

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Elvira Lopes

**DESENVOLVIMENTO DE ESMALTE MATE TRANSPARENTE PARA
PORCELANATOS NATURAIS ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE FRITA DE BÁRIO**

FLORIANÓPOLIS

2022

Elvira Lopes

**DESENVOLVIMENTO DE ESMALTE MATE TRANSPARENTE PARA
PORCELANATOS NATURAIS ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE FRITA DE BÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Eng. João Batista Rodrigues Neto

Coorientador: Eng. Sandro Junior Vessoni Torres

FLORIANÓPOLIS

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lopes, Elvira

Desenvolvimento de esmalte mate transparente para porcelanatos naturais através da adição de frita de bário / Elvira Lopes ; orientador, João Batista Rodrigues Neto, coorientador, Sandro Junior Vessoni Torres, 2022.

78 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Materiais. 2. Revestimento cerâmico. 3. Esmalte mate transparente. 4. Frita de óxido de bário. I. Rodrigues Neto, João Batista . II. Torres, Sandro Junior Vessoni . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Materiais. IV. Título.

Elvira Lopes

**DESENVOLVIMENTO DE ESMALTE MATE TRANSPARENTE PARA
PORCELANATOS NATURAIS ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE FRITA DE BÁRIO**

Este Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheira de Materiais e aprovado em sua forma final pela Comissão Examinadora e pelo Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de setembro de 2022.

Prof. Celso Peres Fernandes

Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia de Materiais

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eng. João Batista Rodrigues Neto

Prof. Dr. Eng. Dachamir Hotza

Eng. Sérgio Luiz Sachet Filho

Eng. Sandro Junior Vessoni Torres

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo apoio e incentivo durante toda minha graduação.

À Portobello, empresa onde iniciei como estagiária e tive a oportunidade de desenvolver este trabalho de conclusão de curso.

Ao meu orientador, Dr. Eng. João Batista, pelas suas contribuições para este trabalho.

Ao meu co-orientador, colega e amigo, Sandro, coordenador do laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento, por todas as nossas conversas e suas contribuições para com este e outros trabalhos.

Ao Sérgio, coordenador de Processo, que sempre esteve presente em todas as etapas deste trabalho, com seus ensinamentos e estímulos.

À toda a equipe do laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento, em especial a Ana Scarati, Moisés e Guilherme, pela ajuda, ideias, dicas e principalmente pela amizade. Um agradecimento especial a Andréia, que além de ser colega de trabalho, é também colega de curso e apartamento.

À equipe do layout da fábrica 2, pelo o auxílio durante os testes em linha de produção. Às minhas colegas de curso Thamyres e Maiara, pelo companheirismo e alegria, com quem compartilhei bons momentos de graduação.

RESUMO

A indústria da cerâmica de revestimento tem crescido nos últimos anos, impulsionada pela versatilidade de decoração e por suas características de alta resistência mecânica, química e a abrasão, fácil limpabilidade e higiene. O revestimento cerâmico é composto por três camadas básicas, a massa, responsável pela resistência mecânica e estabilidade dimensional, o engobe, que homogeniza e impermeabiliza a superfície, preparando a para receber o esmalte. A camada de esmalte confere a características estéticas e físico-químicas do produto. Com o objetivo de desenvolver um novo esmalte mate para porcelanatos naturais, foi estudado a adição de uma frita rica em óxido de bário na composição de esmalte padrão. Novas formulações foram elaboradas com base na caracterização individual das duas fritas utilizadas neste estudo. A formulação que apresentou as melhores características de brilho e resistência ao ataque químico, quando aplicado o esmalte em binil, foi levada para teste em linha de produção. O esmalte foi caracterizado quando a sua resistência ao manchamento contra o agente interno, brilho, coeficiente de atrito dinâmico (NBR16919), resistência ao ataque químico (NBR-ISO 10545-13) e resistência ao manchamento (NBR-ISO 10545-14). De acordo com as caracterizações realizadas, a frita de bário possui comportamento mais refratário e com maior viscosidade de queima do que a frita padrão, levando o esmalte a ter sua resistência ao manchamento contra o agente interno afetada. Ao limitar o seu percentual de adição em 10%, foi possível desenvolver um esmalte mate com brilho inferior ao padrão, sendo de 8,6 contra 9,5 lux, resistente ao manchamento contra o agente interno, coeficiente de atrito dinâmico (NBR 16919) superior a 0,40, resistência ao ataque químico igual ao padrão e resistência ao manchamento com classificação 5. Desta forma, o esmalte desenvolvido apresentou resultados relevantes e que possibilitam a sua utilização em porcelanatos naturais.

