2016).

Diante do cenário exposto, encontra-se a atividade de mineração situada no município de Paracatu – MG, área escolhida para abordagem deste estudo e que possui o objetivo principal de avaliar, por meio do cumprimento da legislação vigente no Brasil, uma possível interferência da exploração mineral a céu aberto na qualidade do ar em estações meteorológicas localizadas entre o perímetro urbano do município e a mineradora, pois, de acordo com Bidone et al., (2018), devido à expansão da atividade minerária, atualmente, a mina a céu aberto está localizada a, aproximadamente, 200

metros da zona urbana de Paracatu, resultando em uma série de relações sociais conflituosas e heterogêneas, cujos focos são o meio ambiente e o território.

Como objetivos específicos, têm-se: a) verificar se houve ultrapassagem dos padrões anuais e diários de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 491/2018, para o poluente atmosférico MP<sub>10</sub>, nas estações de qualidade do ar localizadas no município; b) realizar um estudo de caso para os dias que ultrapassaram os padrões diários permitidos pela legislação vigente; c) verificar se há um comportamento sazonal do MP<sub>10</sub> e se há associações com as concentrações pluviométricas do município e; c) constatar se houve diferença significativa entre os valores de MP<sub>10</sub> das estações de monitoramento.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODO**

### **2.2.1 Área de estudo**

Localizada a 220 km da capital federal, Brasília - DF, Paracatu - MG é a única cidade histórica da mesorregião noroeste de Minas Gerais. Além de ser destaque no turismo, juntamente com a cultura barroca em igrejas, becos e ruas, o município se destaca pela exploração e riqueza mineral, que ocasionou em sua criação em 1744 (PIMENTEL, 2020). Conforme a última estimativa do IBGE, Paracatu conta com uma população atual de, aproximadamente, 92 mil habitantes (IBGE, 2020).

A Kinross Gold Corporation, uma das mineradoras localizadas no município, atua nas atividades de pesquisa e desenvolvimento mineral, mineração, beneficiamento e comercialização de ouro. É uma das maiores produtoras de ouro do Brasil, responsável por 22% da produção nacional (KINROSS, 2020).

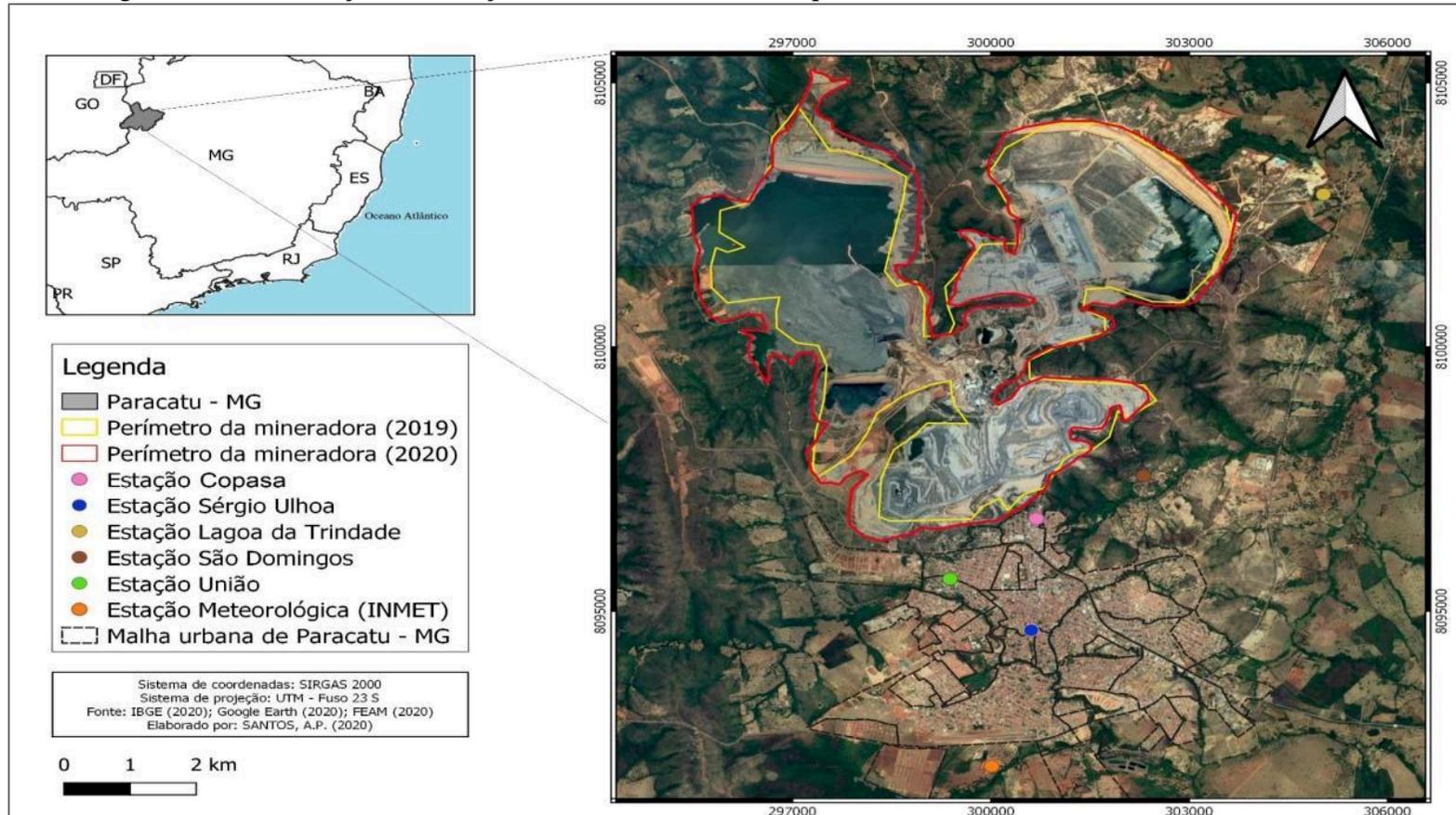
### **2.2.2 Obtenção dos dados de qualidade do ar e comparação com os valores vigentes na legislação brasileira**

Com relação aos dados de MP<sub>10</sub> disponibilizados nas estações de qualidade do ar (Figura 2.1), esses estão disponíveis gratuitamente, conforme a Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Essa lei regula o acesso à informação da Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões (GESAR), e torna público os dados de monitoramento contínuo da qualidade do ar desde 2015.

A obtenção dos dados ocorreu por meio do sítio eletrônico da FEAM. Como os dados são disponibilizados a cada hora, é possível compará-los com dois períodos de referência distintos vigentes na legislação brasileira, sendo esses: a) de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para a média aritmética anual aceita pelo CONAMA, e o recomendado, para esse período, pela OMS ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); b) de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para a média aritmética diária aceita pelo CONAMA e de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o recomendado pela OMS.

Atualmente, no município de Paracatu-MG, existem 05 estações de monitoramento da qualidade do ar: estação União (1), estação Copasa (2), estação Sérgio Ulhoa (3), estação São Domingos (4) e estação Lagoa da Trindade (5). Convém ressaltar neste ponto que, até a presente pesquisa, apenas os dados de 2015, 2016 e 2017 foram disponibilizados pela FEAM.

Figura 2.1 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar.



Fonte: Autores (2020).

### **2.2.3 Análise estatística dos valores das estações de qualidade do ar**

A fim de verificar se existe diferença significativa entre os valores anuais medidos nas estações de qualidade do ar localizadas no município, organizou-se os dados referentes a cada uma das estações e aos respectivos anos estudados (2015, 2016 e 2017) no software de análise de dados da Microsoft, Power BI. Posteriormente, foi utilizado o software de estatística livre Action Stat versão 2.9 (EQUIPE ESTATCMP, 2014) para realizar a análise de variância e o teste de comparações múltiplas (TK) a um nível de significância de 5%.

### **2.2.4 Média da concentração mensal do MP<sub>10</sub> e o acúmulo pluviométrico mensal no município de Paracatu - MG**

No intuito de verificar uma possível relação entre o comportamento mensal do MP<sub>10</sub> com a concentração pluviométrica, considerou-se os dados de MP<sub>10</sub> dos 3 anos da série estudada. A normal climatológica do município em estudo foi obtida no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Com relação aos dados de precipitação, esses estão disponíveis por meio da estação convencional 83479, situada sob as coordenadas geográficas 17°13'08" S e 46°52'08" W. Dessa forma, foi obtido a precipitação mensal acumulada.

### **2.2.5 Predominância da direção e da velocidade do vento nos dias que ultrapassaram o valor limite da legislação**

Para verificar o comportamento predominante da velocidade e da direção do vento nos dias que ultrapassaram o valor limite permitido pela legislação, elaborou-se uma rosa dos ventos com o ponto fixado na estação de monitoramento. Esses dados estão disponíveis em cada estação de monitoramento da qualidade do ar e são medidos a cada hora.

Esses dados foram analisados utilizando o software Lakes Environmental WRPLOT e, posteriormente, exportados, via coordenada geográfica, para o Google Earth (GOOGLE, 2020). Vale ressaltar que, dentre as estações localizadas no município, a única que não mede a direção e a velocidade do vento é a estação 3.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação às médias anuais de  $MP_{10}$  nas cinco estações de qualidade do ar (Figura 2.2) foi observado, com relação à estação 1, que, de acordo com a Resolução 491/2018 do CONAMA, apenas o ano de 2015 apresentou valores acima do padrão anual de qualidade do ar. Nos demais anos, as médias anuais não ultrapassaram o padrão.

O cenário apresentado por essa estação – de diminuição dos valores com o decorrer dos anos – também é verificada na estação 2, e isso pode estar associado à variabilidade das condições meteorológicas, considerando a influência dos fenômenos de El Niño (2015 e 2016) e La Niña (2017), que possuem a capacidade de ocasionar anomalias climáticas em várias regiões do mundo (MINUZZI et al., 2010), e/ou à eficácia no monitoramento de poluentes atmosféricos, a qual serve como um instrumento de gestão no âmbito da fiscalização ambiental. Convém ressaltar que essas estações não estão localizadas no centro urbano do município, mas sim em zonas periféricas.

Com relação à estação 3, o mesmo cenário não pode ser verificado, visto que, em 2015, apresentou valor médio anual muito próximo ao permitido pela legislação brasileira, valor esse que foi alcançado no ano posterior e voltou a diminuir em 2017. Porém, vale enfatizar que essa estação está localizada no centro urbano do município, podendo ser impactada por veículos automotores e pelas atividades comerciais. Em estudo similar, Torres (2005) concluiu que houve diferença entre os valores encontrados nas estações de monitoramento de qualidade do ar no município de Juiz de Fora – MG, sendo os maiores valores encontrados no centro urbano do município e relacionados com o tráfego automotivo na região. Contudo, segundo esse mesmo autor, medidas mitigadoras poderiam ser tomadas por parte de órgãos fiscalizadores municipais e estaduais a fim de amenizar o efeito da poluição atmosférica nessa área do município.

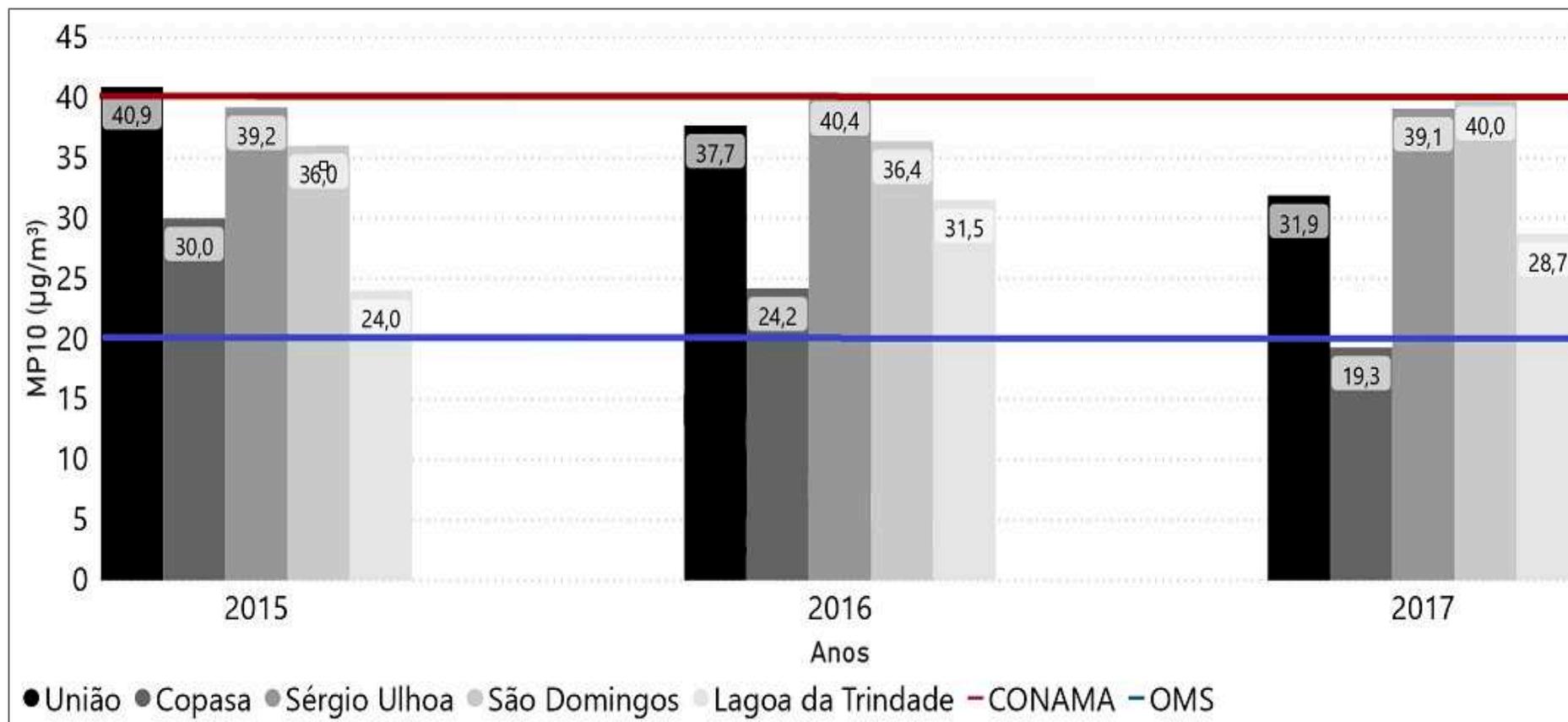
Com relação ao transporte coletivo em regiões centrais dos municípios, segundo Torres (2005), dentre as alternativas para mitigar os impactos da poluição ambiental em centros urbanos, destaca-se a implantação de terminais de integração entre regiões estratégicas do município para receber as linhas dos bairros, sendo que essa ligação seria realizada por uma linha troncal com ônibus de grande capacidade. Com isso, além do aperfeiçoamento do transporte, poderia ocorrer, consideravelmente, a diminuição do fluxo de ônibus na região central do município, minimizando, a emissão de poluentes. As

medidas mitigadoras propostas pelo autor também poderiam ser tomadas pelo município de Paracatu – MG, isso porque, devido ao crescimento urbano e populacional do município, a tendência é que ocorra o aumento do fluxo de veículos, bem como a movimentação desses no centro urbano municipal. Considerando o valor médio anual de MP<sub>10</sub> muito próximo ao permitido pela legislação brasileira, a tendência é que esse limite seja alcançado. Além disso, atualmente, o município não possui bancos, grandes comércios e serviço hospitalar público distribuídos pelo município, ou seja, a concentração desses setores se dá toda no centro urbano municipal, o que acarreta o aumento do fluxo de veículos. Vale ressaltar que, de acordo com informações coletadas no sítio da prefeitura do município, a fim de, dentre outros fatores, melhorar a situação do trânsito do município, no ano de 2020, tanto a prefeitura como todas as demandas que envolvem as secretarias municipais foram alocadas para um centro administrativo situada em uma zona periférica do município.

