

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ARGILAS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS VIA SECA

Bruna Cichella¹

Morgana N. Sartor Faraco²

Resumo: A composição química das matérias primas é a principal etapa para a formação de um revestimento cerâmico e para isso, é necessário o conhecimento das suas propriedades químicas e físicas. Cada vez mais as empresas de revestimentos cerâmicos buscam melhorias do seu produto final, no entanto, contam com o desenvolvimento durante seu processo de produção. Uma das principais porcentagens de defeitos no produto final são as quantidades de quebras, ocasionadas por erros durante o processo e também por baixa resistência mecânica do material cerâmico. O estudo tem como objetivo aumentar a resistência mecânica do revestimento cerâmico de uma empresa do Sul de Santa Catarina, alterando somente sua formulação química, através da quantidade de óxidos presentes em cada matéria prima utilizada. Nesta pesquisa foram desenvolvidos 5 tipos de formulações (F1, F2, F3, F4 e F5) com 6 matérias primas (RMM, RMP, RM, DM, DP e SF) diferentes. As formulações passaram pelo processo de preparação da massa, onde envolve a pesagem de cada matéria prima, moagem, secagem e umidificação das massas. A etapa de prensagem teve a compactação com pressão específica de 1.300 kgf/cm² e a dimensão dos corpos de prova sendo 100 mm x 50 mm. Foram queimados a uma temperatura de sinterização de 1130°C, ciclo de 23 min, patamar de 1min15s e taxa de aquecimento 71,2 °C/ min. Os resultados obtidos foram comparados ao padrão utilizado pela empresa. Produzidos os corpos de provas de cada formulação, passou-se pelos ensaios laboratoriais de retração linear, perda ao fogo, absorção e resistência mecânica. Os resultados de resistência mecânica apontaram que todas as formulações obtiveram resultado maior que o padrão trabalhado na empresa, porém as formulações F4 e F5 conseguiram alcançar os maiores resultados de carga de ruptura (N) e módulo de resistência a flexão (N/mm²) comparadas as outras formulações. Pode ser justificado, por conter maior quantidade de óxidos formadores de fase líquida que é a fase responsável por preencher cavidades existentes no corpo cerâmico, evitando poros abertos depois da etapa de queima, aumentando sua resistência mecânica e abaixando a absorção de água. A formulação F2 resultou em bons valores comparado ao padrão utilizado na empresa, e sua fórmula seria ideal para o uso em escala industrial. Já as formulações F4 e F5 não seriam possíveis a sua utilização, pois elas possuem maior quantidade de SF, matéria prima que contém uma quantidade significativa de contaminação em sua mineralogia. Trabalhos futuros devem ser necessários para verificar as demais propriedades das peças cerâmicas produzidas com as formulações desenvolvidas neste estudo.

Palavras-chave: Revestimentos cerâmicos. Composição química. Resistência mecânica. Formulações.

¹ Graduando em Engenharia de Química. Ano 2022-1. E-mail: cichellabruna@gmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: morgana.sartor@satc.edu.br

1 INTRODUÇÃO

As primeiras cerâmicas de revestimentos arquitetônicos surgiram por volta de 500.a.C como materiais de uso restrito devido ao seu alto valor de custo e baixo preço de fabricação, permanecendo assim por vários séculos (SILVA; PORTELLA, 2005).

O produto cerâmico tornou-se altamente comercializado e com o passar dos anos começaram-se os avanços do setor, por volta do ano de 1950 os italianos, a fim de obter melhoras no desenvolvimento do produto, adquiriram conhecimento do processo produtivo e das composições químicas. Para isso, houve necessidade de um maior esforço durante a produção, as matérias primas foram criteriosamente selecionadas para gerar a cerâmica com propriedades finais desejadas, resultando em produtos com menos defeitos, tais como: trincas; quebras; alta absorção de água, menor resistência mecânica e “coração negro”.

Outros fatores que levaram ao desenvolvimento do setor foi que o consumidor se tornou mais exigente, e houve a necessidade de seguir normas técnicas severas, aumentando a qualidade do produto final (SILVA; PORTELLA, 2005).

Contudo, as indústrias de revestimentos cerâmicos do Sul de Santa Catarina têm a sua formação entre os anos de 1919 e 1960, com expansão e consolidação nos anos 70 e 80 e reestruturação a partir da década de 1990, adentrando os anos 2000 (COLONETTI, 2016). Elas ocupam uma posição de destaque em nível nacional e internacional e, conseqüentemente, vem contribuindo para o desenvolvimento da economia regional.

Existem diversas indústrias cerâmicas e várias classificações, pode-se listar os principais segmentos como: cerâmica de vedação e estrutural (vermelha); revestimentos (pisos e azulejos); refratários; sanitários, louça de mesa; frita, vidrados e corantes (BUSTAMANTE; BRESSANI, 2000).

Na indústria de revestimentos cerâmicos, podemos distinguir as empresas com processo de moagem via seca e via úmida. Frequentemente as empresas que contém massa argilosa de coloração mais clara, refere-se a cerâmica via úmida, onde adiciona-se água no processo de moagem e suas matérias primas são mais refinadas passando pelo processo de atomização. Já na cerâmica via seca, a diferença está no

processo de moagem, onde não há adição de água, sendo necessária a etapa de granulação da massa, onde se adiciona água em torno de 8%, quantidade fundamental para operação de prensagem.

Os benefícios da preparação da massa via seca em comparação à via úmida estão nos menores custos energéticos e de manutenção das instalações e no menor impacto ambiental. Porém, a via seca possui algumas limitações tecnológicas, pois não permite obter uma distribuição granulométrica fina, comparável ao da via úmida, não possui uma boa homogeneização das matérias primas devido a moagem sem a presença de água o que dificulta a mistura com vários componentes de natureza diversa, pois a desagregação das partículas ocorre de maneira diferente, e ainda apresenta problemas com prensagem em relação ao material atomizado (GORINI; CORREA, 1999).

O controle de qualidade de todas as cerâmicas do Brasil, seguem normas técnicas para a liberação do produto acabado. Ela teve sua atualização no ano de 2020 como ABNT NBR ISO 13006:2020, que se refere aos parâmetros de cada ensaio. Em determinadas indústrias cerâmicas para análise e controle, são realizados testes diariamente nos produtos acabados. Essas análises são de extrema importância para avaliar a formulação da massa e as características obtidas no processo, pode-se citar como exemplo a absorção de água, densidade aparente e resistência mecânica.

Dentre estes, o ensaio de resistência mecânica avalia a carga de ruptura e o módulo de resistência à flexão, ambos diretamente proporcionais. Este ensaio, tem como objetivo a determinação da força de ruptura, carga de ruptura e do módulo de resistência a flexão que é realizado através de um equipamento chamado Flexímetro que contém 3 pontos, duas barras de apoio cilíndricas laterais uma sendo deslocada e a outra fixa e outro apoio central, essa exerce uma força peso em cima da placa cerâmica, determinando o seu ponto de rompimento. Por fim, obtendo-se a carga de ruptura em força (N) e o módulo de resistência a flexão em (N/mm²) (ABNT NBR ISO 10545-4:2020).