Palavras-chaves: Revestimento cerâmico; Esmalte mate transparente; Frita de óxido de bário.

ABSTRACT

In recent year, the ceramic tile industry has grown driven by the versatility of decoration and its characteristics of high mechanical, chemical and abrasion resistance, easy cleaning and hygiene. The ceramic tile is composed of three basic layers, the putty, responsible for the mechanical strength and dimensional stability, and the engobe, which homogenizes and waterproofs the surface, preparing it to receive the glaze. The glaze layer confers the product's aesthetic and physicochemical characteristics. In order to develop a new ceramic matt glaze for porcelain tile, an addition of a new raw material into a standard glaze composition was studied, a frit rich in barium oxide. New formulations were elaborated based on individual characterization of the two frits used in this study. The formulation that presented the best characteristics of glossiness and resistance to chemical attack, when the glaze was applied with manual orifice, was taken for testing in the production line. The ceramic glaze was characterized by its resistance to staining against the internal agent, gloss, coefficient of dynamic friction (NBR16919), resistance to chemical attack (NBR-ISO 10545-13) and resistance to staining (NBR-ISO 10545-14). According to the characterizations, the barium frit has a more refractory behavior and a higher fire viscosity than the standard frit, causing the glaze to have its stain resistance against shoe shine wax affected. By limiting the percentage of addition to 10%, it was possible to develop a matt glaze with a lower gloss than standard glaze, of 8,6 over 9,5 lux, resistance to staining against the internal agent, coefficient of dynamic friction over 0,40, resistance to chemical attack equal to the standard and resistance to staining with classification 5. In this way, the glaze developed presented relevant results that allow its use in natural porcelain tiles.

Keywords: Ceramic tile; transparent matt glaze; barium oxide frit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas da fabricação do revestimento cerâmico.....	28
Figura 2. Geometria do grânulo produzido por via seca (a) e via úmida (b).....	29
Figura 3. Exemplo de um revestimento com o <i>layout</i> esmalto-be-decoração-esmalte.....	30
Figura 4. Rolo de silicone para decoração por contato.....	32
Figura 5. Possibilidades de decoração utilizando uma impressora jato de tinta.....	33
Figura 6. Placa cerâmica não-retificada (a) e retificada (b).....	35
Figura 7. Representação gráfica da porosidade aberta e fechada.	37
Figura 8. Porcelanato técnico, decoração feito através de massa colorida.	37
Figura 9. Exemplo de fritas utilizadas na formulação de esmaltes e engobes.	39
Figura 10. Estrutura cristalina (a) e amorfa (b).....	40
Figura 11. Representação gráfica da incidência e reflexão da luz em um esmalte mate.	40
Figura 12. Aplicação por campana	44
Figura 13. Aplicação por vela.....	44
Figura 14. Aplicação por disco.	45
Figura 15. Aplicação por pistolas.	46
Figura 16. A) Preparação do botão de fusibilidade, B) Biscoito cerâmico com aplicação de binil e transferência do botão.	48
Figura 17. Botão para avaliar a viscosidade de queima da fritas.	49
Figura 18. Estudo de formulações em escala laboratorial	49
Figura 19. Etapas para determinação do percentual de resíduo de um esmalte cerâmico.	50
Figura 20. Etapas do teste em linha de produção.....	51
Figura 21. Princípio de funcionamento de um medidor de brilho.	53
Figura 22. Pontos de medição de brilho no binil (a) e na placa cerâmica (b).....	53
Figura 23. Procedimento para avaliar a limpabilidade utilizando o agente de manchante interno.	54
Figura 24. Ensaio de resistência ao manchamento segundo a NBR 10545-14.....	55
Figura 25. Ensaio de resistência ao ataque químico nos binís.....	57
Figura 26. Comparação de brilho (a) e fusibilidade (b) entre as fritas STD e bário.....	58
Figura 27. Botão de escorrimto para avaliação da viscosidade de queima das fritas STD e de bário.	59
Figura 28. Binil da primeira bateria de testes em laboratório.....	61
Figura 29. Binil da segunda bateria de testes em laboratório.	63
Figura 30. Ataque químico C, descaracterização do desenho e perda de brilho.	64