Com relação à estação 4, essa apresentou alto valor médio anual em todos os anos analisados, alcançando o limite permitido pela legislação em 2017. Essa estação está localizada em uma comunidade quilombola afastada da malha urbana de Paracatu, porém, encontra-se muito próxima à atividade de exploração mineral. Portanto, é importante frisar a importância de que, nesta estação, ocorram estudos futuros que relacionem o comportamento do MP<sub>10</sub> com os parâmetros meteorológicos da área. Cabe destacar que a análise das relações entre os parâmetros meteorológicos e a poluição do ar é de suma importância, pois, dessa forma, é possível verificar o comportamento dos poluentes, principalmente durante episódios críticos de poluição atmosférica (MIRLEAN et al., 2000; TORRES, 2005).

Quanto à estação 5, essa se encontra mais afastada da malha urbana do município de Paracatu e mais distante da área de extração a céu aberto. Porém, seu monitoramento torna-se importante por se tratar de uma área próxima a uma das barragens de rejeito da mineradora. Apesar de não sofrer influência direta da área de extração a céu aberto, essa estação apresentou valores medianos entre o exigido pelo CONAMA e o recomendado pela OMS, visto que, por se tratar de uma área rural, a poluição por ações antrópicas é, praticamente, nula.

Cabe salientar que, de forma geral, apesar de a maioria das estações não apresentarem ultrapassagens do padrão primário de qualidade do ar pela legislação brasileira, todas as 5 estações ultrapassaram os padrões médios anuais recomendados pela OMS (Figura 2.2), com exceção da estação Copasa em 2017. Ademais, um estudo realizado por Matos (2016) verificou que uma estação localizada próxima à estação 1 deste trabalho estava entre as que obtiveram maiores valores médios de concentração do elemento químico Arsênio (As). O autor concluiu que a proximidade da extração de ouro a céu aberto e a direção do vento foram determinantes na variabilidade da concentração de As no MP.

Figura 2.2 - Média das concentrações de MP<sub>10</sub> entre 2015, 2016 e 2017 e padrões vigentes (CONAMA) e recomendado (OMS).

Fonte: Autores (2020).

Em relação aos dias em que a média aritmética de MP<sub>10</sub> ultrapassou o limite exigido pela legislação, esses estão descritos na Tabela 2.1. Na Figura 2.3, Figura 2.4, Figura 2.5 e Figura 2.6 são apresentados os comportamentos horários de MP<sub>10</sub> nesses dias. Apenas duas, dentre as cinco estações de monitoramento localizadas no município tiveram dias que ultrapassaram os valores limites diários permitidos pela legislação brasileira. Porém, ao se verificar os valores recomendados pela OMS (50 µg/m<sup>3</sup>), é notório que a situação do município se encontra bem distante dessa realidade, pois, durante o período analisado, aproximadamente 60% dos dias (Tabela 2.2) ultrapassaram esses padrões.

Convém destacar que os padrões recomendados pela OMS são os considerados, atualmente, seguros para a saúde e o bem-estar da população exposta ao poluente, sendo que, a sua ultrapassagem, de forma rotineira, por uma sequência de anos, pode ocasionar em efeitos adversos à saúde dessa população. Além do mais, os padrões de qualidade do ar não são um limite abaixo do qual se está absolutamente seguro e muito menos que se adoecerá automaticamente caso o padrão seja ultrapassado, mas, a probabilidade de adoecer aumenta, principalmente em pessoas mais sensíveis a poluentes, como crianças e idosos. Nesse sentido, estudo realizado por Cançado et al. (2016) encontrou risco aumentado de mortalidade relacionada à poluição do ar, que variou de 8% a 18% para diversos tipos de doenças cardíacas. Já um estudo feito em Dublin, Irlanda, concluiu que a redução dos níveis de poluentes do ar ocorrida na cidade implicou em significativa redução da mortalidade por doenças cardiopulmonares, sugerindo a importância da adoção de medidas preventivas de âmbito coletivo (CLANCY et al., 2002).

Tabela 2.1 - Dias em que houve ultrapassagem do valor limite de MP<sub>10</sub> exigido pelo CONAMA.

<b>Dia</b>	<b>Estação</b>	<b>Concentração encontrada (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Valor permitido (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Recomendado pela OMS (µg/m<sup>3</sup>)</b>
03/10/2015	São Domingos	120,5	120	50
18/10/2015	São Domingos	138,56	120	50
15/09/2016	Sérgio Ulhoa	138,04	120	50
16/06/2016	Sérgio Ulhoa	122,41	120	50

Fonte: Autores (2020).

Tabela 2.2 - Dias em que houve ultrapassagem do valor limite de MP<sub>10</sub> recomendado pela OMS.

Ano	Estação	Quantidade de dias em que houve ultrapassagens do recomendado pela OMS (50 µg/m <sup>3</sup> )
2015	São Domingos	52
2016	São Domingos	52
2017	São Domingos	76
2015	Sérgio Ulhoa	74
2016	Sérgio Ulhoa	93
2017	Sérgio Ulhoa	82
2015	União	68
2016	União	35
2017	União	17
2015	Lagoa da Trindade	13
2016	Lagoa da Trindade	32
2017	Lagoa da Trindade	35
2015	Copasa	37
2016	Copasa	15
2017	Copasa	4
2015, 2016, 2017	Total	648

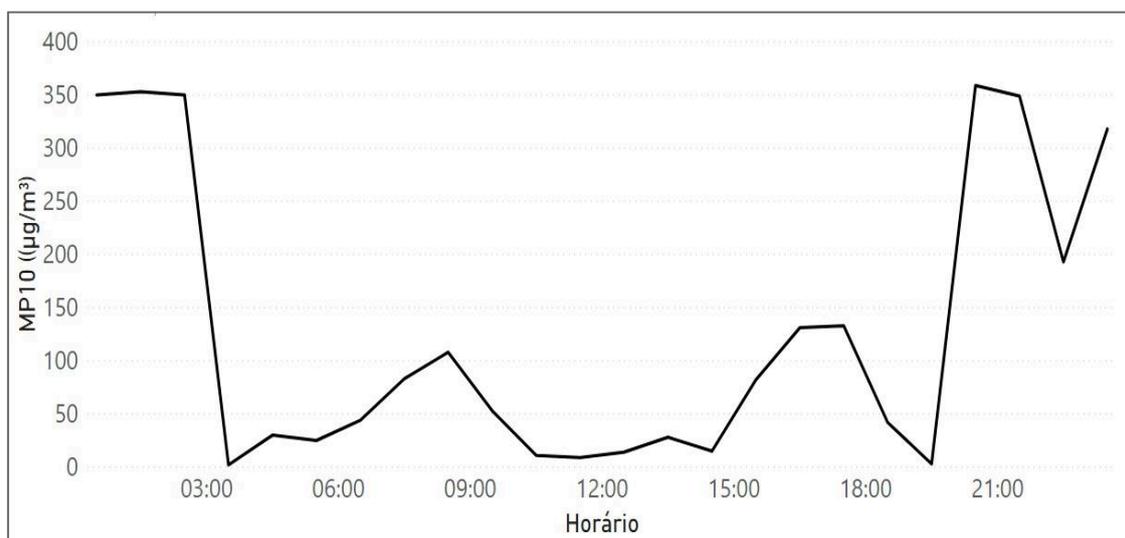
Fonte: Autores (2020).

Em relação ao dia 03/10/2015 (sábado) e 18/10/2015 (domingo) (estação 4), ambas apresentaram comportamento similar, com picos na concentração de MP<sub>10</sub> no período noturno. Ao se considerar que no dia 03/10 houve a predominância da direção norte (que é onde está localizada a atividade de exploração a céu aberto), muito possivelmente, algum tipo de atividade na mineradora possa ter ocasionado o arraste de partículas para essa direção. Vale salientar que a mineradora explora ouro a céu aberto e que, diariamente, entre 15h e 16h, ocorrem explosões nas rochas para o processo de extração. Além disso, a presença de caminhões pesados no solo exposto pode influenciar, também, no desprendimento e arraste de partículas do solo. Esse cenário não é similar ao encontrado no dia 18/10, pois houve uma maior heterogeneidade nas direções do vento, porém, o desprendimento de partículas provenientes da atividade de mineração e do solo exposto encontrado ao redor da estação podem ter influenciado na concentração encontrada.

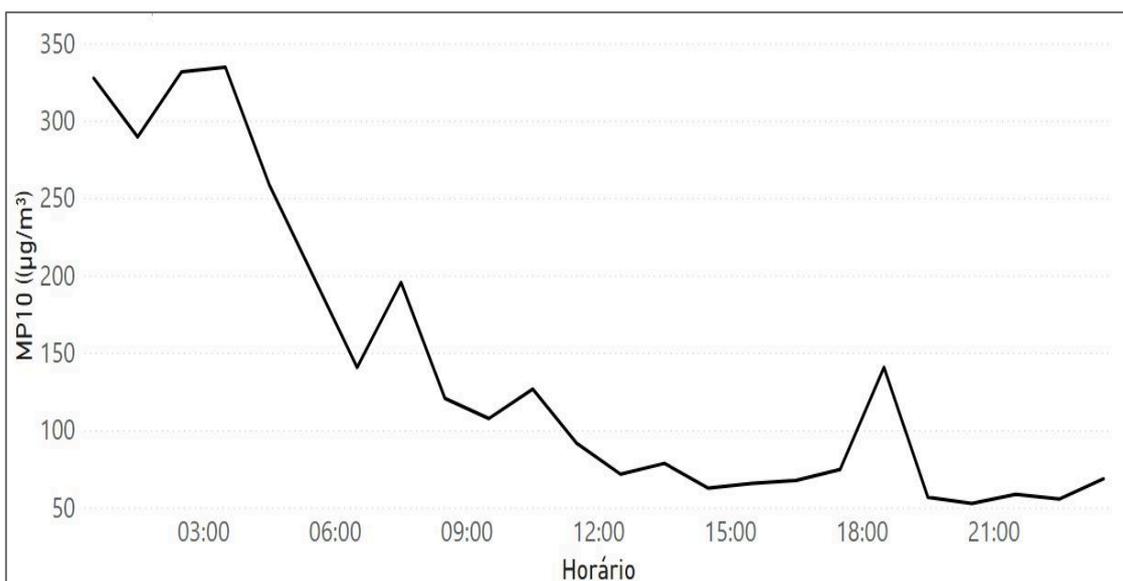
Em relação aos dias 15/09/2016 (quinta-feira) e 16/06/2016 (quinta-feira) (estação 3), ambas apresentaram comportamento similar na hora do rush (após às 18 h), o que pode

estar diretamente relacionado ao fluxo de veículos automotores. Além disso, ambas as datas estão situadas no inverno (período considerado como seco no município), ou seja, a dispersão do poluente torna-se difícil. Verificou-se também “picos” no período da manhã, o que reforça a possibilidade de que, nesses dias (secos), com o início/aumento do fluxo de veículos automotores, ocorre o aumento da concentração de MP<sub>10</sub>. Porém, como essa estação não mede a direção e a velocidade do vento, qualquer tipo de correlação para essa torna-se difícil. Em estudo similar, Silva et al., (2020) verificaram que, no ano de 2016, em Uberlândia – MG, os meses entre julho a setembro foram os de menos precipitação e baixa umidade do ar no município. Os autores associaram às condições climáticas, desfavoráveis para a remoção de poluentes, aos maiores valores da concentração de MP<sub>10</sub> daquele ano.

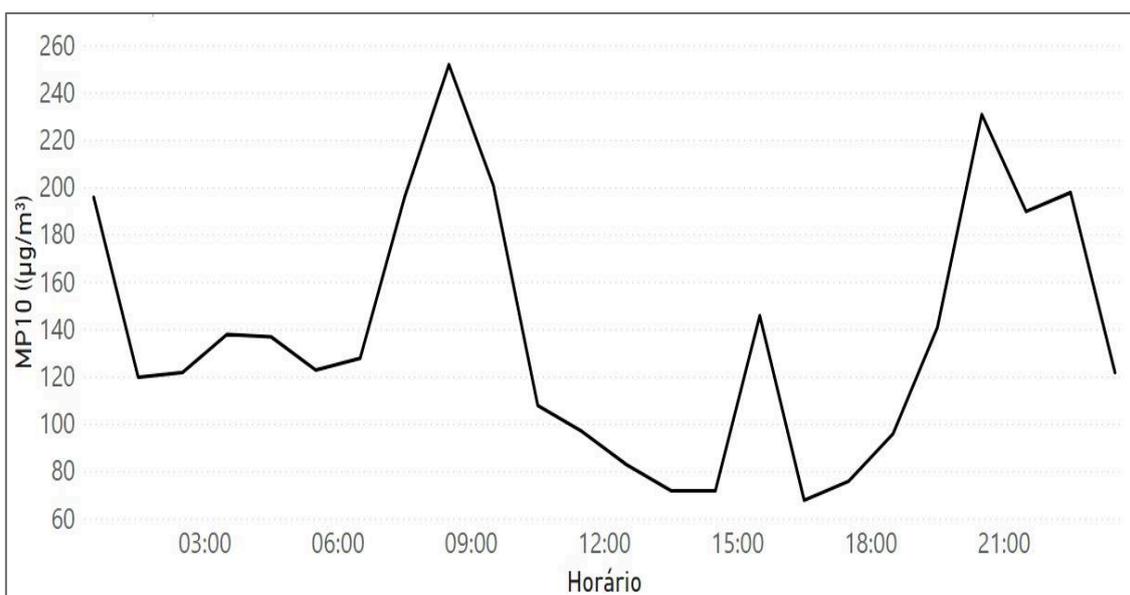
Figura 2.3 - Comportamento horário de MP<sub>10</sub> no dia 03/10/2015 na estação 4.