Conforme a formulação de um revestimento cerâmico, cada matéria prima tem sua respectiva função na massa cerâmica, o que irá afetar as propriedades e característica do produto final. Por isso, a importância de estudar o efeito da composição química das matérias primas utilizadas na formulação dos revestimentos

cerâmicos. Existem diversos fatores que influenciam na resistência mecânica do revestimento cerâmico via seca, como: formulação da massa, temperatura de queima, empacotamento, espessura dos revestimentos entre outros.

A argila é uma matéria prima amplamente utilizada e que apresenta influência sob as características mecânicas do revestimento tanto a seco quanto a queimado. As argilas são sedimentos geológicos resultantes da decomposição de rochas silicosas e alumínios, principalmente feldspatos, geralmente pela ação atmosférica. São minerais naturais, terrosos, de granulação fina, que normalmente adquirem plasticidade quando misturados a água (DAMACESNO, 2017).

A formulação química e estrutura mineralógica são de extrema pertinência na fabricação do revestimento, é onde tudo se inicia e se cria. Cada componente químico óxidos presentes nas argilas constituem funções essenciais no produto.

Assim, conhecer a influência de óxidos em composições de cerâmica torna-se uma pesquisa de ampla aplicação. Neste sentido, este estudo tem como objetivo analisar os principais componentes químicos das argilas utilizadas na fabricação de massa cerâmica via seco em indústria cerâmica da região, a fim de verificar quais destas, podem aumentar a resistência mecânica do revestimento após sua queima, desenvolvendo assim, novas formulações. Trata-se de um estudo aplicado, a ser realizado em empresa localizada na região sul Catarinense, que possui o processo de fabricação por via seca.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse tópico será apresentada a bibliografia referente ao tema exposto, assim com os conceitos básicos sobre revestimentos cerâmicos e suas definições de fabricação, importância econômica para o País, incluindo todo o conhecimento necessário para o entendimento do estudo.

2.2 PANORAMA ATUAL DAS INDÚSTRIAS CERÂMICAS

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica (Anfacer) o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de cerâmica, atrás somente da China e a Índia. Além de estar entre os três colocados em relação a produção, é o segundo maior consumidor de cerâmica no mundo e sétimo em exportação mundial. Com os

polos de produção concentrados entre as regiões Sudeste e Sul e expansão ao nordeste do País, gerando assim, 28 mil postos de trabalho diretos e por volta de 200 mil indiretos

Em 2021, foram produzidos aproximadamente 1 bilhão de m², sendo, 901 milhões no mercado interno e 130 milhões de m² ao mercado externo, sendo a capacidade de produção de 1.205 milhões de m² (ANFACER; 2021).

O Brasil possui uma grande influência em relação à extensa fabricação do setor cerâmico, com produtos de alta qualidade e preços competitivos a nível mundial. Detém em abundância muitas matérias primas ricas necessárias para o uso na massa cerâmica, recursos técnicos e gerenciais altamente qualificados e com boa infraestrutura de pesquisa (BUSTAMANTE; BRESSANI, 2000).

2.1.1 Segmentos das indústrias cerâmicas.

Segundo a Anfacer (2021), as indústrias cerâmicas possuem diversos segmentos, sendo diferenciadas pelo seu uso tecnológico, como equipamentos; matérias primas e local de utilização, pode-se citar os seguintes grupos:

Cerâmica Vermelha: são os materiais com coloração avermelhada utilizados na construção civil (tijolos, blocos, telhas, elementos vazados, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas)

Cerâmica Branca: é um grupo bastante diversificado, tendo materiais constituídos por um corpo com coloração clara e em geral cobertos superficialmente por uma camada vítrea transparente e incolor, como: louças, sanitários, pisos e azulejos.

Neste estudo analisou-se os revestimentos cerâmicos produzidos via seca que são classificados como cerâmica branca ou cerâmica de revestimentos.

2.1.2 Processo de fabricação de revestimentos cerâmicos.

Os revestimentos cerâmicos são classificados por grupos nomeados conforme sua absorção d'água, como observa-se no Qd. 1, onde mostra o grupo pertencente para cada parâmetro de absorção. A absorção é uma medida indireta da porosidade aparente, apresentada pelo suporte do material cerâmico, essa

porosidade tem influência de maneira notável nas propriedades mecânicas e outras características do produto acabado, como: resistência mecânica; expansão por umidade, resistência ao congelamento e assentamento do revestimento, pois quando se tem elevada porosidade, esta favorece a aderência do produto (MELCHIADES; 2011).

Quadro 1: Classificação dos revestimentos cerâmicos conforme a absorção de água.

CLASSIFICAÇÃO DAS CERÂMICAS PELO GRUPO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA		
GRUPOS	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	PRODUTO
la	$Abs \leq 0,5$	Porcelanato
lb	$0,5 < Abs < 3,0$	Grês
IIa	$3,0 < Abs \leq 6,0$	Semi-grês
IIb	$6,0 < Abs \leq 10,0$	Semi-poroso
III	$Abs > 10,0$	Poroso

Fonte: Adaptada ABNT NBR 13817:1997.

Contudo, após a classificação e distinção dos grupos, é possível verificar o seu método de processo. Os revestimentos cerâmicos são divididos conforme seu processo de fabricação, no método de moagem, mistura e granulação de matérias primas: via úmida e via seca (MELCHIADES; 2011).

O processo via úmido utiliza matérias primas mais puras como argilas, feldspatos, caulins, filitos e quartzo.

De acordo com Melchiades (2011, p. 29).

O processo de moagem via úmida tradicional é realizado através de moinhos de bolas à úmido, as matérias primas são moídas na forma de suspensões aquosas (barbotina) com concentrações de sólidos compreendidas entre 60% a 70%, e na etapa da granulação, utiliza-se a água para realizar a ligação entre as partículas sem a expressão de força, a secagem da suspensão e granulação da via úmida são realizadas a partir da atomização em equipamentos de spray-dryer.

O processo via seca, o qual se refere este estudo, possui sua formulação com menor número de matérias primas, como os argilitos por exemplo, eles encerram baixo índice de metamorfismo, típicos de rochas argilosas. Em termos mineralógicos, são rochas compactas de grãos finos e laminados, contendo feldspato, quartzo, argilominerais e clorita $[Mg_3 (Si_4O_{10}) (OH)_2 \cdot Mg_3 (OH)_6]$. (LUZ et al, 2008),

Seu processo de moagem não envolve a adição de água, as matérias primas são moídas a partir do moinho de martelos e moinhos pendulares a seco,

reduzindo o tamanho das partículas, e para um maior rendimento é necessário que apresentem baixa umidade, geralmente menores que 4,0%. Na granulação a seco, necessita-se da execução de força de compressão entre as partículas, são granuladas em umectadores verticais e horizontais, que promovem a aglomeração das partículas gerando os grânulos que serão utilizados na etapa da prensagem. (MELCHIADES; 2011).

