

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**Caracterização de estéreis da mineração de diamantes na  
Mina de Romaria, Minas Gerais, visando sua  
utilização na indústria cerâmica.**

**Orientadora: Prof. Dra. Liliane Ibrahim**

**Monte Carmelo-MG**

**Março 2022**

**Matheus Carvalho Virga**

**Caracterização de estéreis da mineração de diamantes na  
Mina de Romaria, Minas Gerais, visando sua  
utilização na indústria cerâmica.**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal de Uberlândia como parte da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e requisito para obtenção do título de Bacharel em Geologia.

**Orientadora: Prof. Dra. Liliane Ibrahim**

**Monte Carmelo- MG**

**Março 2022**

**Matheus Carvalho Virga**

**Caracterização de estéreis da mineração de diamantes na  
Mina de Romaria, Minas Gerais, visando sua  
utilização na indústria cerâmica.**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal de Uberlândia como parte da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e requisito para obtenção do título de bacharel em Geologia.

**Monte Carmelo, 25 de março de 2022**

**Banca Examinadora:**

---

Profª. Dra. Liliane Ibrahim- IG/UFU- Orientadora

---

Andréa Mechi- Geóloga MPSP

---

Prof. Dr. Felix Nanini- IG/ UFU

## **RESUMO**

A atividade de extração e beneficiamento de diamantes na cidade de Romaria, região do Alto Paranaíba, efetuada pela empresa GAR Diamond Mining, gera grande quantidade de estéreis e rejeitos, acarretando a degradação da qualidade do meio ambiente. Frente a tal questão ambiental, surgiu o interesse em investigar a possibilidade de destinar parte do volume de estéreis da mina para a fabricação de cerâmica vermelha como agregado ou não de outro material que já é utilizado na produção. A metodologia do trabalho constituiu-se na descrição e caracterização de estéreis provenientes desta atividade minerária através de descrição dos materiais nas frentes de lavra, ensaios de distribuição granulométrica, plasticidade, análise térmica diferencial, análise dilatométrica, análise química, resistência a seco e retração natural, e o comportamento tecnológico de um “blend” tradicional das cerâmicas da região misturado a estes materiais, através de ensaios de retração de queima, absorção de água e resistência mecânica. Com base nos resultados, foi possível verificar que os estéreis apresentam características físicas e mineralógicas inferiores às das matérias primas cerâmicas convencionais, porém sua mistura gerou componentes com propriedades dentro das especificações da normalização brasileira para cerâmica estrutural, especificamente a produção de telhas. Além disto, a incorporação destes materiais nas composições de massa pode levar à uma diminuição pela procura de novas áreas com matérias primas de qualidade. Conclui-se que as pesquisas para o reaproveitamento de materiais que geram passivos ambientais deveriam ser melhores aproveitadas e incorporadas nos planos de recuperação das áreas degradadas pela mineração.

**PALAVRAS-CHAVE: Mineração. Estéreis. Cerâmica. Alto Paranaíba. Meio Ambiente.**

## **ABSTRACT**

The extraction and processing of diamonds in the city of Romaria, Alto Paranaíba region, carried out by the company GAR Diamond Mining, generates a large amount of sterile and tailings, causing the degradation of the quality of the environment. Faced with this environmental issue, the interest arose in investigating the possibility of allocating part of the mine's sterile volume to the manufacture of red ceramic as an aggregate or not of another material that is already used in production. The methodology of the work consisted of the description and characterization of waste material from this mining activity through the description of the materials in the mining fronts, granulometric distribution tests, plasticity, differential thermal analysis, dilatometric analysis, chemical analysis, dry strength and natural shrinkage, and the technological behavior of a traditional “blend” of ceramics from the region mixed with these materials, through tests of firing retraction, water absorption and mechanical resistance. Based on the results, it was possible to verify that the steriles have physical and mineralogical characteristics inferior to those of conventional ceramic raw materials, but their mixture generated components with properties within the specifications of the Brazilian standardization for structural ceramics, specifically the production of tiles. In addition, the incorporation of these materials in the dough compositions can lead to a decrease in the search for new areas with quality raw materials. It is concluded that research for the reuse of materials that generate environmental liabilities should be better used and incorporated into recovery plans for areas degraded by mining.

Keywords: Mining. Steril. Ceramics. Alto Paranaíba. Environment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1** - Províncias diamantíferas de Minas Gerais representadas pelas áreas coloridas.

**Figura 2** - Mapa de localização da área de estudo, Município de Romaria, Estado de Minas Gerais, contendo as vias de acesso e principais rodovias à área de estudo, localização de Minas Gerais no Brasil, localização de Romaria no estado de Minas Gerais.

**Figura 3** - Mapa geológico simplificado da área de estudo.

**Figura 4** - Amostras coletadas para caracterização.

**Figura 5** - Etapas de caracterização das amostras.

**Figura 6** - Etapas da análise granumétrica.

**Figura 7** - Classificação granulométrica do resíduo lavado em peneiras.

**Figura 8** - Imagem GoogleEarth da Mineração GAR atualmente, mostrando a localização das pilhas de estéreis e as cavas desativadas.

**Figura 9** - Coluna estratigráfica levantada na empresa GAR por Vieira (2020).

**Figura 10** - Vista da frente de lavra desativada em 2019.

**Figura 11** - Prancha de Evolução da mina e estéril de 2012 a 2020 da empresa GAR Diamond Mining A- 2012 B-2013 C-2016 D-2017 E-2019 F-2020.

**Figura 12** - Pilhas de estéreis dispostas separadamente; cada cor corresponde a um tipo de material.

**Figura 13** – Vista da cava de mineração desativada e de Romaria, ao fundo, a partir da pilha de estéril objeto do trabalho.

**Figura 14** - Curvas de distribuição granulométricas.

**Figura 15** - Triângulos texturais.

**Figura 16** - Análises Dilatométricas.

**Figura 17** - Curvas de ATD.

**Figura 18** - Corpos de prova a 110°C.

**Figura 19** - A- AMOSTRA GAR; B-SILTITO GAR; C- AMOSTRA CARMELITANA; D- AMOSTRA COMPOSIÇÃO DE MASSA.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** – Elementos principais presentes nas amostras (%)

**Tabela 2** – % da distribuição granulométrica do resíduo.

**Tabela 3** – Classificação qualitativa do resíduo

**Tabela 4** – Valores dos ensaios de plasticidade.

**Tabela 5** – Classificação das argilas quanto ao índice de plasticidade.

**Tabela 6** – Caracterização dos corpos de prova a 110°C

**Tabela 7** - Caracterização dos corpos de prova queimados em 850°C e 950°C.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>09</b>
1.1 Objetivos .....	13
1.2 Localização e caracterização econômica da área de estudo .....	13
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Sustentabilidade da mineração e reutilização de materiais na indústria cerâmica vermelha. ....	15
2.2 Geologia Regional .....	21
2.3 Aspectos Fisiográficos.....	25
<b>3. - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 Ensaios em laboratório das amostras naturais .....	30
3.2 Ensaios em laboratório dos corpos de prova .....	33
3.2.1 Conformação dos corpos de prova .....	33
3.2.2 Ensaios nos corpos de prova secos a 110°C .....	33
3.2.3 Ensaios nos corpos de prova queimados à 850°C e 950°C .....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
4.1 Frente de lavra e pilhas de estéreis .....	35
4.2 Ensaios de laboratório .....	41
4.2.1 Ensaios com amostras em estado natural .....	41
4.2.2 Ensaios em corpos de prova .....	52
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A mineração é considerada fundamental para o desenvolvimento da economia mundial. No âmbito nacional, Damasceno et al. (2005) e Lins (2000) contextualizam a importância ao dizer que esta atividade foi a grande impulsionadora do desenvolvimento no Brasil.

De acordo com o artigo 6º, do Decreto-Lei 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração), “a atividade de mineração abrange a pesquisa, a lavra, o desenvolvimento da mina, o beneficiamento, o armazenamento de estéreis e rejeitos e o transporte e a comercialização dos minérios, mantida a responsabilidade do titular da concessão diante das obrigações deste Decreto-Lei até o fechamento da mina, que deverá ser obrigatoriamente convalidado pelo órgão regulador da mineração e pelo órgão ambiental licenciador”.

No Brasil, as atividades minerárias são gerenciadas pela Agência Nacional de Mineração (ANM), antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), através do Código de Mineração e das Medidas Provisórias 789, 790 e 791, entre outras. A Portaria DNPM nº 237, de 18/10/2001, aprovou as Normas Reguladoras da Mineração - NRM, que têm por objetivo, disciplinar o aproveitamento racional das jazidas, considerando-se as condições técnicas e tecnológicas de operação, de segurança e de proteção ao meio ambiente, de forma a tornar o planejamento e o desenvolvimento da atividade minerária compatíveis com a busca permanente da produtividade, da preservação ambiental, da segurança e saúde dos trabalhadores.

Um dos grandes desafios das atividades de mineração é estar em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em relação ao consumo e produção sustentáveis, cujos preceitos são recomendados pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, idealizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015. Os problemas ambientais estão abrangendo grande espaço de discussão há algum tempo em nossa sociedade, devido ao fato que esta passou a questionar os

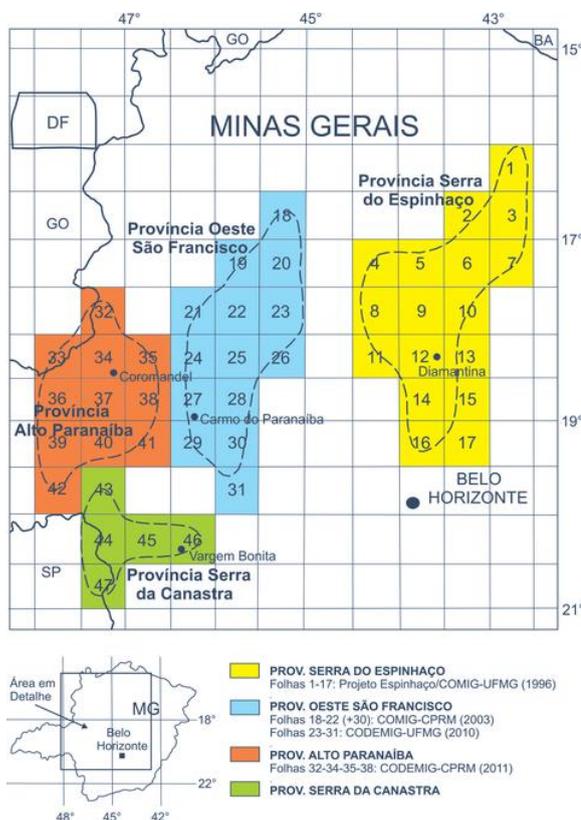
impactos ambientais causados pelas empresas, preocupando-se com a preservação do meio ambiente (físico, biótico e social).

A exploração dos recursos minerais no estado de Minas Gerais tem sido foco da política ambiental e de todo um arcabouço legal, bem como de um sistema estruturado em órgãos ambientais voltados para o licenciamento, controle e fiscalização, mas também focado no estabelecimento de padrões de sustentabilidade socioambiental e proposição de estratégias para o desenvolvimento sustentável. A atividade minerária é uma das grandes geradoras de impactos ambientais, sendo a disposição dos estéreis um de seus aspectos. Estéreis correspondem à porção de uma jazida mineral que não apresenta minério ou cujo teor de minerais ou elementos úteis esteja abaixo do teor de corte, não podendo ser aproveitada como minério bruto ou na planta de tratamento ou de concentração mineral (CPRM, 2022).

As regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, localizadas no oeste de Minas Gerais, abrangem diversas atividades minerárias relevantes no contexto brasileiro, destacando-se a produção de diamantes, fosfato, zinco, nióbio, chumbo, argila, calcário, dolomita, brita e águas minerais (LOBATO; COSTA, 2018).

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (Figura 1) é uma das mais importantes províncias diamantíferas do Brasil, sendo que a cidade de Coromandel concentra o principal polo das atividades minerárias e comerciais desta província, mas também ocorrem depósitos diamantíferos em Abadia dos Dourados, Monte Carmelo, Douradoquara, Estrela do Sul, Romaria, Cascalho Rico e Grupiara (PEDROSA SOARES et al., 2018).

Figura 1 - Províncias diamantíferas de Minas Gerais representadas pelas áreas coloridas. Observar a Província Alto Paranaíba (laranja) e a localização do município de Coromandel/MG (CHAVES; CHAMBEL, 2003).



