



ESTUDO PARA A INCORPORAÇÃO DE REJEITO FINO DE CARVÃO MINERAL NA MASSA DA CERÂMICA VERMELHA

Wagner Benedet Rebelo¹

André Luiz A. Smaniotto²

Resumo: Diante dos problemas que envolvem a geração e o manejo dos rejeitos provenientes do processo de beneficiamento do carvão, tanto nos aspectos ambientais quanto econômicos, estudou-se maneiras de encontrar usos a este material que é atualmente descartado pelas empresas carboníferas. Neste sentido, optou-se por averiguar o seu comportamento junto a massa da cerâmica vermelha. Para isso, foram desenvolvidas sete formulações em laboratório, adicionando diferentes percentuais de rejeito junto a massa da cerâmica vermelha, com a confecção de 21 corpos-de-prova para cada formulação, queimando-os sob três faixas de temperatura, a 750°C, 800°C e 850°C. Além das formulações, preparou-se peças sem qualquer adição de rejeito, preservando a massa original utilizada na indústria, com o objetivo de comparar os resultados das formulações com a massa padrão. A fim de compreender o comportamento entre ambos os materiais e os fenômenos que neles podem ocorrer, foram realizadas análises químicas, sob ensaio de FRX e mineralógicas, sob ensaio de DRX. Para a validação do estudo e a possível aplicação de rejeito, foram realizados ensaios cerâmicos padrões, tais como a retração de queima, absorção de água e resistência mecânica. Como se trata de rejeito de carvão, foram realizados ensaios ambientais de corrosividade, reatividade, lixiviação e solubilização. Os resultados dos ensaios em laboratório mostraram que é possível a utilização de rejeito fino de carvão em massa cerâmica vermelha em alguns percentuais, sendo a formulação com 2,5% de rejeito, a que apresentou o melhor desempenho, inclusive superior ao da amostra padrão. No quesito ambiental, tanto a amostra padrão quanto a melhor formulação foram classificadas como resíduo não perigoso, classe II-A (não inerte).

Palavras-chave: Rejeito fino do carvão. Massa cerâmica. Formulações. Ensaios.

1 INTRODUÇÃO

O município de Criciúma, situado no sul de Santa Catarina é o centro do cenário carbonífero da região, conhecido desta maneira como a “capital do carvão”, em virtude da sua economia ter sido alavancada pela atividade de exploração deste recurso mineral. Da mesma forma, a alcunha da vizinha Morro da Fumaça também

¹ Graduando em Engenharia de Minas. E-mail: wagnerbenedet@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: andre.smaniotto@satc.edu.br



remete aos aspectos econômicos, nominada como a “capital do tijolo”. Ambas as denominações evidenciam o quanto forte e representativo são estes setores, tanto nos aspectos culturais e sociais, quanto econômicos, tornando estes segmentos os principais responsáveis pela prosperidade regional e geração de riqueza.

Apesar de tamanho crescimento econômico proporcionado pelos setores, aspectos negativos marcaram a atividade de exploração do carvão, especialmente ao tema que concerne ao quesito ambiental. Diante desta dicotomia, este estudo pretende reunir as dificuldades enfrentadas pelo setor carbonífero, relacionado a deposição de resíduos do beneficiamento mineral, a qual resulta em impactos ambientais e alto custo com o seu manejo, em conjunto com as necessidades da cerâmica vermelha, que é aprimorar ainda mais a qualidade dos seus artefatos cerâmicos (melhoria contínua).

Visando minimizar a problemática relacionada aos resíduos, tanto sob os aspectos econômicos quanto ambientais, buscou-se encontrar formas de usos para este tipo de material, que atualmente é descartado pelas empresas carboníferas. Portanto, este estudo avaliou a utilização de resíduo fino de carvão mineral junto a composição da massa da cerâmica vermelha, através de diversos procedimentos experimentais investigados a nível laboratorial, com enfoque na certificação da qualidade técnica e ambiental da nova composição.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Até o final da década de 1990, o tema meio ambiente e todas as obrigações intrínsecas eram consideradas pelos setores produtivos como inoportuno, burocrático ou ainda, oneroso. Atualmente a adoção de práticas ambientalmente sustentáveis no âmbito empresarial vêm ganhando notoriedade, muito em virtude das aplicações das leis ambientais, pela importância e atenção midiática, pela consciência coletiva, do fomento às pesquisas científicas promovidas por instituições de ensino ou órgãos governamentais e, sobretudo, pelos retornos financeiros que as boas práticas ambientais podem proporcionar às instituições, seja pela imagem ou valendo-se dos avanços tecnológicos.

As atividades produtivas desenvolvidas pelos setores primário ou secundário, em tese, geram inúmeros impactos ambientais das mais variadas

magnitudes, que podem alterar a qualidade do solo, água, ar, a fauna ou a flora. De modo geral, as principais causas para a degradação ambiental, proveniente das atividades extractivas ou de transformação, estão associadas à geração de resíduos e o sucessivo descarte em áreas não apropriadas. Tais impactos e os reflexos ao meio ambiente podem ser minimizados mediante ao seu manejo adequado, tal como a deposição em depósitos ou aterros industriais devidamente projetados (SILVA, 2007).

A simples disposição de resíduos tem se tornando um grande desafio para as empresas. Além de todos os cuidados técnicos envolvidos, é pautada como um custo adicional ao projeto executivo, sem retornos financeiros. Contudo, com as pesquisas científicas e os avanços tecnológicos dos meios de produção, os desafios atuais não estão apenas limitados ao descarte de maneira correta, mas sim, na busca para reaproveitá-los, de modo que possam ser agregados valores e torná-los subproduto em outros segmentos industriais, minimizando ainda mais a ação negativa dos impactos ambientais e, principalmente, por serem alternativas para a geração de receita (GOMES, 2017).

2.1 SETOR CARBONÍFERO

Basicamente nos setores extractivos podem ser gerados dois tipos de resíduos sólidos, os denominados estéreis de cobertura e os rejeitos de processos. Os estéreis, caso o método de lavra seja executado à céu aberto, são originados a partir das etapas de decapamento, quando há necessidade de remover as camadas superficiais que não possuem valor econômico. Já os rejeitos são resultantes dos processos de beneficiamento mineral, em que há a separação do minério de interesse das partículas que não apresentam, aparentemente, valor econômico agregado (DA SILVA; VIANA; CAVALCANTE, 2012; GOMES, 2017).

A extração de carvão brasileiro está restrita aos estados sul do país, concentrando suas atividades principalmente no Rio Grande do Sul. Santa Catarina também possui forte destaque produtivo e importância econômica e o estado do Paraná dispõe de apenas uma unidade produtiva. Ainda, o carvão nacional é considerado de qualidade inferior quando comparados aos países estrangeiros como a Polónia, China, Estados Unidos, entre outros, devido à presença de elevados teores de cinzas e enxofre (SOARES; DOS SANTOS; POSSA, 2008).

Neste contexto, o carvão bruto obtido diretamente da mina, denominado ROM (*run-of-mine*), após submetido ao processo de tratamento mineral apresenta teor médio de 60% de cinzas, distribuído na forma de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxidos cromóforos (Fe_2O_3 e TiO_2), óxidos alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), alcalinos terrosos ($\text{CaO}+\text{MgO}$), além de metais pesados e elementos voláteis como carbono, enxofre, água e etc. Dentre todos os elementos químicos presentes na cadeia dos rejeitos, o agrupamento Fe+S é o que requer maior atenção dado que apresentam nódulos de pirita (FeS_2), minerais estes, que têm potencial para causarem severos distúrbios ambientais (SMANIOTTO, 2017; CASAGRANDE, 2017).

2.1.1 Beneficiamento mineral e rejeito

O processo de beneficiamento do carvão consiste no conjunto de técnicas e operações complexas, dotados de diversos equipamentos capazes de promover a recuperação do mineral de interesse. Em síntese, visa reduzir a granulometria das partículas através dos processos de cominuição para atingir o grau de liberação adequada, submetendo-as na sequência, a estágios de concentração cujo objetivo final é separar os materiais de interesse e remover os minerais de ganga (rejeito). Comumente o processo de concentração mineral é operado via úmida o que ocasiona ao final do beneficiamento, a necessidade de remover as partículas sólidas do líquido, em ambos os casos, seja para os minerais de interesse, seja para os rejeitos (DA LUZ; FRANÇA e BRAGA, 2018).