2.2 MATÉRIAS PRIMAS CERÂMICAS E SUAS CARACTERÍSTICAS

A composição das massas cerâmicas via seca apresenta uma fórmula restrita à utilização exclusiva de argilas, denominadas de plásticas e não plásticas. Segundo Motta et al (2002, p. 38) as matérias primas plásticas conferem importantes características na fase de conformação das peças cerâmicas, tais como trabalhabilidade e resistência mecânica a cru, e no processamento térmico, como estrutura e cor.

As matérias primas não plásticas também atuam nas fases de conformação e secagem, diminuindo a retração das peças e favorecendo a secagem, e na fase do processamento térmico, quando desempenham o papel mais relevante, controlando as transformações, deformações e a sinterização (MOTTA et al, 2002).

A formulação de qualquer cerâmica tradicional é constituída de dois elementos principais: o material plástico, constituído de caulim e argila, e o material duro, de sílica e feldspato. O constituinte plástico permite que o corpo cerâmico seja moldado, enquanto os constituintes duros permitem ao corpo cerâmico sua forma, após a queima (LUZ et al, 2008).

Outro aspecto de extrema importância na matéria prima para a formulação cerâmica via seca, são suas composições químicas e mineralógicas, que dentro de cada argila possuem minérios, com determinadas porcentagens de óxidos responsáveis por devidas funções no corpo cerâmico, pode-se citar quais são os principais minérios presentes nas argilas utilizadas na região, como: Quartzo, feldspatos e argilominerais.

2.2.1 Quartzo

O quartzo é o segundo mais abundante mineral em rochas da crosta terrestre depois dos feldspatos, importante como formador de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Como é muito resistente à alteração, é o principal constituinte de areias (2020).

Ele tem como principal função equilibrar o SiO_2 e Al_2O_3 que favorece a formulação de mulita ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) durante seu ciclo de queima.

Segundo Feitosa et al (p.2)

A formação da mulita através da reação dos óxidos quando submetidos a altas temperaturas, formam propriedades únicas a este material, tais como, baixa densidade ($3,17 \text{ g.cm}^{-3}$), baixa condutividade térmica ($k=2.0 \text{ Wm.1K}^{-1}$), baixa expansão térmica ($20/200^\circ\text{C}= 4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), baixa constante dielétrica ($\epsilon=6.5$ em MHz), boa estabilidade química, alta refratariedade, e boas propriedades a altas temperaturas aumentando consequentemente sua resistência mecânica.

Além de ser uma matéria prima com baixo custo, o quartzo afeta a retração de queima e consequentes deformações dos revestimentos cerâmicos, já que forma uma estrutura inerte a massa que a circunda, reduzindo portando a retração do sistema (HOFFMANN; 2011).

2.2.3 Feldspatos

Os feldspatos constituem os grupos de minerais mais abundantes na crosta terrestre (aproximadamente 60% do seu total) e abrangem os silicatos de alumínio combinados com sódio, potássio, cálcio e, eventualmente, bário. Os principais minerais são: ortoclásio/microclínio ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$); albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$); anortita ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) (LIRA et al, 2013).

Pode-se dividir os feldspatos em dois grupos: alcalinos e plagioclásio. Os feldspatos alcalinos incluem ortoclásio, microclina, sanidina, anortoclásio e os de duas fases misturadas entre si, chamadas de pertitas. O feldspato plagioclásio inclui membros da série da solução sólida de albita-anortita.

Na indústria cerâmica o feldspato é representado principalmente por dois minerais: albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), feldspato sódico, ortoclásio (KAlSi_3O_8) ou microclínio, feldspato potássico (LIRA et al, 2013).

Os feldspatos sódios e potássicos são os mais utilizados na indústria cerâmica e apresentam comportamentos diferentes, durante a queima. Os feldspatos sódicos apresentam baixo ponto de fusão por volta de 1170°C e por uma fusão inesperada bem como retração e fusibilidade dependentes da temperatura.

O feldspato sódico tem viscosidade baixa quando apresentado na massa cerâmica, por isto, na indústria cerâmica o feldspato sódico é mais propenso à formação de peças quebradiças, empenadas e deformadas. Já os feldspatos potássicos possuem um ponto de fusão mais elevado por volta de 1500°C e seu comportamento cerâmico se dá de forma mais progressiva. A massa fundida proveniente do feldspato potássico apresenta maior viscosidade e dessa forma, encontra-se mais fase líquida no corpo cerâmico, portanto alçando limites de trabalho mais amplo (FRIZZO, 2018).

2.2.4 Argilominerais

Segundo Melo et al, (2011) o termo argilominerais, é usado para designar especificamente os filossilicatos, que são hidrofílicos e conferem a propriedade de plasticidade às argilas. Esses argilominerais fazem parte da composição mineralógica dos solos, denominada como minerais secundários, e ocorre quando as modificações das rochas causadas pelo intemperismo. No entanto, adquirem a capacidade de trocar íons, ou seja, possuem íons fixados na superfície, entre as camadas e dentro dos canais.

2.3 CONTROLE DE QUALIDADE DO PRODUTO ACABADO

Após o revestimento cerâmico passar por todo processo de produção, é necessário que tenha um controle de suas características físicas e químicas para a liberação ao consumidor. Para todas as empresas cerâmicas, independente do seu tipo de processo, seguem uma norma nacional, na qual nomeia-se de ABNT NBR ISO 13006:2020, essa norma consiste em todos os parâmetros dos ensaios do produto acabado, realizados pela norma ABNT NBR ISO 10545:2020.

A norma traz diversos ensaios importantes para o controle do produto, pode-se citar, absorção d'água, resistência mecânica, abrasão superficial, resistência

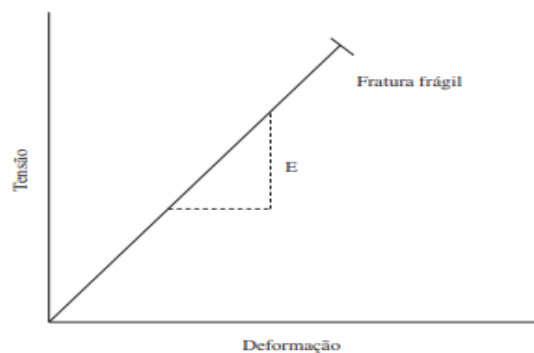
química, resistência ao manchamento, entre outros. Este estudo, tem como finalidade analisar a resistência mecânica dos revestimentos cerâmicos, conforme a variação da composição química das formulações desenvolvidas.

2.3.1 Resistência mecânica dos revestimentos cerâmicos

A resistência mecânica condiz à máxima tensão por unidade de área (N/m^2) suportada por um componente sem quebrar, quando submetida a uma determinada carga. Para a realização deste ensaio em placas cerâmicas utiliza-se o método de resistência mecânica por flexão. Essa resistência depende do tipo de material, de sua microestrutura e do processo de fabricação. Estas variáveis determinam a quantidade de energia absorvida até a fratura, o modo de propagação da fratura e o tamanho dos defeitos naturais (OLIVEIRA et al, 2007).