Visando abodar as atividades de mineração na região do Alto Paranaíba sob a ótica da questão ambiental e econômica, este projeto se propôs a analisar uma mineração de diamantes em relação a um de seus passivos ambientais, que são as pilhas de estéreis e recomendar propostas que possam ser incluídas no seu Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

A área objeto deste estudo é a empresa GAR Mineração, Comércio, Importação e Exportação Ltda., localizada no município de Romaria/MG, que lavra os conglomerados diamantíferos desde 1888 (Processo ANM 830.878/2012), porém encontra-se desativada desde outubro de 2019, devido à ausência do licenciamento ambiental para rebaixamento do lençol freático na área da mina, de acordo com o Parecer Técnico de Licença Ambiental Simplificada (RAS), de maio de 2019.

Em setembro de 2020, a GAR comunicou à Agência Nacional de Mineração - ANM (Ofício 019/2020), a ocorrência de nova substância de interesse na área de sua poligonal, que se trata de material argiloso presente no estéril e na bacia de decantação, o qual poderia apresentar viabilidade econômica para aplicação na indústria ceramista regional.

A Região Geográfica Imediata de Monte Carmelo apresenta entre suas principais atividades econômicas ao longo de sua história, tanto a mineração de diamantes quanto a indústria de cerâmica vermelha. O município de Monte Carmelo foi conhecido como a “Capital da Telha”, no auge da produção de cerâmica vermelha e contava com 16 fábricas instaladas. Ainda hoje, apesar do número reduzido de indústrias de telhas e tijolos, esta atividade movimenta cerca de R\$ 192.000.000,00 anuais e constitui uma importante fonte de postos de trabalho.

A matéria prima utilizada pelas indústrias cerâmicas da região provém de uma mistura de materiais predominantemente argilosos, conhecidos como taguá, originados de rochas sedimentares intemperizadas e de depósitos aluvionares. Essa mistura é conhecida como “blend”. A extração destes materiais gera passivo ambiental na região e são constantemente fiscalizadas pelo órgão ambiental do estado de Minas Gerais.

Sendo assim, a partir do interesse da empresa GAR Mineração em caracterizar o material argiloso presente em uma das pilhas de estéril para possível aproveitamento pela indústria de cerâmica vermelha da região, este trabalho tem como justificativa o estabelecimento da interrelação universidade-empresa a partir do uso de tecnologias que busquem o desenvolvimento econômico e ambiental da região onde estão inseridas. Para a execução do presente trabalho, a empresa Cerâmica Carmelitana disponibilizou amostras de seu “blend”, evidenciando seu interesse na busca de alternativas que contribuam para diminuir sua demanda pela matéria-prima de qualidade.

## 1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a caracterização física e química do material que compõe uma das pilhas de estéril geradas na extração de diamantes da empresa GAR, na cidade de Romaria-MG, visando sua utilização na indústria de cerâmica vermelha.

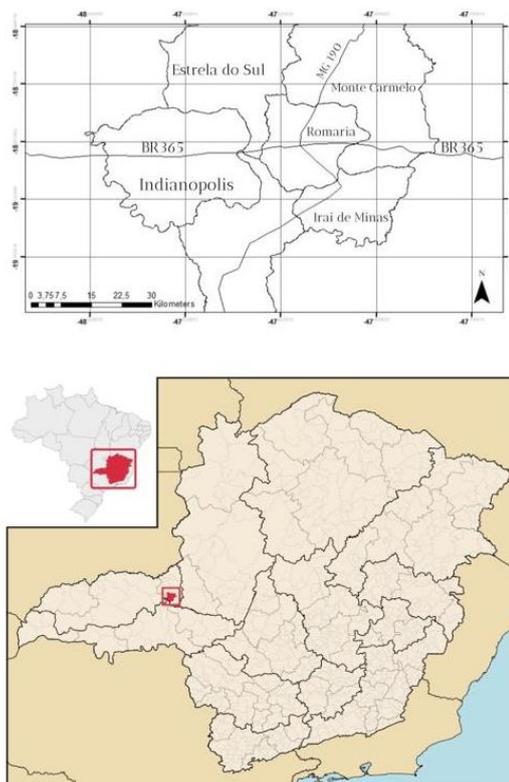
Os objetivos secundários são:

- comparar os resultados dos ensaios do material analisado com o blend utilizado pela Cerâmica Carmelitana;
- analisar os resultados de corpo de prova composto por 20% do material da GAR Mineração e 80% do blend utilizado pela Cerâmica Carmelitana.
- contribuir para os objetivos de sustentabilidade econômica, social e ambiental das atividades de mineração na região do Alto Paranaíba.
- contribuir para a evolução do conhecimento geológico na região de Monte Carmelo.

## 1.2 Localização e caracterização econômica da área de estudo

A Mina de Romaria localiza-se na propriedade Fazenda Marreco, zona rural de Romaria/MG, distante cerca de 20 km de Monte Carmelo, 90 km de Uberlândia e Araguari e 500 km da capital Belo Horizonte. O acesso principal se dá através da Rodovia BR 365, que liga as cidades de Uberlândia/MG e Montes Claros/MG, até o trevo que dá acesso aos municípios de Romaria, Monte Carmelo e Coromandel. A propriedade possui área de 55,08 ha e coordenadas geográficas centrais 18°52'50" / 47°34'147" (Figura 2).

Figura 2- Mapa de localização da área de estudo, Município de Romaria, Estado de Minas Gerais, contendo as vias de acesso e principais rodovias à área de estudo, localização de Minas Gerais no Brasil, localização de Romaria no estado de Minas Gerais.



A Mina de Romaria lava os conglomerados diamantíferos desde 1888, se constitui na mais antiga mina de diamantes do Triângulo Mineiro. Desde 2012, a lavra pertence à GAR Mineração, Comércio, Importação e Exportação Ltda (VIEIRA, 2020), com autorização para lavra em bancada em cava para exploração de cascalho diamantífero, de acordo com a Processo ANM 830.878/2012. Na área estão instalados além da cava, a planta de beneficiamento do minério, pilhas de estéreis e rejeito e escritório.

A Mina de Romaria é o único local na Província Diamantífera do Alto Paranaíba que lava os diamantes em depósitos conglomeráticos (CHAVES, 2018). As atividades envolviam processos rudimentares no começo e evoluíram para métodos mecanizados para extração do diamante (SUGUIO et al., 1979). A lavra a céu aberto teve início nas margens do Rio Bagagem,

onde o conglomerado aflorava no nível do rio e evoluiu por desmonte mecânico em direção ao leito do Córrego Água Suja (COELHO, 2010).

Desde 2012, quando a empresa GAR passou a operar a mina, a lavra mecanizada dos diamantes ocorre através de bancadas. O processamento do mineral é feito por desmonte mecânico e o minério bruto é armazenado em pilhas para posterior beneficiamento. São utilizados caminhões caçamba, escavadeiras, pás carregadeiras, entre outros equipamentos. Neste processo, são geradas pilhas de estéreis do material do decapeamento, numa relação estéril/minério média de 2,1:1 (Almeida, 2019).

De acordo com o Relatório Anual de Lavra de 2019 (Almeida, 2019), último ano de atividade da empresa, a relação estéril/minério realizada foi de 3,00/1,00, sendo apenas 1 frente de lavra em atividade, com profundidade da mina de 5,00 m.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Sustentabilidade da mineração e reutilização de materiais na indústria cerâmica vermelha**

De acordo com a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, do Ministério das Minas e Energia, a participação do setor mineral no PIB brasileiro de 2020 correspondeu a aproximadamente 2,5%, chegando a 4% ao incluir a contribuição do setor de petróleo e gás (IBRAM, 2020).

Todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento de mineração envolvem impactos ambientais negativos, por isto, existe a obrigatoriedade da elaboração da avaliação de impacto ambiental (AIA), que consiste no principal instrumento do processo de licenciamento ambiental destas atividades. Segundo Sanchez (2020), a AIA tem como

um dos objetivos, facilitar a gestão ambiental do futuro empreendimento, além de “antecipar, evitar, minimizar ou compensar os efeitos negativos relevantes biofísicos, sociais e outros” e também promover o desenvolvimento sustentável (SANCHEZ, 2020).

As modalidades de avaliação de impacto ambiental variam de acordo com o porte do empreendimento e o potencial de ocorrência de impactos ambientais significativos, sendo o Estudo de Impacto Ambiental (EIA)/ Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), os documentos requeridos para as atividades que podem gerar maior degradação ambiental. O processo de licenciamento das atividades minerárias está previsto na legislação brasileira através da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Nº 6938/1981), Resolução CONAMA Nº 001/1986 (Brasil, 1986), que estabelece diretrizes para a elaboração do EIA/RIMA nos processos de licenciamento ambiental e Constituição Federal (Brasil, 1988), que preconiza a necessidade de estudo prévio de impacto ambiental para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, entre outras legislações.

O Decreto nº 9.406/2018 (Brasil, 2018) determina o atendimento tanto da legislação ambiental, quanto do licenciamento ambiental no processo de obtenção das autorizações e concessões para a exploração e lavra do minério.

A rigidez locacional dos depósitos minerais expressa a restrição na escolha de áreas que possam originar menores impactos ambientais em decorrência das atividades inerentes à mineração. A necessidade de escavações superficiais e subterrâneas de grandes volumes para exploração do minério, entre outros aspectos, geram grande quantidade de estéreis e rejeitos. Comumente, os impactos envolvem processos erosivos e assoreamento, diminuição da qualidade das águas superficiais

e subterrâneas, alteração das condições do nível freático e poluição do ar (MECHI; SANCHES, 2010).

De acordo com o PNUD/ONU - Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento da ONU e a Comissão Brundtland (UNDP,2022), o conceito de sustentabilidade, é definido como: “procedimentos fundamentais para atender às necessidades do presente sem comprometer a disponibilidade dos recursos para as futuras gerações”.

No Brasil, diversos estudos (REGO, 2010; SOUZA, 2007; ALVES; BALDO,1997; MENEZES et al., 2002), abrangem o tema de reutilização de resíduos industriais e urbanos na indústria cerâmica vermelha, porém essa pratica ainda não é vista como uma cultura dos empreendedores.

De acordo com Menezes et al. (2002), a indústria cerâmica é uma das que mais atuam na reciclagem de resíduos industriais e urbanos em virtude de possuir elevado volume de produção, que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos e que, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz desta indústria como uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos.

Além disso, é uma das poucas áreas industriais que podem obter uma melhoria em seu processo produtivo com a incorporação de resíduos entre suas composições de massa, através da economia na procura por matérias primas de qualidade e economia energética, entre outras, que levam à redução de custos. Os blends utilizados na indústria cerâmica são geralmente de gênese heterogênea, constituído de materiais plásticos e não plásticos com amplas composições, sendo assim a presença de outros materiais, além dos argilo-minerais é inevitável (ALVES; BALDO, 1998; MONFORT; ENRIQUE, 1996).

Segundo Menezes et al. (2002), diversos são os resíduos industriais e urbanos absorvidos pela indústria cerâmica, podendo citar os resíduos

de mineração, da indústria de papel e celulose, metalúrgica, energética, que, independente de sua origem, têm utilização cada dia maior como matérias-primas alternativas na indústria cerâmica, enquanto praticamente todos os tipos de resíduos urbanos podem ser incorporados nas formulações cerâmicas após tratamento adequado.

De acordo com suas características e influência sobre as propriedades das formulações e produtos cerâmicos, pode-se agrupar os resíduos sólidos quando absorvidos pela indústria cerâmica, em: redutores de plasticidade, fundentes, combustíveis, cinzas volantes, resíduos da incineração de rejeitos urbanos e radioativos (MENEZES et al. 2002).

Sabrah et al. (1987 apud MENEZES et al., 2002) relataram estudos sobre resíduos provenientes das indústrias de mineração e beneficiamento mineral, indicando que devido à sua grande variação granulométrica e química, a quantidade de resíduos a ser incorporada às composições de massa das indústrias cerâmicas pode variar de 10 a 60%, provocando pequenas alterações nas propriedades mecânicas, retração e absorção de água. Resíduos de extração de ardósia mostraram-se convenientes à produção de peças por colagem; resíduos de pedra-sabão foram adequados à fabricação de revestimentos cerâmicos e resíduos argilosos em geral puderam ser incorporados na produção de telhas, tijolos e revestimentos cerâmicos.

Ainda, para exemplificar, foram realizados estudos sobre a reutilização de resíduos do beneficiamento de rochas graníticas na produção de tijolos e composições de massas (VIEIRA et al., 1999; LIMA et al., 2011), adição de minério de ferro (CESAR, 2008; VIEIRA et al., 2007; CHAVES, 2009), carbonatos (SOARES, 2010) e resíduos de gesso (SILVA, 2008) nas formulações de massas cerâmicas.