Figura 31. Teste de resistência ao manchamento no T7.	66
Figura 32. Botão de fusibilidade dos esmaltes STD, T8 e T7.	68
Figura 33. Comparação da viscosidade de queima entre os esmaltes STD, T8 e T7.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção mundial por áreas.....	24
Tabela 2. Principais países produtores de revestimentos cerâmicos.....	25
Tabela 3. Consumo mundial por áreas.....	26
Tabela 4. Principais países consumidores de revestimentos cerâmicos.	27
Tabela 5. Classe B dos revestimentos cerâmicos e suas tipologias.	36
Tabela 6. Formulações para a 1ª bateria de teste e resultado de brilho e ataque químico.	60
Tabela 7. Percentual das sete matérias-primas estudadas.....	60
Tabela 8. Resultado de brilho e ataque químico da 1ª bateria de testes.....	61
Tabela 9. Formulações para a 2ª bateria de teste e resultados de brilho e ataque químico.....	62
Tabela 10. Percentual das sete matérias-primas estudadas na 2ª bateria.....	63
Tabela 11. Resultado de brilho e ataque químico da 2ª bateria de testes.....	63
Tabela 12. Resultado do T7 em linha de produção.....	65
Tabela 13. Ajuste na formulação do T7 para um novo teste.	67
Tabela 14. Resultado de brilho e ataque químico após ajuste na formulação.	68
Tabela 15. Resultado do teste T8 em linha de produção.	69
Tabela 16. Resistência ao ataque químico do T8 comparado ao STD e T7.	69
Tabela 17. Resistência ao manchamento do T8.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANFACER – Associação Nacional de Fabricante de Revestimentos Cerâmicos, Louças Sanitárias e Congêneres

BF – Botão de fusibilidade

CAD – Coeficiente de atrito dinâmico

CIT – Ácido cítrico

Esmalte STD – Esmalte padrão

Frita STD – frita padrão

HCl – Ácido clorídrico

HIPO – Hipocloreto de sódio

ISO – International Standard Organization

KOH – Hidróxido de potássio

LAT – Ácido láctico

Mp – Matéria-prima

Mp A – Matéria-prima A

Mp B – Matéria-prima B

Mp C – Matéria-prima C

Mp D – Matéria-prima D

Mp E – Matéria-prima E

NBR – Norma Brasileira

NH₄Cl – Cloreto de amônio

PA – Ponto de amolecimento

UE – União Europeia

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa	15
1.2. Objetivo Geral	16
1.2.1. <i>Objetivos específicos</i>	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. História da cerâmica	17
2.2. Cerâmica - Conceitos e Definições	19
2.2.1. <i>Tipos de Cerâmica</i>	20
2.2.1.1. <i>Cerâmica Avançada</i>	20
2.2.1.2. <i>Cerâmica Tradicional</i>	20
2.2.2. <i>Cerâmica Tradicional - Áreas de aplicação</i>	21
2.3. Revestimentos cerâmicos	23
2.3.1. <i>Panorama mundial da produção e consumo de revestimentos cerâmicos</i>	23
2.3.1.1. <i>Cenário brasileiro</i>	27
2.3.2. <i>Processo cerâmico</i>	28
2.3.2.1. Moagem via seca/via úmida da massa	28
2.3.2.2. Prensagem e Esmaltação	29
2.3.2.3. Sinterização ou queima	33
2.3.2.4. Beneficiamento	35
2.3.3. <i>Classificação e tipologias</i>	35
2.3.4. <i>Porcelanato</i>	37
2.3.5. <i>Esmaltes e suas matérias-primas</i>	38
2.3.5.1. Matérias-Primas	38
2.3.6. <i>Métodos para aplicação de esmalte - Equipamentos</i>	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1. Materiais	47
3.2. Estudo laboratorial	47
	12