O modo de rompimento das placas cerâmicas está representado da Fig. 1, sendo este um material frágil. Como pode ser visto, ao aplicar uma tensão sobre a peça, há uma deformação, a constante entre a tensão e a deformação corresponde ao módulo de elasticidade (E) do material.

Figura 1: Gráfico tensão x deformação de um material frágil.



Fonte: Oliveira et al, (p.23, 2007).

Existem muitas variáveis que influenciam o valor da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão. Pode-se dizer que não há necessariamente uma mais importante, pois todas têm influência direta. A queima, empacotamento, processo de moagem, granulação e matérias primas, são fatores que são responsáveis pela resistência mecânica do material.

2.3.2 Norma ABNT NBR ISO 10545:2020 – Controle de qualidade produto acabado

Como já mencionado, a norma utilizada para o controle de qualidade para liberação do produto acabado é ABNT NBR ISO 10545:2020. Neste estudo, para determinação da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão em placas cerâmicas, segue-se um parâmetro para verificar se os resultados estão dentro do padrão, este é determinado a partir da norma ABNT NBR ISO 13006:2020 anexo- K, onde refere-se ao grupo IIb com classificação de absorção de 6% a 10%.

O Qd. 2, refere-se aos parâmetros da carga de ruptura e o módulo de resistência a flexão, conforme a espessura do revestimento.

Quadro 2: Parâmetros da carga de ruptura em placas cerâmicas.

Características		Limites
Módulo de resistência a flexão (MPa)	Média	≥18
Carga de Ruptura (N)	Espessura ≥ 7,5 mm	≥800
	Espessura < 7,5 mm	≥500

Fonte: Adaptada de ABNT NBR ISO 13006:2020- anexo k, (2020, p.44)

Segundo a norma ABNT NBR ISO 10545-4 (2020), as etapas a seguir referem-se ao ensaio de resistência mecânica de placas cerâmicas realizadas neste estudo seguindo o padrão da empresa.

Etapas:

- Coletar 7 revestimentos cerâmicos acabados;
- Colocar o revestimento sobre os apoios com a superfície de uso para cima e com largura paralela aos apoios de modo que fique para fora da barra de apoio uma saliência;
- Quando a placa cerâmica tiver a face em relevo, colocar uma segunda camada de borracha, sob a barra central em contato com o relevo;

- Posicionar a barra central para que fique equidistante dos apoios. Aplicar a força de maneira gradativa a fim de obter velocidade de aumento de carga à razão de $1 \pm 0,2$ MPa/s;

- A espessura é medida na seção de ruptura;

Posteriormente, apresenta-se suas equações necessárias para obter-se o valor da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão.

- **Carga de ruptura:**

$$CR = \frac{F \times L}{b} \quad (1)$$

Onde:

CR - Carga de ruptura

F - Força ruptura (N)

L - Distância entre barras de apoio (mm)

b - largura de corpo de prova ao longo da ruptura após o ensaio (mm)

- **Módulo de Resistência a flexão:**

$$MRF = \frac{3F \times L}{2b \times e_{mh}^2} \quad (2)$$

Onde:

MRF - módulo resistência flexão (MPa)

F - Força ruptura (N)

L - Distância entre barras de apoio (mm)

b - largura de corpo-de-prova ao longo da ruptura após o ensaio (mm)

e_{mh} - mínima espessura do corpo de prova, em mm

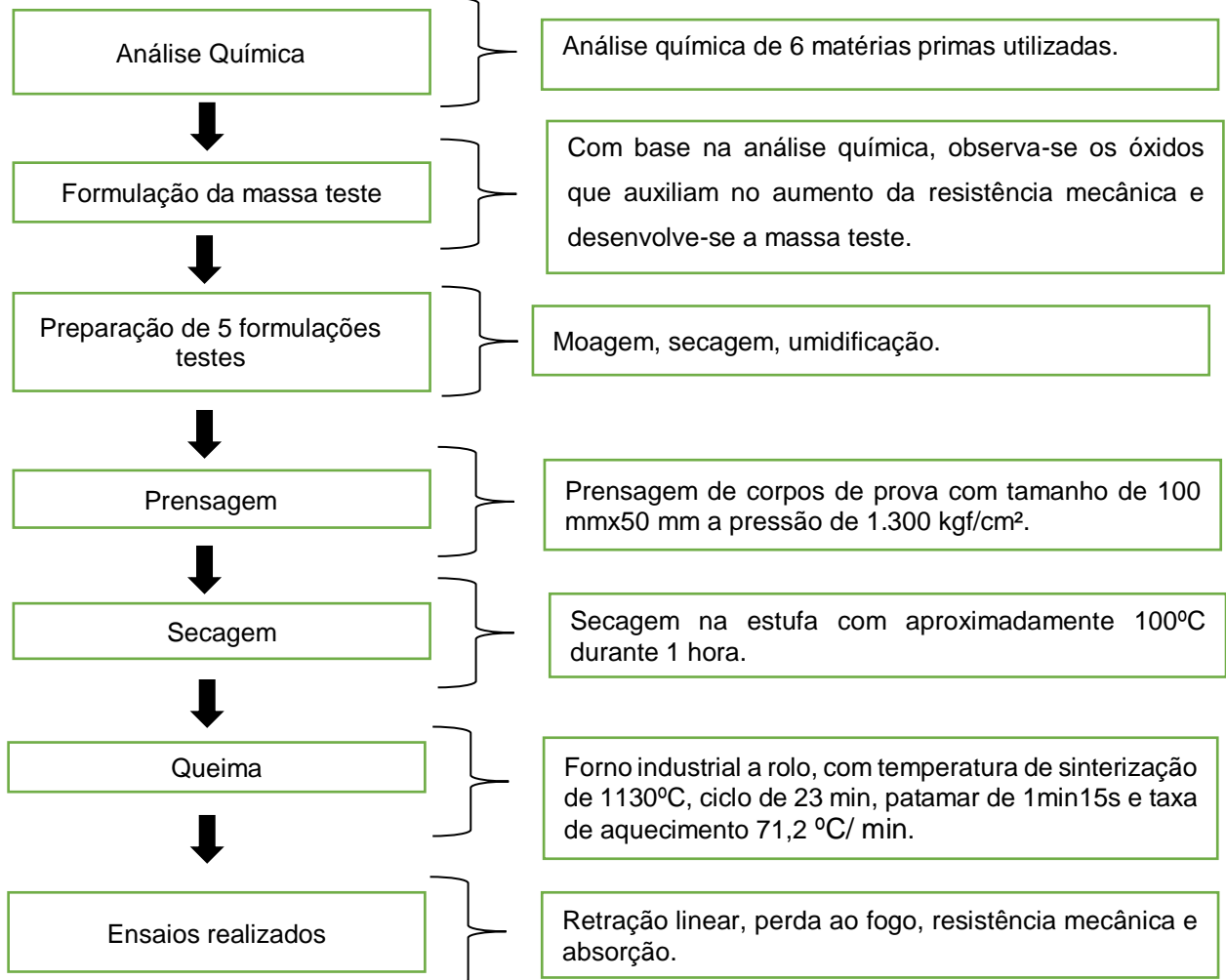
3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste tópico é apresentado o procedimento experimental utilizado na produção deste trabalho. Está descrito as etapas, materiais utilizados e análises necessárias para o desenvolvimento da formulação da massa cerâmica, que resulta

em um corpo de prova com maior resistência mecânica. A Fig. 2 representa o fluxograma com as etapas que foram realizadas para a construção do estudo.