Os materiais redutores de plasticidade são definidos como materiais friáveis, que quando adicionados às composições de massa das

indústrias cerâmicas, devido à suas características granulométricas e composicionais, provocam uma alta taxa de redução na plasticidade, influenciando diretamente as propriedades de absorção de água e resistência do produto final; geralmente, estes produtos são provenientes das indústrias de mineração e beneficiamento. Os materiais fundentes, em suas propriedades composicionais, são característicos na diminuição da temperatura de maturação no produto cerâmico, com isso, reduz drasticamente o consumo energético das indústrias; estes produtos são de proveniência da lama de esmaltação das cerâmicas, indústrias mecânicas e metalúrgicas, sendo compostos basicamente de sílica, óxido de alumínio, metais pesados, alcalinos e alcalinos terrosos. (MENEZES et al. 2002).

Os resíduos combustíveis são aqueles em que suas composições contêm teores elevados de substâncias orgânicas e como consequência disso, certifica alto poder calorífico, sendo exemplos: resíduos do petróleo, de estação de tratamento de rejeitos urbanos, resíduos da exploração do carvão, da indústria têxtil e madeira. A reutilização destes, pelas indústrias cerâmicas, pode ser executada em duas vertentes, na adição dos resíduos à composição da massa cerâmica ou mistura com os combustíveis responsáveis pela queima dos produtos cerâmicos (MENEZES et al., 2002). Amaral & Domingues (1991) analisaram a utilização de resíduos provenientes do refino do petróleo na fabricação de produtos cerâmicos atuando como plastificantes, lubrificantes e isolantes térmicos, devido a volatilização do material.

Com isso, fica evidente que a problemática exposta no trabalho e a atual demanda da indústria cerâmica, por formas viáveis e sustentáveis para incorporação de suas composições de massas é de suma importância, e foi alvo de outros pesquisadores anteriormente.

De modo geral, os ensaios cerâmicos preliminares visam estudar as características físicas e mecânicas de um material para definir sua

aplicação na indústria e prever seus usos individuais tanto no processo produtivo quanto no desempenho dos produtos finais (RÊGO, 2010).

As argilas constituem a principal matéria prima utilizada na indústria cerâmica. As análises do desempenho tecnológico destes materiais podem ser realizadas a partir de dois enfoques principais: o primeiro, caracterizando estes materiais a partir de atributos intrínsecos, como composição química e mineralógica, classificação granulométrica, coloração, entre outros e comparando com as argilas normalmente utilizadas nas indústrias cerâmicas, e são considerados métodos indiretos ou dedutivos; e o segundo, avaliando o comportamento tecnológico dos materiais a serem analisados “em simulações laboratoriais dos ciclos industriais de fabricação dos produtos cerâmicos”, considerados métodos diretos ou simulativos (DONDI, 2006).

A produção de telhas constitui o principal produto da cerâmica vermelha estrutural, cuja padronização segue a ABNT NBR 15310/2009. De acordo com a norma, “telhas cerâmicas são componentes fabricados por conformação plástica de matéria prima argilosa, contendo ou não aditivos e sinterizado, destinados à montagem de cobertura estanque à água, de aplicação descontínua” e “devem ser fabricadas com argila conformada por prensagem ou extrusão e sinterizadas de forma à permitir que o produto final atenda às condições determinadas desta norma”.

A matéria prima para a produção de telhas contém como argilominerais principais argilas dos grupos das illitas e montmorilonitas, cuja massa cerâmica deve atender aos requisitos de boa resistência de massa seca, telhas com elevada resistência à flexão, baixa porosidade e excelente conformidade e estética (RÊGO, 2010).

Porém, grande parte da indústria cerâmica estrutural chega à formulação ideal da massa através da mistura de dois ou mais tipos de argilas até a obtenção das características de plasticidade desejadas, que é

realizada de forma aleatória. Portanto, o conhecimento das composições das matérias primas pode diminuir o desperdício ao longo do processo (PRADO, 2011).

Muitas empresas têm efetuado ensaios laboratoriais a fim de avaliar suas matérias primas e produtos. Para que estes sejam eficazes, é necessário que esses procedimentos sejam conduzidos dentro de um laboratório estruturado e integrado ao conjunto de normas presentes. É a partir do atendimento de todos os requisitos legais e a otimização de seu processo, que as indústrias estão buscando a implantação de análises em suas matérias primas com a finalidade de prever, conhecer ou adaptar os mesmos para utilização na fabricação de produtos cerâmicos.

Dondi (2006) compilou as principais propriedades tecnológicas a serem medidas na fabricação de tijolos e telhas e as relacionou aos estágios de produção. Na fase de preparação de massa, as principais influências são da distribuição de tamanho de partícula e a mistura de trabalho; na fase de conformação, é a plasticidade; na fase de secagem, são as propriedades de contração na secagem e resistência à flexão; e na queima, devem ser avaliadas a contração de queima, absorção de água e resistência à flexão.

## **2.2 Geologia Regional**

A Mina de Romaria e arredores tem sido alvo de estudos geológicos desde a descoberta de conglomerados diamantíferos em 1888. Porém, a origem destes depósitos ainda é tema de controvérsia nos dias atuais.

A área de estudos está localizada na Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba, na mesoregião denominada Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. Seu contexto geológico regional envolve unidades pertencentes a grandes compartimentos e eventos: Bacia do Paraná, Faixa de Dobramentos Brasília, Província Ígnea do Alto Paranaíba (HASUI & HARALYI, 1991) e Bacia Sanfranciscana (CAMPOS; DARDENNE, 1997).

Em termos tectônicos, a região está inserida no limite da zona interna da Faixa de Dobramentos Brasília (Fuck et al., 1994 in CPRM, 2017), onde afloram o Grupo Araxá e os complexos Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, com a porção nordeste da Bacia do Paraná (CPRM, 2017).

O Grupo Araxá constitui o embasamento na região entre Romaria e Estrela do Sul, aflorando majoritariamente na porção central da área de estudo e ocupando as áreas mais baixas recortadas pelo Rio Bagagem e drenagens próximas à cidade de Romaria (CHAVES; DIAS, 2017). Essa unidade é formada principalmente por muscovita-xistos e granada-muscovita xistos de granulação fina a média, localmente, rutilo e turmalina ocorrem como minerais acessórios. Em geral ocorrem intercalações até decimétricas de quartzito esbranquiçado de granulação fina e raramente grossa; no contato com o micaxisto geralmente desenvolvem-se grandes placas de muscovita (CHAVES; DIAS, 2017).

A Bacia do Paraná está representada na região pelas formações Botucatu e Uberaba. A Formação Botucatu (Grupo São Bento) ocorre em faixa restrita a oeste de Romaria, em discordância angular e erosiva sobre as rochas do Grupo Araxá, sendo encoberta por arenitos e conglomerados da Formação Uberaba. É caracterizada por arenitos maciços ou estratificados, róseos a avermelhados, bem selecionados, originados a partir de transporte eólico de idade juro-Cretácea (CHAVES; SVISERO, 1993).

Os conglomerados basais da Formação Uberaba, conhecidos como “Tauá” na região, estão relacionados aos principais depósitos diamantíferos na região, que se encontra bem representado na Mina de Romaria (CHAVES, SVISERO 1993; VIEIRA, 2020; COELHO, 2010), objeto do estudo. Porém ainda existem controvérsias sobre a origem secundária ou primária destes depósitos diamantíferos.

De acordo com Batezelli (2015), a Formação Uberaba pertence ao Grupo Bauru, na bacia homônima. A Formação Uberaba é caracterizada por arenitos com feições de corpos lenticulares, havendo a presença de níveis

centimétricos de siltito, lamito e conglomerados subordinados, além da presença de níveis de cimentação e nódulos carbonáticos. As estruturas sedimentares características da unidade são as estratificações cruzadas tabulares e acanaladas de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela e estruturas deformacionais e de injeções de argila.

A Província Ígnea do Alto Paranaíba (PIAP) é composta por corpos alcalinos e carbonatíticos intrusivos ou na forma de diques, que ocorrem entre rochas da Faixa de Dobramentos Brasília, da Bacia do Paraná e do Craton do São Francisco (NANNINI, 2016). Também ocorrem corpos kimberlíticos que podem conter mineralizações de diamantes.

A norte de Romaria, na região compreendida entre Monte Carmelo e Abadia dos Dourados, e estendendo-se até as proximidades da cidade de Douradoquara, afloram rochas pertencentes ao Complexo Monte Carmelo. Essa unidade é formada por granitos grossos, porfíricos a equigranulares, com intercalações de anfibolitos. A mineralogia dos granitos é constituída de quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, biotita e raramente muscovita. Zircões magmáticos retirados de um biotita granito forneceram idade de cristalização de 790 Ma. Os anfibolitos possuem coloração cinza escura a preta, granulação grossa e textura granoblástica equigranular. A assembleia mineralógica desse litotipo é formada por hornblenda e plagioclásio (CHAVES; DIAS, 2017).

A porção nordeste da área de estudo, nas proximidades de Coromandel, é formada principalmente por rochas metassedimentares dos grupos Canastra, Vazante e Ibiá da Faixa Brasília.

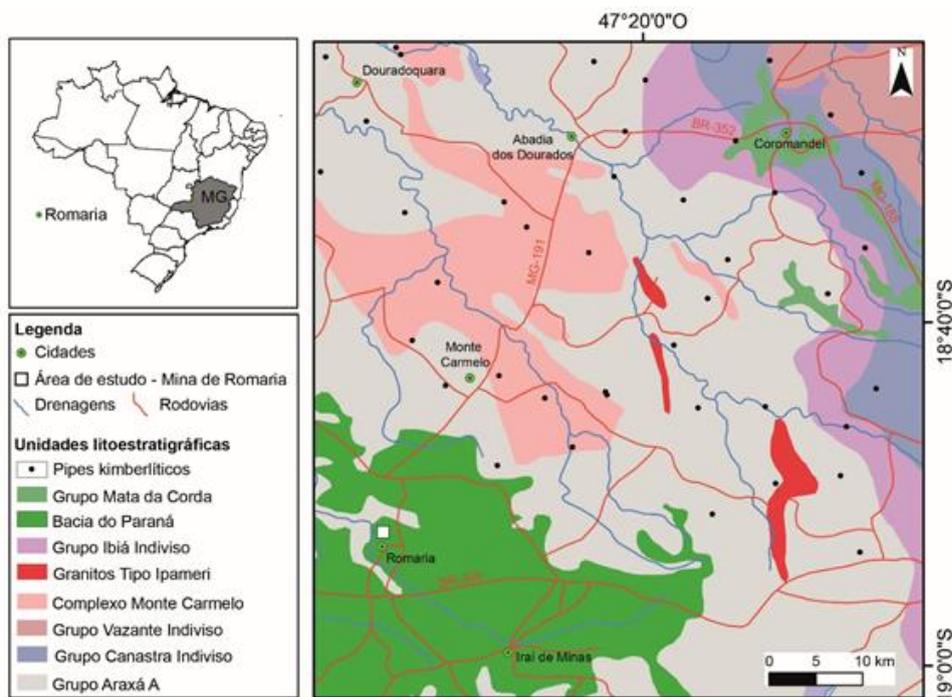
O Grupo Canastra é subdividido nas formações Paracatu (base) e Chapada dos Pilões (topo). A primeira é formada por sericita filitos com intercalações de quartzitos e filitos carbonosos. Na Formação Chapada dos Pilões predominam quartzitos com intercalações de sericita filitos e filitos carbonosos (CHAVES; DIAS, 2017).

O Grupo Vazante, da base para o topo, é constituído pelas formações Serra do Garrote e Serra da Lapa. Na base da primeira formação, ocorre o Membro Sumidouro, formado por principalmente por calcários dolomíticos e subordinadamente por siltitos. Nas fácies calcáreas é comum a presença de intraclastos, bioconstruções estromatolíticas e esteiras microbianas. O Membro Serra do Andrequicé, topo da Formação Serra do Garrote, é formado sobretudo por siltitos e minoritariamente por argilitos, lentes de arenito/quartzito. Datações de zircões detríticos extraídos de siltitos forneceram idade máxima deposicional de 1,82 Ga. A Formação Serra da Lapa encerra a sedimentação do Grupo Vazante e é composta nessa região por siltitos com lentes de arenito/quartzito intercaladas e raras intercalações de filitos, calcários, margas e argilitos. Zircões detríticos forneceram idade máxima deposicional de 1,12 Ga (CHAVES; DIAS, 2017).

A porção basal do Grupo Ibiá (Formação Cubatão) é constituída por diamictitos com clastos de quartzito, calcário, gnaiss, granitóides e silito. No topo, metarritmitos da Formação Rio Verde, finalizam os eventos deposicionais do Grupo Ibiá.