No beneficiamento do carvão são gerados dois tipos de rejeitos classificados quanto a sua granulometria e densidade. O primeiro corresponde preferencialmente aos rejeitos com características granulométricas grossas e densidade elevadas, predominando a pirita, além de outros minerais sulfetados e metais pesados. O segundo rejeito contém argilominerais, frações de carvão e outras impurezas de densidades intermediárias, apresentando partículas finas e ultrafinas (CAMPOS et al., 2010; HUMMES, 2007) e correspondem, em média, 5% de todo o minério bruto.

As partículas grossas e densas, assim que removida do circuito de beneficiamento (Figura 01-A), têm como destino direto os depósitos de rejeitos. Os rejeitos finos e ultrafinos passam por outra etapa antes de serem acomodados nos



depósitos. Assim, devido a menor granulometria e densidade, aspectos reológicos da polpa, entre outros fatores, ocorre a necessidade de submetê-los a processos gravíticos estáticos, conduzindo a polpa para bacias ou barragens de rejeitos (Figura 01-B), para proceder o acúmulo dos sedimentos no fundo dos reservatórios. Os sedimentos, por sua vez, são removidos mediante a uso de *dragline*, carregados em caminhões e enviados ao depósito (HUMMES, 2007).

Devido aos problemas relacionados aos rompimento de barragens ocorrido principalmente em Mariana/MG no ano de 2015 e Brumadinho/MG no ano de 2019, o poder legislativo brasileiro aprovou alteração da Lei 12.334/2010 que estabelece políticas nacionais à segurança de barragens, para a Lei 14.066/2020, tornando-a mais restritiva e punitiva. Com a rigorosidade das legislações e as fiscalizações, o elevado custo para o manejo das bacias, além do inevitável passivo ambiental, algumas empresas carboníferas da região de Criciúma estão abandonando a prática de uso de bacias de rejeitos e optando pela separação de resíduos finos valendo-se do uso de espessadores de fluxo vertical, para remoção do maior volume de água possível e filtros pressas, para secagem do rejeito (SMANIOTTO, 2017).

Muito embora o rejeito fino e ultrafino de carvão possa não apresentar aparente interesse econômico, estudos de caracterização apontam que há certas substâncias contidas que podem ser aproveitados quando submetido a novos processos industriais. Ainda pode ser utilizado diretamente em determinados segmentos (cerâmico) por apresentar características e propriedades físico-mecânica devido à presença de argilominerais (CASAGRANDE, 2017).

2.1.2 Meio ambiente

Os impactos ambientais e os devidos cuidados para a sua minimização envolvem todo o ciclo produtivo do carvão, partindo das etapas de planejamento e, principalmente, no cumprimento de medidas ambientais nas fases de instalação, operação e fechamento da mina. Os efeitos negativos principais estão associados aos rejeitos constituídos por minerais de piritas que geram drenagem ácida de mina (DAM) que altera a qualidade da água; tornando-a imprópria ao uso, degrada o solo; tornando-o improdutivo e ainda, prejudica a fauna e a flora (VIGÂNICO, 2009).

A pirita oxida na presença de oxigênio e água gerando efluente com baixo



pH, altas concentrações de ferro (nas formas de Fe^{2+} e Fe^{3+}), sulfatos (SO_4^{2-}) e outros metais pesados presentes na matéria mineral, como alumínio, manganês, zinco, entre outros, dissolvidos pela presença da alta acidez (VIGÂNICO, 2009).

2.1 SETOR DA CERÂMICA VERMELHA

A cerâmica vermelha é o segmento industrial que produz tijolos do tipo: vazado, maciço e aparente, além de telhas e pisos rústicos. A matéria-prima base para a produção destes artefatos são os argilominerais, que são silicatos a base de Al, Fe, Mg, Ca e Na hidratados, com estruturas cristalinas acomodadas em camadas (filossilicatos). A presença de água nos interstícios dos grãos confere plasticidade, necessária para o modelamento das peças cerâmicas (ZACCARON, 2018).

Considerando os quesitos ambientais, este segmento a base de alvenaria se comparados com os produtos à base de concreto, causam menores impactos ambientais levando em consideração toda a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do produto, desde a extração da matéria-prima, a extensão da vida útil, até o descarte final. O relatório solicitado pela Associação Nacional de Cerâmica Vermelha (ANICER) aponta que os artefatos cerâmicos se destacam por ser considerado como: baixo impactos nas mudanças climáticas de modo a emitir menor volume de CO_2 -eq., causam menor esgotamento dos recursos não renováveis e consomem menores volumes de água (SEBRAE, 2015).

2.2.1 Extração mineral

As argilas para a confecção das peças cerâmicas são obtidas de jazidas situadas muito próximas ao núcleo cerâmico de Morro da Fumaça. Basicamente ocorrem em dois ambientes distintos, as denominadas argilas de encosta e as argilas de várzea, cada qual com suas propriedades. O desenvolvimento dos trabalhos de exploração não é nada complexo, sendo desenvolvido à céu aberto, por bancada, mediante ao uso de equipamentos convencionais em que o desmonte e o carregamento são realizados de modo simultâneo, utilizando-se escavadeira hidráulica e, quanto ao transporte para as empresas, por caminhões basculantes. Ainda, esta operação não exige etapas de beneficiamento e não gera rejeitos, o que

torna menos agressiva ao meio ambiente (REBELO e ZACCARON, 2020).

2.2.2 Etapas produtivas

A operação produtiva do setor cerâmico essencialmente é simples e divide-se em três etapas; a preparação da massa, a conformação e o tratamento térmico. Após a obtenção das argilas, elas são submetidas ao processo de sazonamento por período médio de seis meses, para decomposição de eventuais matérias orgânicas e lavagens de sais solúveis. Para que haja melhor empacotamento dos grãos que compõe as matérias-primas e visando qualidade da massa, normalmente há blendagem de tipos de argilas com características físico-química diversificadas, encaminhando-as, na sequência, para misturadores, homogeneizadores e laminadores. A seguir, a composição argilosa preparada é transferida ao processo de conformação ou modelamento, provocando a densificação da massa e a extrusão, seguida pelo corte das peças. Por fim, o tratamento térmico envolve detalhes técnicos e requerem maiores cuidados para obter qualidade da peça cerâmica. Neste aspecto, os produtos são enviados para as câmaras de secagem e, sucessivamente para a queima, finalizando o ciclo produtivo (DA SILVA, 2013; ZACCARON, 2018).

2.2.3 Propriedades das argilas

Aspectos importantes para assegurar a qualidade dos produtos cerâmicos são criteriosamente avaliados. Além dos quesitos tecnológicos disponíveis para a produção, o conhecimento completo das argilas, tal como o comportamento das propriedades físico-química e mecânicas, é de relevância substancial.

Segundo Geremias (2003), os argilominerais da região de Morro da Fumaça basicamente são classificados como minerais do grupo da ilita ou caulinita. A caulinita é formada por tetraedro de sílica associados a octaedros de alumina $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ e, em alguns casos, sugerem-se evidências de substituição do alumínio por ferro ou titânio. A ilita constitui estrutura cristalina complexa, similar as da mica, apresentando além da sílica e alumínio, elementos como potássio (principalmente), magnésio, ferro, titânio, entre outros.