3.2.1. <i>Comparação de fusibilidade e características das fritas do estudo</i>	47
3.2.2. <i>Estudo e avaliação das formulações</i>	49
3.3. Teste em linha de produção	51
3.4. Técnicas de caracterização	52
3.4.1. <i>Fusibilidade e Viscosidade de queima</i>	52
3.4.2. <i>Brilho</i>	52
3.4.3. <i>Resistência ao manchamento</i>	53
3.4.4. <i>Coefficiente de atrito dinâmico</i>	55
3.4.5. <i>Resistência ao ataque químico</i>	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1. Comparação das características das fritas STD e de Bário	58
4.2. Estudo laboratorial	60
4.2.1. <i>1ª Bateria de teste</i>	60
4.2.2. <i>2ª Bateria de teste</i>	62
4.3. Teste em linha de produção	65
4.4. Resistência ao ataque químico e ao manchamento	69
5. CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

A sociedade atual está habituada a ouvir a palavra “cerâmica” e logo a relacionar com uma atividade artística ou um segmento da indústria, mas antes de representar um produto ou atividade, a cerâmica nada mais é do que uma matéria-prima, seja ela beneficiada ou não (BARSOUM, 1996).

A cerâmica, como produto, está presente desde os primórdios da civilização. Inicialmente eram preparados utensílios para armazenar alimentos, bebidas e perfumes, mas logo passou a ser utilizada também como ornamentos (brincos e colares), utensílios domésticos (pratos e panelas) e materiais de construção civil (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Os revestimentos cerâmicos são materiais utilizados para recobrir chão e paredes, em ambientes internos e externos, expostos ou não a luz e água. Podem também ser empregados na produção de pias e bancadas. São produtos de alta durabilidade e resistência química e mecânica, além de conferir um acabamento estético diferenciado, em design e textura. São conhecidos pela sua versatilidade na decoração com a possibilidade de imitar materiais naturais como madeira e mármore (MADEIRAS PORTOBELLO - DESIGN, SUSTENTABILIDADE E MODA, [s.d.]; REBELO, 2010; SANTOS, 2012).

A cerâmica de revestimento é um dos segmentos da indústria que mais cresceu nos últimos anos. Segundo dados da revista *Ceramic World Review* (2021), no ano de 2020 foram produzidos e consumidos no mundo mais de 16 bilhões de m², um crescimento de 1,7% quando comparado ao volume produzido em 2019 e de 2,5% no consumo. No mesmo período, o Brasil apresentou uma queda de 7,6% no volume produzido, por conta dos *lockdowns* gerados pela pandemia da SARS-COV-2 (coronavírus), entretanto, o consumo interno cresceu 3,4%. Já de 2020 para 2021 houve um crescimento de 24,8% no volume de produção e 9,2% no consumo interno (ANFACER, 2022; BARALDI, 2021). Esse crescimento está ligado ao impacto gerado pela pandemia da SARS-COV-2, pois, durante este período de isolamento social, as pessoas precisaram transformar suas casas em um local não apenas convívio familiar, mas também de trabalho. Com o aumento do convívio com o lar, começou-se a perceber e surgir a necessidade de mudanças e adaptações para a nova rotina, desde reformas à novas construções, onde a facilidade de higienização e limpeza se tornou um dos principais requisitos. A necessidade de limpeza constante para evitar o contágio pelo novo coronavírus mostrou que a higienização era o ponto principal e um produto que se destaca no quesito limpeza e higiene é o revestimento cerâmico (MENDES, 2020; TANTO, 2022).

Com o aumento na procura por este produto, as empresas aumentaram a sua produção e portfólio, com o lançamento de novos produtos e formatos. Surgindo assim a necessidade de continuar inovando e buscando novas matérias-primas (Mp).

As placas de revestimento cerâmico são compostas por 3 camadas básicas, a massa que é responsável por conferir a resistência mecânica do produto e servir de suporte para receber as demais camadas; o engobe, responsável por selar e homogeneizar a superfície da massa; e o esmalte responsável por impermeabilizar o produto, além conferir resistência ao ataque químico, ao desgaste, ao manchamento e, mais importante, de entregar o acabamento estético do produto (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994).

Por se tratar de uma área dinâmica e em constante crescimento, a oferta por novas (Mp) é contínua, principalmente para o desenvolvimento de engobes e esmaltes. Antes de aplicar qualquer nova Mp ao processo produtivo, é preciso estudá-la, avaliando seu comportamento individual e dentro da formulação, para que o produto não perca as características físico-químicas (resistência ao manchamento, por exemplo) e estéticas (ex. desenvolvimento de cor).