Nas adjacências e ao sul de Coromandel e depositado em discordância sobre as rochas metassedimentares da Faixa Brasília, o Grupo Mata da Corda da Bacia Sanfranciscana, de idade neocretácea, representa o último evento magmático-sedimentar mesozoico da região em questão (CAMPOS; DARDENNE, 1997; SEDORKO et al., 2020). O grupo é composto pelas formações Patos e Capacete. A primeira é formada principalmente por depósitos piroclásticos e lavas máficas a ultramáficas de natureza alcalina (GIBSON et al., 1997; CAMPOS; DARDENNE, 1997; RICCOMINI et al., 2005). A Formação Capacete é formada por argilitos, litoarenitos, grauvacas, orto- e paraconglomerados epiclásticos. Com base em dados de paleocorrentes e mineralógicos/composicionais dos arenitos e conglomerados, a Formação Capacete é interpretada como o produto do retrabalhamento das rochas vulcânicas da Formação Patos (CAMPOS; DARDENNE, 1997).

Figura 3 - Mapa geológico simplificado da área de estudo. Modificado de Chaves; Dias (2017).



### 2.3 Aspectos Fisiográficos

A geomorfologia dos terrenos de Romaria é caracterizada por platôs ou chapadões com altitudes entre 900 a 1000m (rochas da Bacia do Paraná) e vales encaixados (rochas do embasamento do Grupo Araxá).

Em relação ao sistema hidrográfico, de acordo com Coelho (2010), em escala de 1:10.000, as drenagens são caracterizadas com padrões anastomosados nos platôs, correspondendo a rios senis devido as rochas subjacentes apresentarem elevada porosidade e permeabilidade, padrões reticulados encontrados em vales, onde são expostos rochas do embasamento abrangendo um sistema com rios rejuvenescidos e padrões dendríticos,

localizado nos relevos mais planos e suaves, caracterizado por rios mais evoluídos.

A região, de acordo com a Embrapa, está enquadrada no domínio do Cerrado, correspondendo a chapadões com vegetações arbustas e severas.

O clima na região está submetido a um clima tropical chuvoso, clima de monção seco com inverno seco e verão úmido, tipo "Aw" (clima tropical com estação seca de inverno) segundo a classificação climática proposto por Köppen-Geiger. As características climáticas são bem definidas e marcantes em relação as estações quentes e frias, e a temperatura média do mês mais fria é de 18 °C, e a do mês mais quente de 22 °C (EMBRAPA, 1982).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os métodos utilizados buscaram a caracterização físico-química da pilha de estéril de interesse da Mina de Romaria, além de analisar o comportamento da mistura deste material com a massa já utilizada pela Cerâmica Carmelitana.

- Revisão bibliográfica

A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento da literatura referente aos temas de interesse, através de artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, relacionados à indústria cerâmica, sustentabilidade na mineração, mineração de diamantes e geologia da região do Alto Paranaíba.

- Trabalhos de campo

A segunda etapa envolveu quatro fases de campo, planejadas de acordo com os seguintes objetivos:

- a. Reconhecimento da geologia ao redor do município de Romaria, através de discussões em campo e levantamentos fotográficos, a partir

da confrontação da bibliografia existente e reconhecimento em campo;

- b. Reconhecimento das frentes de lavra na GAR Mineração, identificando os locais de ocorrência do material a ser analisado;
- c. Coletas das amostras.

Na GAR Mineração foram coletadas amostras do material de interesse em 2 pontos diferentes das pilhas de estéreis, com 15kg cada, para realização das análises em laboratório:

- Amostra GAR: coletada em 20/03/2021 em uma das pilhas de estéril, (Figura 5-A);
- Amostra PILHA GAR: coletada em 18/06/2021 a partir da abertura de uma vala em ponto exposto da pilha de estéril (Figura 5-B);
- Amostra CARMELITANA: coletada em 11/07/2021 (Figura 5-C), no pátio da Cerâmica Carmelitana, junto à pilha de argila já misturada (blend) para entrada no processo de fabricação de telha;
- Amostra COMPOSIÇÃO DE MASSA: no laboratório foi feita uma mistura da AMOSTRA GAR (20%) com a AMOSTRA CARMELITANA (80%). Foi estipulada esta quantidade devido ao blend já utilizado pela cerâmica (argila Taguá e argila várzea), para que não haja modificações nos produtos finais e devido às características preliminares do material amostrado na empresa GAR.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e etiquetadas para identificação.

Figura 4 - Amostras coletadas para caracterização. A-Amostra GAR; B-Local onde foi coletado a amostra PILHA GAR; C- Pilha da mistura da Cerâmica Carmelitana.



- Etapa de laboratório

A quarta etapa de trabalho foi desenvolvida no Laboratório LEMC- Laboratório de Ensaio de Monte Carmelo. As análises químicas foram efetuadas no Laboratório Senai Mario Amato, em São Bernardo do Campo- SP.

Os ensaios de laboratório foram realizados nas amostras coletadas com o objetivo de caracterizar o material da pilha de estéril de interesse, assim como comparar este material com a amostra do blend utilizado pela Cerâmica Carmelitana, além de analisar o comportamento tecnológico destes materiais e da mistura entre eles.

Inicialmente, as amostras foram secas ao ar para posterior homogeneização e quarteamento; frações foram separadas de acordo com o volume requerido para cada ensaio. Os ensaios foram realizados nas amostras em estado natural (TFSA - terra fina seca ao ar) e em corpos de prova secos (110°C) e queimados (850°C e 950°C).

Nas amostras naturais foram realizados os ensaios: análise granulométrica, limite de liquidez, limite de plasticidade, análises térmicas (análise dilatométrica e análise térmica diferencial), caracterização do resíduo e análise química.

Os corpos de prova, de dimensões 15cm x 2cm x 2cm, foram submetidos aos ensaios de caracterização física e mecânica. Nos corpos submetidos à secagem em estufa à 110°C, foram realizados os ensaios de retração natural, retração a 110°C, resistência a seco e cor visual. Já nos corpos de prova submetidos a queima em 850°C e 950°C, foram executados os ensaios de retração de queima e total, perda ao fogo, absorção de água, cor visual e resistência mecânica.

Os ensaios realizados nas amostras naturais correspondem aos ensaios indiretos ou dedutivos, pois servem para avaliar as características e propriedades das matérias-primas. Já os ensaios nos corpos de prova, que constituem os métodos diretos ou simulativos, avaliam o comportamento tecnológico através das simulações em laboratório. Os ensaios nos corpos de prova secos a 110°C correspondem à fase de secagem das telhas; já os ensaios nos corpos de prova queimados a 850°C e 950°C correspondem ao comportamento do produto.

A Figura 5 apresenta os materiais e equipamentos listados para a metodologia dos ensaios de caracterização.

Figura 5: Etapas de caracterização das amostras. A- Coleta; B- Destorroamento da amostra com auxílio de martelo; C- Laminador Verdés; D- Material in natura após laminação E- Maromba Verdés utilizada para extrusão dos corpos de prova; F- Balança de precisão ; G- Estufa para secagem a 110 °C; H- Forno Jung para queima dos corpos de prova a 850°C e 950°C; I- Recipiente para imersão de corpos de prova para análise de absorção; J- Prensa Pavitest para análise de resistência à flexão; K- Vibrador de peneiras; L- Equipamentos para análise térmica diferencial e análise dilatométrica.



### 3.1 Ensaios em laboratório das amostras naturais

#### Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação dos tamanhos das partículas que compõem uma amostra. A distribuição granulométrica, que representa a porcentagem do material em cada classe de granulometria, é de

fundamental importância na caracterização de matérias-primas argilosas, desde o processamento até o produto final, sendo condicionante de propriedades como a plasticidade, grau de compactação, densidade, propriedades térmicas, entre outras. O ensaio foi realizado de acordo com a norma ABNT 7181/2016, através dos métodos de análises por peneiramento e sedimentação. (Figura 6).

Figura 6 - Etapas da análise granométrica. A- Agitação da amostra com utilização do defloculante; B- Amostra em repouso.



### Ensaio de plasticidade

Os parâmetros Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, conhecidos como Limites de Consistência de Atterberg, fornecem uma estimativa de parâmetros de resistência dos solos e dependem da reatividade dos seus constituintes argilosos. Os ensaios de plasticidade foram realizados, de acordo com as normas NBR 7180/2016 - Solo - Determinação do Limite de Plasticidade e NBR 6459/2016 - Solo - Determinação do Limite de Liquidez.

A plasticidade é a propriedade que um material possui de se deformar pela aplicação de uma força e manter esta deformação quando a força aplicada é

retirada (Grim, 1962). Constitui uma das principais propriedades das argilas na indústria cerâmica.

A caracterização do limite de liquidez das amostras indica a quantidade máxima de água em que uma argila admite manter o estado plástico, já o índice de plasticidade indica a quantidade de água a ser inserida na composição de massa, evitando perdas desnecessárias nos processos de conformação e secagem dos produtos cerâmicos.

### **Análises térmicas**

Os ensaios térmicos executados para a caracterização das propriedades dos materiais cerâmicos foram análise térmica diferencial (ATD) e análise dilatométrica (AD).

A ATD é realizada pelo aquecimento da amostra, na qual todas as reações físico-químicas dos minerais são monitoradas, caracterizando os intervalos que o material acumula calor (reação endotérmica) e libera calor (reações exotérmicas). O processo de aquecimento até 1000°C beneficia a previsão da velocidade da queima e tempo em temperatura estabelecida, obtendo fases cristalinas esperadas do produto (Souza Santos, 1975).

A AD é realizada pelo aquecimento em dilatômetro à 1000°C e identifica a dilatação das composições de massa por meio de aquecimento estabelecido. De acordo com Pracidelli (1992), a dilatação é resposta da composição química e mineralógica dos materiais, logo, prevê maior eficiência no controle da queima, na sinterização da massa e apresenta informações para delinear as curvas de queima.

### **Determinação e caracterização do resíduo**

A determinação do resíduo foi realizada a partir do peneiramento da amostra total em abertura de #325 (0,04 mm) (Figura 7). Depois o material foi seco em temperatura de 100°C(+/-5°C), submerso em água por 24hrs e lavado em água corrente até que o material ficasse limpo. Com este material, foi realizada a distribuição granulométrica de acordo com as peneiras #100, #150, #200, #325 e

fundo. O resultado do ensaio é expresso como o quociente do peso de cada fração granulométrica do resíduo sobre a amostra seca total.

A caracterização qualitativa do resíduo foi realizada por visualização e reagentes químicos, indificando os minerais em: grânulos de calcário, óxido de ferro, sulfetos, areia, hidróxidos, mica e matéria orgânica.

Figura 7 - Classificação granulométrica do resíduo lavado em peneiras.



## 3.2 Ensaio em laboratório dos corpos de prova

### 3.2.1 Conformação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram conformados por extrusão, sob vácuo de 20 pol/Hg (520 mmHg), em formato retangular, com medidas de 150 mm de comprimento por 20 mm de largura e 20 mm de espessura.

### 3.2.2 Ensaio nos corpos de prova secos a 110°C

Corpos de prova foram expostos a secagem natural por um período de 72 horas e depois secos em temperatura de 110°C por 24 horas, sendo identificados e pesados. Foi avaliado o comportamento físico (retração a verde) e resistência mecânica a seco, obtendo-se valores de medidas de contração linear, umidade, ruptura a flexão e coloração visual.

## **Umidade**

A umidade dos corpos de prova foi obtida pela razão entre o peso da água existente na amostra e o peso das partículas sólidas, onde foi determinado o percentual de água que o material seco absorve em local úmido.

## **Contração linear (retração a verde)**

Este ensaio representa a variação dimensional dos materiais estudados, levando em conta que a distribuição granulométrica atua no índice de retração, o que significa que quanto menor a granulometria da amostra, maior a quantidade de água no amassamento e maior o índice de retração.

A finalidade da secagem natural dos corpos de prova tem como propósito a determinação da retração linear por métodos físico-químicos durante a secagem e queima, determinando as dimensões iniciais das amostras.

## **Resistência à flexão a seco**

O ensaio avalia a resistência à flexão dos corpos de prova secos em 110°C, na prensa Pavistes com capacidade de 500kg e velocidade de 5N/s, com propósito de caracterizar o poder de aglutinação dos materiais.

## **Coloração visual**

As cores dos corpos de prova foram determinadas visualmente com a finalidade de diferenciar as amostras; é influenciável na cor a mineralogia, composição química e a secagem.

### **3.2.3 Ensaios nos corpos de prova queimados à 850°C e 950°C**

Corpos de prova foram sinterizados em 850°C e 950°C, com velocidade de aquecimento de 2,5°C/min, com 1 hora de patamar, nos quais foram realizados os ensaios de retração linear na queima, perda ao fogo, absorção de água, ruptura de flexão (resistência mecânica sinterizada) e ensaio de cor.