Todos os materiais e estrutura foram disponibilizados pela empresa de revestimentos cerâmicos onde está sendo realizado o estudo.

Figura 2: Fluxograma do processo para formulação da massa.



Fonte: Do autor (2022).

3.1 DESENVOLVIMENTO DAS FORMULAÇÕES

Para o desenvolvimento das 5 formulações testes, utilizou-se 6 matérias primas já beneficiadas (coletadas, secas e moídas em moinho martelo) e determinado uma formulação já utilizada pela empresa no processo industrial, para dispor como padrão.

As matérias primas foram codificadas como: DM, RM, SF, DP, RMP e RMM. Dentre as matérias primas, encontram-se os minerais, quartzo, albita e alguns tipos de argilominerais.

Para formulação padrão foi realizada a análise química por FRX (fluorescência de raio x) no equipamento de marca Panalytical, modelo: Axios FAST e essa mesma análise para as 6 matérias primas que a compõem, apresentada na Tab.3.

Esses resultados de análise química serão apresentados neste item, procedimentos experimentais, pois são necessários para desenvolver as formulações a partir dos óxidos presentes nas 6 matérias primas utilizadas neste estudo.

Para preparação dos corpos de provas testes, foram realizadas as análises químicas por FRX (fluorescência de raio x) das 6 matérias primas utilizadas no desenvolvimento das formulações. A Tab.3 apresenta as análises químicas das 6 matérias primas utilizadas no estudo e a do padrão a ser comparado.

Tabela 3: Análise química das 6 matérias primas utilizadas.

COMP.	RM %	DP %	DM %	RMP %	RMM %	SF %	STD
SiO₂	68,81	66,62	66,799	67,49	67,83	65,41	66,51
Al₂O₃	14,93	14,25	15,889	14,36	16,94	14,83	15,24
TiO₂	0,66	0,63	0,664	0,64	0,67	0,65	0,635
Fe₂O₃	3,87	4,08	4,449	5,21	4,34	4,3	4,062
CaO	0,33	1,98	0,364	0,81	0,22	2,19	1,184
K₂O	5,03	3,54	5,312	4,04	2,46	3,75	3,616
Na₂O	1,09	2,27	0,904	1,98	0,54	1,7	1,599
MgO	1,83	2,44	1,934	2,04	1,52	2,84	2,132
MnO	0,05	0,07	0,05	0,05	0,1	0,05	0,067
P₂O₅	0,05	0,16	0,08	0,12	0,05	0,11	0,115
PF	3,35	3,96	3,509	3,28	5,34	4,16	4,677

Fonte: Empresa (2022).

Identificados os percentuais dos óxidos presentes em cada matéria prima utilizada e no padrão, analisaram-se todas individualmente, podendo identificar quais matérias primas possuem maior influência na resistência mecânica, através dos óxidos presentes.

Para dar início aos testes, estudos foram realizados referente aos óxidos com maior influência no resultado da resistência mecânica, desenvolvendo assim formulações testes com diferentes porcentagens de matérias primas.

Portanto, na Tab.4 segue as formulações desenvolvidas por meio de tentativas e do padrão, relacionando os óxidos presentes nas matérias primas e suas funções dentro de uma formulação de revestimento cerâmico via seco. Essas formulações foram codificadas como: F1, F2, F3, F4 e F5 e seus respectivos percentuais estão apresentados a seguir:

Tabela 4: Formulações testes e padrão.

Matérias primas	F1	F2	F3	F4	F5	STD
RMM	9%	4%	10%	12%	15%	20%
RMP	50%	45%	40%	35%	30%	45%
RM	8%	15%	21,5	20%	5%	8,75
DP	10%	12%	17%	5%	5%	5,81
DM	15%	10%	5%	8%	15%	8,75
SF	8%	5%	6,5%	20%	30%	11,70

Fonte: Do autor (2022).

Vale salientar que as porcentagens das matérias primas nas formulações, foram desenvolvidas de acordo com o estudo relacionado as análises de FRX presentes e pelo conhecimento técnico das matérias prima utilizadas.

3.2 PREPARAÇÃO DE MASSA, PRENSAGEM, SECAGEM E QUEIMA

Todas as etapas a seguir, foram realizadas de forma igual para os 5 tipos de formulações, para que não ocorra diferença nos resultados por justificativa da variação de processo.

Determinou-se a pesagem de 500 g de cada formulação desenvolvida, para isso pesou-se cada uma das 6 matérias primas em uma balança de marca Marte, modelo: AD500 conforme sua porcentagem, totalizando o valor determinado anteriormente.

Posteriormente, as formulações foram misturadas e moídas em moinho periquito de marca Servitech modelo: CT-12242 laboratorial com capacidade de dois jarros, durante 6 min, tempo fundamental para obter o resíduo entre 20% e 30% em malha 325 mesh, que são necessários para o processo.

Após as moagens, o resíduo em malha 325 mesh de marca Granutest abertura 0,045 mm, passam por análise verificando se está conforme os parâmetros estabelecidos.

Para análise de umidade das formulações, pesou-se 5 g de cada teste, e realizou-se o ensaio em um analisador de umidade por infra-vermelho de marca Gehaka, onde se obtém o valor de umidade presente na amostra. Para as próximas etapas, é necessário corrigir a umidade das formulações em 8%, umidade utilizada para etapa de prensagem. Para isso as formulações são espalhadas dentro de uma bandeja e adiciona-se água aos poucos através de um borrifador, até chegar no valor desejado de umidificação.

Para ter a distribuição das partículas uniformemente, as amostras são passadas na peneira de malha 14 mesh marca Servitech, abertura 1,40 mm. Realizado todo o processo da preparação da massa, essa deve descansar por aproximadamente 2 horas, tempo necessário para obter melhor homogeneidade da umidade.

Para conformação dos corpos de prova, usa-se a prensagem uniaxial, utilizou-se uma prensa hidráulica manual de laboratório, marca Icon, com pressão específica de 1.300 kgf/cm² já padronizada para o tamanho e espessura desejada. Os corpos de prova são de tamanho 100 mm x 50 mm com espessura de 7,0 mm, apresentados na Fig.3

Figura 3: Corpos de prova cru.



Fonte: Empresa (2022).

Foram prensados 3 corpos de prova de cada formulação e do padrão a ser comparado, totalizando 18 corpos de prova. Para cada amostra, pesou-se 75 g, sendo a quantidade indispensável para obter a espessura ideal para todas as amostras.

Após prensagem, os corpos de provas foram submetidos a secagem em estufa de marca Servitech, modelo CF-035, com temperatura de 100°C durante 1 hora.