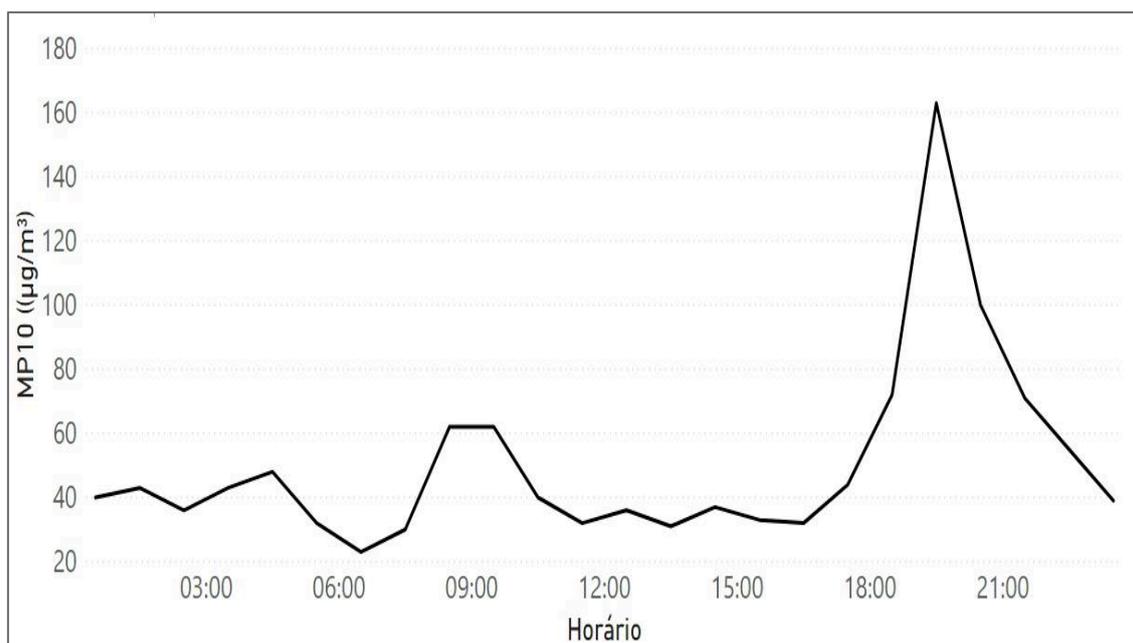
Fonte: Autores (2020).

Figura 2.4 - Comportamento horário de MP<sub>10</sub> no dia 18/10/2015 na estação 4.

Fonte: Autores (2020).

Figura 2.5 - Comportamento horário de MP<sub>10</sub> no dia 15/09/2016 na estação 3.

Fonte: Autores (2020).

Figura 2.6 - Comportamento horário de MP<sub>10</sub> no dia 16/06/2016 na estação 3.

Fonte: Autores (2020).

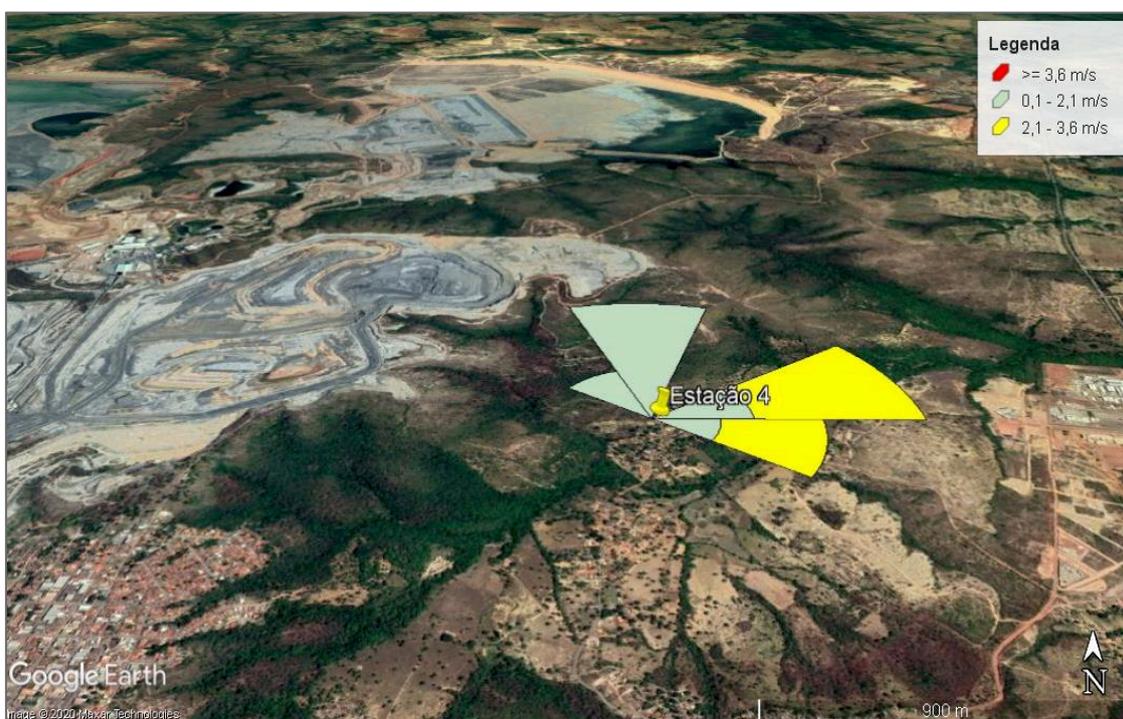
Com relação à predominância do vento nesses dias (Figura 2.7 e Figura 2.8), essa etapa foi feita apenas para a estação 4, haja vista que a estação 3 não mede esse tipo de parâmetro.

Figura 2.7 - Direção predominante do vento no dia 03/10/2015 na estação 4.



Fonte: Autores (2020).

Figura 2.8 - Direção predominante do vento no dia 18/10/2015 na estação 4.



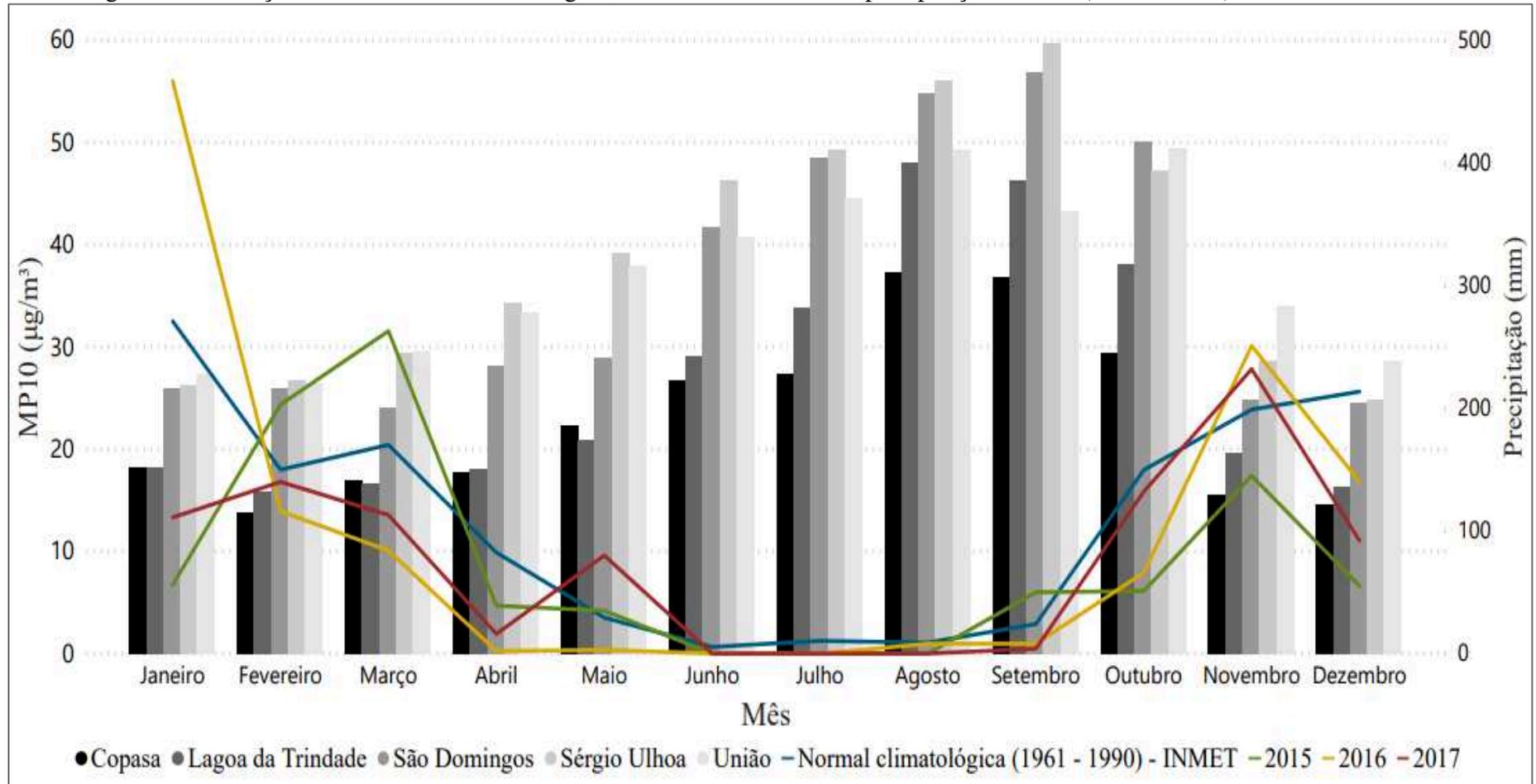
Fonte: Autores (2020).

Com relação ao comportamento mensal do MP<sub>10</sub> nas estações de qualidade do ar do município, durante os 3 anos analisados, esse é abordado na Figura 2.9, bem como o comportamento pluviométrico do município nesse período, verificado por estação convencional, e a sua normal climatológica. É possível verificar que existe uma relação entre o comportamento sazonal do MP<sub>10</sub> e as concentrações pluviométricas, ou seja, a variável climatológica interfere na dispersão dos poluentes. Vale destacar que a precipitação se destaca dentre as variáveis climatológicas capazes de concentrar ou dispersar os poluentes do ar (TORRES; MARTINS, 2005).

Situação similar foi encontrada no estudo de Válio (2015), em que as menores concentrações obtidas para o MP<sub>10</sub> no município de São Carlos - SP foram, em grande parte, verificadas em dias chuvosos e, ao se considerar apenas os dias não chuvosos, o autor verificou as médias de MP<sub>10</sub> acima do limite permitido pela legislação. Vale frisar que as medidas de precipitações, neste estudo, são representativas do total acumulado e que, portanto, esse valor deve ser considerado como um indicativo de tendência da precipitação ao longo do ano.

Em relação ao comportamento pluviométrico da série analisada, esse se mostrou similar ao da normal climatológica do município. Paracatu apresenta temperaturas elevadas e precipitações concentradas no período de outubro a abril, quando chove em média 93% do total anual (MULHOLLAND, 2009), porém, notou-se discrepâncias em meses isolados, o que pode estar relacionado com os fenômenos de El Niño (2015-2016) e La Niña (2017) (NOAA, 2020). Em seu estudo de comparativo da pluviosidade em anos que ocorreram fenômenos de El Niño e La Niña com anos normais, Ramos et al. (2015) concluíram que a fase de La Niña foi a que mais alterou a distribuição temporal das chuvas em relação aos anos neutros, apresentando os maiores valores precipitados do quarto decêndio do ano ao sétimo e, os anos de El Niño, apresentaram as maiores precipitações diárias no período compreendido entre os meses de janeiro a março. Já Minaki e Montanher (2019) verificaram que, quanto maior a intensidade dos fenômenos, maior foi a diferença de precipitação com relação aos meses de neutralidade

Figura 2.9 - Relação entra a normal climatológica, MP10 e acumulado de precipitação mensal (2015 – 2017).



Fonte: Autores (2020).

Com relação aos diferentes valores encontrados entre as estações de qualidade do ar no município, houve diferença a um nível de significância de 5%, por meio do TK, entre as estações. Dentre essas, apenas as estações 1 e 4 não apresentaram diferença significativa (Tabela 2.3). A situação descrita pode estar relacionada com a proximidade dessas duas estações com a área de extração a céu aberto e com as explosões diárias que ocorrem no local de extração. Vale reforçar que a estação 4 não está localizada nas proximidades do centro urbano de Paracatu – MG. Porém, recomenda-se, neste ponto, que estudos envolvendo as concentrações de MP<sub>10</sub> e os aspectos meteorológicos e climatológicos no município sejam avaliados em um estudo futuro.

Tabela 2.3 - Diferença significativa entre as estações de qualidade do ar.

Fator	Médias*
Estação Sérgio Ulhoa (3)	39,6a
Estação São Domingos (4)	37,1b
Estação União (1)	37,0b
Estação Lagoa Trindade (5)	27,7c
Estação Copasa (2)	24,5d

Fonte: Autores (2020).

\*Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.

## 2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação à legislação vigente, o parâmetro analisado (MP<sub>10</sub>) encontra-se, em sua maioria, cumprindo os padrões estabelecidos pela CONAMA, nº 491/2018. Porém, pode-se alegar que, mesmo abaixo dos padrões de qualidade do ar estabelecidos, o efeito da poluição atmosférica existe, embora estejam limitados a um nível aceito pela sociedade.

Foi possível concluir que as concentrações de MP<sub>10</sub> na área de estudo apresentaram comportamento distinto dentre as estações de monitoramento e que possuem relação com o índice pluviométrico. Porém, todos os anos analisados foram anos do fenômeno El Niño (2015 e 2016) e La Niña (2017), o que pode acarretar diretamente em alterações na pluviosidade, direção e velocidade do vento e temperatura, havendo a necessidade de estudos comparativos com anos considerados normais.

Em relação as ultrapassagens dos padrões – anuais e diários – recomendados pela OMS no município de Paracatu, faz-se necessário a elaboração e a implementação de um

programa de acompanhamento e controle sistemático dos poluentes do ar nas estações de monitoramento localizadas entre o perímetro urbano do município e a atividade de mineração, pois um decréscimo das concentrações poluentes sempre significa um ganho na qualidade de vida.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, N. A.; CONCEIÇÃO, T. L. A.; FERREIRA, P. A. Mineração de agregados e saúde pública: uma perspectiva socioambiental nas comunidades rurais sagui 1 e 2. **Educação, Tecnologia e Cultura**, [s.l.], n. 14, jun. 2016. Disponível em: <https://publicacoes.ifba.edu.br/index.php/etc/article/view/44>. Acesso em: 02 fev. 2020.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto alegre: Bookman, 2002.
- BIDONE, E.; CESAR, R.; SANTOS, M. C.; SIERPE, R.; SILVA-FILHO, E. V.; KUTTER, V.; SILVA, L. I. D. S.; CASTILHOS, Z. Mass balance of arsenic fluxes in rivers impacted by gold mining activities in Paracatu (Minas Gerais State, Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 9, p. 9085-9100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1215-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1215-z#citeas>. Acesso em: 06 jul. 2020.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- CANÇADO, J. E. D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. D. P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 32, supl. 2, p. S5-S11, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-37132006000800003>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-37132006000800003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-37132006000800003&script=sci_arttext). Acesso em: 14 dez. 2019.
- CLANCY, L.; GOODMAN, P.; SINCLAIR H.; DOCKERY, DW. **Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study**. *Lancet*. 360(9341):1210-4. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)11281-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)11281-5). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140673602112815>. Acesso em: 08 ago. 2020.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 491 de 19 de novembro de 2018. **Dispõe sobre padrões de qualidade do ar**. Brasília, Diário oficial da República Federativa do Brasil. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA N° 1, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.** 1986.