**Retração linear**

O ensaio caracteriza a retração das amostras sinterizadas em temperaturas de 850°C e 950°C diante da modificação dimensional, onde a composição mineralógica, química e sinterização correlaciona-se com sua intensidade de variação.

**Perda ao fogo**

O ensaio de perda ao fogo retrata a perda de massa do material sinterizado nas temperaturas de 850°C e 950°C, onde a determinação é realizada pela oxidação das amostras e ou pela calcinação em alta temperatura (Morata, 1972).

**Absorção de água**

O ensaio de absorção de água avalia a relação que a massa de água ocupa entre os espaços vazios do interior do material queimado.

**Resistência mecânica sinterizada**

A resistência mecânica após a queima dos corpos de prova foi realizada em prensa Pavitest, com proposito de avaliar a aglutinação das amostras e queima, com a correlação dos minerais, plasticidade e disposição granulométrica.

**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO****4.1 Frente de lavra e pilhas de estéreis**

Atualmente a Mina de Romaria possui duas frentes de lavras desativadas, com espessuras variáveis entre 5 e 30 metros e as pilhas de estéreis estão dispostas no setor norte da área (Figura 8).

Figura 8 - Imagem GoogleEarth da Mineração GAR atualmente, mostrando a localização das pilhas de estéreis e as cavas desativadas.

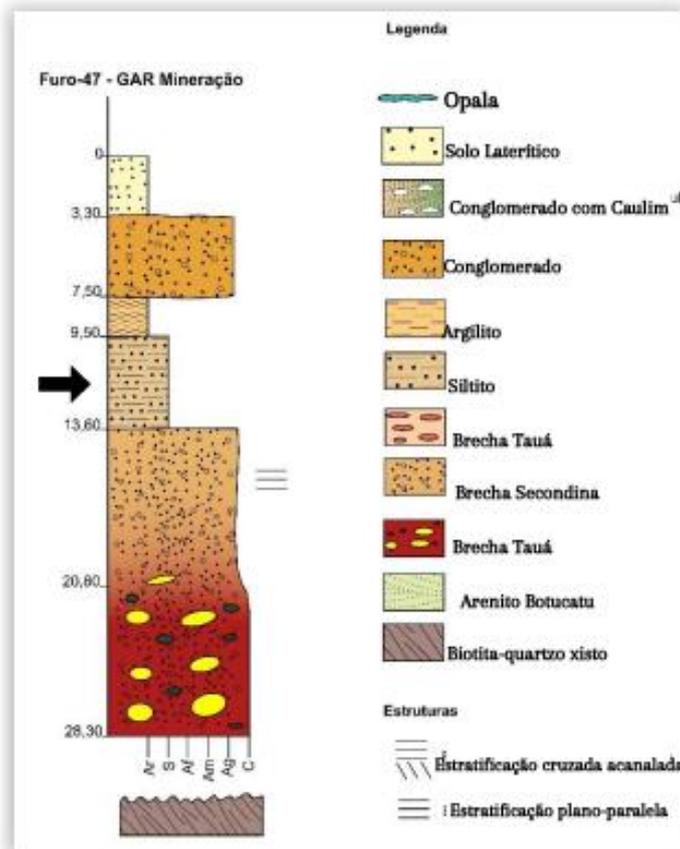


Na área da mina ocorrem essencialmente rochas sedimentares siliciclásticas intercaladas com rochas de natureza vulcanoclástica. O embasamento, representado pelo Grupo Araxá, não é aflorante, podendo somente ser observado apenas em testemunhos de sondagem.

As rochas vulcanoclásticas correspondem às camadas que contém o minério de diamante, caracterizadas como brechas conglomeráticas e denominadas Brecha Tauíá e Brecha Secundina. Esta sucessão vulcanoclástica tem sido correlacionada à Formação Marília ou à Formação Uberaba (VIEIRA, 2020).

Sobrepostas às brechas, encontram-se rochas siliciclásticas representadas pela intercalação de siltito, argilito e níveis areníticos, que constituem os materiais estéreis da mina (Figura 9).

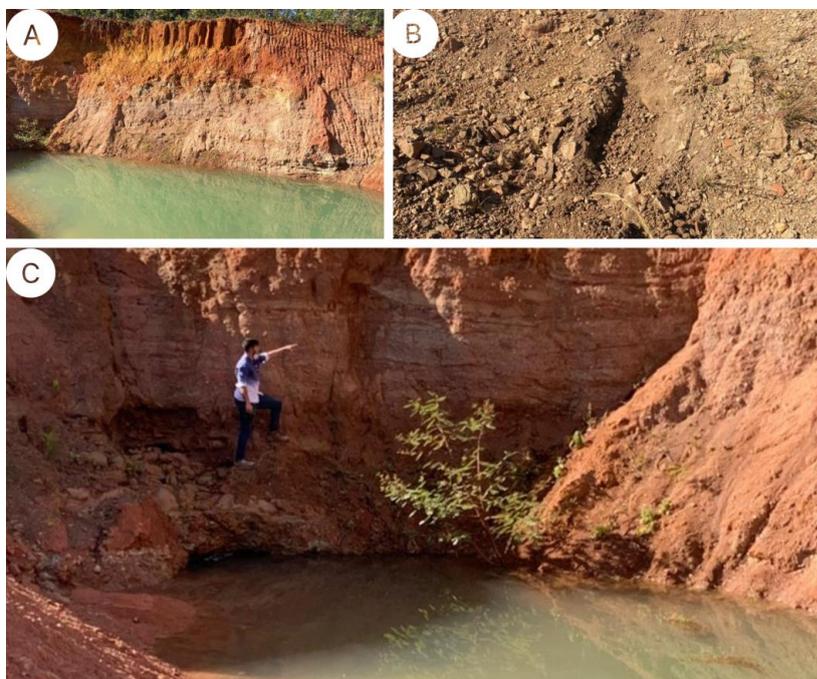
Figura 9- Coluna estratigráfica levantada na empresa GAR por Vieira (2020). A seta preta indica a localização estratigráfica do material de estudo desse presente trabalho, caracterizado inicialmente como um siltito.



Fonte: Modificado de Vieira (2020).

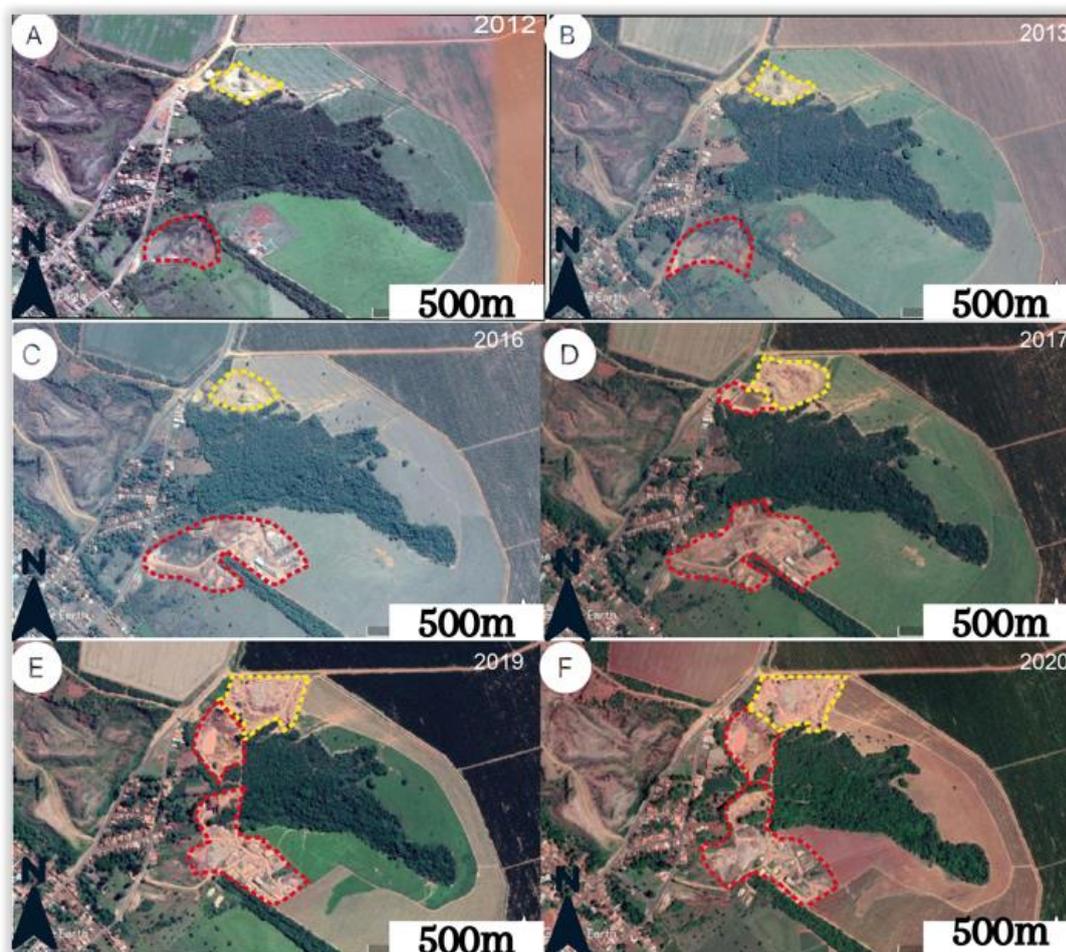
O material de interesse deste trabalho está sobreposto à Brecha Taiuá, sendo denominado por Vieira (2020) de siltito. Esta camada apresenta coloração marrom claro, granulometria fina a média, com presença de quartzo, muscovita e argilominerais. Sua espessura ao longo da frente de lavra varia de 0,2 a 0,5 metros (Figura 10).

Figura 10 - Vista da frente de lavra desativada em 2019; B- Aspecto do local de coleta da amostra GAR. C- Indicação da posição estratigráfica do siltito.



Com auxílio de software Google Earth foi realizada uma prancha onde se observa a evolução das pilhas de estéreis na área da GAR Mineração (Figura 11).

Figura 11 - Prancha de Evolução da mina e estéril de 2012 a 2020 da empresa GAR Diamond Mining A- 2012 B-2013 C-2016 D-2017 E-2019 F-2020. Sendo os polígonos vermelhos representando as cavas e os amarelos as pilhas de estéril.



A área ocupada pelas pilhas de estéreis em junho de 2021, calculada pelo software a partir das imagens, corresponde a  $23.500 \text{ m}^2$ . A partir das observações de campo em relação às alturas das diferentes pilhas, adotou-se o valor médio de 4 metros de altura, obtendo-se o volume de  $94.000 \text{ m}^3$  de estéreis dispostos na área da mineração. Considerando-se a densidade de  $2,67 \text{ ton/m}^3$ , usualmente utilizada para os materiais naturais em superfície, chega-se ao valor de aproximadamente 252.000 toneladas de materiais estéreis atualmente.

O material estéril removido da frente de lavra é estocado separadamente nas pilhas, em local próximo a cava (Figura 12), para posterior aproveitamento após o fechamento da mina.

Figura 12 - Pilhas de estéreis dispostas separadamente; cada cor corresponde a um tipo de material.



Observa-se que os estéreis estão dispostos incorretamente na área da mina, pois não apresentam controle geotécnico nem hidrológico que garantam a estabilidade deles. A área não se constitui em área de risco, pois não se encontram instalações próximas, mas sua dispersão sem controle pode ocasionar processos de assoreamento e impermeabilização dos solos.

Além disso, pelo fato da proximidade da mina com o município de Romaria, as pilhas causam grande impacto visual negativo, já que o município é reconhecido pelo seu potencial turístico-religioso (Figura 13).

Figura 13 - Vista da cava de mineração desativada e de Romaria, ao fundo, a partir da pilha de estéril objeto do trabalho.



## **4.2 Ensaio de laboratório**

Nesse item serão abordados os resultados e as discussões dos procedimentos feitos em laboratório, de acordo com as amostragens realizadas para a caracterização e viabilidade da incorporação do material estéril na massa já utilizada na fabricação de cerâmica vermelha.

As amostras coletadas nas pilhas de estéril foram denominada GAR e PILHA GAR, a amostra do blend utilizado pela Cerâmica Carmelitana foi denominada CARMELITANA e a amostra composta por 80% da Carmelitana misturada com 20 % da GAR denominada COMPOSIÇÃO DE MASSA.