1.1. Justificativa

Com a crescente demanda de produção de revestimentos cerâmicos, surge a necessidade das empresas de se reinventar, buscando para o mercado de produção de cerâmica de revestimento, novas matérias-primas.

Assim, para garantir a entrega de produtos diferenciados e de qualidade aos seus clientes, sem o comprometimento de volume de produção e lucratividade da indústria, torna-se cada vez mais importante diversificar o portfólio de matérias-primas de esmaltes, já que estes são as responsáveis pelo acabamento estético do produto e características físico-químicas da superfície. Entretanto, existe também a preocupação ao incorporar tais materiais nestas formulações. É preciso inicialmente estudar o comportamento físico-químico de forma individual, para então avaliar o comportamento em conjunto com outras matérias-primas. Desta forma, será possível prever dificuldades e traçar estratégias para garantir a estabilidade do novo esmalte dentro do processo produtivo.

Por conta desta necessidade, o presente trabalho visa avaliar o comportamento e influência de uma nova matéria-prima dentro da composição padrão de um esmalte mate transparente para a cobertura de revestimentos cerâmicos.

1.2. Objetivo Geral

Desenvolver novo esmalte mate transparente para porcelanatos naturais através da adição de frita de bário em uma composição padrão de esmalte mate.

1.2.1. *Objetivos específicos*

- Caracterizar a Frita de Bário quanto a brilho, fusibilidade e viscosidade de queima;
- Avaliar a influência da adição da Frita de Bário na composição padrão de esmalte
- Desenvolver novo esmalte com adição da Frita de Bário que atenda aos requisitos abaixo:
 - brilho igual ou inferior ao esmalte padrão;
 - resistência ao manchamento contra o agente interno;
 - coeficiente de atrito dinâmico maior ou igual a 0,40 (NBR 16919);
 - resistência ao ataque químico (NBR-ISO 10545-13) e ao manchamento (NBR-ISO 10545-14) superior ao esmalte padrão;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História da cerâmica

A palavra “cerâmica” tem origem no grego “keramos” que se refere, originalmente, a “artefatos de argila queimada” (HOTZA, 2007).

O surgimento da cerâmica está ligado ao momento em que o homem percebeu que ao queimar uma mistura avermelhada, ela endurecia, assim, começou a substituir utensílios domésticos que antes eram feitos de fruto e cascas de árvores. Estes utensílios eram utilizados principalmente para armazenar alimentos, bebidas e perfumes (HOTZA, 2007; OLIVEIRA, 2000)

Esta mistura avermelhada foi então denominada de argila, sendo que a coloração é decorrente do teor de óxido de ferro. A argila é um silicato de alumínio hidratado, que quando umedecido, se torna plástico e de fácil moldagem. Ao ser submetido a altas temperaturas (sinterização), 1000 - 1200 °C, adquire rigidez, resistência mecânica e química. Essas características permitem com que as cerâmicas sejam utilizadas até hoje para diversas funções, tais como: armazenamento de alimentos, óleos, perfumes, utensílios domésticos, materiais de construção, entre outros. É importante destacar que os primeiros artefatos cerâmicos não eram sinterizados a mais de 1000 °C, os primeiros tijolos fabricados (aproximadamente 3 mil anos atrás) foram queimados, provavelmente, a não mais de 500°C. Estes tijolos, não apresentavam a resistência mecânica adequada, mas eram capazes de resistir à chuva (OLIVEIRA; HOTZA, 2011). Atualmente, os tijolos são queimados a temperaturas entre 750 e 900 °C (MATERIOTECA SUSTENTÁVEL, [s.d.]).