A principal característica da caulinita é apresentar elevada refratariedade



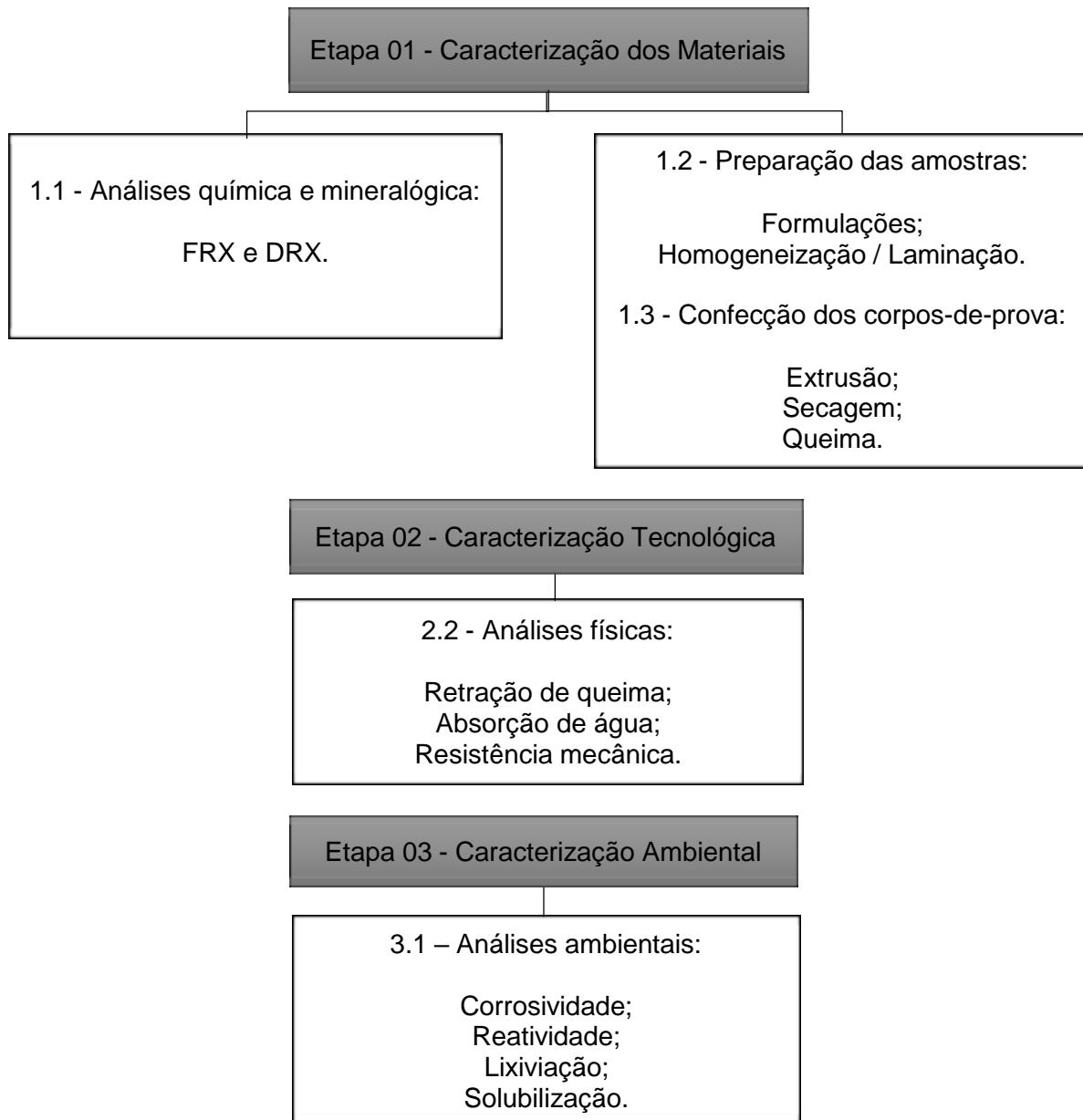
devido à presença marcante de Sílica (SiO_3) e Alumina (Al_2O_3). Isso implica em maior absorção de água, devido a maior porosidade dos materiais, além de adquirirem baixa resistência mecânica do produto, em virtude de não ocorrer uma completa sinterização, principalmente na produção de tijolos e telhas que utilizam baixas temperaturas de queima, na casa dos 900 °C. Já as argilas ilíticas possuem elementos com características fundentes, tal como o K_2O , responsáveis pelo baixo ponto de fusão, o que resulta em menor absorção de água e maior resistência mecânica, haja vista que este argilomineral possibilita maior formação de fase líquida no processo de sinterização (GEREMIAS, 2003; ZACCARON, 2018).

Dentre as mais variadas características, é de suma importância estudar a melhor blindagem (mistura), através da correta dosagem das argilas com base em seus comportamentos, visando a fabricação adequadas das peças, associadas ao atendimento das normas que validam a qualidade do produto (GEREMIAS, 2003; ZACCARON, 2018).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A abordagem experimental adotada para analisar o comportamento dos rejeitos junto a massa da cerâmica vermelha ficou limitada aos ensaios laboratoriais, entretanto, foram realizados diversos experimentos visando prestar maior credibilidade ao estudo. O Quadro 1 apresenta as atividades desenvolvidas, que correspondem a caracterização das matérias-primas, o preparo e desenvolvimento das composições (formulações), além dos ensaios.

Quadro 1: Fluxograma geral das atividades desenvolvidas.



Fonte: Do autor (2021).

A primeira ação foi a caracterização das amostras, por meio de coleta de dados analíticos para subsidiar a investigação de ensaios posteriores. Nas etapas seguintes as amostras foram preparadas, formuladas e confeccionados corpos-de-prova. Por fim, realizou-se análises comprobatórios mediante as caracterizações tecnológicas das peças, através de ensaios de retração de queima, absorção de água e resistência mecânica, assim como o estudo da qualidade ambiental da peças, por meio de ensaio que verificaram a sua periculosidade.

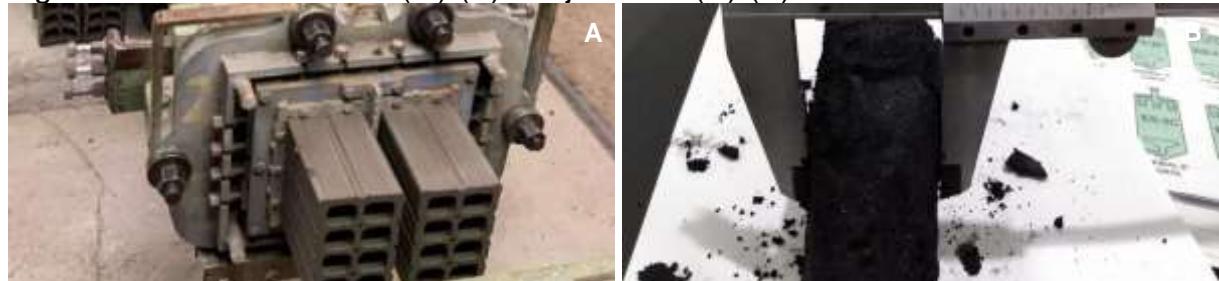
As amostras utilizadas para a investigações e realização dos estudos foram

coletados diretamente das plantas produtivas das empresas, já com características homogêneas.

A massa cerâmica (M) foi obtida em indústria que pertence ao polo produtivo de Morro da Fumaça/SC, após o processo de extrusão (Figura 1-A), a quantidade aproximada de 40 kg. A característica da massa é constituída por blende de 95% de diferentes tipos de argilas (várzea e encosta), completando com 5% de cinzas de casca de arroz, evidenciando que a empresa já utiliza resíduos em sua composição.

O resíduo fino do carvão (R) foi obtido a quantidade de 25 kg em uma empresa carbonífera estabelecida em Içara/SC, após o processamento em filtros prensa (Figura 1-B), estágio último da etapa de tratamento de resíduos finos.

Figuras 1: Massa cerâmica (M)-(A) e rejeito fino (R)-(B).



Fonte: Do autor (2022).

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para realizar a caracterizações dos materiais, foi coletado 1 kg de ambas as amostras, pela técnica de quarteamento, e envio ao laboratório do centro tecnológico da UNISATC para serem feitas as análises químicas e mineralógicas. A técnica utilizada foi a de Espectrometria de Fluorescência de Raio X (FRX), em equipamento (modelo EDX 7000, marca Shimatzu) para verificação dos óxidos e Difratometria de Raio X (DRX), em equipamento (LabX XRD-6100, marca Shimatzu) para determinação da composição mineralógica.

Houve ainda investigação dos voláteis através das análises de combustíveis, obtendo-se teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio e enxofre total, assim como ensaios do carbono fixo, teor de cinzas, perda ao fogo, poder calorífico e umidade de higroscopia.

Em paralelo, no laboratório da empresa NATREB, os materiais foram

preparados por meio de técnicas de beneficiamento para a continuidade das pesquisas, especialmente para as análises físicas. Como produto, foram desenvolvidas sete formulações (F) com diferentes alíquotas de rejeito introduzidas junto a massa cerâmica vermelha, com os respectivos valores indicados na Tabela 1. Ademais, para efeito comparativo entre as formulações, foi separado uma amostra sem qualquer adição de rejeito, classificada como amostra (A0).