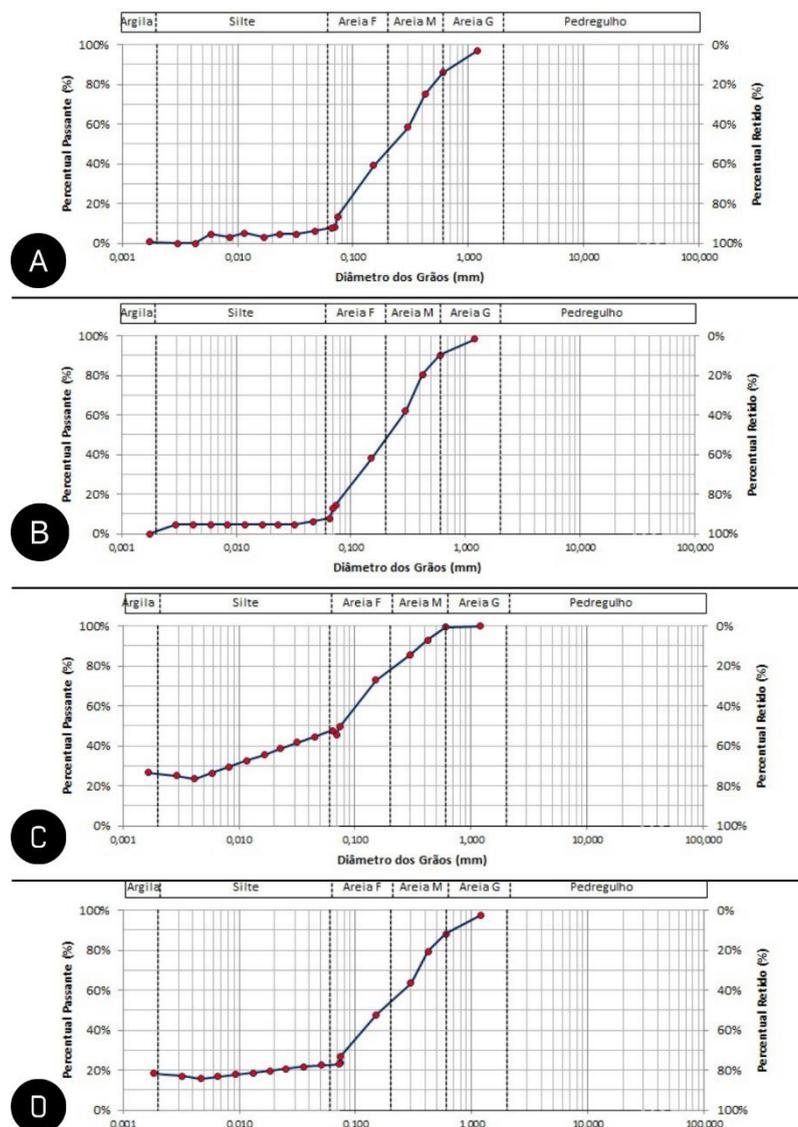
### **4.2.1 Ensaio com amostras em estado natural**

#### **Análise granulométrica**

As amostras GAR e PILHA GAR foram classificadas como franco arenosa, com cerca de 80% de areia (fina, média e grossa) e 20% de silte (Figuras 14 e 15).

Esta grande quantidade de areia não proporciona a plasticidade necessária para o material no processo produtivo, dificultando a moldagem da telha e deixando as peças com estrias e fissuras, além de diminuir a sua resistência mecânica e aumentar substancialmente sua absorção de água, podendo até deixar o material permeável.

Figura 14- Curvas de distribuição granulométricas: A- Amostra GAR; B- PILHA GAR; C- Amostra CARMELITANA; D- COMPOSIÇÃO DE MASSA.





a absorção de água e aumentando a resistência devido ao aumento das superfícies de contato.

Na amostra COMPOSIÇÃO DE MASSA (franco argilo arenosa), fica evidente que a porcentagem do estéril não pode ser superior a 20%, pois este acréscimo pode acarretar problemas no processo de fabricação, como dificuldade na moldagem das telhas, trincas no processo de secagem, aumento de custos na queima (quanto maior a quantidade de areia, maior demanda de energia para queima), além de afetar o acabamento do produto (material não fica liso).

Apesar disso, uma quantidade ponderada de material arenoso pode proporcionar vantagens no processo de fabricação na indústria cerâmica, como o aumento da capilaridade do material, pois os grãos de areia deixam poros que facilitam a saída de água no processo de secagem. Ainda, podem aumentar a trabalhabilidade das máquinas, pois a areia entra como lubrificante, diminuindo a amperagem, ou seja, o esforço das máquinas para moldar os produtos.

### **Análise química**

A Tabela 1 apresenta os percentuais dos óxidos das amostras ensaiadas, obtidas através da fluorescência de raios-x.

Tabela 1 - Elementos principais presentes nas amostras (%)

Óxidos	AMOSTRA GAR	PILHA GAR	CARMELITANA	COMPOSIÇÃO DE MASSA
Perda ao fogo	4,25	4,22	7,93	7,12
SiO <sub>2</sub>	57,03	57,08	55,49	55,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,19	8,15	21,06	18,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,46	15,40	7,50	9,24
TiO <sub>2</sub>	5,73	5,70	1,72	2,60
CaO	0,20	0,22	<0,01	0,20
MgO	3,84	3,82	1,58	2,08
Na <sub>2</sub> O	<0,01	<0,02	<0,01	<0,02
K <sub>2</sub> O	4,41	4,38	4,14	4,20
MnO	0,24	0,22	<0,01	0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,35	0,30	0,14	0,18

As amostras GAR e PILHA GAR apresentam maiores taxas de óxido de silício devido à alta porcentagem de areia, caracterizada pela distribuição granulométrica acima (Figura 13 e 14). Esta porcentagem de areia é prejudicial na queima de produtos cerâmicos, pois pode acarretar em choque térmico que é a transformação do quartzo alfa para o beta na temperatura de +- 573°C.

Na amostra CARMELITANA, o resultado de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi de 21,06%, quantidade típica de silicato de alumínio hidratado (argilominerais ilitas e caulinitas), já nas amostras GAR e PILHA GAR o resultado foi de 8,19% e 8,15%, respectivamente, provavelmente devido à menor presença dos argilominerais e predominância de quartzo.

A quantidade de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é responsável pela coloração avermelhada dos produtos cerâmicos, sendo que argilas que possuem uma taxa menor que 2% tem uma queima de coloração salmão, já as argilas entre 2 a 6 % possuem uma queima com coloração laranja, as amostras de 6 a 10% uma coloração

avermelhada e amostras com índices superiores a 10% possuem uma cor marrom. As amostras GAR e PILHA GAR possuem um índice considerado elevado para a fabricação de produtos cerâmicos, pois o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  confere uma característica fundente ao material, ou seja, alcança sinterização (vitrificação) em baixas temperaturas, logo o acréscimo do estéril. pode auxiliar as indústrias cerâmicas com economia de tempo e queima.

A amostra GAR e PILHA GAR possuem uma quantidade relevante de  $\text{TiO}_2$ , este óxido em conjunto com  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  confere aos materiais cerâmicos uma coloração amarelada; também podem auxiliar na queima dos produtos cerâmicos e em sua resistência, devido ao caráter de suas ligações químicas.

A quantidade de  $\text{MgO}$  nas amostras GAR e PILHA GAR está relacionada a pequenos minerais de granada presentes no resíduo, pois, por se tratar de uma lavra de diamantes, a granada é considerada um mineral guia presente em grandes quantidades na brecha “target” da lavra, sendo encontrada em pequenas quantidades no estéril, que é o material que envolve a brecha.

O resultado de  $\text{K}_2\text{O}$  nas amostras estudadas está relacionado a presença de muscovita nos resíduos (Tabela 3), evidentes no brilho demonstrado pelos materiais coletados.

### **Determinação e caracterização do resíduo**

Na tabela 2, observa-se a distribuição granulométrica do resíduo de cada amostra, com os respectivos valores em porcentagem retidos nas peneiras #100, #150, #200, #325 e fundo, que correspondem aos limites granulométricos de 0,149 mm; 0,100 mm; 0,074 mm e 0,044 mm, respectivamente.

Tabela 2 - % da distribuição granulométrica do resíduo.

<b>Amostra</b>	<b>#100</b>	<b>#150</b>	<b>#200</b>	<b>#325</b>	<b>FUNDO</b>
<b>GAR</b>	48,02	32,24	16,27	1,81	1,00
<b>PILHA GAR</b>	50,01	29,52	17,42	1,57	0,84
<b>CARMELITANA</b>	35,82	29,71	15,36	10,79	1,90
<b>COMPOSIÇÃO DE MASSA</b>	39,65	30,50	15,64	7,98	1,84

Os resultados da fração arenosa dos resíduos das amostras GAR E PILHA são muito altos, portanto, não são indicados para a fabricação dos produtos cerâmicos, devido à baixa plasticidade e o risco de choque térmico durante a queima.

A incorporação deste material no blend da Cerâmica Carmelitana (amostra COMPOSIÇÃO DE MASSA) pode ser interessante, pois o controle dimensional das peças cerâmicas está diretamente relacionado à diminuição da retração característica, alcançada através da adição de materiais arenosos nas massas cerâmicas.

Tabela 3 - Classificação qualitativa do resíduo

<b>Amostra</b>	<b>Mica</b>	<b>Matéria orgânica</b>	<b>Fe magnético</b>	<b>Silica livre</b>	<b>Carbonatos</b>	<b>Óxido de Fe</b>
GAR	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
SILTITO GAR	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
CARMELITANA	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim
COMPOSIÇÃO DE MASSA	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim

### **Ensaio de plasticidade**

Foram realizados para todas as amostras a distribuição da água de amassamento, esfarelamento, limite de plasticidade e índice de liquidez

(Tabela 4). As amostras foram avaliadas de acordo com a NBR 7180: Solo-Determinação do limite de plasticidade.

Na Tabela 4, observam-se os índices de plasticidade de cada amostra, com os respectivos valores de água de esfarelamento e amassamento, tendo como base a Tabela 5 - Classificação das argilas quando ao índice de plasticidade.

Observou-se que as amostras GAR e PILHA GAR apresentam comportamento fraco em relação ao índice de plasticidade. É necessária uma menor quantidade de água para atingir trabalhabilidade. Esta característica pode ocasionar uma diminuição da resistência mecânica e aumento da porosidade aparente, ocasionado pela quantidade da fração areia na composição, conforme observado anteriormente. A vantagem do uso deste material como componente do blend é a diminuição da retração, dificultando o aparecimento de empenos e torções durante a secagem das peças cerâmicas.

Tabela 4 - Valores dos ensaios de plasticidade.

	AMOSTRA GAR	PILHA GAR	CARMELITANA	COMPOSIÇÃO
Água de amassamento %	34,18	35,54	43,76	40,33
Água de esfarelamento %	26,42	23,35	29,58	25,12
Limite de Liquidez %	38,3	35,1	47,55	38,20
Índice de Plasticidade %	11,88	11,75	17,97	13,09
Avaliação	Fraca	Fraca	Excelente	Regular

Tabela 5 - Classificação das argilas quanto ao índice de plasticidade.

<b>TIPO DE ARGILA</b>	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDADE %</b>
Excessivamente plástica	19 a 25
Excelente	17 a 18
Boa	15 a 16
Regular	13 a 14
Fraca	11 a 12
Material de capa	5 a 10

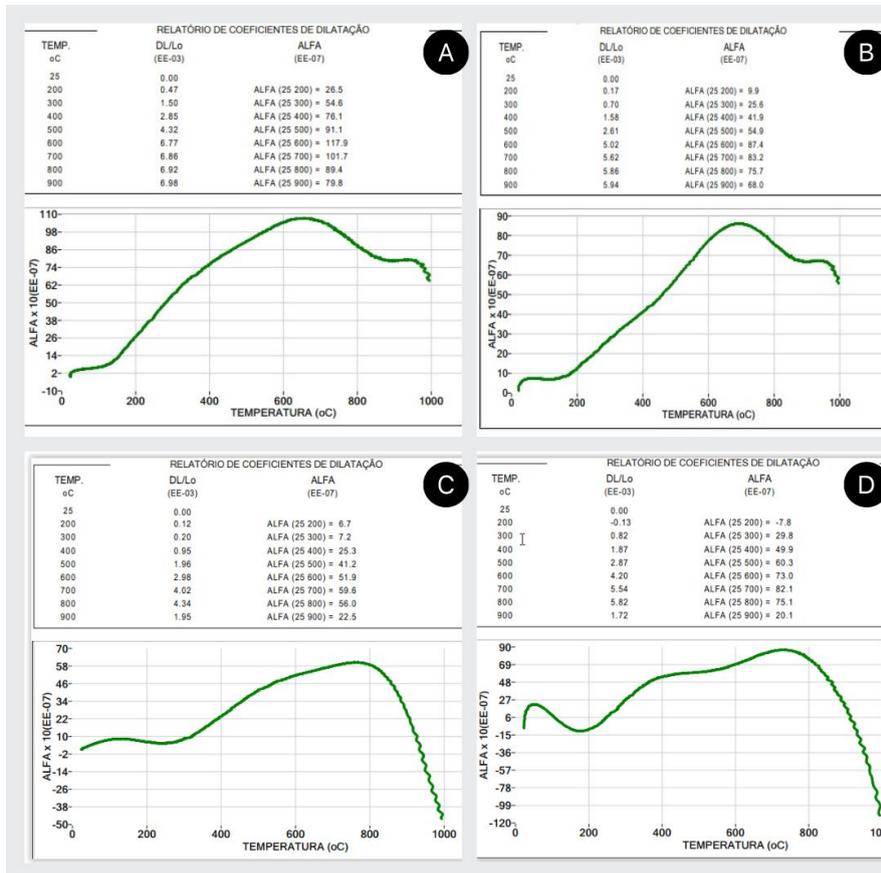
Fonte: NBR 7180/2016 - Determinação do Limite de Plasticidade.