EQUIPE ESTATCAMP. 2014. **Software Action. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade**, São Carlos, SP. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/>. Acesso em: 08 ago. 2019.

FREIRE, L. M. B.; PRESCHOLDT, S. G. A. Desenvolvimento às avessas e depredação socioambiental por uma mineradora. **Serviço Social e Sociedade**, n. 123, p. 476-500, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0101-6628.033>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-66282015000300476&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-66282015000300476&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 9 dez. 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (MG). **Dados da qualidade do ar.** Belo Horizonte, 2015. Portal. Disponível em: <http://www.feam.br/qualidade-do-ar/dados>. Acesso em: 13 set. 2020.

IBGE. 2018. **Banco de dados geográficos.** Paracatu. [http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork\\_ibge/srv/por/main.home](http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/main.home). Acesso em: 18 fev. 2020.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da qualidade das águas do Estado de Minas Gerais:** Relatório Trimestral, 3º trimestre de 2009. Belo Horizonte: IGAM, 2009. Acesso em: 13 jul. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Base de dados históricos.** Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 18 fev. 2020.

KINROSS. **Conheça a Kinross.** Paracatu, 2019. Portal. Disponível em: <http://www.kinross.com.br/a-kinross/conheca/> Acesso em: 15 nov. 2019.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, [s.l.], v. 70, n. 1, p. 132-138, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052011000100019>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052011000100019&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052011000100019&script=sci_arttext). Acesso em: 08 ago. 2020.

MAGALHÃES, L. C.; HERMÍNIO JUNIOR, H. A. N.; LIMA, A. D. C.; COUTRIM, M. X. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. **Química Nova**, [s.l.], v. 33, n. 3, 519-523. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000300005>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422010000300005&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422010000300005&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 29 nov. 2019.

MATOS, J. D. A. **Variação espacial e temporal das concentrações de arsênio associado ao material particulado atmosférico em Paracatu (MG)**. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual de normas e procedimentos para licenciamento ambiental no setor de extração mineral**. Brasília, DF. 2001.

Disponível em:

[https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/\\_arquivos/MANUAL\\_mineracao.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/MANUAL_mineracao.pdf).

MINUZZI, R. B., SEDIYAMA, G. C., COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência do fenômeno climático El Niño no período chuvoso da região sudeste do Brasil.

**Geografia**, Londrina, v. 15, n.2, pp.5-19. 2010. Disponível em

<http://www.uel.br/revistas/geografia>. Acesso em: 18 out. 2019.

MCCREANOR, J. et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. **New England Journal of Medicine**, [s.l.], v. 357, n. 23, p. 2348-2358, 2007.

DOI: [10.1056/NEJMoa071535](https://doi.org/10.1056/NEJMoa071535). Disponível em:

<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa071535>. Acesso em: 13 out. 2019.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**, [s.l.], v. 24, n. 68, p. 209-220, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100016>. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142010000100016&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142010000100016&script=sci_arttext).

Acesso em: 18 out. 2019.

MINAKI, C.; MONTANHER, O. C. Influência do El Niño-Oscilação Sul na precipitação em Maringá-PR, no período de 1980 a 2016. **Caminhos de Geografia**,

Uberlândia, v. 20, n. 69, p. 266-281, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.14393/RCG206941220>. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/41220>. Acesso em:

15 dez. 2019.

MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. **Química Nova**, [s.l.] v. 23, n. 5, p. 590-593, 2000. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-4042200000500004>. Disponível em:

[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-4042200000500004&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-4042200000500004&script=sci_arttext).

Acesso em: 18 set. 2019.

MULHOLLAND, D. S. **Geoquímica Aplicada à Avaliação de Qualidade de Sistemas Aquáticos da Bacia do Rio Paracatu (MG)**. Dissertação de Mestrado. Brasília, DF: IG/UNB. 95p. 2009.

ESTADOS UNIDOS. **National Oceanic and Atmospheric Administration**. 2020.

Portal. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>

Acesso em: 13 set. 2020.

PADMANABAN, R.; BHOWMIK, A. K.; CABRAL, P. A remote sensing approach to environmental monitoring in a reclaimed mine area. **ISPRS**, [s.l.], v. 6, n. 12, p. 401, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6120401>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/6/12/401>. Acesso em: 07 nov. 2019.

PIMENTEL, H. U. **A história de Paracatu. Paracatu**, 2020. Portal. Disponível em: <http://paracatu.mg.gov.br/cidade>. Acesso em: 20 ago. 2019.

RAMOS, H.C.; DALLACORT, R.; SANTI, A.; SANTIANO JUNIOR, S.; QUEIROZ, T. M. Precipitação pluvial de diamantino-mt em anos de ocorrência de El-Niño, La-Niña e neutros. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 71-80, Mar. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620120477>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862015000100071&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862015000100071&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 24 set. 2019.

RICH, D.; SCHWARTZ, J.; MURRAY, M.; LINK, M.; GIBSON, H.; CATALANO, F. S.; DOCKERY, D. Association of short-term ambient air pollution concentrations and ventricular arrhythmias. **American Journal of Epidemiology**, [s.l.], v. 161, n. 12, p. 1123-1132, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/kwi143>. Disponível em: <https://academic.oup.com/aje/article/161/12/1123/149249?login=true>. Acesso em: 25 nov. 2020.

SANTOS, M. J. D. **O Ouro e a Dialética Territorial em Paracatu: Opulência e Resistência**. 197 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2012.

SANTOS, M. C. B. **Avaliação da contaminação por arsênio em solos, sedimentos e águas fluviais na região da mina de ouro “Morro do Ouro”, Paracatu-MG**. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 160 pp, 2016.

SILVA, I. F. D., LIMA, E. A. P. D., SILVA, J. V. D.; RODRIGUES, L. B. Analysis of air quality in the central region of Uberlândia: inalable particles (MP<sub>10</sub>). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [s.l.], v. 3, n. 1, pp.207-217. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/7829>. Acesso em: 14 out. 2019.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 4, n. 16, p. 23-39, 2005. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15403/8701>. Acesso em: 13 nov. 2020.

VÁLIO, V.M. **Análise do material particulado atmosférico em uma região de São Carlos-SP**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

### **CAPÍTULO 3**

## **O CRESCIMENTO DAS ATIVIDADES ANTRÓPICAS E O SEU EFEITO NA VARIACÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL: UM ESTUDO DE CASO EM PARACATU – MG**

### **RESUMO**

Este trabalho objetiva analisar as variações da temperatura da superfície - *Land Surface Temperature* (LST) - na malha urbana do município de Paracatu - MG, bem como na área da atividade de mineração a céu aberto, localizada próxima ao perímetro urbano do município, entre os anos 1990 e 2019. Foi analisado a variação das temperaturas superficiais dos bairros do município, o respectivo comportamento da LST e o seu uso do solo por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Para tanto, foram usadas imagens dos satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8 e realizado a média entre as imagens, obtendo, dessa forma, uma imagem que representasse a estação outono em cada ano analisado. Foi aplicado os cálculos de LST disponibilizados pela *United States Geological Survey* (USGS) para cada satélite utilizado. Os dados obtidos foram importados para o software *Environment for Visualizing Images* (ENVI), onde foram extraídos e analisados em um software de análise de dados. Foi verificado, tanto na malha urbana de Paracatu, como na área de atividade de mineração a céu aberto, o aumento da variação em sua LST média, mínima e máxima, fato que muito provavelmente está relacionando à expansão urbana e ao crescimento populacional do município, bem como ao crescimento da lavra de exploração mineral a céu aberto. Em relação aos bairros que mais e menos variaram a sua LST com o decorrer dos anos, foi possível analisar, por meio do índice NDVI, que a supressão total da vegetação e a possível ocupação antrópica fez com que um dos bairros apresentassem maior variação da LST com o passar dos anos analisados. Em relação ao bairro que apresentou a menor variação da sua LST, esse foi incorporado como bairro no novo Plano Diretor do município de Paracatu por, atualmente, estar sendo construído um loteamento no local. Por fim, foi concluído que essa pesquisa apresentou métodos e resultados satisfatórios para serem utilizados como subsídio ao planejamento urbano em municípios.

**Palavras-chave:** temperatura da superfície. crescimento urbano. exploração mineral.

## **THE GROWTH OF ANTHROPIC ACTIVITIES AND ITS EFFECT ON THE VARIATION OF SURFACE TEMPERATURE: A CASE STUDY IN PARACATU – MG**

### **ABSTRACT**

This work aims to analyze the variations of the surface temperature - Land Surface Temperature (LST) - in the urban mesh of the municipality of Paracatu - MG, as well as in the area of open pit mining activity, located close to the urban perimeter of the municipality, among the 1990s and 2019. The variation of surface temperatures in the neighborhoods of the municipality, the respective behavior of the LST and its use of the soil through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were analyzed. For this purpose, images from the LANDSAT-5 and LANDSAT-8 satellites were used and the average between the images was obtained, thus obtaining an image that represented the autumn season in each year analyzed. The LST calculations, made available by the United States Geological Survey (USGS) for each satellite used, were applied. The data obtained were imported into the Environment for Visualizing Images (ENVI) software, where they were extracted and analyzed using data analysis software. It was verified, both in the urban mesh of Paracatu and in the area of open pit mining, the increase in variation in its average, minimum and maximum LST, a fact that is most likely related to the urban expansion and population growth of the municipality, as well as the growth of open pit mining. In relation to the neighborhoods that most and least varied their LST over the years, it was possible to analyze, through the NDVI index, that the total suppression of vegetation and the possible anthropic occupation caused one of the neighborhoods to present a greater variation in the LST over the years analyzed. In relation to the neighborhood that presented the smallest variation in its LST, it was incorporated as a neighborhood in the new Master Plan of the municipality of Paracatu because, currently, a subdivision is being built on site. Finally, it was concluded that this research presented satisfactory methods and results to be used as a subsidy to urban planning in municipalities.

**Keywords:** surface temperature. urban expansion. mineral exploration.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A radiação solar que chega na Terra é distribuída de forma desigual na superfície terrestre, e, em consequência disso, diferentes usos da terra apresentam distintos valores de LST (OLIVEIRA et al., 2014), sendo essa, medida a partir da energia emitida pelos objetos terrestres e captadas pelos sensores (SOUZA et al., 2016). Com isso, é necessário destacar que superfícies como vegetação, solos expostos, corpos d'água, asfalto, edificações, dentre outros, interferem de forma diferente na temperatura e na sensação térmica do ambiente (GOMES et al., 2019). Sendo assim, as trocas e o balanço de energia superficial podem revelar informações relacionadas ao clima urbano e ao nível de planejamento ambiental (SOUSA; FERREIRA JÚNIOR, 2012).

Diante das atividades que podem proporcionar desconforto térmico, a expansão urbana, principalmente as que ocorrem de forma desordenada, se destaca por ocasionar mudanças nas condições ambientais e climáticas do local, dando origem a um ambiente antropizado e de clima específico, havendo a necessidade de que ocorra um planejamento ambiental adequado e que seja capaz de fornecer subsídio às políticas públicas locais em relação ao uso e ocupação do solo (DORIGON; AMORIM, 2013).

Dentre as ferramentas voltadas para realizar estudos de planejamento envolvendo dimensões territoriais, as geotecnologias têm apresentado um crescimento notório do volume de dados produzidos, pois sua aplicação na avaliação do território como subsídio ao planejamento ambiental permite definir os setores de um território que apresentam determinadas peculiaridades ambientais, além da possibilidade de análise de resultados de forma temporal (KORCHAGIN et al., 2019). Dessa forma, é possível propor o uso adequado, a preservação, a recuperação ou a reabilitação de áreas que se encontram degradadas por atividades que sejam incompatíveis com a sua vocação de uso.

Ao se considerar as atividades antrópicas que mais causam impactos negativos ao meio ambiente, destaca-se a extração de minérios (SÁNCHEZ, 2015), que leva a mudanças geológicas que são refletidas na superfície (MILLÁN et al., 2013) e, esses impactos, por sua vez, são passíveis de observações a partir de sensores remotos, responsáveis pelo registro de imagens orbitais (PADMANABAN, 2017).

Em relação a esse contexto, pressupõe-se que a influência direta da atividade de mineração a céu aberto no município de Paracatu – MG, área de estudo deste trabalho,

desde a década de 1980, atrelado ao crescimento urbano desordenado da malha urbana do município, pode estar interferindo na variação da LST da área em estudo, surgindo o questionamento: como avaliar o impacto da expansão da urbanização de Paracatu e da área ocupada pela atividade de mineração ao decorrer dos anos?

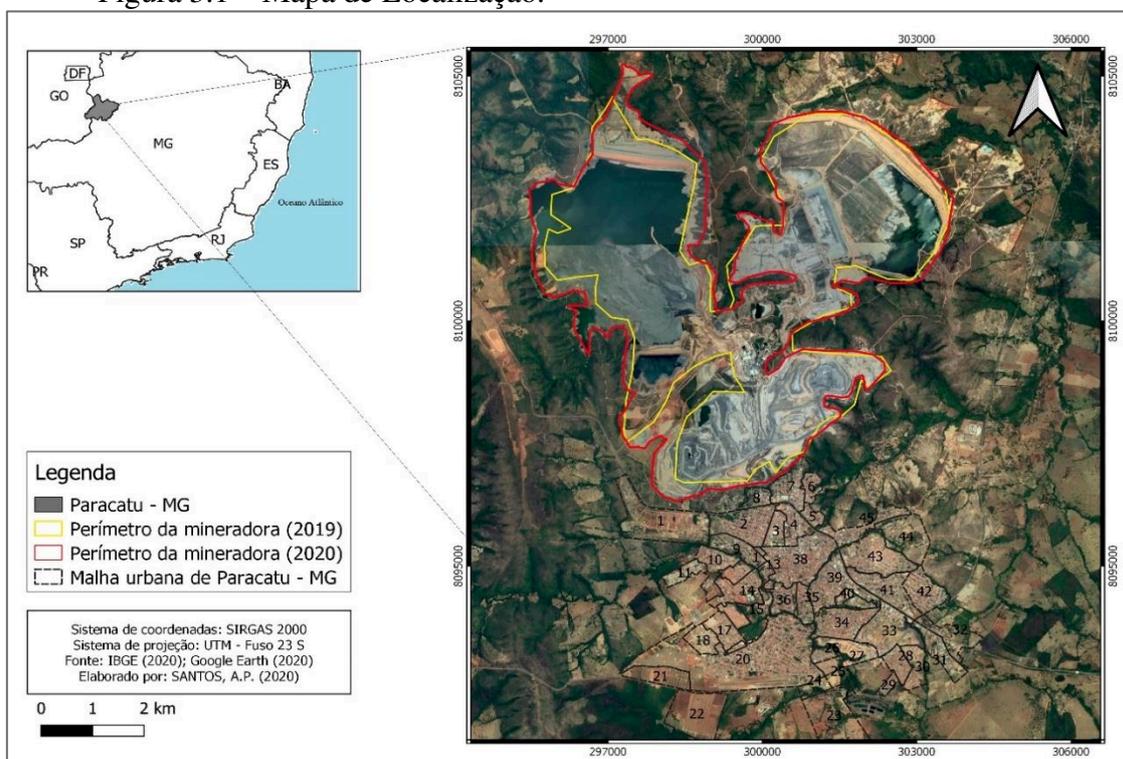
Nesse sentido, o objetivo deste trabalho consistiu em analisar, entre 1990 e 2019, para a estação outono, as variações da LST em uma área do município de Paracatu – MG que abrange tanto a malha urbana do município, como a área de atividade de mineração a céu aberto. Como objetivos específicos, procurou-se verificar os bairros que apresentaram a maior e a menor variação da sua LST com o decorrer dos anos e analisar as possíveis causas.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODO

### 3.2.1 Área de estudo

O local de estudo é composto por duas áreas: área de extração de ouro a céu aberto e a malha urbana do município de Paracatu, conforme demonstrado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Mapa de Localização.