Tabela 1: Formulações e o percentual de rejeito (%R) introduzido junto a massa cerâmica (%M).

Massa Padrão	Materiais	Formulações (massa padrão + rejeito fino)						
		F2,5	F5	F10	F15	F20	F30	F40
A0	F	100	97,5	95	90	85	80	70
	% M	0	2,5	5	10	15	20	40

Fonte: Do autor (2022).

A fim de preservar a umidade de cada material e simular as condições originais em um processo fabril, as formulações foram desenvolvidas a base úmida. Portanto, antes de realizar as sete formulações, foi necessário submeter os materiais ao processo de desidratação para determinar o teor de umidade de cada amostra, e assim computá-lo da massa total a ser formulada.

Desta forma, retirou-se alíquota de 100 g dos dois materiais, levando-os ao processo de secagem em estufa (DeLeo n° 2211, 60 °C ±10 °C) por período de 24h. As amostras já secas foram pesadas em balança (Marte, AC 10K, precisão de 0,1 g) e, através da Equação 1, determinou-se a umidade de trabalho de cada material.

Determinação da umidade de trabalho, utiliza-se a Eq. (1):

$$U = \frac{(m_u - m_s)}{m_u} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

U = umidade (%)

m_u = massa úmida (g)

m_s = massa seca (g)

Obtendo-se o valor de umidade, foi possível determinar a necessidade de massa úmida para as sete formulações. Assim, os materiais foram novamente

pesados e adicionado as devidas alíquotas de rejeito junto a massa da cerâmica, para cada formulação pré-estabelecida.

Na sequência deu-se início aos processos de beneficiamento das formulações já preparadas, através das técnicas de cominuição e destorroamento, que visa melhor liberação dos grãos e consequente homogeneidade. O processo consistiu na passagem por dez vezes em laminador (escala laboratorial - NATREB), (Figura 2).

Finalizando este ciclo, as amostras foram ensacadas e deixadas em repouso por 24 horas para a liberação e estabilidade natural da umidade.

Figura 2: Processo de laminação das formulações (A). Formulação preparada (B).



Fonte: Do autor (2022).

3.2 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As formulações já preparadas foram enviadas ao LaMaCC – Laboratório de Materiais Cerâmicos, para serem feitos os corpos-de-prova pelo processo de extrusão sem vácuo, (prensa Boneau 60 ton, por êmbolo). Confeccionou-se 21 corpos-de-prova cilíndricos ($\varnothing 27 \times 40$ mm) para cada formulação, perfazendo total de 168 peças.

As peças foram enumeradas e coletados os dados na condição *in natura*, relativos a dimensão e a massa, e as informações foram inseridas em planilha. Para a dimensão, estabeleceu-se padrão de comprimento com 30 mm, marcados em paquímetro digital (Digmess digital com precisão de 0,01 mm). Os valores relativos a massa foram obtidos em balança (Marte AD 5002 pesagem Máxima 5000 g e precisão 0,01 g).

Posteriormente as peças foram submetidas ao tratamento térmico,

iniciando pela secagem lenta, para evitar choque térmico e tricas, em estufa (DeLeo n° 2211, 60°C ±10°C) por período de 24 horas. As peças também foram medidas e pesadas, obtendo-se valores de retração de secagem e o percentual de umidade.

Completando o ciclo de análises térmicas, os corpos-de-prova foram queimados em forno mufla (escala laboratorial - LaMaCC, com controlador Novus n.1100), sob três faixas de temperaturas, (750°C, 800°C e 850°C), por tempo diferenciado, com gradiente térmico de 5°C/min, e tempo de patamar de queima com 2 horas.

As peças foram novamente pesadas para verificar a perda ao fogo, ou seja, a fuga de gases dos compostos, e medidas o seu comprimento condição seca, para posteriormente calcular a retração de queima. Este último parâmetro é importante para a validação tecnológica, conforme a Equação 2.

Determinação da retração de queima, utiliza-se a Eq. (2):

$$RQ = \frac{(L_i - L_f)}{L_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

RQ = retração de queima (%)

L_i = comprimento inicial das peças secas (mm)

L_f = comprimento final das peças pós queima (mm)

Na sequência os corpos-de-prova queimados foram submetidos ao ensaio de absorção de água, que consistiu em manter as peças em banho de imersão na água em temperatura ambiente, por período de 24 horas, seguindo a norma técnica 15270 -2/2017 (ABNT, 2017). Ao final deste processo as amostras foram pesadas e obtidos valores da massa úmida. Já os valores de absorção foram calculados através da Equação 3.

Determinação da absorção de água, utiliza-se a Eq. (3):

$$AA = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

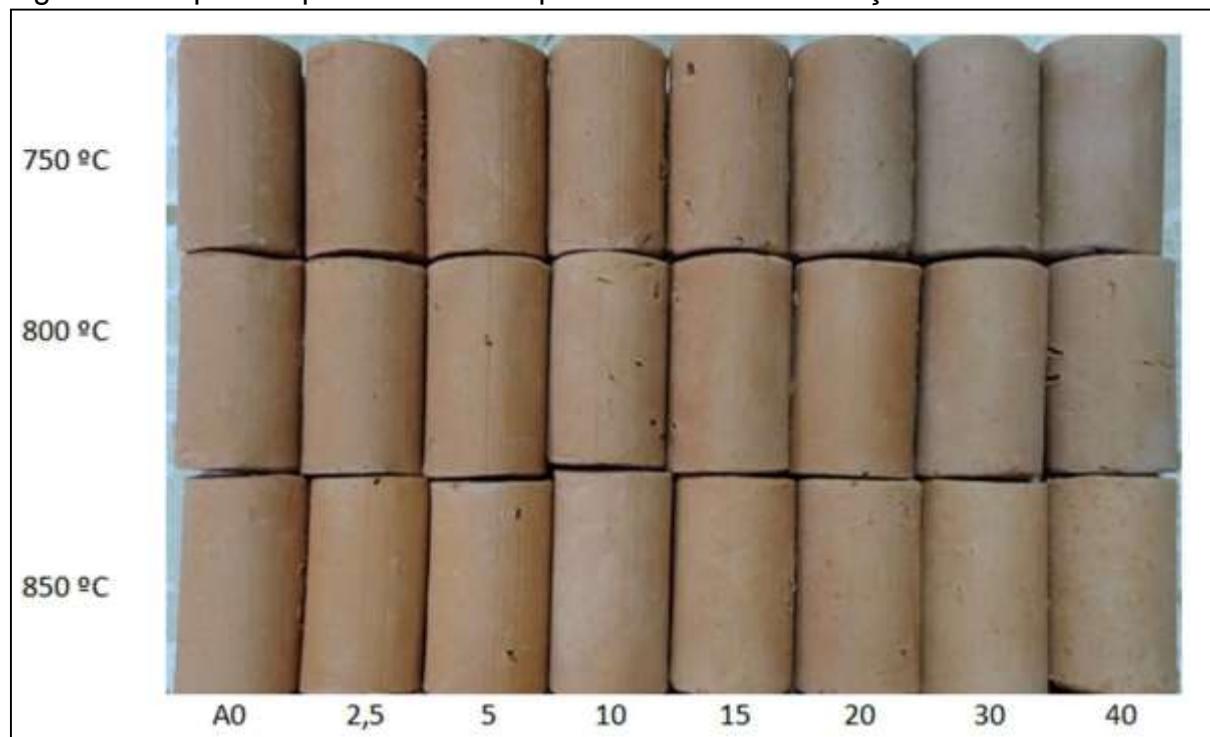
AA = absorção de água (%)

m_u = massa úmida (g)

m_s = massa seca (g)

A Figura 3 mostra os corpos-de-prova das 7 formulações desenvolvidas com diferentes percentuais de rejeito mais a massa padrão (A0), queimados em 3 faixas de temperatura, após os testes de absorção de água.

Figura 3: Corpos-de-prova da massa padrão e das 7 formulações desenvolvidas.



Fonte: LaMaCC, Fábio Rosso (2022).