Realizada a etapa de secagem, os corpos de prova são medidos através de um paquímetro digital de marca King Tools, medindo até 155 mm. As medidas são essenciais para futuras análises como retração e perda ao fogo. Mediu-se seu comprimento, largura e pesou-se cada corpo de prova.

Os corpos de prova foram submetidos ao processo de queima como apresenta a Fig.4, em um forno industrial a rolo de marca Siti Barbeane Dáros, com 160 metros de comprimento, ciclo de queima com 23 min a uma temperatura de sinterização de 1130°C, patamar de 1 min e 15 s e taxa de aquecimento 71,2 °C/min. Ao final do processo, os corpos de provas foram novamente medidos e pesados, submetendo-se aos ensaios de retração linear, perda ao fogo, resistência mecânica e absorção de água.

Figura 4: Corpos de provas queimados.



Fonte: Empresa (2022).

3.3 CONTROLE DE QUALIDADE

Como já mencionado, o estudo tem como objetivo avaliar a resistência mecânica do material através das variações das matérias primas na formulação, com isso, o ensaio necessário para se determinar os valores é o de resistência à flexão em placas cerâmicas. Porém além deste, foram realizados outros ensaios, como o de retração, perda ao fogo e absorção.

3.3.1 Retração linear

A retração linear determina a variação dimensional do material. Por isso, foram realizadas as medidas anteriormente. Após a etapa de queima, mediu-se o comprimento novamente dos corpos de provas, onde o valor da retração é possível obter utilizando a Eq. 3 a seguir:

$$R_1 = \frac{(L_i - L_f)}{L_i \times 100} \quad (3)$$

Onde:

R_1 = Retração linear (%);

L_i = Comprimento inicial (mm);

L_f = Comprimento final (mm).

3.3.2 Perda ao fogo

A perda ao fogo é a quantificação da perda de massa do material cerâmico durante o processo de queima. Portanto é necessário a pesagem antes e após a etapa de queima. Através da Eq. 4 abaixo, obtém-se o valor em porcentagem da perda de material:

$$P_f (\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i \times 100} \quad (4)$$

Onde:

P_f = Perda ao fogo (%);

M_i = Massa inicial (g);

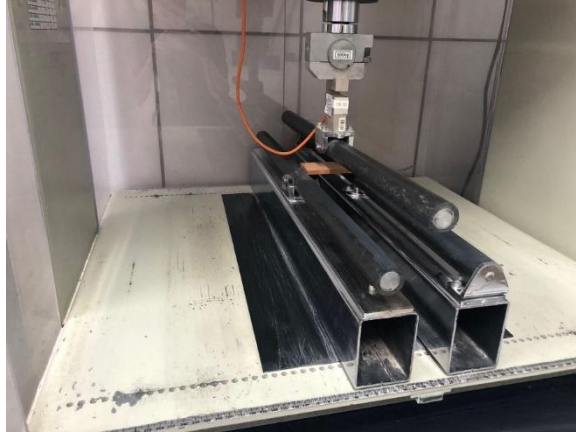
M_f = Massa final (g).

3.3.3 Resistência à flexão

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à flexão de placas cerâmicas em um Flexímetro de marca Servitech com carga máxima de 500 Kg no ponto central. Programou-se o equipamento conforme as medidas do corpo de

prova a ser rompido e posicionou-se o mesmo em cima dos cutelos, como mostra a Fig.5.

Figura 5: Ensaio de resistência à flexão no flexímetro.



Fonte: Empresa (2022).

Posteriormente ao rompimento da peça, mediu-se a menor espessura na secção de ruptura, segundo a norma ISO 10545-4 (2020) e adicionou-se o valor no aparelho, gerando o resultado da carga de ruptura em Força (N) e o módulo de resistência à flexão (N/mm²) automaticamente. O ensaio foi realizado em 3 corpos de prova de cada formulação e do padrão a ser comparado.

3.4.4 Absorção d'água

A absorção de água foi realizada em um equipamento chamado Porosímetro, de marca Servitech modelo CT-12174, onde o mesmo opera por 30 min no vácuo e 15 min na água. Portanto, após realizado o ensaio de resistência à flexão, pesou-se os corpos de provas, já rompidos, em uma balança marca Marte, modelo: AD500, anotou-se diretamente na amostra e adicionou-se no aparelho para iniciar o processo (ISO 10545-3:2020).

Terminando todo o processo, retirou-se as amostras, secou-se levemente e pesou-se novamente para obter o valor da absorção de água, resultando o valor através da seguinte equação.

$$\text{Abs} = \frac{M_i - M_f}{M_i \times 100} \quad (5)$$

Onde:

Abs = Absorção do corpo de prova (%);

Mi = Massa inicial (g);

Mf = Massa final (g).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nessa etapa será apresentado os resultados referentes aos ensaios realizados e as discussões dos mesmos.

4.1 ANÁLISES FÍSICAS DOS CORPOS DE PROVA

O processo de formação dos corpos de provas foi realizado de forma igualitária, a fim de excluir possíveis erros no processo e focar diretamente em sua formulação, com o objetivo de aumentar a carga de ruptura da massa cerâmica de uma empresa de revestimentos cerâmicos via seco.

Obteve-se 3 corpos de provas de cada formulação e do padrão, portanto fez-se a média para cada análise realizada. Sendo da seguinte forma.

4.1.1 Retração linear e Perda ao fogo

As Tab. 6 e 7 apresentam os resultados de retração linear e perda ao fogo.

Tabela 6: Resultados retração linear.

	RETRAÇÃO			MÉDIA
	1	2	3	
STD	3,8%	3,8%	4,1%	3,9%
F1	3,9%	3,8%	3,8%	3,8%
F2	3,9%	3,8%	3,8%	3,8%
F3	4%	3,9%	3,8%	3,9%
F4	4,6%	4,7%	4,7%	4,7%
F5	4,5%	4,5%	4,6%	4,5%

Fonte: Do autor (2022).

A retração das formulações F1, F2 e F3 estão mais próximas ao padrão da empresa (média de 3,9%). Analisando suas formulações, pode-se perceber que as matérias primas RMP, RM e DP possuem um maior percentual de SiO₂ e Al₂O₃ que

segundo Riella et al, (2002) são óxidos formadores de vidro, portanto, mais refratários e são encontrados nos minerais quartzo e caulim, e dão estrutura cristalina ao corpo cerâmico.

No entanto a retração não necessariamente é proporcional a refratariedade da matéria prima e sim da sua granulometria, que vem proveniente de argilas plásticas e não plásticas. Quanto menor a granulometria maior tende a ser a retração da peça cerâmica.

Segundo Luz et al (2005), a granulometria é o fator determinante da plasticidade das argilas, assim os grãos mais finos possuem índices de plasticidade maiores o que favorece no produto final, com elevada trabalhabilidade, resistência mecânica e retração.

Contudo, as matérias primas RMP, DP são constituídas por argilas rochosas em aproximadamente 90% pedras (granulometria maior e maior dureza) e 10% macio (granulometria fina), referindo-se a um material mais duro com granulometria maior que as outras matérias primas.