Fonte: Autores (2020).

### 3.2.2 Aquisição dos dados

Os dados dos satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8 foram obtidos no site do USGS. Inicialmente, optou-se por analisar anos que foram considerados normais, ou seja, anos em que não houve a ocorrência dos fenômenos de El Niño e La Niña. Os anos em que ocorreram os respectivos fenômenos estão dispostos na Tabela 3.1 e os anos definidos são apresentados na Tabela 3.2. Posteriormente, escolheu-se uma estação do ano a ser trabalhada, sendo essa, a estação outono.

A escolha dessa estação se deu por 2 motivos: a) devido à baixa incidência de nuvens, o que garante a melhor visibilidade da superfície e a maior atenuação dos efeitos atmosféricos e; b) por ser um período de transição entre o verão (período úmido no município e com possível excedente hídrico no solo) e inverno (período seco no município e com possível estresse hídrico no solo) (INMET, 2020).

Neste ponto, convém salientar sobre a influência da presença/escassez de água para os registros de LST, pois a umidade do material tende a alterar o albedo, que representa a parte da radiação solar incidente que é refletida pelo material, e, em consequência disso, maior/menor é a sua capacidade de absorver e de reemitir energia posteriormente, aumentando, também, a tendência de elevação/diminuição da temperatura (AMORIM, 2017; DAGBEGNON et al., 2015; REICHARDT e TIMM, 2004).

Tabela 3.1 - Anos de El Niño e La Niña.

Ano	El Niño	La Niña
1986-1987	✓	
1988-1989		✓
1987-1988	✓	
1991-1992	✓	
1992-1993	✓	
1997-1998	✓	
1998 - 1999		✓
1999 - 2000		✓
2002-2003	✓	
2006-2007	✓	
2007 - 2008		✓
2009-2010	✓	
2010-2011		✓
2015-2015	✓	

2017-2018		✓
-----------	--	---

Fonte: Cptec (2020).

Tabela 3.2 – Anos e datas das imagens escolhidas para análise.

Ano	Imagem 1	Imagem 2
1990	05/06/1990	20/05/1990
1995	03/06/1995	18/05/1995
2005	11/04/2005	13/05/2005
2014	04/06/2014	22/05/2014
2019	02/05/2019	21/06/2019

Fonte: USGS (1990; 1995; 2005; 2014; 2019).

Esses dados foram requisitados e, em seguida, recortados para o município estudado. Todos os dados foram padronizados para o mesmo sistema de referência: SIRGAS 2000 em UTM Fuso 23S.

Com relação ao intervalo da série analisada, o ano de 1990 foi definido pelo fato de esse ser o primeiro ano disponível após o de início da construção da mina Morro do Ouro e, o ano de 2019, por ser o último ano de dados disponibilizado pelo satélite LANDSAT-8, sendo esse, considerado como representante da situação atual do município.

Para atender ao objetivo do trabalho, dividiu-se a pesquisa em duas etapas, sendo: a) no mapeamento e processamento da LST dessas áreas e; b) análise da diferença entre os valores da LST mínima, média e máxima entre os anos.

Para a análise multitemporal e produção dos mapas de LST, foi utilizada a banda 6 do satélite LANDSAT-5 e a banda 10 do satélite LANDSAT-8, que correspondem a suas respectivas faixas termais no espectro eletromagnético, e os arquivos vetoriais em formato shapefile (.shp), que representam o país, o estado, o município e a área de interesse da pesquisa. Os arquivos vetoriais utilizados foram: a) limite do território do Brasil; b) limite do estado de Minas Gerais; c) limite do município de Paracatu - MG; d) área de extração de ouro a céu aberto e; e) malha urbana.

Ressalta-se aqui que os itens (a), (b), e (c) estão disponibilizados gratuitamente na plataforma do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e na escala 1:250.000 (IBGE, 2020). Com relação a elaboração da máscara da atividade de mineração (d) e (e),

essa foi produzida por meio da combinação RGB (5, 4, 3) na imagem do ano de 2019, considerando as suas respectivas localizações por meio do software Open-source Google Earth Pro (GOOGLE, 2020) e validadas com conhecimento prévio do município. Já em relação à máscara da malha urbana (f), essa foi obtida junto à secretaria de Planejamento do município de Paracatu e com escala de 1:50000.

### 3.2.3 Extração da LST das imagens orbitais

Para o cálculo da LST das áreas em estudo, aplicou-se a equação 3.1 por meio do software *QGis* 3.2.12 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019) em cada imagem obtida.

Equação 3.1 - Cálculo da LST.

$$T = \left( \frac{K2}{\ln \left( \left( \frac{K1}{ML * Qcal + AL} \right) + 1 \right)} \right) - 273.15$$

Fonte: USGS (2016).

sendo:

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda termal\*, AL = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda termal\*, Qcal = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN, T = temperatura em Celsius, K2 = constante de calibração 2\* e K1= constante de calibração 1\*.

*\*Valores empregados no processamento das imagens (retirados do arquivo de metadados).*

Posteriormente, realizou-se a média entre as duas imagens da Tabela 3.2. Para o caso do satélite LANDSAT-8, adicionou-se o valor de -0,29 para cada pixel da imagem resultante da média, conforme a recomendação da USGS (2016), pois as bandas termais 10 e 11 recebem interferência de luz dispersa de áreas adjacentes à cena imageada e, portanto, necessitam desse ajuste. A USGS (2016) recomenda o uso da banda 10 durante

a estimativa de temperatura, pois o problema de luz dispersa ocorre, com maior intensidade, na banda 11.

Em seguida foi aplicado, em cada ano analisado, a máscara da malha urbana e da área da mineradora do último ano da escala temporal, que representa a situação atual da área de estudo (2019). Por fim, elaborou-se os mapas contendo a LST de cada local de interesse. Em relação à elaboração do layout, essas imagens foram separadas em classes, sendo seus valores expressos em graus Celsius (°C): <18; de 18.1 a 20; de 20.1 a 22; de 22.1 a 24; de 28.1 a 30. Os valores foram classificados pela técnica de desvio padrão.

#### **3.2.4 Extração dos valores dos pixels das máscaras e análise dos dados**

Com relação a extração dos valores dos pixels das máscaras utilizadas, utilizou-se o software ENVI em sua versão 5.2 (ENVIRONMENT FOR VISUALIZING IMAGES, 2020). Primeiramente, exportou-se as imagens que representasse cada ano, após a aplicação do método utilizado, do Qgis para o ENVI. Feito isso, aplicou-se a máscara elaborada no Qgis na imagem e realizou-se a conversão dos pixels para a máscara no plug-in *Region Of Interest (ROI)* disponibilizado no software. Por fim, realizou-se a exportação dos valores das máscaras para um documento de texto. Com os valores de LST de todas as máscaras e de todos os anos da série, esses serão exportados para o software de análise de dados da Microsoft (Power BI), onde foram analisados os seus respectivos valores médios, mínimos e máximos.

Vale destacar que, nesse ponto, foi realizada a validação dos dados obtidos, para o respectivo período analisado, por meio da temperatura ambiente medida em estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (código 83479; altitude 711,41 m; latitude: -17.244166 e longitude: -46.881666), acessado a partir do seu sítio oficial.

#### **3.2.5 Análise dos bairros que mais e menos variaram em sua LST**

Nessa etapa, selecionou-se todas as feições que representam os bairros do município, criando, respectivamente, um arquivo .shp para cada um. Diante da aplicação da LST no procedimento 2.3., foi possível encontrar o valor da LST de cada bairro e de cada ano. Para tanto, exportou-se os valores para o software ENVI e adicionou-se a

camada de .shp do município. Como a ROI, selecionou-se cada bairro e foi extraído o valor da LST do respectivo. A fim de verificar o bairro que mais e menos variou em sua LST, realizou-se, em cada ano da escala temporal, a variância entre as médias obtidas.

### 3.2.6 Análise do índice NDVI

Com o intuito de verificar uma possível causa da maior e menor variação entre os bairros analisados, as imagens foram corrigidas do efeito da atmosfera e, posteriormente, aplicou-se o índice NDVI (Equação 3.2) na primeira e na última imagem da série analisada.

Equação 3.2 - cálculo do NDVI.

$$\frac{(\text{NIR } \rho_{(830\text{nm})} - \text{RED } \rho_{(660\text{nm})})}{(\text{NIR } \rho_{(830\text{nm})} + \text{RED } \rho_{(660\text{nm})})}$$

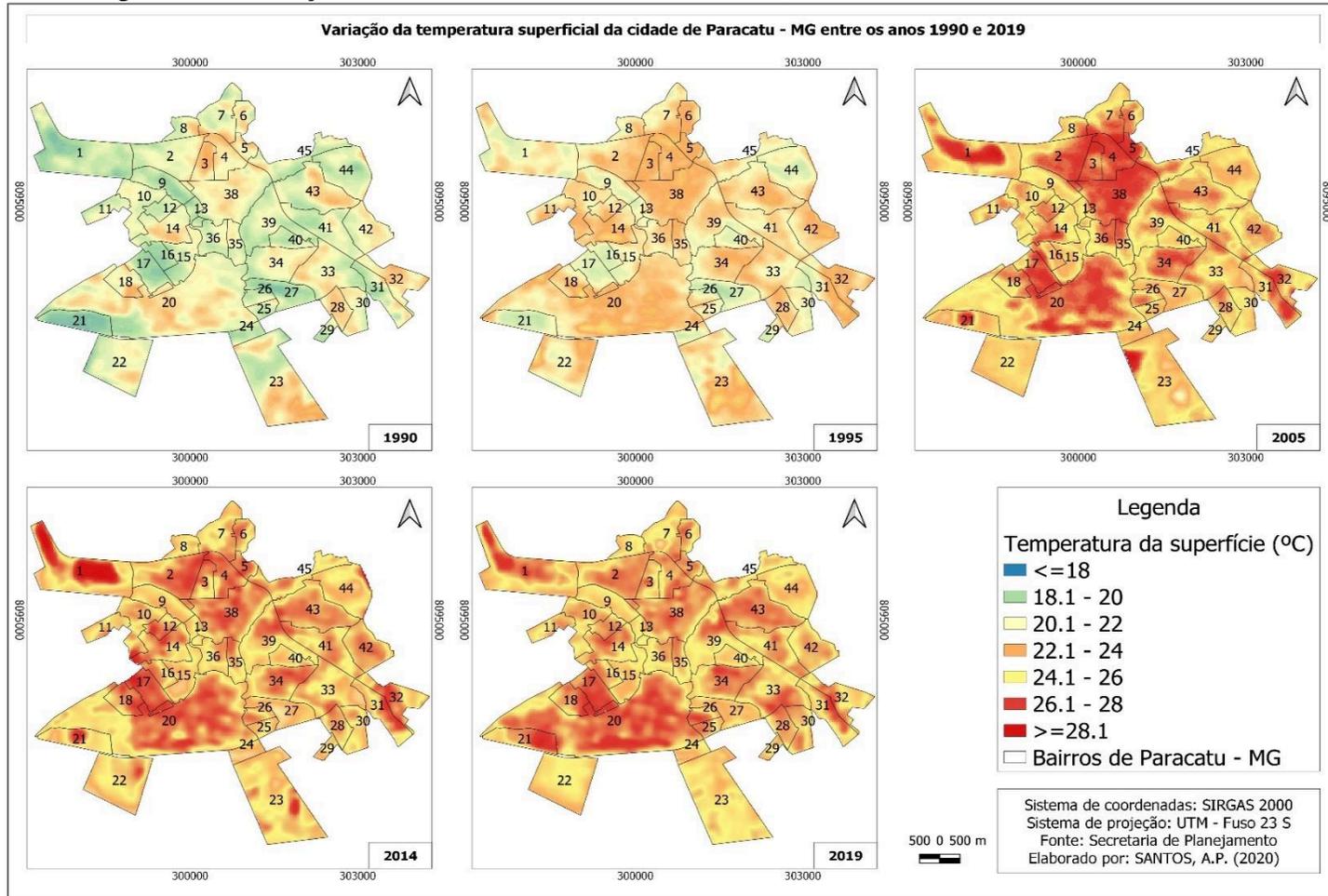
Fonte: Rouse et al. (1973).

onde: NIR corresponde à banda do infravermelho próximo e RED corresponde à banda localizada na região do vermelho.

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

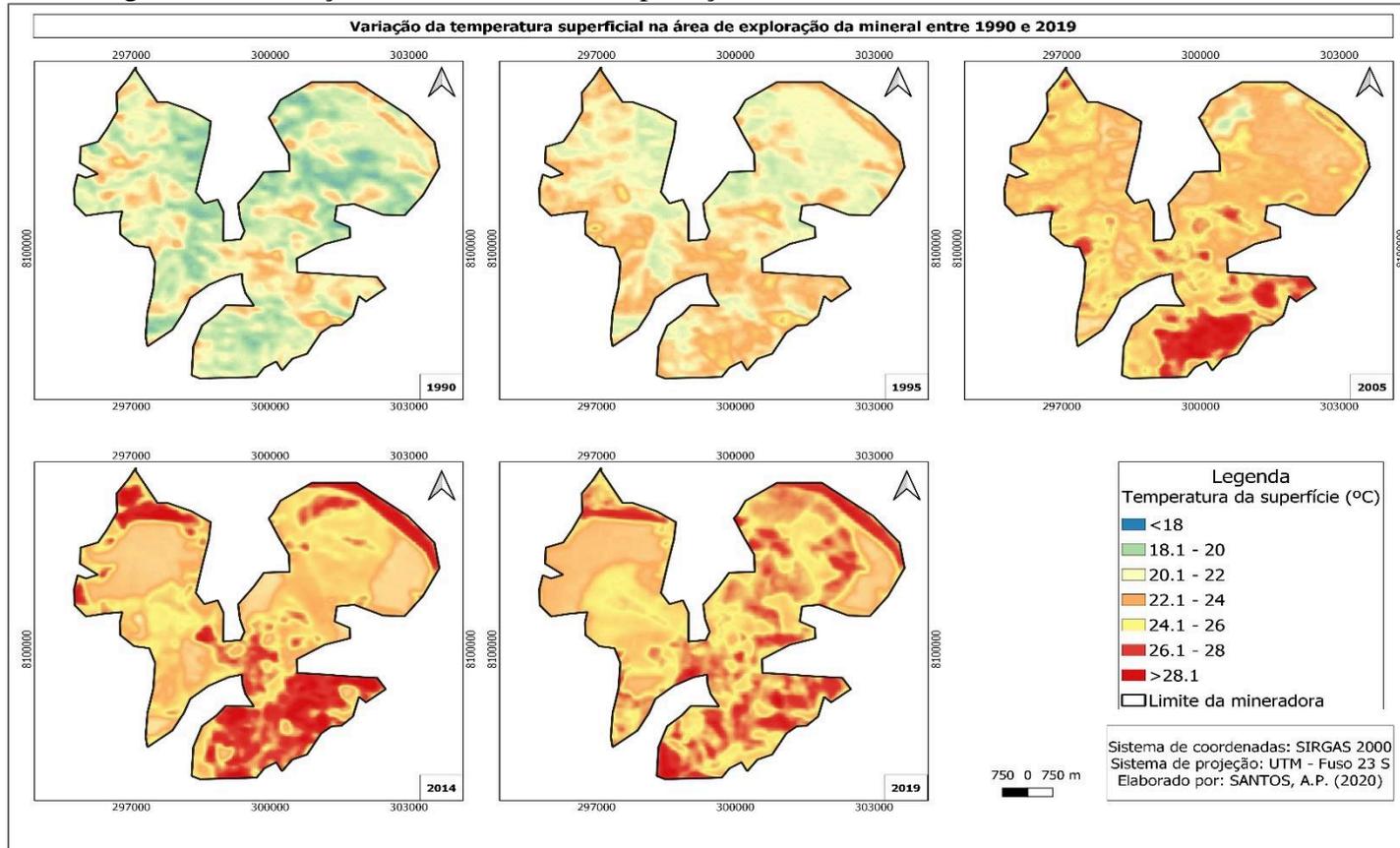
Por meio da aplicação metodológica descrita, obteve-se os valores correspondentes para as LSTs referentes a cada ano da série analisada. A Figura 3.2 ilustra os resultados obtidos para a malha urbana, e a Figura 3.3 para a área de extração a céu aberto da mineradora. Na Figura 3.4 e na Figura 3.5 são apresentados o comportamento médio, mínimo e máximo, em cada ano analisado, da área de estudo.