A cerâmica está presente desde os primórdios da humanidade, sendo que durante o período mesolítico (5 a 10 mil anos atrás) já eram encontrados vasos, sem asas, com a cor natural da argila ou escurecidas por óxidos de ferro. Os primeiros artefatos cerâmicos fabricados eram decorados com cenas do cotidiano, da religião e das regiões habitadas pelos povos, desta forma, é possível reconstruir seus hábitos e contar a história destes povos pré-históricos a partir das cerâmicas (ANFACER, [s.d.]; OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Ao longo da história houve evolução nos produtos fabricados, com a introdução de equipamentos e de novos materiais. O torno, por exemplo, foi desenvolvido na Mesopotâmia (4000-3000 a.C) para a fabricação de vasos. Na Babilônia (2200-2000 a.C) eram fabricadas ânforas (um tipo de vaso com forma ovóide e duas alças), vasilhames para armazenamento de óleos e perfumes, tijolos e placas cerâmicas para revestimento de paredes e telhas esmaltadas com esmaltes coloridos e decorados com temas mitológicos (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

O Antigo Egito teve um papel importante no desenvolvimento da cerâmica no mediterrâneo. Há mais de 3 mil anos, além da presença de vasos cerâmicos na tumbas de Faraós contendo oferendas (vinhos, óleos, perfumes, entre outros), os egípcios já fabricavam placas cerâmicas esmaltadas de composição quartzosa, utilizando esmaltes contendo cobre para desenvolver a coloração azulada e já conheciam a técnica de colagem de suspensões cerâmicas, a mesma técnica utilizada atualmente para a fabricação de vasos sanitários, por exemplo (ANFACER, [s.d.]; OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Na China, um dos exemplos mais marcantes do uso da cerâmica é o Exército de Terracota ou Guerreiros de Xian, em tamanho real, que foram construídos na tumba do primeiro Imperador chinês, Qin Shi Huang, para protegê-lo na vida após a morte. Foram fabricados há mais de 5 mil anos e atualmente é considerado Patrimônio Mundial pela UNESCO. Estima-se que na tumba haviam mais de oito mil soldados, 130 carruagens com 520 cavalos e 150 soldados de cavalaria, além de esculturas de acrobatas e músicos em locais próximos da tumba (ANFACER, [s.d.]; SEM AUTOR, [s.d.]).

Em 500 a.C os chineses produziam placas cerâmicas de revestimento recobertas com esmalte à base de chumbo e opacificadas com estanho, mas foi só no séc XIV que começaram a surgir os primeiros revestimentos cerâmicos com a decoração sob o esmalte, influenciados pelas decorações da porcelana chinesa (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

A porcelana, cerâmica branca e translúcida, conhecida pela sua resistência e beleza, foi criada na China há mais de 1700 anos entre os séculos VI e X. A porcelana, assim como a seda, era um item cobiçado por nobres europeus na época das navegações. Apenas no fim do séc XVIII que dois alemães conseguiram reproduzir a porcelana chinesa (MACEA, 2017; SEM AUTOR, 2019).

Na segunda metade do séc XII, na Europa, surgiram as placas cerâmicas para pavimentação em terracotta (argila cozida), com geometrias quadradas e hexagonais, caracterizadas pela utilização de engobes e esmaltes transparentes à base de chumbo de tonalidade amarela. Os primeiros pavimentos não possuíam muita resistência à abrasão e desta forma se degradavam de forma rápida e precisavam ser substituídos (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Em Portugal, a partir do séc XV, as placas de revestimento começaram a ser aplicadas em paredes, tetos e pisos, mais tarde essas peças passaram a ser conhecidas como azulejos. Foi na Espanha que essa prática se consolidou, não apenas pela estética, mas também pela capacidade da cerâmica de atuar como um isolante térmico, já que o verão europeu atinge temperaturas elevadas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

No Brasil, antes da chegada dos portugueses em 1500, as tribos indígenas que habitavam a ilha de Marajó já produziam artefatos cerâmicos. A cerâmica marajoara era elaborada, caracterizada pela exuberância, variedade de decoração e cores foram produzidas cerâmicas de alto valor. Eram produzidos bancos, estatuetas, adornos auriculares e labiais, além de vasos com representações em relevo (ANFACER, [s.d.]; MORENO, [s.d.]).

Com a colonização portuguesa foram instaladas olarias, modificando o processo de produção, sendo introduzido o torno e as rodadeiras, e passaram também a ser produzidos tijolos, blocos e telhas. A influência dos portugueses se estabeleceu nas áreas litorâneas, mas para o interior a arte de produção manual dos indígenas permaneceu inalterada (ANFACER, [s.d.]; MORENO, [s.d.]).