De acordo com Macedo et al. (2008), o intervalo de liquidez viável para utilização na cerâmica vermelha é de 30 a 60%, pois ao ser inserida muita água no processo produtivo, os custos de energia e material de queima seriam mais elevados no processo de secagem. O percentual apresentado pelas amostras do estéril evidencia que é viável a utilização do mesmo como um complemento da mistura, devido aos seus menores valores de limites de liquidez.

### **Análises térmicas**

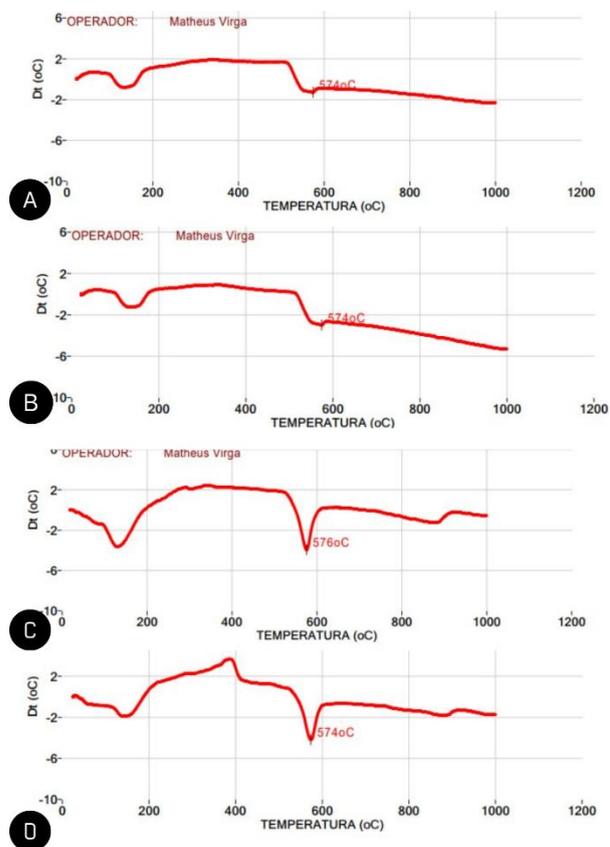
As figuras 16 e 17 apresentam as curvas de análises térmicas diferenciais (ATD) e análises dilatométricas (AD) das amostras analisadas, as quais mostram as transformações que ocorrem com o aumento de temperatura.

Figura 16: Análises Dilatométricas. A- amostra GAR; B- amostra PILHA GAR; C- amostra CARMELITANA.; D- amostra COMPOSIÇÃO DE MASSA.



Nas análises dilatométricas, a amostra GAR é caracterizada por ser fundente, ou seja, o início de sua cristalização ocorreu antes de 1000°C, aproximadamente em 700°C. Já na amostra CARMELITANA, uma retração considerável na faixa de 120°C é observada devido à saída de água da umidade. A sinterização da amostra CARMELITANA é mais intensa devido à maior quantidade de argilominerais, pois sua estrutura cristalográfica facilita a sua cristalização.

Figura 17: Curvas de ATD- A- amostra GAR; B- PILHA GAR; C- amostra CARMELITANA C- amostra COMPOSIÇÃO DE MASSA.



Fonte: O autor,2021.

De forma geral, todas as amostras analisadas apresentam picos endotérmicos entre 120 e 130°C, relacionados à eliminação da água livre presente; picos endotérmicos entre 545 e 585°C associados à desidroxilação dose picos exotérmicos entre 890 e 915°C relacionados à nucleação da mulita.

Foram observados picos mais intensos nas amostras mais argilosas (CARMELITANA e COMPOSIÇÃO DE MASSA), pois ocorre nesta faixa de 573°C a transformação do quartzo alpha em quartzo beta, devido à menor granulometria do quartzo.

## 4.2.2 Ensaios em corpos de prova

### Caracterização a 110°C

Na Tabela 6 são apresentados os resultados referentes aos ensaios de caracterização a 110°C, onde são observadas as medidas de contração linear, umidade, ruptura a flexão e coloração visual das amostras analisadas.

Tabela 6 - Caracterização dos corpos de prova a 110°C

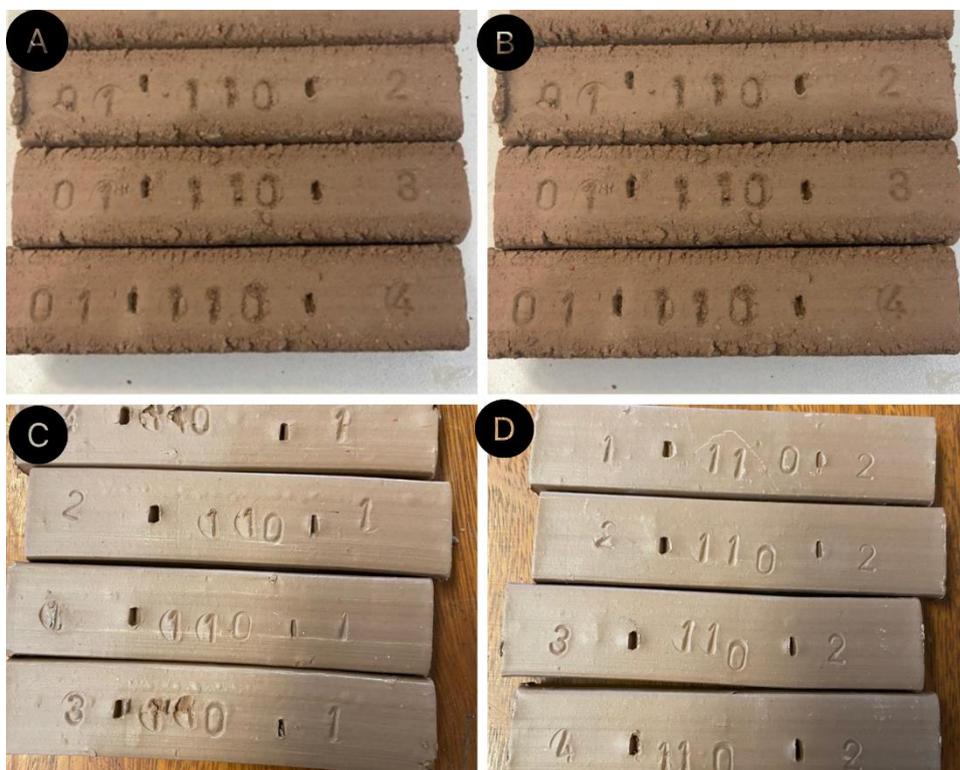
Amostra	Contração Linear %	Umidade %	Ruptura (Kgf/Cm <sup>2</sup> )	Ruptura (MPa)	Cor Natural
AMOSTRA GAR	4,14	26,17	75	7,35	Marrom
PILHA GAR	4,10	25,87	77	7,37	Marrom
CARMELITANA	8,16	33,56	95	9,31	Marrom claro
COMPOSIÇÃO DE MASSA	7,88	32,18	82	8,04	Marrom claro

As amostras GAR e PILHA GAR possuem retração linear de 4,14% e 4,10% respectivamente, já a amostra CARMELITANA apresenta o valor de 8,16% e a amostra COMPOSIÇÃO DE MASSA, 7,88%, isto significa que os materiais que apresentam maiores teores de grãos finos (argila) possuem maior contração devido à maior retenção de água do que o material onde predomina a fração areia. Este comportamento pode interferir no processo de produção, pois as dimensões das telhas cerâmicas não podem variar mais que 2%, de acordo com a NBR 15310/2009, onde as dimensões

As amostras CARMELITANA e COMPOSIÇÃO DE MASSA apresentaram valores de Módulo de Ruptura à Flexão de 9,31 MPa e 8,04 MPa respectivamente. Já os materiais GAR e PILHA GAR, que possuem alto índice de areia, apresentaram valores de 7,35 MPa e 7,37 MPa, respectivamente. A resistência do material cerâmico é de suma importância pois, como o processo de produção é manual, existe o risco de quebra ao ser manuseado, aumentando o volume de rejeitos.

Em relação à cor, as amostras GAR e PILHA GAR apresentam coloração marrom e as demais, coloração marrom claro.

Figura 18: Corpos de prova a 110°C. A- AMOSTRA GAR; B-PILHA GAR; C- AMOSTRA CARMELITANA; D- AMOSTRA COMPOSIÇÃO DE MASSA.



Fonte:O autor,2021.

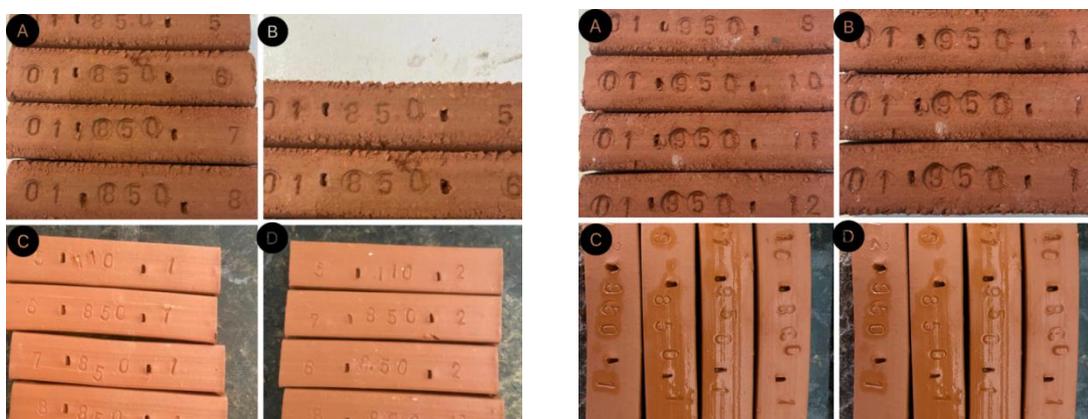
### Ensaio nos corpos de prova queimados a 850°C e 950°C

Na Tabela 7 estão os resultados de retração linear, absorção de água, ruptura à flexão, perda ao fogo e coloração visual das amostras submetidas a queima em forno nas temperaturas 850°C e 950°C.

Tabela 7 - Caracterização dos corpos de prova queimados em 850°C e 950°C.

	GAR		PILHA GAR		CARMELITANA		COMPOSIÇÃO DE MASSA	
	850°C	950°C	850°C	950°C	850°C	950°C	850°C	950°C
Temperaturas (°C)	850°C	950°C	850°C	950°C	850°C	950°C	850°C	950°C
Contração Linear (%)	1,21	2,38	1,36	2,35	3,76	5,54	3,32	4,98
Absorção (%)	18,21	14,1	19,45	13,87	12,77	9,45	12,23	10,18
Ruptura (Kgf/Cm <sup>2</sup> )	67	121	80	118	195	260	186	206
Ruptura (Mpa)	6,83	11,34	8,16	11,04	19,89	26,53	18,97	21,02
Cor Natural	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Laranja	Laranja	Laranja	Laranja
Perda ao Fogo (%)	2,26	3,9	2,2	3,7	6,77	8,24	5,18	8,12

Figura 19: A- AMOSTRA GAR; B-SILTITO GAR; C- AMOSTRA CARMELITANA; D- AMOSTRA COMPOSIÇÃO DE MASSA. a) Corpos de prova queimados a 850°C; b) Corpos de prova queimados a 950°C.



(a)

(b)

A quantidade de matéria orgânica na amostra CARMELITANA é de 6,77% na temperatura de 850°C e 8,24% em 950°C. Este resultado se deve por se tratar de um blend de argilas de diferentes origens, sendo 40% de taguá (rocha sedimentar alterada) e 60% de argila de várzea, com maior conteúdo de matéria orgânica.

Já nas amostras GAR e PILHA GAR, originadas a partir de rochas sedimentares alteradas, observa-se a diminuição da perda ao fogo em 850°C, com 2,26% e 2,20% respectivamente, e em 950°C, com 3,9% e 3,7%, respectivamente.