Figura 3.2 - Variação da LST na cidade de Paracatu – MG, no outono, entre 1990 e 2019.



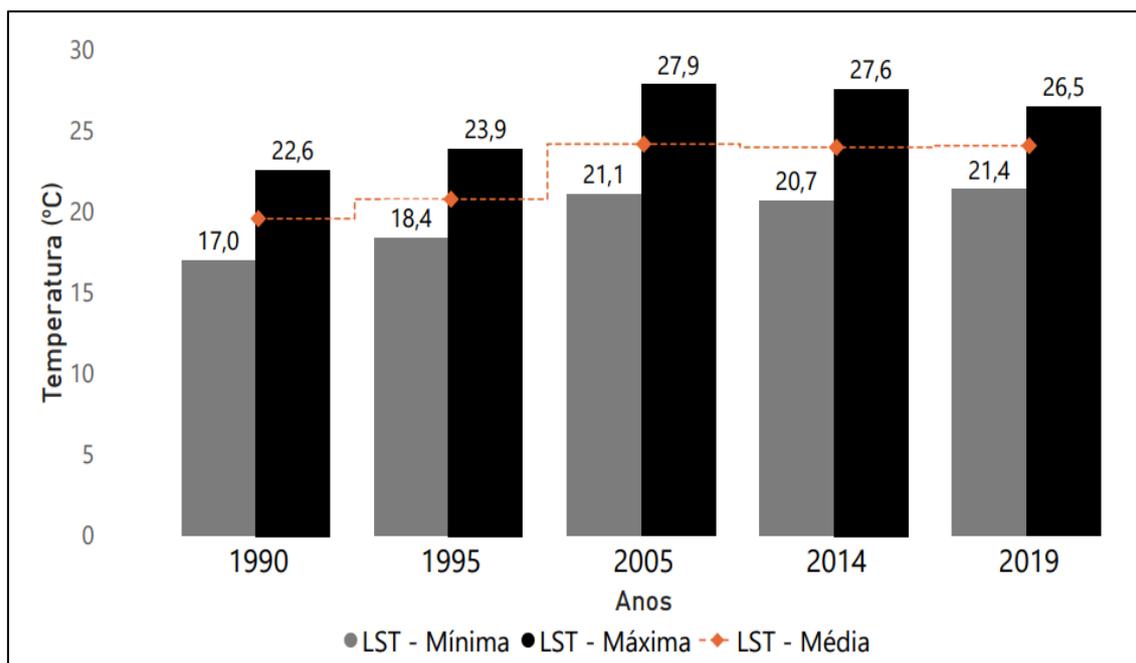
Fonte: Autores (2020).

Figura 3.2 - Variação da LST na área de exploração mineral, no outono, entre 1990 e 2019.



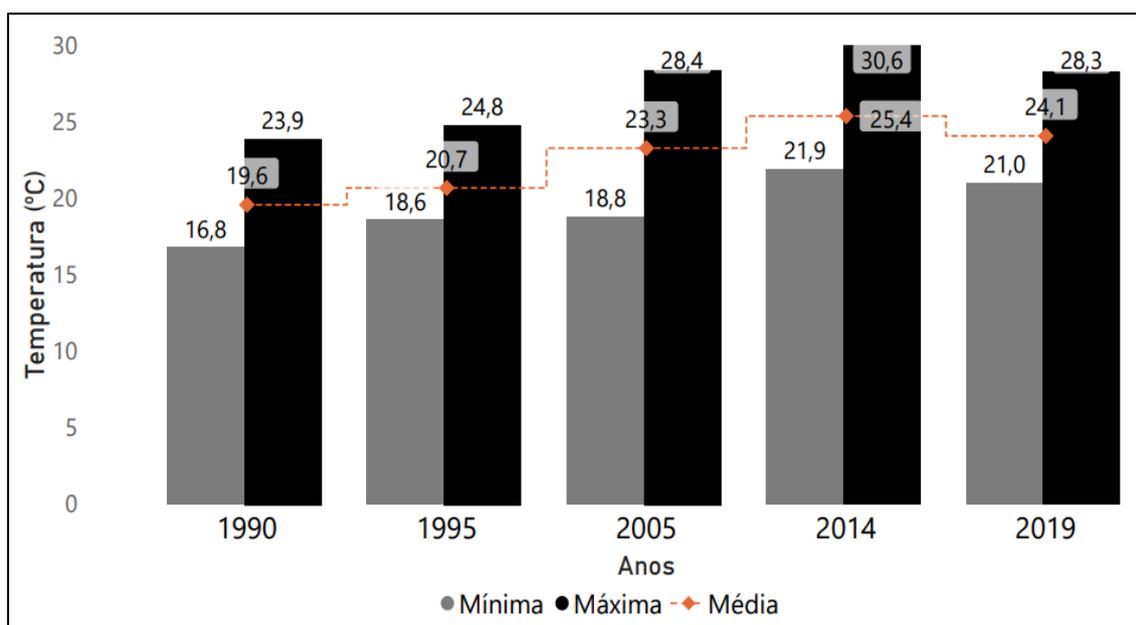
Fonte: Autores (2020).

Figura 3.4: Variação mínima, média e máxima da LST na cidade de Paracatu - MG, no outono, entre 1990 e 2019.



Fonte: Autores (2020).

Figura 3.5: Variação mínima, média e máxima da LST na área de extração a céu aberto, no outono, entre 1990 e 2019.



Fonte: Autores (2020).

Verificou-se, por meio do resultado da análise multitemporal da LST, com relação à malha urbana, que essa apresentou variação de mais de 4 °C nas médias analisadas entre o primeiro e o último ano de análise. Isso também ocorre quando se verifica os valores máximos (3,9 °C) e mínimos (4,4 °C) entre esses anos. Tal situação pode estar relacionadas ao fato de que, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (ADHB), entre 2000 e 2010, a população de Paracatu cresceu a uma taxa média anual de 1,20%, enquanto, no Brasil, essa taxa foi de 1,17% para o mesmo período. Já na década de 90, a população do município cresceu a uma taxa média anual de 2,03%, enquanto, no Brasil, essa taxa foi de 1,63% para o mesmo período. Ressalta-se que, para esse período, a taxa de urbanização municipal passou de 79,19% para 83,78% (ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL, 2020).

É importante frisar que a malha urbana apresentou, em 2005, um pico da sua temperatura superficial média, mínima e máxima. Isso pode ser explicado pelo fato de que esse ano foi o único, da série analisada, a ter imagem de satélite do mês de abril (diferente de toda a série). Porém, para fins de análise multitemporal, optou-se por utilizar imagem do referente mês e utilizar o ano de 2005 na análise, pois, caso contrário, haveria um intervalo de quase 20 anos entre o 2º e 3º ano analisado.

No Brasil, situação similar foi verificado por estudos em diversas cidades com intensa atividade industrial, como Vitória (ES), São Carlos (SP), Goiânia (GO), Manaus (AM) e Belém (PA) (OLIVEIRA et al., 2018; CORREA et al., 2015) e também com pequenas atividades industriais (Presidente Prudente (SP), Rennes (França), Sorriso (MT)) conforme (AMORIM, 2017; DUBREUIL et al., 2014; FRANÇA; GOMES, 2014).

Nesse contexto e, com relação ao resultado apresentado da taxa de urbanização ao longo dos anos no município em estudo, de acordo com Sousa e Ferreira (2012), um dos impactos ambientais urbanos que pode ser considerado no processo de conversão de uso e ocupação é a mudança no campo térmico por meio da substituição de coberturas superficiais naturais e apropriação desses espaços para atividades antrópicas, substituição essa que implica em elevação da temperatura ambiente, causando desde simples desconforto térmico até fenômenos mais robustos, como os registrados em grandes

idades, denominados de ilha de calor, conforme apresentado pelos estudos de (ALVES, 2017; AMORIM, 2019; BARROS; LOMBARDO, 2016; MOREIRA; AMORIM, 2015).

Em vista da variação da LST da área de extração mineral a céu aberto, essa área apresentou, ao se analisar o primeiro e o último ano da série analisada, variação de, aproximadamente, 4 °C em sua máxima. Com relação ao valor médio apresentado, esse variou mais de 3 °C. Em relação à mínima, houve variação de mais de 4 °C. Tal fato pode estar associado à supressão da vegetação para ocupação da atividade, à movimentação de terras na área e à extração de ouro a céu aberto, conforme mencionado por Millán et al. (2013). Ademais, essa situação pode estar relacionada, também, com o solo nu encontrado nessa área, sem nenhum tipo de cobertura vegetal, considerando que a mineradora explora o ouro em atividade a céu aberto e que, conforme Carrasco et al., (2020), o uso e cobertura da terra influencia diretamente na variação da LST.

A Tabela 3.3 apresenta as médias, em cada bairro, para o outono de cada ano analisado. Por meio da variância entre as médias desses, foi possível verificar que o bairro que mais variou, com relação a sua média, em sua LST, foi o bairro 17 (9,64). Já o bairro 22 foi o que apresentou menor variação (2,40).

Nesse ponto, convém salientar que foi realizada a validação, por meio da temperatura ambiente e para a mesma série temporal desse estudo, dos dados de LST (Tabela 3.4), pois, segundo Kawashima et al. (2000), a temperatura da superfície explica, aproximadamente, 80% da temperatura atmosférica. Nesse sentido, os resultados obtidos demonstraram essa relação entre os valores da LST e a temperatura atmosférica, ainda que haja apenas uma estação convencional que mediu a temperatura ambiente em todos os anos da série temporal. Além do mais, apesar de esse estudo multitemporal ter a necessidade de utilização de 2 diferentes satélites e com diferença de passagem orbital na área de estudo de 1 hora entre ambos, essa validação indica que os valores de LST extraídos das imagens LANDSAT-5 e LANDSAT-8 são representativos para a área de estudo.

Tabela 3.3 - Média, desvio padrão e variância da LST, em °C, nos bairros, durante o período analisado.

Bairro	Ano					Variância
	1990	1995	2005	2014	2019	
1	18,70 ± 0,68	20,29 ± 0,62	23,49 ± 0,71	23,31 ± 1,10	23,28 ± 1,01	4,80
2	19,90 ± 1,06	21,18 ± 0,96	25,01 ± 1,21	24,51 ± 1,14	24,28 ± 0,88	5,22
3	20,83 ± 0,52	22,06 ± 0,33	25,93 ± 0,48	25,13 ± 0,70	24,52 ± 0,60	4,65
4	20,91 ± 0,56	22,17 ± 0,33	26,19 ± 0,53	25,24 ± 0,70	24,76 ± 0,65	4,92
5	20,70 ± 0,66	22,02 ± 0,60	25,41 ± 1,16	24,65 ± 0,92	24,55 ± 0,68	4,02
6	19,97 ± 0,71	21,51 ± 0,62	24,39 ± 1,08	24,28 ± 1,03	24,25 ± 0,86	4,11
7	20,24 ± 0,93	21,24 ± 0,93	24,65 ± 1,38	24,26 ± 1,16	24,17 ± 1,03	4,08
8	19,78 ± 0,75	20,48 ± 0,57	24,09 ± 1,11	23,65 ± 0,93	23,74 ± 0,82	4,18
9	19,18 ± 0,50	20,68 ± 0,53	23,53 ± 0,78	23,81 ± 0,92	24,15 ± 0,67	4,90
10	19,60 ± 0,45	20,96 ± 0,52	24,12 ± 0,51	24,25 ± 1,06	24,19 ± 0,60	4,81
11	19,57 ± 0,68	20,92 ± 0,83	23,88 ± 0,94	24,01 ± 0,98	24,14 ± 0,90	4,49
12	19,26 ± 0,47	20,72 ± 0,60	24,26 ± 0,66	24,22 ± 1,26	24,33 ± 0,90	5,76
13	19,08 ± 0,58	20,27 ± 0,54	24,16 ± 0,69	23,79 ± 0,78	24,07 ± 0,64	5,82
14	19,64 ± 0,57	21,02 ± 0,60	24,23 ± 0,59	24,54 ± 1,17	24,36 ± 0,70	5,16
15	19,64 ± 0,72	20,80 ± 0,61	24,28 ± 1,02	23,88 ± 0,90	24,01 ± 0,62	4,60
16	18,48 ± 0,63	20,19 ± 0,77	24,09 ± 1,51	24,08 ± 1,38	24,25 ± 0,98	7,29
17	19,42 ± 1,10	20,48 ± 0,97	25,48 ± 0,80	25,70 ± 0,69	25,55 ± 0,66	9,64
18	20,33 ± 0,90	21,08 ± 1,08	25,02 ± 0,74	25,32 ± 0,72	25,37 ± 0,91	5,15