Já as formulações F4 e F5 possuem maior quantidade de SF, RMP, RMM e DM que são matérias primas mais fundentes que também segundo Riella et al (2002), está relacionada a capacidade de formação de fase líquida em baixas temperaturas, os elementos que promovem a fase líquida são os óxidos alcalinos (K_2O , Na_2O) e alcalino-terrosos (CaO e MgO), porém a formação dessa fase líquida é uma junção entre a proporção dos óxidos alcalinos (K_2O , Na_2O) e os óxidos formadores de vidro citados anteriormente, SiO_2 e Al_2O_3 .

Além disto, as matérias primas RMM e DM possuem menor granulometria. Segundo Luz et al (2005) algumas argilas refratárias têm propriedades que são incluídas na faixa das propriedades coloidais, associadas as argilas plásticas. A argila RMM é de extrema refratariedade, porém possui seus grânulos mais finos, por isso após a moagem ocorre a diminuição ainda maior dos grânulos, obtendo uma melhor distribuição granulométrica e bom empacotamento na etapa de prensagem.

Tabela 7: Resultados perda ao fogo.

	PERDA AO FOGO			MÉDIA
	1	2	3	
STD	4,6%	4,5%	4,7%	4,6%
F1	4,2%	4,2%	4,1%	4,2%
F2	4,4%	4,3%	4,3%	4,3%

F3	4,4%	4,3%	4,3%	4,3%
F4	4,3%	4,3%	4,7%	4,4%
F5	4,4%	3%	4,5%	4,0%

Fonte: Do autor (2022).

Os dois ensaios de retração e perda ao fogo, não são diretamente proporcionais, mas visto que diante dos resultados podemos perceber que quanto maior a retração maior a perda ao fogo.

A perda fogo está relacionada com a perda de matéria orgânica e água no processo de queima. Nota-se que as formulações resultaram em um equilíbrio nas porcentagens de perda ao fogo, pois de acordo com Luz et al (2005), um dos principais fatores na determinação de uma argila plástica é a existência de matéria orgânica rica em ácido húmico, dado que todas as argilas utilizadas contêm uma porcentagem de argila plásticas.

4.1.2 Absorção d'água

A Tab.8 apresenta os resultados do ensaio de absorção de água realizados nos corpos de prova.

Tabela 8: Absorção de água.

ABSORÇÃO DE ÁGUA				
	1	2	3	MÉDIA
STD	6,6%	7,7%	6,9%	7,1%
F1	6,8%	6,8%	7,3%	7,0%
F2	6,6%	7,6%	7,6%	7,3%
F3	6,9%	7,5%	7,5%	7,3%
F4	5,6%	7,0%	6,8%	6,5%
F5	6,6%	6,0%	5,9%	6,2%

Fonte: Do autor (2022).

A absorção de água está relacionada a porosidade do corpo cerâmico. Nota-se que as formulações com menor formação de fase líquida F1, F2 e F3, tem maior absorção de água, pois em sua composição consta com maior quantidade de material de granulometria maior (RMP, DP) e material refratário (RM- SiO₂ com 68,81%) e menor quantidade de matérias primas fundentes.

As formulações F5 e F4 possuem a maior quantidade de matérias primas fundentes, a matéria prima SF é um material argiloso extremamente fundente e DM com quantidade de 5,31% de óxido de potássio (K_2O) e RM com 5,03% constando em suas composições químicas.

Como citado anteriormente, a fase líquida é constituída pela formação de óxidos de potássio (K_2O), sódio (Na_2O) e cálcio (CaO) principalmente. O óxido de potássio é responsável por formar eutéticos em temperaturas mais baixas, como a que o estudo foi realizado ($1130^{\circ}C$) e o óxido de sódio responsável pela baixa viscosidade, dessa forma, esta fase líquida tem como objetivo preencher as cavidades do corpo cerâmico, eliminando a porosidade presente (RIELLA et al, 2002).

4.1.3 Resistencia mecânica

Simplificando os resultados, apresenta-se na Tab.9 as médias das cargas de ruptura (N) e modulo de resistência a flexão (N/mm^2) realizados nos corpos de prova.

Tabela 9: Resistência mecânica.

RESISTÊNCIA MECÂNICA		
	CARGA DE RUPTURA (N)	MÓDULO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO (N/mm^2)
STD	1190,5	43,6
F1	1343,5	48,7
F2	1404,3	49,9
F3	1378,2	48,9
F4	1444,8	51,1
F5	1498,5	53,2

Fonte: Do autor (2022).

No ensaio de resistência mecânica, que é a principal análise do estudo, nota-se o aumento da carga de ruptura e do módulo de resistência a flexão em relação ao padrão comparado para todas as amostras, com destaque das formulações F4 e F5 conforme apresentado na Tab.9.

Com o estudo realizado e a experiência técnica por parte da empresa, aumentou-se as matérias primas nas formulações segundo a sua composição

química, já que as argilas SF, DM, RMP e RMM, possuem maior quantidade de óxidos que auxiliam no aumento da resistência mecânica.

Mas estudos também mostram que a resistência mecânica e a absorção de água são inversamente proporcionais, quanto maior a resistência mecânica menor a absorção de água, tendo em vista a discussão sobre a formação de fase líquida.

De acordo com Ferrari et al (2000) quando ocorre a sinterização na etapa de queima, os materiais fundentes aceleram a formação dos materiais vítreos que cobrem uma certa quantidade de poros, resultando num produto de melhor qualidade, como menor absorção de água, maior resistência mecânica. Porém deve-se ter controle da quantidade de materiais fundentes, pois os poros muito fechados podem gerar tensões internas no corpo cerâmico, resultando em trincas, quebras e conseqüentemente diminuindo a resistência mecânica.

Desse modo, as formulações foram desenvolvidas por tentativa, mas sempre equilibrando o percentual dos materiais fundentes com os refratários. Houve um aumento significativo da matéria prima SF na formulação F5, comprovando que o óxido de cálcio um alcalino-terroso, também tem grande influência nos parâmetros analisados.

A formulação F2 obteve bons resultados comparados ao padrão, pois sua formulação a um aumento da matéria prima RM que possui a maior quantidade de óxido de potássio (K_2O) e também óxido de silício (SiO_2), visto que é necessário um equilíbrio entre os óxidos formadores de vidro e os óxidos formadores de fase líquida.

Portanto, observa-se que foi possível aumentar a resistência mecânica alterando somente sua composição de argilas na massa cerâmica, porém algumas etapas do processo industrial interferem nos resultados finais, como: preparação de massa; prensagem e queima.

5 CONCLUSÃO

Para obter um produto de qualidade é necessário controle nos parâmetros durante seu processo de fabricação, isso em qualquer processo industrial. Na indústria cerâmica via seca é comum a quantidade de quebras no final do processo e também durante o transporte para o consumidor.

Neste estudo, avaliou-se as composições químicas das matérias primas utilizadas em uma empresa de revestimentos cerâmicos via seco do Sul Catarinense

e desenvolveu-se formulações com o objetivo de aumentar a resistência mecânica do revestimento, analisando somente esta propriedade sem dar ênfase as demais propriedades que devem ser controladas na produção de peças cerâmicas via seco.