A absorção de água está diretamente relacionada à quantidade de poros no material; as amostras GAR e PILHA GAR apresentam valores de 18,21% e 19,45% à 850°C, e 14,10% e 13,87% à 950°C, respectivamente. Devido à maior granulometria das primeiras, este material torna-se mais poroso, podendo ocasionar vazamentos nas peças cerâmicas. O oposto ocorre com as amostras CARMELITANA e COMPOSIÇÃO DE MASSA, devido ao melhor empacotamento dos grãos em virtude de sua menor granulometria. Em relação à absorção de água, a mistura se mostrou tão satisfatória quanto o blend original.

Os valores do módulo de ruptura de flexão das amostras têm um aumento significativo na maior temperatura de queima, que está diretamente relacionado à cristalização da amostra, que é mais completa em 950°C. Comparando a amostra GAR, com valores de 6,83 MPa e 11,34 MPa em 850°C e 950°C e a amostra CARMELITANA, com 19,89 MPa e 26,53 MPa, nas mesmas temperaturas, esta diferença é devido à maior quantidade de material na fração areia e a dificuldade de sinterização da amostra GAR. Em relação à esta propriedade, a mistura se mostrou menos eficiente do que o blend original.

De acordo com NBR15310/2005, o limite permitido para produtos cerâmicos seria no mínimo ter em suas propriedades 10,0 MPa nas telhas simples de sobreposição.

Em relação à cor das amostras, as amostras GAR e PILHA GAR apresentam-se com tons avermelhados escuros nas temperaturas de 850°C e 950°C devido a alta quantidade de ferro, já as amostras CARMELITANA e COMPOSIÇÃO DE MASSA se apresentam com coloração alaranjada em ambas as temperaturas (Figura 19).

## 5. CONCLUSÕES

Os valores dos ensaios de caracterização e de comportamento tecnológico das matérias primas mostraram que a incorporação do material das pilhas de estéril (amostras GAR E SILTITO GAR) na composição de massa da Cerâmica Carmelitana apresenta aspectos positivos no produto final em relação à diminuição de contração de queima, absorção de água, aumento na resistência e coloração ideal, com consequente diminuição nas trincas, fator de empeno, produtividade e queima.

Além disto, esta fonte alternativa se mostrou viável tanto em relação à crescente escassez de matéria prima de qualidade, quanto em relação à proximidade da GAR Mineração com as indústrias cerâmicas de Monte Carmelo.

Os resultados dos métodos simulativos (diretos) se mostraram coerentes com os valores dos métodos dedutivos (indiretos), indicando que os ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras e principalmente, que o investimento dos fabricantes na execução de estudos que levam ao conhecimento e comportamento de suas matérias primas é facilmente retornado ao longo da cadeia produtiva.

A possível utilização do material analisado existente nas pilhas de estéreis não vai resolver o problema ambiental da GAR Mineração, pois corresponde a uma pequena porcentagem do volume total armazenado, porém pode servir como incentivo para futuras pesquisas que visem à reutilização dos materiais remanescentes como agregados na construção civil e outros setores.

Finalmente, ressalta-se a importância do investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico aplicados para a recuperação de áreas degradadas pela mineração no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W.A; BALDO, J.B. O potencial de utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico, parte I – caracterização. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 5/6, p. 38-40, 1997.

ALVES, W. A.; BALDO, J. B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico – Parte II. **Cerâmica Industrial**, vol.3 (1-2), pp. 34–36, 1998.

AMARAL, S. P.; DOMINGUES, G. H. Oily wastes application in ceramic materials manufacturing. **Water Science and Technology**, v. 24, n. 12, p. 165-176, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 15310-2009: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 7181: Solo - Análise granulométrica**, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 6459: Solo – Determinação de limite de liquidez**, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 7180: Solo ± Determinação do limite de plasticidade**, Rio de Janeiro, 2016.

ASSUMPÇÃO, R. M. V.; MORITA, T. Manual of Solutions, Reagents and Solvents. **Standardization, Preparation, Purification**. Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1972.

BATEZELLI, A. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. **Basin Research**, v. 29, p. 1-25, 2017.

BRASIL. Presidência da República. Decreto-Lei N° 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-Lei n° 1.985 (Código de Minas) de 29 de janeiro de 1940. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1960-1969/decreto-lei-227-28-fevereiro-1967-376017-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em 20 jul. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Lei N° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em 10 out. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em:

<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8902>. Acesso em 15 dez. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm) Acesso em 20 dez. 2021.

BRASIL. Presidência da República. Decreto Nº 9.406, de 12 de junho de 2018. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm). Acesso em 20 dez. 2021.

CAMPOS, J. E. G; DARDENNE, M.A. Estratigrafia e sedimentação da Bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269-282, 1997.

CESAR, Antônio Carlos Giocondo. **Desenvolvimento de blocos confeccionados com escória proveniente da reciclagem do aço**. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CHAVES, Leonardo Flamarion Marques. **Estudo da adição do resíduo proveniente da extração de minério de ferro em argilas do Rio Grande do Norte**. 2009. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

CHAVES M.L.S.C.; CHAMBEL L. **Diamante: a pedra, a gema, a lenda**. São Paulo: Oficina de Textos, 231 p, 2003.

CHAVES, M. L. S.; DIAS, C. H. **Projeto Triângulo Mineiro - Folha Estrela do Sul - SE.23-Y-A-IV. Escala 1:100.000**.

CHAVES, MLS C.; SVISERO, D. P. Características geológicas e origem dos conglomerados diamantíferos das regiões de Diamantina (Mesoproterozóico) e de Romaria (Cretáceo Superior), Minas Gerais. **Boletim IG-USP. Série Científica**, v. 24, p. 49-57, 1993.

COELHO, Fernando Mattos. **Aspectos geológicos e mineralógicos da Mina de diamantes de Romaria, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Mineralogia Experimental e Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2021. **Glossário Geológico Dinâmico Ilustrado**. Disponível em <http://sigep.cprm.gov.br/glossario>. Acesso em: 20 ago. 2021

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2021. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais**. Disponível em

<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5016?show=full>, 2014. Acessado em: 05 ago. 2021.

DAMASCENO, E. C; DAMASCENO, P.F.T; DAMASCENO, A. H. T. **A mineração no Século XX**. Brasil Mineral, n 245, 34 -64 p., novembro, 2005.

DNPM – (Departamento Nacional de Produção Mineral). **Relatório Anual de Lavra GAR Mineração, Importação e Exportação Ltda**, 2019.

DOMINGUEZ, Eduardo A.; ULLMAN, Rosa. ‘Ecological bricks’ made with clays and steel dust pollutants. **Applied Clay Science**, v. 11, n. 2-4, p. 237-249, 1996.

DONDI, M. Caracterização Tecnológica dos Materiais Argilosos: Métodos Experimentais e Interpretação dos Dados. **Revista Cerâmica Industrial**, v.11 nº3, maio/junho, pág. 36-40, 2006

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1982) Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. EMBRAPA, Rio de Janeiro, Boletim de Pesquisa nº 1, 526 p.

GIBSON, S. A. et al. Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 126, n. 3, p. 303-314, 1997.

GOES, M. A. C.; LUZ, A. B. e POSSA, M. V. Amostragem. In: Luz, A. B., Sampaio, J. A. e Almeida, S. L. M. (Ed.). **Tratamento de minérios**. 4a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.19-54, 2004.

GRIM R. E. Applied Clay Mineralogy. New York: McGraw Hill Book. 1962.

HASUI, Y.; HARALYI, N. L. E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. **Geociências**, v. 10, n. 1, p. 57-77, 1991.

HESS, N. J.; WEBER, W. J.; CONRADSON, S. D. X-ray absorption fine structure of aged, Pu-doped glass and ceramic waste forms. **Journal of Nuclear Materials**, v. 254, n. 2-3, p. 175-184, 1998.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração – Disponível em: <[https://ibram.org.br/wpcontent/uploads/2021/02/PDF\\_DADOS\\_1oTRI\\_M20\\_16ABR20\\_FINAL-1.pdf](https://ibram.org.br/wpcontent/uploads/2021/02/PDF_DADOS_1oTRI_M20_16ABR20_FINAL-1.pdf)>. Acessado em 02 de fevereiro de 2022.

LIMA, R.C.O.et al. Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 3, p. 163-169, 2011.

LINS, F. A. de F. Histórico da Mineração nos países Latinoamericanos. In: Lins, F. A. **Brasil 500 anos – a construção do Brasil e da América Latina: histórico, atualidade e perspectivas**. Rio de Janeiro: CETEM, 2000. p 25 - 44.

LOBATO, L.M.; DA COSTA, M.A. Recursos Minerais no cenário geológico de Minas Gerais. **Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto**, p. 1750-1808, 2018.

MACEDO, R.S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, n. 332, p. 411-417, 2008.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos Ambientais da Mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**, 24 (68): 209-220, 2010.

MENEZES, R. R.; NEVES, H. S.; FERREIRA, G de A. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MONFORT, E.; ENRIQUE, J. E. Economia energética e vantagens meioambientais da reutilização de resíduos. **Cerâmica Industrial**, v. 1, n. 04/05, p. 14-20, 1996.

NEVES, G.A. **Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica**, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Universidade Estadual de Campina Grande, (2002), 242p.

PINHO, J. M. M. et al. **Geologia e Recursos Minerais das Folhas Cabeceira Grande, Unaí, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo, Patos de Minas**. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2017.

PRACIDELLI, S. **Matérias primas da escola SENAI Mario Amato**. São Paulo: 1992.

PRADO, C. M. de O. Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no Estado de Sergipe. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Sergipe, 2011.

RÊGO, Vilson Ribamar. **Estudo do efeito da adição da escória de aciaria no processamento e propriedades finais de telhas cerâmicas**. 2010. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V. F.; GOMES, C. B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southeastern Brazilian Platform. **Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform**, v. 123, p. 31-56, 2005.

ROVERI, Carolina Del. **Petrologia aplicada da Formação Corumbataí (região de Rio Claro - SP) e produtos cerâmicos**. 2010. 200 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2010.

RYAN, W. e RADFORD, C. **Whitewares: Production, testing and quality control**. Pergarnon Press. Grã – Bretanha, 1987 - S.A., 1960. 600p.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Oficina de textos, 2020.

SEDORKO, Daniel et al. Trace fossils from the Upper Cretaceous Capacete Formation, Sanfranciscana Basin, Central Brazil. In: **Annales Societatis Geologorum Poloniae**. 2020.

SILVA, Jaquelígia Brito da. **Avaliação da potencialidade dos resíduos de gesso de revestimento incorporados em formulações de massas cerâmicas**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SOARES, Roberto Arruda Lima. **Efeito da adição de carbonatos em formulação de massa para revestimento cerâmico utilizando matérias-primas do Piauí**. 2010. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SOUZA, Charles Cosme de.; **Efeito da incorporação de resíduo de minério de ferro nas propriedades e na microestrutura de cerâmica argilosa do município de Campos dos Goytacazes**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais)–Campus dos Goytacazes–RJ-Universidade Estadual Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2007.

SOUZA SANTOS, P., **Ciência e Tecnologia de Argilas**, v.1 - 1ª edição, Editora Edgar Blücher, São Paulo, Brasil, (1975).

SUGUIO, K.; SVISERO, D. P.; FELITTI FILHO, W. Conglomerados polimíticos diamantíferos de idade cretácica de Romaria (MG): um exemplo de sedimentação de leques aluviais. **Simpósio Regional de Geologia**, v. 2, p. 217-229, 1979.

UNDP - United Nations Development Programme. Disponível em [https://www.undp.org/?utm\\_source=EN&utm\\_medium=GSR&utm\\_content=US\\_UNDP\\_PaidSearch\\_Brand\\_English&utm\\_campaign=CENTRAL&c\\_src=CENTRAL&c\\_src2=GSR&gclid=Cj0KCQiA3-yQBhD3ARIsAHuHT64Fe5cyfqcLmApqdCPiVvdqR0-wM5l\\_6xXVVrZsmfTCUzRMu3vrM84aAnxDEALw\\_wcB](https://www.undp.org/?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&gclid=Cj0KCQiA3-yQBhD3ARIsAHuHT64Fe5cyfqcLmApqdCPiVvdqR0-wM5l_6xXVVrZsmfTCUzRMu3vrM84aAnxDEALw_wcB). Acesso em 20 jan. 2022.

VIEIRA, Ana Carolina Batista. **Geologia, química mineral e possíveis implicações genéticas do depósito diamantífero de Romaria - MG**. 2020. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geologia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

VIEIRA, C. M. F. et al. Cerâmica vermelha incorporada com lama fina de aciaria. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 12, p. 269-275, 2007.

VIEIRA, M. T. et al. Optimization of the sintering process of raw material wastes. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 92, p. 97-101, 1999.