Houve outros avanços no cenário da produção cerâmica brasileira com a colonização portuguesa, onde se destacam as fachadas revestidas por placas cerâmicas e o revestimento de ambientes internos, como banheiros e cozinhas, com azulejos, nos séculos XVII e XVIII (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Foi a partir das antigas fábricas de tijolos e telhas que surgiram as primeiras fábricas de revestimento cerâmico no Brasil. Mas foi somente no início da década de 1970 que a produção de revestimento cerâmico atingiu uma demanda contínua de produção, ampliando assim a sua produção e o número de empresas deste ramo (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

A indústria de cerâmica de revestimento mantém um crescimento constante até os dias atuais, onde o maior setor produtivo se concentra na região de Santa Gertrudes em São Paulo e nas regiões de Criciúma e Tijucas em Santa Catarina (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

2.2. Cerâmica - Conceitos e Definições

As cerâmicas, do ponto de vista químico, “são compostos sólidos formados pela aplicação de calor, algumas vezes calor e pressão” e devem ser constituídas por ao menos um elemento metálico e um não-metálico (ex: Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2), ou dois não-metais (ex: SiC) (BARSOU, 1996). Outros exemplos mais complexos são a albita ($Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$) e a caulinita ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$).

Ainda, a cerâmica pode ser definida como “a arte e ciência de fazer e usar artigos sólidos que têm como seu componente essencial materiais inorgânicos e não-metálicos” (KINGERY; BOWEN; UHLMANN, 1976).

Desta forma, a palavra cerâmica pode ser utilizada para representar uma matéria-prima (alumina, caulim), um produto (azulejo, isolador térmico), uma atividade artística (olearia) ou

uma atividade industrial (fábrica de revestimentos cerâmicos e de materiais de construção civil) (OLIVEIRA, 2000; OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

2.2.1. *Tipos de Cerâmica*

A cerâmica, no ponto de vista industrial, pode ser dividida em Avançada e Tradicional. Esta distinção é feita através da pureza e beneficiamento de suas matérias-primas, fazendo com que suas aplicações sejam distintas.

2.2.1.1. Cerâmica Avançada

Também conhecida como cerâmica de engenharia, são materiais que são desenvolvidos a partir de matérias-primas de alta pureza (> 98%) e passam por um controle de processo rigoroso (OLIVEIRA; HOTZA, 2011). Podem ser sintéticas ou beneficiadas industrialmente, como é a Alumina (processo Bayer).

São cerâmicas que podem desempenhar funções eletrônica, magnéticas, químicas, biológicas, nucleares, térmicas e mecânicas.

Além dos processos de conformação utilizados para a cerâmica tradicional, a cerâmica avançada também é processada através de moldagem por injeção, impressão 3D, prensagem isostática a quente ou *tape casting* (colagem de fitas), para assim obter forma e acabamento superficial mais apurado (HOTZA, 1997). O tratamento térmico das cerâmicas avançadas também é diferenciado, o tempo, temperatura, pressão e atmosfera a qual são expostos é mais controlado, para assim obter um produto quase isento de defeitos. Por este motivo, são produzidos produtos de maior valor agregado para aplicações que requerem um controle fino das suas propriedades (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

As cerâmicas avançadas podem ser utilizadas como materiais de implante em seres humanos, suporte de catalisador para automóveis, ferramentas de corte/usinagem, foguetes, satélites, sensores de umidade e gases, usinas nucleares, entre outros (INFORMAÇÕES TÉCNICAS - DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO, [s.d.]).

2.2.1.2. Cerâmica Tradicional

São materiais desenvolvidos a partir de matérias-primas naturais ou pouco beneficiadas com pureza variável. As argilas e feldspatos são exemplos de matérias-primas da cerâmica tradicional (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

Os processos de conformação mais utilizados são prensagem, extrusão, torneamento e colagem. Após conformado, o material é exposto a um tratamento térmico (sinterização) para densificar e adquirir resistência, sendo que suas principais propriedades são as mecânicas e estéticas (OLIVEIRA; HOTZA, 2011).

As cerâmicas tradicionais são representadas por produtos como louças de mesa e sanitárias, telhas, tijolos, pisos e azulejos.

2.2.2. *Cerâmica Tradicional - Áreas de aplicação*

Em geral, as massas utilizadas pela indústria cerâmica são compostas por uma mistura de materiais não plásticos (ex. sílica, feldspatos), materiais argilosos (ex. caulim, argila) e aditivos (defloculantes e dispersantes).