As peças foram reunidas em sacos e encaminhados ao SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial para medição da resistência mecânica a compressão, realizado em máquina universal de ensaios (EMIC DL 10000; com velocidade de 1mm/min). Os resultados de resistências são obtidos através desoftware (TESC) conectado ao equipamento, com os valores expresso em MPa.

3.3 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Foi selecionada a formulação que apresentou o melhor desempenho relacionado a resistência mecânica, juntamente com a amostra padrão (A0), para efetuarem ensaios ambientais. Os ensaios realizados foram de corrosividade, reatividade e lixiviação, dos quais caracteriza os materiais quanto a sua periculosidade, ou seja, se é perigoso ou não perigoso, além do ensaio de solubilização, para verificar se é não inerte ou inerte.

Como forma de validação da qualidade ambiental, os ensaios foram baseados na metodologia apresentada pela ABNT. Para classificação dos materiais foi utilizada a NBR 10004, onde os resultados de corrosividade está apresentado pelo item 4.2.1.2 (b), reatividade no item 4.2.1.3 (e), os limites máximos dos extratos lixiviados no anexo F e o solubilizado, anexo G. Quanto aos procedimentos, para obtenção do extrato lixiviado utiliza-se a NBR 10005, e o solubilizado a NBR 10006.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADO DOS MATERIAIS

A caracterização dos materiais é um procedimento essencial para conhecer suas propriedades físico-química, e assim, permitir que haja dados suficientes para interpretar os resultados ou presumir os fenômenos que podem ocorrer nos corpos-de-prova. A Tabela 2 mostra os resultados da caracterização química da massa padrão e do rejeito fino do carvão.

Tabela 2: Resultados da Espectrometria de Fluorescência de Raio X - FRX.

Parâmetros	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	CaO	SO ₃	Outros	PF	Total (%)
(%) Massa Cerâmica	60,85	17,39	7,65	2,4	1,72	0,32	-	0,22	9,45	100
(%) Rejeito Fino	49,19	19,86	5,08	3,44	1,56	1,8	0,27	0,17	18,63	100

PF: Perda ao fogo.

Fonte: Do autor (2022).

A caracterização química do rejeito fino do carvão obteve resultado relativamente similar ao da massa cerâmica para alguns elementos, especialmente para a Alumina (Al₂O₃), que possui características refratárias, e pela presença de elementos alcalinos

e alcalinos-terrosos, que são fundentes, tais como o Potássio (K₂O) e o Cálcio (CaO), além dos óxidos cromóforos como o Ferro (Fe₂O₃) e o Titânio (TiO₂), destoando somente a Sílica (SiO₂) e a Perda ao Fogo (PF). Estes dois últimos provocam cor em peças cerâmicas, no entanto, são atributos tradicionais para a cerâmica vermelha, diferente dos revestimentos cerâmicos que considera como problemas estéticos, comprometendo o valor de seus produtos no mercado.

Outro resultado com destaque e que auxiliam na interpretação dos fenômenos está associado a perda ao fogo, apresentando para o rejeito 18,63%, enquanto a massa padrão obteve 9,45%. Este indicador, em maior percentual para o rejeito, pode estar associado a maior liberação de gases, indicado pela presença de carbono. A Tabela 3, apresentada a seguir, mostra as características térmicas da massa cerâmica e do rejeito

Tabela 3: Ensaios dos Combustíveis.

Parâmetros	Poder Calorífico	Carbono	Carbono Fixo	Matérias Voláteis	Umidade de Higroscopia
Massa Cerâmica	117,00 cal/g	1,31%	ND	7,01%	2,69%
Rejeito Fino	983,00 cal/g	9,65%	5,64%	10,56%	1,36%

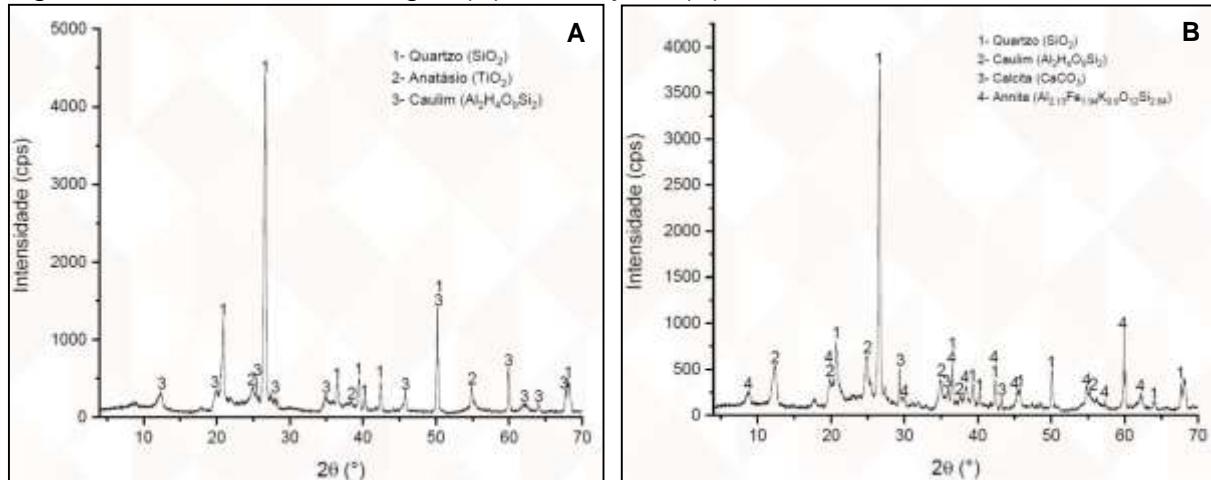
Fonte: Do autor (2022).

O resultado respectivo ao poder calorífico, que está provavelmente associado a liberação do carbono, por possuir características energéticas, apontou valores superiores ao rejeito, sendo de 938 cal/g, enquanto a amostra da massa cerâmica foi de 117 cal/g.

O poder calorífico do carvão pode induzir melhor performance durante a queima devido a liberação do carbono das peças para o forno, podendo trazer benefícios econômicos. Em contrapartida, caso haja voláteis em alto percentual nas amostras, podem formar poros nas peças cerâmicas que não são totalmente preenchidos por elementos fundentes, podendo provocar maior absorção e menor resistência mecânica, ou ainda, a formação de coração negro que também pode influenciar na redução da resistência dos corpos cerâmicos.

A Figura 4 mostra o Difratograma de Raio X - DRX da massa padrão (A) e do rejeito fino de carvão (B).

Figura 4: Análise DRX da argila (A) e do rejeito (B).



Fonte: Do autor (2022).

O resultado do ensaio de Difratometria de Raio X - DRX da massa padrão mostrou que o único argilomineral presente é a caulinita, além da presença dos minerais anatásio e quartzo. Quanto ao rejeito, o resultado do ensaio identificou a presença de argilominerais da família da caulinita (caulim) e da ilita (anitta) os quais são comuns nas argilas da região, assim como o quartzo livre (SiO_2). Estes indicadores também apontam a utilização deste material como subproduto na composição da massa da cerâmica vermelha.

4.2 RESULTADOS TECNOLÓGICOS

Como método de validação da qualidade tecnológica dos produtos da cerâmicas vermelha (blocos cerâmicos para alvenaria), sugeriu-se neste estudo seguir a metodologia de análise apresentada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que estabelece verificar os parâmetros essenciais, tais como a retração, absorção e resistência.

Quanto ao método de ensaio, esta norma é específica para as peças industriais e o estudo foi realizado em escala laboratorial, porém, a massa cerâmica obtida da empresa já apresenta compatibilidade com o requisito legal, e os tijolos, neste caso, estão de acordo com a norma técnica. Contudo, havendo padrão da massa cerâmica, pressupõe-se que ela seja balizador de qualidade, permitindo a comparação com os resultados das demais formulações realizadas em bancada. Já os resultados tecnológicos estão apresentados na Tabela 4 e pelas Figura 5 A-B e 6

A-B.

Tabela 4: Resultados das análises tecnológicas.