Conforme o resultado obtido verificou-se o aumento da resistência mecânica em todas as formulações desenvolvidas (F1, F2, F3, F4 e F5) para este estudo, em relação ao padrão estabelecido pela indústria. Porém, duas formulações (F4 e F5) destacaram-se pelo seu grande aumento da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão.

Pode-se justificar que a formulação F5 possui maior quantidade de matéria prima RMM, RMP e SF, e a sua granulometria da argila influencia na melhor distribuição e empacotamento das partículas, diminuindo a formação de poros e também pela formação de fases líquidas durante o processo de queima, sabe-se que a fase líquida favorece o aumento da resistência mecânica e diminuição da absorção de água das peças cerâmicas. A formulação F4 apresenta o mesmo conceito da F5, porém a sua formulação possui menor quantidade das matérias primas responsáveis pelo aumento da resistência mecânica, mas é eficiente do mesmo modo.

As formulações F1, F2 e F3, resultaram em uma menor resistência mecânica em relação aos outros presentes, isso porque as matérias primas com maior porcentagem na formulação, possuem grãos maiores, dificultando sua distribuição granulométrica.

Contudo, a utilização da formulação F4 e F5 em escala industrial não é viável, pelo fato da matéria prima SF no qual possui 30% na composição, conter grande quantidade de matéria orgânica ocasionando futuros problemas nas peças cerâmicas. Conforme os resultados, a formulação F2 apresenta também um aumento da resistência mecânica, e seria possível a sua utilização na fabricação de revestimentos cerâmicos da empresa analisada, entretanto, como sugestão de trabalhos futuros, é preciso realizar um estudo mais profundo sobre as outras propriedades que viabilizam a utilização desta nova formulação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR ISO 13066:2020-anexo k**. placas cerâmicas prensadas a seco 6% a 10% grupo Bllb. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10545-4**: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO, LOUÇAS SANITÁRIAS, E CONGÊNERES – **ANFACER**. Disponível em: < <https://www.anfacer.org.br/brasil>>. Acesso em: 09, out. 2021

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSANI, José Carlos. **A indústria cerâmica brasileira**. Cerâmica industrial, p. 1-36, 2000. Disponível em: <<https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657067f8c9d6e028b4623/pdf/ci-5-3-587657067f8c9d6e028b4623.pdf> > acesso em: 07, set de 2021.

COLONETTI, Ricardo Alves. **Trajatória da Indústria de Revestimentos Cerâmicos do Sul Catarinense**. Cerâmica Industrial, p.25, 2016. Disponível em < <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/587657627f8c9d6e028b4847>> acesso em: 07, set de 2021.

DAMACESNO, Giselle Chagas. **Especialização em Mineração e Meio Ambiente**. UFBR, P.18, 2017. Disponível em: < https://www2.ufrb.edu.br/ead/images/imagensACESSE/Geologia_Minera%C3%A7%C3%A3o_e_Meio_Ambiente.pdf> acesso em: 08, set de 2021.

FEITOSA, G et al. **Obtenção de mulita a partir de matérias-primas naturais utilizando ativação mecânica**. ABCERAM, P.12. Disponível em https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/105/42105308.pdf acesso em: 14, out de 2021.

GORINI, Ana Paula Fontenelle; CORREA, Abidack Raposo. **Cerâmica para revestimentos**. BNDES Setorial, n.10, p. 201-252, 1999. Disponível em < <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9535> > acesso em: 08, set. De 2021.

HOFFMANN, Felipe Schlittler. **Estudo da influência dos argilitos e feldspatóides em composições de porcelanato**. UFSCAR, P.92, 2011. Disponível em < <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/851?show=full>> acesso em: 14, out de 2021.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antônio Freitas. **Rochas & minerais Industriais: Usos e especificações**. 2 Ed., Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2008, 990p. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/522>>. Acesso em: 12 out. 2021.

MELCHIADES, Fabio Gomes. **Estudo comparativo de tecnologia via úmida e via seca para a preparação de massas de porcelanatos**. UFSCAR, p.09-45, 2011. Disponível em < <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/684?show=full>> acesso em: 12, out de 2021.

MOTTA, José Francisco Marciano, et al. **As Matérias-Primas Plásticas para a Cerâmica Tradicional: Argilas e Caulins**. Cerâmica Industrial, v. 9, n. 2, p. 33-46, 2004. Disponível em: < <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876571d7f8c9d6e028b46ae> >. Acesso em: 08, de set. 2020.

OLIVEIRA, Fernanda de. **Estudo das Propriedades Mecânicas de um Revestimento Cerâmico Multicamada**. Cerâmica industrial, p. 22-23, 2007. Disponível em <<https://ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/587657337f8c9d6e028b472c>> acesso em: 07, set. De 2021.

SILVA, Judson Ricardo Ribeiro; PORTELLA, Kleber Franke. **Caracterização Físico-Química de Massas Cerâmicas e suas Influências nas Propriedades Finais de Revestimentos Cerâmicos**. Cerâmica Industrial, 2005, p.12. Disponível em < <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/587657267f8c9d6e028b46df> > acesso em: 07, set. De 2021.

SILVEIRA, G.C et al. **Caracterização de caulim e de resíduo de granito para formulação de grês porcelanato**. 22º CBECiMat – 2016. Disponível em < <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-152.pdf>> acesso em: 14, out de 2021.

FRIZZO, Rafael Guelfi. **Piroplasticidade em cerâmica de composição albita - feldspato potássico – caulim**. UNESC programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais mestrado em ciência e engenharia de materiais, 2018. Disponível em <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/7147/1/DM%20Rafael%20Frizzo.pdf>> acesso em: 16, maio de 2022.

LIRA, H.L; NEVES, G.A. **Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.8.3 (2013) 110 –117. Disponível em < <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/342/284>>. Acesso em: 16, maio de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a toda minha família que sempre apoiou ao longo da graduação, meu noivo e amigos. Agradecimento em especial a Professora Orientadora Morgana N. Sartor Faraco por todo auxílio no desenvolvimento deste trabalho. Agradeço ao gerente industrial da empresa que proporcionou um vasto conhecimento técnico e disponibilizou estrutura para realização da parte prática do trabalho.

LISTA DE SÍMBOLOS

R	[%]	Retração linear de queima
l_i	[cm]	Medida inicial do corpo de prova
l_f	[cm]	Medida final do corpo de prova
Abs	[%]	Absorção do corpo de prova
m_i	[g]	Massa inicial
m_f	[g]	Massa final
Pf	[%]	Perda ao fogo
CR	[N]	Carga de Ruptura
L	[cm]	Distância entre os apoios
F	[N]	Força de ruptura
L_1	[mm]	Distância entre os pontos de apoio
b	[mm]	Largura do corpo de prova ao longo da ruptura
MRF	[MPa]	Módulo de resistência à flexão
$e_{mín}$	[mm]	Mínima espessura do corpo de prova, medida na seção de ruptura