19	20,56 ± 0,50	21,83 ± 0,48	25,86 ± 0,31	25,92 ± 0,24	25,80 ± 0,38	6,73
20	19,61 ± 0,84	21,04 ± 0,85	24,20 ± 0,94	24,08 ± 1,07	24,41 ± 0,97	4,84
21	18,09 ± 0,63	20,15 ± 0,77	23,18 ± 0,78	23,58 ± 0,88	24,41 ± 1,10	7,08
22	19,13 ± 0,83	20,97 ± 1,17	22,77 ± 0,67	22,37 ± 1,08	22,68 ± 0,87	2,40
23	20,14 ± 1,12	20,82 ± 0,80	23,69 ± 1,33	23,43 ± 1,17	23,47 ± 0,77	2,85
24	19,34 ± 0,81	20,60 ± 0,60	22,94 ± 0,64	23,38 ± 0,75	23,17 ± 0,77	3,28
25	19,61 ± 0,62	20,64 ± 0,62	23,46 ± 0,78	23,47 ± 1,30	24,26 ± 1,20	4,13
26	19,18 ± 0,95	20,11 ± 1,00	23,46 ± 1,07	23,34 ± 1,46	23,93 ± 1,44	4,79
27	18,80 ± 0,67	19,88 ± 0,64	23,09 ± 0,72	22,54 ± 0,90	23,15 ± 0,72	4,06
28	20,47 ± 0,47	20,83 ± 0,47	24,15 ± 0,52	24,06 ± 0,85	24,58 ± 0,68	3,97
29	19,49 ± 0,95	20,33 ± 0,74	23,59 ± 0,60	23,22 ± 1,09	23,48 ± 0,95	3,82
30	19,92 ± 0,80	20,25 ± 0,54	23,51 ± 0,70	23,35 ± 1,00	24,03 ± 1,14	3,84
31	19,69 ± 0,85	20,02 ± 0,99	24,24 ± 1,29	24,10 ± 1,35	24,13 ± 1,00	5,56
32	20,46 ± 0,80	21,51 ± 0,74	24,58 ± 0,79	24,54 ± 1,01	24,35 ± 0,95	3,83
33	19,71 ± 0,90	20,74 ± 0,77	24,06 ± 1,20	23,83 ± 1,18	24,34 ± 0,85	4,61
34	19,53 ± 0,92	20,64 ± 0,72	24,11 ± 0,75	23,85 ± 0,94	24,12 ± 0,85	4,82
35	19,41 ± 0,52	20,74 ± 0,70	24,44 ± 0,87	23,91 ± 0,88	24,06 ± 0,72	5,20
36	19,59 ± 0,44	20,90 ± 0,53	24,70 ± 0,77	24,00 ± 0,82	24,23 ± 0,64	5,23
37	18,86 ± 0,48	20,16 ± 0,27	24,28 ± 0,20	23,58 ± 0,40	23,87 ± 0,23	6,08
38	19,64 ± 0,77	21,23 ± 0,76	25,10 ± 0,91	24,44 ± 0,82	24,47 ± 0,72	5,76
39	19,15 ± 0,50	20,53 ± 0,48	24,25 ± 0,60	23,89 ± 0,74	24,00 ± 0,64	5,56
40	19,53 ± 0,64	20,56 ± 0,50	24,17 ± 0,50	24,08 ± 0,55	24,25 ± 0,64	5,23

41	19,43 ± 0,57	20,69 ± 0,46	24,56 ± 0,61	24,59 ± 0,49	24,62 ± 0,40	6,35
42	19,82 ± 0,58	20,84 ± 0,51	23,97 ± 0,50	24,06 ± 0,78	23,90 ± 0,60	4,12
43	19,47 ± 0,70	20,63 ± 0,60	24,05 ± 0,78	24,15 ± 0,90	24,33 ± 0,72	5,28
44	19,90 ± 0,86	20,68 ± 0,88	23,69 ± 0,70	24,17 ± 1,33	23,63 ± 0,46	3,88
45	19,48 ± 0,70	20,52 ± 0,70	23,79 ± 0,88	23,77 ± 0,80	23,96 ± 0,65	4,56

Fonte: Autores (2020).

Tabela 3.4 – Validação dos dados de LST.

Estatística descritiva	1990		1995		2005		2014		2019	
	LST	T.A.*								
Mínima (°C)	17,0	13,7	18,4	18,6	21,1	22,0	20,7	21,0	21,4	20,2
Máxima (°C)	22,6	27,0	23,9	29,4	27,9	29,5	27,6	28,7	26,5	28,5
Amplitude (°C)	5,6	14	5,5	10,8	6,8	7,5	6,9	7,7	5,1	8,3
Média (°C)	19,6	20,2	20,8	23,4	24,2	25,06	24,0	23,66	24,1	23,83
Desvio padrão (°C)	0,92	-	0,85	-	1,10	-	1,18	-	0,96	-
Coefficiente de variação (%)	4,69		4,08		4,54		4,91		3,98	

Fonte: Autores (2020).

\*Temperatura atmosférica medida pela estação meteorológica convencional 83479.

A fim de verificar o motivo da maior e menor variação nesses bairros, aplicou-se o índice NDVI no primeiro e último ano de análise da série estudada. Vale ressaltar que no Brasil, quando se trata da relação entre crescimento demográfico e áreas urbanas, a situação é agravante porque é comum nos municípios brasileiros o crescimento da malha urbana sem os devidos planejamentos urbanos e territoriais, que compromete a qualidade ambiental local (BARBOSA; VECCHIA, 2009). No contexto descrito e considerando que as imagens multiespectrais de satélites permitem detectar mudanças graduais e/ou abruptas em paisagens, o uso de índices espectrais pode auxiliar na caracterização dessas mudanças de padrão, uma vez que realçam diferentes feições da superfície (OMAR et al., 2017).

A utilidade do NDVI já foi apresentada em diferentes campos, tais como, agricultura de precisão, estudo da fenologia da vegetação, em classificações espectrais e avaliações primárias de produtividades, conforme estudos correlatos (BEZERRA et al., 2018; NHONGO et al., 2017; ZANZARINI et al., 2013).

De acordo com Millán et al. (2013), o índice NDVI apresenta boa correlação com a biomassa e, conseqüentemente, possui relação com a LST da área. Segundo Abreu e Labaki (2010), o processo fisiológico de evapotranspiração das árvores é o responsável por condicionar a temperatura e a umidade relativa do ar do seu entorno, proporcionando, dessa forma, melhores sensações térmicas ao ambiente do local, sendo essa, denominada de termorregulação. A Figura 3.6 apresenta o NDVI para o ano de 1990 e para o ano de 2019. Com relação ao comportamento da LST média, mínima e máxima nos bairros que apresentaram maior e menor variação, esse é apresentado na Figura 3.7.

Em relação à variação multitemporal do índice NDVI, foi possível observar a redução total da vegetação ao decorrer da expansão da área ocupada pelo bairro 17 e, parcial, pelo bairro 22. Essa redução, possivelmente, está atrelada ao aumento de áreas construídas e, conseqüente, supressão da vegetação, considerando que a degradação da vegetação é perceptível na comparação visual entre os anos analisados. Esse resultado corrobora ao apresentado por Pessi et al. (2019), que verificou moderada correlação negativa entre a LST e o NDVI em todas os seus pontos amostrais (-0,61, -0,41, -0,67 e -0,52), principalmente na área central do município de Rondonópolis – MT. Ademais, de acordo com o autor e com Yue et al. (2007), malhas urbanas contam com um cenário

heterogêneo, em que áreas verdes apresentam altos valores do NDVI e áreas urbanas construídas, ou centrais, com baixos valores de NDVI e baixo índice de vegetação. Os autores ressaltam ainda que a distribuição espacial do NDVI na heterogeneidade urbana, com diferentes usos e cobertura da terra, apresenta valores opostos à LST.

Convém salientar, nesse ponto, que o bairro 22 é considerado bairro, atualmente, por estar sendo construído um loteamento no local. De acordo com informações coletadas na Prefeitura do município, em 2019 (último ano analisado), estava ocorrendo, em alguns pontos do bairro, a supressão da vegetação, o que é visualmente explicado pelo comportamento do índice NDVI. Essa situação resalta a importância de estudos que abranjam o comportamento da LST e do índice NDVI para fins de planejamento urbano, pois, de acordo com Wilson et al. (2003), a cobertura vegetal em parques ou outro tipo de terreno verde, como é o caso do bairro 22, sugere taxas comparativamente mais altas de evapotranspiração, favorecendo a troca de calor latente entre a superfície e a atmosfera, quando comparada com lugares com menor quantidade de vegetação (WILSON et al., 2003)

Em seu estudo, Yue et al. (2007) verificaram uma forte relação de áreas arborizadas com baixos valores de LST. De acordo com os autores, os maiores valores de LST foram apresentados pelo tipo de uso e cobertura do tipo comercial.

Os resultados apresentados nessa pesquisa também possibilitam a identificação de áreas com maiores e menores temperaturas, ocasionando na agilidade em tomadas de decisões no desenvolvimento de projetos que atendam as peculiaridades de cada setor da cidade, possibilitando a criação de áreas verdes em pontos estratégicos do município, a fim de reduzir a possível formação de ilhas de calor.

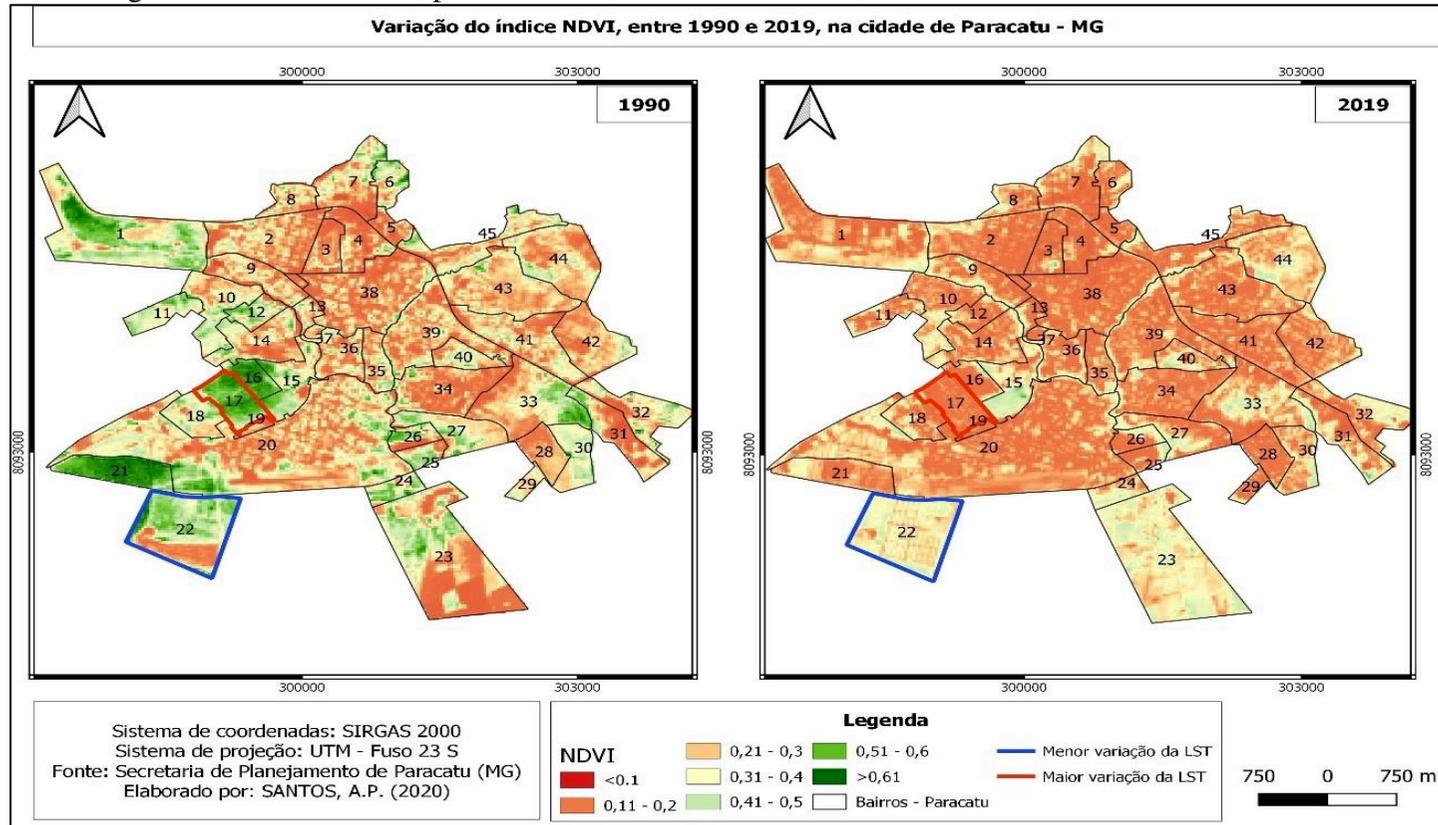
Por meio dos resultados obtidos é possível verificar que, atualmente, o município de Paracatu necessita de pontos - aqui denominados de estratégicos - a serem replanejados ambientalmente. O bairro 20 é um dos exemplos dessa situação. Localizado na zona periférica de Paracatu, é considerado o maior bairro, populacional e em extensão, do município. É possível notar que a sua LST sempre foi, quando se compara com os outros bairros do município, considerada elevada, assim como a falta de vegetação. Por ser um bairro que, durante muitas décadas, foi considerado atrativo para a população de baixa

renda, o seu uso e ocupação muito possivelmente não foi planejado, o que acarreta, urgentemente, em medidas mitigadoras para controlar a situação.

Em relação ao bairro 38, considerado como o centro do município de Paracatu, apresentou um cenário de crescimento exponencial da LST. Essa situação pode estar relacionada ao alto crescimento urbano que o município apresentou até o ano de 2010. Posteriormente, esse bairro apresentou uma diminuição dos valores médios de LST, o que pode estar relacionado com o início de planejamento e preocupação, por parte dos gestores públicos, com relação à arborização da área central do município. De fato, no ano de 2019, a gestão pública do município iniciou a mudança de todos os serviços da prefeitura para um centro administrativo localizado em uma zona periférica do município. Situação similar ocorre com os bairros 3 e 4, vizinhas do centro municipal.