Temperaturas	Amostras	Retração de Queima (%)	Perda ao Fogo (%)	Absorção de Água (%)	Resistência (MPa)
750°C	A0	0,51	7,29	17,91	10,9 ± 2,2
	F2,5	0,52	8,23	17,32	15,5 ± 2,0
	F5	0,69	8,44	17,87	11,7 ± 2,7
	F10	0,72	8,87	18,66	8,4 ± 3,0
	F15	0,69	7,58	17,79	11,1 ± 2,7
	F20	0,66	7,11	17,77	9,1 ± 1,5
	F30	0,58	8,46	18,13	9,5 ± 1,6
	F40	0,60	8,52	18,54	8,6 ± 2,1
800°C	A0	0,59	9,03	19,00	14,1 ± 2,4
	F2,5	0,67	9,12	18,30	21,7 ± 5,7
	F5	0,59	9,42	18,75	12,5 ± 3,9
	F10	0,73	9,55	19,53	10,4 ± 1,9
	F15	0,72	9,56	18,83	11,4 ± 4,1
	F20	0,70	10,15	19,10	9,8 ± 2,0
	F30	0,68	10,14	19,31	10,4 ± 2,1
	F40	0,73	10,32	19,74	8,1 ± 2,0
850°C	A0	0,79	9,35	18,97	20,5 ± 3,3
	F2,5	0,85	10,17	18,08	23,3 ± 8,3
	F5	0,91	10,27	18,86	20,6 ± 5,9
	F10	0,90	10,59	19,04	20,9 ± 7,4
	F15	0,81	10,67	19,11	20,4 ± 5,0
	F20	0,79	10,73	20,01	14,4 ± 2,6
	F30	0,80	11,45	19,68	16,3 ± 4,4
	F40	0,78	11,92	19,94	13,6 ± 2,4

Fonte: Do autor (2022).

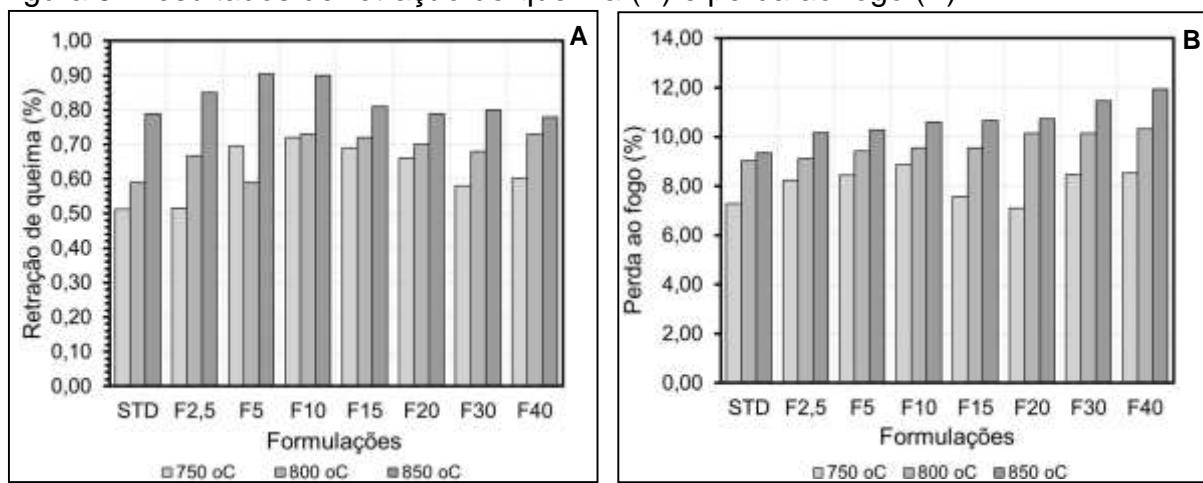
Os corpos-de-prova das sete formulações (F) apresentaram comportamento e resultados de retração de queima e absorção de água semelhantes ao da massa cerâmica padrão (A0). Quanto aos testes de resistência mecânica, estes obtiveram razoáveis variações, apresentando melhores resultados para algumas formulações a determinada temperatura, e desempenhos inferiores em outras, porém, seguindo uma lógica interpretativa. O critério adotado para definir qual a melhor formulação foi a resistência mecânica, haja vista que os demais parâmetros não variam proporcionalmente ao incremento de rejeito e aumento de temperatura, quando comparados a amostra padrão. Diferentemente, a resistência mecânica mostrou maiores variações nos resultados, apresentando picos de qualidade para

algumas condições e quedas em outras.

Examinando os resultados relativos a retração de queima (Figura 5-A), nota-se que houve aumento gradativo a medida que os corpos-de-prova foram submetidos as faixas de temperaturas mais elevada, assim como para as formulações com maior incremento de rejeito, porém para estas, com variações mais sutis. Assim que as peças são expostas a temperaturas mais elevadas (de 750°C para 850°C) e com maior percentual de carbono (F2,5 para F40), a tendência é que haja maior perda de massa, através da liberação de gases e água, além da densificação que ocorre pela sinterização do corpo cerâmico, derivando em maior retração.

O comportamento das peças cerâmicas no quesito absorção de água (Figura 6-A), comumente, possui resultado oposto ao da retração de queima. No entanto, os resultados não seguiram esta lógica, havendo maior absorção para as amostras F40 em relação a A0. A justificativa a este fenômeno pode estar associada ao resultado de perda ao fogo (Figura 5-B), visto que para amostras com maior adição de rejeito (elementos orgânicos), a tendência é que haja maior formação de poros devido a liberação dos voláteis, e que não são totalmente preenchidas pelos elementos fundentes.

Figura 5: Resultados de retração de queima (A) e perda ao fogo (B).

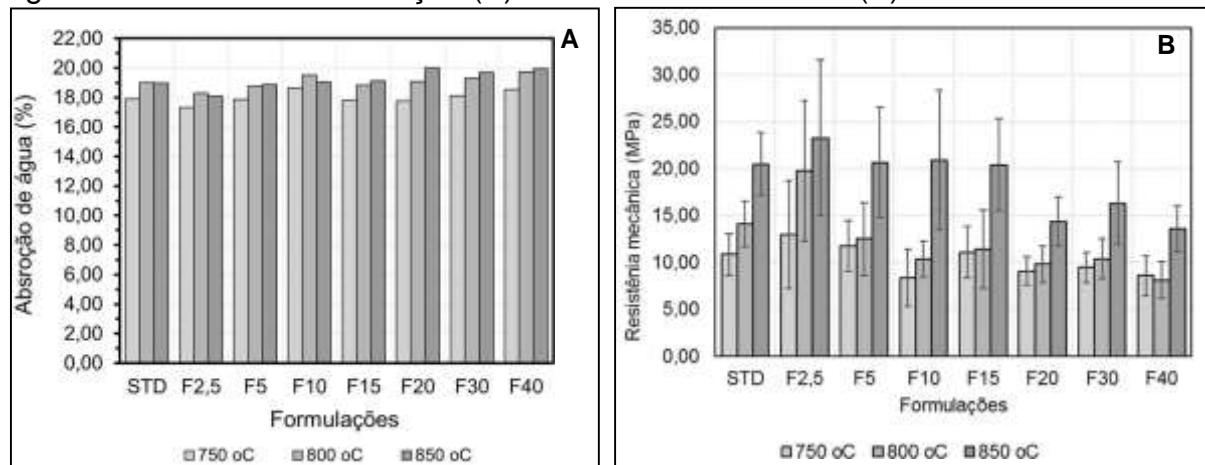


Fonte: Do autor (2022).

Índices com alta absorção de água tendem a mostrarem os piores desempenhos mecânicos (Figura 6-B) devido a porosidade em maior escala. Ao contrário, os resultados com baixa absorção de água tendem a apresentarem melhores desempenhos mecânicos, muito em função da menor porosidade e ao seu preenchimento pelos elementos fundentes no processo de sinterização. Os resultados

revelam que a formulação F2,5, obteve os menores índices de absorção em relação as demais, apresentaram os maiores valores para a resistência mecânica em todos as faixas de temperatura, revelando que há consistência nos fenômenos e nas interpretações.

Figura 6: Resultado de absorção (A) e resistência mecânica (B).



Fonte: Do autor (2022).

Muito provavelmente a formulação com melhor desempenho mecânico (F2,5), pode possuir o equilíbrio necessários entre os elementos químicos, sendo suficiente para liberarem os voláteis da sua composição e formarem quantidade ideal de poros, com o preenchimento adequado pelos elementos fundentes, associando-se aos refratários.

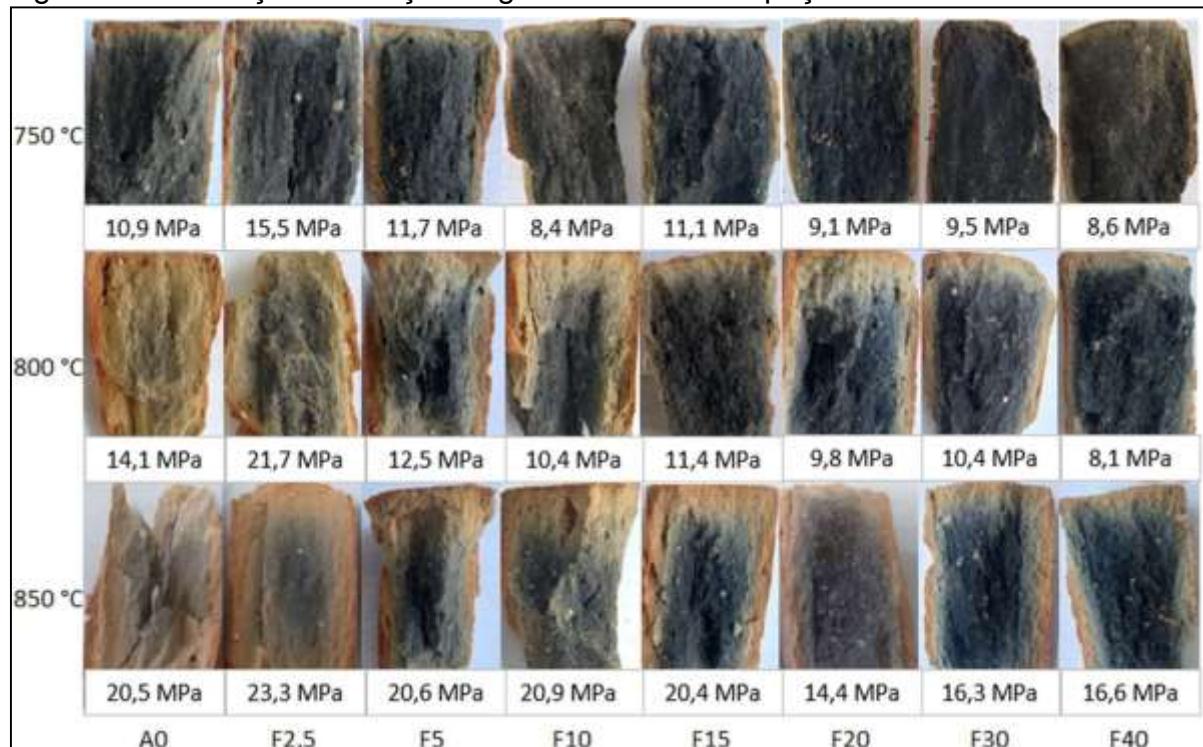
Analizando os dados sob a óptica das formulações, a F2,5 apresentou resultados de resistência mecânica superiores ao da amostra padrão em três faixas de temperatura. Destaca-se, contudo, as peças queimadas a 850°C, que foram as que alcançaram as melhores performance, com resultado médio de 23,3 Mpa, enquanto a amostra padrão (A0) foi de 20,5 Mpa, ou seja, 12% em ganho de qualidade.

Já os resultados de resistência, quando observadas exclusivamente pelas condições de temperatura de queima, obtiveram os melhores desempenhos para as formulações submetidas a faixa de temperatura de 850 °C, evidenciando que esta é a faixa ideal, sendo inclusive utilizado pelas empresas da cerâmica vermelha do polo produtivo de Morro da Fumaça.

Outro aspecto que influencia na resistência dos materiais cerâmicos, conforme Macedo et al. (2013), está associado ao excesso de compostos orgânicos e a sua decomposição inadequada (Figura 7), resultando na formação de poros, bolhas

ou trincas nas peças. Para corrigir este fenômeno, é necessário ciclos de queima mais longos, inclusive com pré-aquecimentos para que garanta a completa oxidação da matéria orgânica.

Figura 7: Presença de coração negro no interior das peças.



Fonte: Do autor (2022).

Ao checar o interior de todas as peças após os testes de resistência, fica nítido pela tonalidade escura, a presença de coração negro. Este indicador não é considerado um problema por se tratar de produto não esmaltado, porém, pode influenciar em outras características como resistência mecânica e absorção de água.

A medida que as peças diminuem o tom escuro, ocorre melhores desempenhos para a resistência mecânica, obtendo bons valores para temperaturas elevadas e piores para as expostas em menor condição térmica. Neste caso, ao elevar a temperatura de queima, ocorre a liberação da matéria orgânica do seu interior, assim como a maior probabilidade de sinterização. As amostras com maior percentual de rejeito, consequentemente possui excesso de material orgânico, o que induz maior liberação de gases e formação de poros, influenciando na resistência do material.

Outro resultado com destaque e que merece estudo complementar, sob a óptica da engenharia econômica, é a formulação F2,5 submetido a queima com



800°C. O resultado da resistência mecânica para esta condição atingiu 21,7 MPa, sendo superior a amostra queimada a temperatura utilizada na indústria, que é de 850°C. Este indicativo mostra que se pode chegar a um produto com melhor qualidade utilizando-se menor consumo de energia ou insumos energético, presumindo em economia financeira ao processo produtivo.

Ainda, as formulações submetidas a condição térmica de 850°C, (F5, F10 e F15), mostraram resultados de resistência mecânica superiores ao semelhantes ao da massa amostra padrão, com 20,6 Mpa, 20,9 Mpa e 20,4 Mpa, respectivamente. Sugere-se realizar, neste caso em específico, estudos paralelos (também para a F2,5) para verificar a qualidade ambiental do processo produtivo, considerando que no resíduo há elementos voláteis como enxofre e carbono e, em alto percentual, podem provocar a contaminação atmosférica durante o tratamento térmico do produto, ou ainda, prejudicar as estruturas metálicas dos fornos devido a oxidação que determinados gases podem causar.

4.3 RESULTADOS AMBIENTAIS

Foram realizados ensaios de corrosividade, reatividade, lixiviação e solubilização para o corpo de prova que obteve o melhor resultado de resistência mecânica, correspondente a formulação com incremento de 2,5% de rejeito (F2,5), assim como para a amostra padrão (A0), para servir como modelo comparativo. O intuito de realizar esta análise, especialmente para a amostra com a introdução de rejeito, é verificar se os materiais possuem periculosidade ou a capacidade de transferir substâncias aos extratos.

A Tabela 5, apresentada a seguir, detalha os resultados de corrosividade. Já a Tabela 6, mostra os resultados de reatividade. Ambas as tabelas representam os resultados para amostra padrão e o rejeito fino do carvão.

Tabela 5: Resultados do ensaio de corrosividade

Análise	Método	Resultado A0 (mg/l)	Resultado F2,5 (mg/l)	Valor recomendado segundo a ABNTNBR 10004:2004
pH em água (1:1)	SMWW – Método 4500-H+ B	5,74	5,51	2,0 a 12,4

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 6: Resultados do ensaio de reatividade.

Análise	Método	Resultado A0 (mg/l)	Resultado F2,5 (mg/l)	Valor recomendado segundo a ABNTNBR 10004:2004
Mercúrio	SMWW – Método 4500 S - 2	0,18	0,28	500

Fonte: Do autor (2022).

Os resultados de corrosividade e reatividade, para ambas as amostras, foram caracterizadas como não corrosivo e não reativo.

O ensaio de lixiviação, apresentado na Tabela 7, consiste na capacidade de transferência de elementos ou substâncias orgânica e inorgânica presentes, neste caso, no interior das peças para o extrato exterior, por meio de dissolução.

Tabela 7: Resultados do ensaio de lixiviação.

Análises	Método	Resultado A0 (mg/l)	Resultado F2,5 (mg/l)	Valor máximo (mg/l) de acordo com o Anexo F da ABNT NBR 10004:2004
Arsênio	SMWW – Método 3120 B	0,017	<0,010	1,0
Bário	SMWW – Método 3120 B	0,692	0,479	70,0
Cádmio	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,5
Chumbo	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	1,0
Cromo total	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	5,0
Fluoreto total	SMWW – Método 4500 F D	0,24	0,17	150,0
Prata	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,1
Selênio	SMWW – Método 3120 B	<0,010	0,012	5,0
Mercúrio	EPA 7473	<0,0002	<0,0002	0,1

Fonte: Do autor (2022).