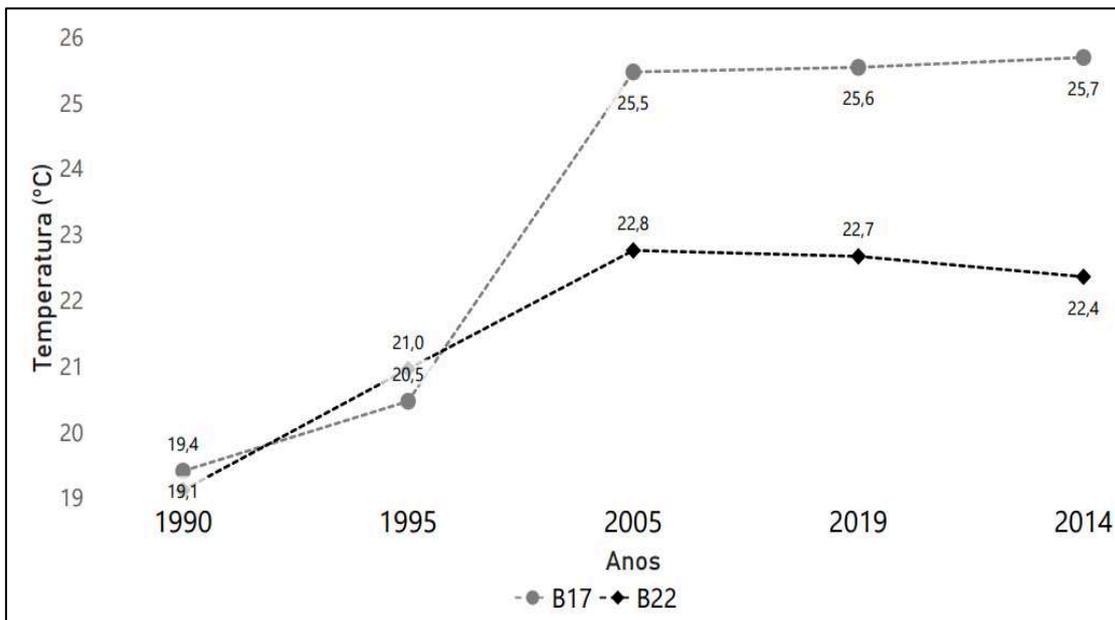
Por fim, vale frisar que, bairros como o bairro 44 e 42, localizados em uma zona periférica mais afastada do município, nunca tiveram um alto pico de sua LST, o que pode estar relacionado com a distância geográfica entre esses bairros e o centro municipal. Vale frisar que, atualmente, o município não apresenta muitos serviços (bancos, hospitais, farmácias, escolas, supermercados, centros esportivos e áreas de lazer) fora da sua região central, o que acaba afastando os moradores dos bairros mais distantes. Ressalta-se que as zonas periféricas localizadas do lado oposto a esses bairros (bairros 11, 10, 14, 9), são bairros mais próximos do centro municipal, o que pode ter influenciado na escolha da população em priorizar a ocupação dessa zona.

Figura 3.6: Índice NDVI, para o outono, entre 1990 e 2019, em Paracatu – MG.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 3.7 - Variação da LST entre os bairros que maior e menor variaram a sua LST, no outono, na série analisada.



Fonte: Os autores (2020).

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se analisar as variações da LST na malha urbana e na área de extração a céu aberto, entre o primeiro e o último ano da série analisada, na estação outono, foi verificado um aumento considerável entre as respectivas temperaturas superficiais mínimas, médias e máximas, sendo possível concluir que a supressão da vegetação para ocupação antrópica pode estar diretamente relacionada com as variações da LST e, no caso específico da malha urbana, do índice NDVI, pois o fluxo de calor no solo é determinado em função do índice de vegetação, da radiação líquida e da temperatura e do albedo da superfície.

O método aplicado pode auxiliar órgãos fiscalizadores, bem como os gestores municipais, a compreenderem os possíveis efeitos da mudança da cobertura do solo sobre uma área, principalmente por locais construídos. Ademais, isso permite a determinação de medidas de mitigação, como forma de minimizar os efeitos de calor urbano e formação de ilhas de calor.

### REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V.; LABAKI, L. C. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000400008>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400008&script=sci\\_abstract&tlng=es](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212010000400008&script=sci_abstract&tlng=es). Acesso em: 06 nov. 2019.
- ALVES, E. D. L. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.] v. 20, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.46190>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/46190/32606>. Acesso em: 12 out. 2020.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental. **Geo UERJ**, [s.l.], n. 34, 2019. ISSN 1981-9021. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2019.40959>. Disponível em: <https://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/40959>. Acesso em: 04 fev. 2020.
- AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: Exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra-Revista Portuguesa de Geografia**, Lisboa, n. 105, p. 111-133, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18055/Finis6888>. Disponível em: [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S0430-50272017000200007&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?pid=S0430-50272017000200007&script=sci_arttext&tlng=es). Acesso em: 15 out. 2019.
- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Perfil - Paracatu, MG. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/acervo/biblioteca>. Acesso em: 11 fev. 2020.
- BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. D. S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: estudo de caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, [s.l.] v. 6, n. 3, p. 273-278, 2009. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2006\(03\)%2007.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2006(03)%2007.pdf). Acesso em: 01 nov. 2019.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo no município de São Paulo-SP. **GEOUSP Espaço E Tempo (Online)**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 160-177, 2016. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.97783. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/97783>. Acesso em: 4 fev. 2020.
- BEZERRA, P. E. S.; DE MORAES, E. T. I.; SOARES, I. R. C. Análise da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 70, n. 3, p. 803-818, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbev70n3-45701>. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/45701/24643>.

Acesso em: 02 nov. 2019.

BIDONE, E.; CESAR, R.; SANTOS, M. C.; SIERPE, R.; SILVA-FILHO, E. V.; KUTTER, V.; SILVA, L. I. D.; CASTILHOS, Z. Mass balance of arsenic fluxes in rivers impacted by gold mining activities in Paracatu (Minas Gerais State, Brazil). **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 9, p. 9085-9100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1215-z>. Disponível em em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1215-z>. Acesso em: 13 nov. 2020.

CARRASCO, R. A.; PINHEIRO, M. M. F.; JUNIOR, J. M.; CICERELLI, R. E.; SILVA, P. A.; OSCO, L. P.; RAMOS, A. P. M. Land use/land cover change dynamics and their effects on land surface temperature in the western region of the state of São Paulo, Brazil. **Regional Environmental Change**, [s.l.] v. 20, n. 3, pp.1-12. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01664-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-020-01664-z>. Acesso em: 7 set. 2020.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (Brasil). **El niño e La niña**. Cachoeira Paulista, SP. Portal. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/> Acesso em: 07 set. 2019.

CORREA, W. S. C.; COELHO, A. L. N.; VALE, C. C. V. Influência de distintos sistemas atmosféricos na temperatura de superfície do município de Vitória (ES). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 53, p. 37–54, 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/26984>. Acesso em: 06 out. 2019.

DORIGON, L. P. AMORIM, M. C. C. T. Estrutura térmica da superfície de Paranavaí/PR através do Landsat 7. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 2, n. 35, p. 110-129, 2013. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/2312>. Acesso em: 7 out. 2019.

FARIA, J. L. G.; MONTEIRO, E. A.; FISCH, S. T. V. ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS DO MUNICÍPIO DE JACAREÍ – SP. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 20-30, 30 abr. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v2i4.66335>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66335/38186>. Acesso em: 8 nov. 2019.

FEITOSA, S. M. R. et al. Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfície de Teresina–Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, [s.l.] v. 6, n. 2, p. 58-75, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v6i2.66395>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revsbau/article/view/66395/38238>. Acesso em: 02 ago. 2019.

FRANÇA, M. S. D.; GOMES, E. D. S. Índícios de ilha de calor urbana em Sorriso/MT. **Revista Monografias Ambientais**, França, v. 13, n. 3, p. 3366-3376, 2014. DOI:

[10.5902/2236130813401](https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/view/13401). Disponível em:  
<https://periodicos.ufsm.br/index.php/remoa/article/view/13401>. Acesso em: 06 dez. 2019.

FREITAS, M. K.; LOMBARDO, M. A. O Uso de Imagem Termal Gerada pelos Satélites da Série LANDSAT e NOAA para Estudo de Ilha de Calor: estudo de caso de São Paulo. **Geografia**, Rio Claro, v. 32, n. 3, p. 645-656, 2007.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução: 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, São Paulo, 248p, 2010.

GOOGLE. **Google Earth**. <http://earth.google.com/>. Acesso em: 05 set. 2019.

GOMES, J. F.; LUNA, V. F.; DA SILVA, C. C. J.; SILVA, J. M. O. Evolução das diferenças térmicas de temperatura da superfície da zona urbana do município do Crato/CE (1984-2011). **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [s.l.] v. 21, n. 2, p. 993-1005, 2019. DOI: <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.569>. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/569>. Acesso em: 06 jan. 2020.

IBGE. **Banco de dados geográficos**. Paracatu. Disponível em: [http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork\\_ibge/srv/por/main.home](http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork_ibge/srv/por/main.home). Acesso em: 05 jun. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Bases Cartográficas**. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>. Acesso em: 05 jun. 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Paracatu. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas>. Acesso em: 05 jun. 2019.

KAUFMAN, Y. J. et al. Smoke, clouds, and radiation-Brazil (SCAR-B) experiment. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, [s.l.], v. 103, n. D24, p. 31783-31808, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1029/98JD02281>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/98JD02281>. Acesso em: 14 jan. 2020.

KINROSS. Conheça a Kinross. Paracatu. Disponível em: <http://www.kinross.com.br/a-kinross/conheca/>. Acesso em: 15 de nov. 2019

KORCHAGIN, J.; CANER, L.; BORTOLUZZI, E. C. Variability of amethyst mining waste: A mineralogical and geochemical approach to evaluate the potential use in agriculture. **Journal of cleaner production**, [s.l.] v. 210, p. 749-758, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618334395>. Acesso em: 13 mar. 2020.

MALARET, E.; BARTOLUCCI, L. A.; LOZANO, D. F.; ANUTA, P. E.; MCGILLEM, C. D. Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper data quality analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.] v. 51, p. 1407-1416, sept. 1985. Disponível em: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10010367224/>. Acesso em: 06 jun. 2020.

MOREIRA, J. L.; AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Penápolis-SP através da temperatura da superfície e de índices radiométricos. **Geosaberes: revista de estudos geoeeducacionais**, [s.l.] v. 6, n. 3, p. 190-202, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/5528/552856412018.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

MILLÁN, V. E. G.; TEUWSEN, S.; MÜNSTER, K. P. Description of a Flooding Process in Mining Areas using spectral Indices on multi-temporal Landsat Imagery. Photogrammetrie-Fer. **Geoinformation**, [s.l.], v. 5, p. 427-0436, 2013. DOI: [10.1127/1432-8364/2013/0189](https://doi.org/10.1127/1432-8364/2013/0189). Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/pfg/detail/2013/80884>. Acesso em: 13 jun. 2020.

MONTAGNON, F.; BECQUER, T.; MARTINS, E. S.; REATTO, A.; DRUCK FUKS, S. Distribuição dos teores de Cd, Pb e Zn em solos da região de Paracatu-Vazante, MG. **Geo Logiques**, 2008.

NHONGO, E. J. S.; FONTANA, D. C.; GUASSELLI, L. A.; ESQUERDO, J. C. D. M. Caracterização fenológica da cobertura vegetal com base em série temporal NDVI/MODIS na reserva do Niassa-Moçambique. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.] v. 69, n. 6, 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44319>. Acesso em: 11 jan. 2020.

OLIVEIRA, T. H.; DANTAS, J. G.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; BOTLER, M. Análise da variação espaço-temporal das áreas verdes e da qualidade ambiental em áreas urbanas, Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 7, n. 6, p. 1196-1214, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Rejane\\_Pimentel/publication/285057416\\_Analysis\\_of\\_the\\_TimeSpace\\_Variation\\_of\\_Green\\_Areas\\_and\\_the\\_Environmental\\_Quality\\_in\\_Urban\\_Areas\\_Recife-PE/links/57160aac08aed2dd5cfc6237/Analysis-of-the-Time-Space-Variation-of-Green-Areas-and-the-Environmental-Quality-in-Urban-Areas-Recife-PE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rejane_Pimentel/publication/285057416_Analysis_of_the_TimeSpace_Variation_of_Green_Areas_and_the_Environmental_Quality_in_Urban_Areas_Recife-PE/links/57160aac08aed2dd5cfc6237/Analysis-of-the-Time-Space-Variation-of-Green-Areas-and-the-Environmental-Quality-in-Urban-Areas-Recife-PE.pdf). Acesso em: 18 fev. 2020.

OMAR, H. A.; QUIROZ, C.; DAZA, H. M. R.; IVANOVA, Y. Detection of open-pit mining zones by implementing spectral indices and image fusion techniques, **DYNA**, Medellín, v. 84, n. 201, p. 42-49, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.15446/dyna.v84n.60368>. Disponível em: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532017000200042](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532017000200042). Acesso em: 17 jul. 2020.

PADMANABAN, R.; BHOWMIK, A. K.; CABRAL, P. A Remote Sensing Approach to Environmental Monitoring in a Reclaimed Mine Area. **International Journal of Geo-Information**, [s.l.], v. 6, n. 12, p. 401, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6120401>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/6/12/401>. Acesso em: 28 jun. 2020.

PEREIRA, C.C.; MARIANO, Z.D.F.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J.B.P. Avaliação da temperatura da superfície continental e o uso da terra na bacia da usina hidrelétrica de Barra dos Coqueiros (GO), por meio do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 18, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v18i0.42348>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/42348>. Acesso em: 18 fev. 2020.

PESSI, D.D.; PIMENTEL, C.F.; CÂNDIDO, A.K.A.A.; JUNIOR, P.L.M.; SILVA, N.M. Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios, **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.13, n.3, p. 237-251, 2019. DOI: [10.5212/TerraPlural.v.13i3.0016](https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.13i3.0016). Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Dhonatan\\_Pessi2/publication/339749872\\_Analysis\\_of\\_the\\_relationship\\_between\\_NDVI\\_and\\_land\\_surface\\_temperature\\_as\\_a\\_technique\\_in\\_the\\_urban\\_planning\\_of\\_the\\_counties/links/5e6290c2a6fdcc37dd083c06/Analysis-of-the-relationship-between-NDVI-and-land-surface-temperature-as-a-technique-in-the-urban-planning-of-the-counties.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Dhonatan_Pessi2/publication/339749872_Analysis_of_the_relationship_between_NDVI_and_land_surface_temperature_as_a_technique_in_the_urban_planning_of_the_counties/links/5e6290c2a6fdcc37dd083c06/Analysis-of-the-relationship-between-NDVI-and-land-surface-temperature-as-a-technique-in-the-urban-planning-of-the-counties.pdf). Acesso em: 7 out. 2020.

QUANTUM GIS. **Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://www.qgis.org/it/site/>. Acesso em: 02 maio 2019.

RODRIGUES, M.; DUPAS, F.A.; REBOITA, M.S. Temperatura aparente de superfície na bacia hidrográfica do rio Tavares, Florianópolis. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 21, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.46247>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/46247>. Acesso em: 06 ago. 2020.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SOUSA, S.B.D.; FERREIRA JÚNIOR, L.G. Análise da temperatura da superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002–2011). **Confins. Revista franco-brasileira de geografia**, [s.l.], n. 15, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.7631>. Disponível em: 17 jul. 2020.

USGS. **EarthExplorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 14 maio 2020.

WILSON, J.S.; CLAY, M.; MARTIN, E.; STUCKEY, D.; VEDDER-RISCH, K. Evaluating environmental influence of zoning in urban ecosystems with remote sensing.

**Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 86, p. 303–321, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00084-1). Acesso em: 07 out. 2020.

YUE, W., MENEVEAU, C., PARLANGE, M.B., ZHU, W., VAN HOUT, R.; KATZ, J. A comparative quadrant analysis of turbulence in a plant canopy. **Water resources research**, [s.l.], v. 43, n. 5, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006WR005583>.

Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006WR005583>. Acesso em: 18 jan. 2020.

ZANZARINI, F.V.; PISSARRA, T.C.; BRANDÃO, F.J.; TEIXEIRA, D.D. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 608-614, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600006>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662013000600006&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662013000600006&script=sci_arttext). Acesso em: 18 fev. 2020.