Ao averiguar o extrato lixiviado da amostra padrão (A0), assim como a melhor formulação (F2,5), não foram detectadas concentrações acima do limite máximo permitido disposto no anexo F. Deste modo, como os corpos de prova não apresentaram periculosidade (corrosividade, reatividade e toxicidade), sendo classificados como resíduos não perigoso - classe II.

Os ensaios de solubilização, apresentado na Tabela 8, tem como finalidade diferenciar o material quanto a capacidade de solubilizar em água, podendo ser classe II – A (não inerte) ou classe II B (inerte).

Tabela 8: Resultados do ensaio de solubilização.

Análises	Método	Resultado A0 (mg/l)	Resultado F2,5 (mg/l)	Valor máximo (mg/l) de acordo com o Anexo G da ABNT NBR 10004:2004
Alumínio	SMWW – Método 3120 B	1,249	0,134	0,200
Arsênio	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,010
Bário	SMWW – Método 3120 B	<0,700	0,062	0,700
Cádmio	SMWW – Método 3120 B	<0,005	<0,005	0,005
Chumbo	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,010
Cloretos	SMWW – Método 4500 Cl-B	<0,010	<0,010	250,0
Cobre	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	2,0
Cromo total	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,050
Ferro	SMWW – Método 3120 B	0,311	0,106	0,300
Fluoreto	SMWW – Método 3120 F-D	0,12	0,33	1,5
Manganês	SMWW – Método 3120 B	0,297	0,910	0,100
Nitrito	SMWW – Método 3120 NO3-B	0,016	0,217	10,0
Prata	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,050
Selênio	SMWW – Método 3120 B	<0,010	<0,010	0,010
Sódio	SMWW – Método 3120 B	3,414	6,100	200,0
Sulfatos	SMWW – Método 3120 SO4 2-B	48,88	113,68	250,0
Surfactantes	SMWW – Método 5540 C	0,113	0,084	0,5
Zinco	SMWW – Método 3120 B	0,013	0,056	5,0
Mercúrio	EPA 7473	<0,0002	<0,0002	0,001

Fonte: Do autor (2022).

Quanto ao extrato solubilizado, a amostra padrão apresentou o elemento alumínio, ferro e manganês acima do limite máximo permitindo, ou seja, este material possui capacidade de solubilização em água. A formulação F2,5 obteve somente o elemento manganês com concentrações acima. Ambos os materiais foram classificados como resíduo não perigoso, classe II – A (não inerte).

Pode-se concluir que o incremento de rejeito com o percentual a 2,5%, não altera de forma negativa as propriedades originais da massa da cerâmica vermelha no quesito ambiental, pelo contrário, inibi as concentrações de ferro e alumínio, sendo positivo ao estudo.



5 CONCLUSÃO

Buscando encontrar alternativas ambientalmente corretas e com vantagens econômicas para o destino do rejeito fino proveniente do beneficiamento do carvão mineral, estudou-se a possibilidade de aplicação em massa da cerâmica vermelha, através de sete formulações, queimadas sob três faixas de temperatura. Em síntese, o objetivo central deste estudo foi alcançado, dado que foi atestado a eficiência no uso do rejeito como componente na massa da cerâmica vermelha.

A composição com 2,5% de incremento de rejeito (F2,5) comportou-se muito bem, obtendo os melhores desempenhos tecnológicos, inclusive superior ao da amostra padrão em todos os níveis térmicos, com baixa retração de queima e absorção de água, além de excelente resultado no quesito resistência mecânica. Esta composição submetida na temperatura de 850°C, além disso, inibiu a presença de alumínio e de ferro dos extratos solubilizados em comparação com a amostra padrão, o que se entende como positivo ao estudo. No entanto, as concentrações de manganês excederam o limite máximo permitido, enquadrando ambas as amostras como resíduo não perigoso, classe II-A (não inerte).

Ainda, as formulações F5, F10 e F15, que possui maior incremento de rejeito em relação a F2,5, obteve resultado similar ao da A0, o que também pode admitir-se o seu uso sob a óptica tecnológica, merecendo somente investigações para verificar o seu comportamento ambiental.

Outro ponto que merece destaque e estudo específico, com detalhamento sob os aspectos econômicos, é a investigação da formulação F2,5 quando submetida a queima na temperatura de 800°C. Pode-se, contudo, quantificar a economia financeira que o rejeito proporcionaria durante a queima dos produtos, devido a possível redução no consumo de combustível.

Para ratificar os resultados obtidos em laboratório, faz-se necessário a realização de testes industriais, especialmente para verificar as emissões atmosféricas nas chaminés, visto que a nova composição possui rejeito de carvão, com maiores índices de elementos voláteis, inclusive o Enxofre que pode prejudicar as estruturas dos fornos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- ANICER. Produtos de Cerâmica Vermelha.** Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/>>. Acesso em: 13 abr. 2021.
- CAMPOS, M. L. et al. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral.** Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 9, n. 2, p. 198–205, 2010.
- CASAGRANDE, G. S. Estudo da incorporação de resíduos proveniente de termoelétrica e beneficiamento do carvão mineral em massa para a produção de adoquín cerâmico.** Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2017.
- DA LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A.; BRAGA, P. F. A. Tratamento de Minério.** 6a. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.
- DA SILVA, R. G.; DA SILVA, V. P. Produção mais limpa: contributos teórico-práticos para a sustentabilidade da cerâmica vermelha.** Cerâmica, v. 63, n. 368, p. 494–507, dez. 2017.
- DA SILVA, A. P.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. Diagnóstico dos resíduos sólidos da atividade de mineração de substâncias não energéticas - Relatório de pesquisa IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada).** Brasília: [s.n.].
- DA SILVA, D. B. Estudo da utilização do resíduo proveniente do beneficiamento do carvão mineral como matéria-prima alternativa na fabricação de blocos de vedação.** Cocal do Sul: Centro Universitário Barriga Verde, 2013.
- FERREIRA, T. DA S. et al. Análise das propriedades tecnológicas da cinza do caroço de açaí na cerâmica vermelha.** Research, Society and Development, v. 9, n. 9, p. e76996343, 12 ago. 2020.
- GEREMIAS, M. L. Caracterização das argilas da bacia do paraná, no sul de Santa Catarina, para uso no gabrição de pisos cerâmicos.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.
- GOMES, A. C. F. Estudo de aproveitamento de rejeito de mineração.** Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 2017.
- HUMMES, R. A. Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de rejeitos de beneficiamento de carvão mineral em equipamentos de grandes dimensões.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- MACEDO, R. S. et al. Efeito do coração negronas propriedades físico-mecânicas em corpos de prova da cerâmica vermelha.** Natal: 57º Congresso

Brasileiro de Cerâmica, 2013.

REBELO, W. B.; ZACCARON, A. **Evolução da mineração de argila para cerâmica vermelha na região da amrec, sob a ótica da lavra ambiciosa: um estudo de caso.** Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração, v. 17, n. 3, p. e2023, 2020.

SEBRAE. **Construção civil - boletim de inteligência.** Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.fatecsaocaetano.edu.br/fascitech/index.php/fascitech/article/view/31>>.

SILVA, J. P. S. **Impactos ambientais causados por mineração.** Revista Espaço da Sophia, n. 8, p. 1–3, 2007.

SMANIOTTO, A. L. A. **Aplicação de sedimentadores de fluxo vertical na separação sólido-líquido de água de processo em usinas de beneficiamento decarvão mineral na região sul de Santa Catarina.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

SOARES, P. S. M.; DOS SANTOS, M. D. C.; POSSA, M. V. **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Effect of grog addition on the properties and microstructure of a red ceramic body for brick production.** Construction and Building Materials, v. 21, n. 8, p. 1754–1759, ago. 2007.

VIGÂNICO, E. M. **Produção de sulfato ferroso a partir de rejeitos de carvão.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

ZACCARON, A. et al. **Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo.** Cerâmica Industrial, v. 19, n. 3, p. 33–39, 2014.

ZACCARON, A. **Estudo do processo de secagem rápida em argilas utilizadas para a fabricação de cerâmica vermelha.** Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2018.