A formulação da massa é preparada com base nas características desejadas para o suporte e o produto final, por exemplo, para que a massa tenha uma maior fundência, ou seja, menor absorção de água, é necessário adicionar maior percentual de matérias-primas não plásticas, já que estas são responsáveis pela formação de fase líquida viscosa (também chamada de fase vítrea), durante a queima que irá auxiliar na sinterização e densificação da massa. A composição da massa irá influenciar em aspectos de compactação, secagem, queima e produto final (GASPARETO; TEIXEIRA, 2017; PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997).

No segmento das cerâmicas tradicionais existem diferentes ramos de produtos, divididos pelas suas áreas de aplicação:

- Louça e porcelana de mesa

Abrangem produtos utilizados no dia-a-dia, como aparelhos de jantar, xícaras, utensílios para acondicionar alimentos e objetos de decoração, bem como produtos de uso técnico, como velas de ignição e isoladores elétricos (CABRAL et al., 2019; RUIZ et al., 2011).

A cerâmica utilizada na fabricação destes itens pode ser dividida em 3 grupos de acordo com a absorção d'água (Aa) do corpo cerâmico:

- Porcelana, Aa: $\leq 0,5\%$
- Grés, Aa: 0,5 - 3,0 %
- Faiança, Aa $> 3,0\%$

O processo de fabricação destes produtos pode ser por colagem, prensagem ou tornearia. O tratamento térmico em geral é realizado seguindo o processo de biqueima, ou seja, primeiro é queimado o biscoito (massa), para então ser aplicado o esmalte, que pode ocorrer através de imersão, pistola aerográfica ou pincel, e a peça ser queimada novamente (CABRAL et al., 2019; RUIZ et al., 2011).

- Louça sanitária

São produtos destinados a banheiros e lavabos, como lavatório, bidês, mictórios, vaso sanitário, banheiras e acessórios. As louças sanitárias são queimadas a cerca de 1250 °C e devem apresentar absorção de água inferior a 0,75% (TANNO et al., 2003).

Em sua maioria, são fabricadas pelo processo de colagem de barbotina, ou seja, a barbotina (suspensão coloidal de partículas) é vertida em um molde de gesso, onde o gesso absorve a água presente na suspensão, fazendo com que as partículas do pó que estavam em suspensão se aproximem e formem uma película.

Com a formação da espessura desejada, o excedente de barbotina é retirado do molde. O conjunto peça + molde é levado à estufa a fim da peça obter resistência mecânica suficiente para ser desmoldada (LORENZI; ZORZI, 2007).

Após, as peças são esmaltadas e então levadas para sinterização, que pode levar horas, por exemplo, as privadas passam por uma sinterização de 10 a 24h (CINO; BRÖTZ, 1996).

- Construção civil

São produtos utilizados na construção civil como telhas, tijolos, blocos, elementos vazados e tubos cerâmicos.

Os tijolos, por exemplo, são fabricados pelo processo de extrusão, onde a massa/pasta úmida é forçada a passar, de forma contínua, por uma cavidade (modelo negativo). Os tijolos são seccionados no tamanho desejado e levados à estufa ou secador com temperatura entre 100 e 150 °C para retirar a umidade, depois são levados ao forno para sinterização.

O forno utilizado para a queima dos tijolos é um espaço oval onde todos os tijolos são alocados um sobre os outros e é utilizado lenha como combustível de queima. Todo o processo de sinterização e resfriamento dos tijolos pode levar até 2 dias (FRANCO; GESICKI; SALVETTI, 2001; THENÓRIO; FULFARO, 2019).

Por se tratarem de produtos utilizados na construção de moradias, devem apresentar algumas características definidas por norma como, resistência à compressão adequada; durabilidade frente aos agentes agressivos (umidade, variação de temperatura e ataque por agentes químicos); dimensões uniformes e resistir ao fogo (ABNT, 2017a; COMO É A FABRICAÇÃO DE TIJOLOS?, 2019; GASPARETO; TEIXEIRA, 2017).

- Materiais de revestimento cerâmico (placa cerâmica)

São utilizados para revestir chão e paredes, entregando um acabamento estético diferenciado, principalmente devido às novas tecnologias disponíveis para desenhos e texturas que podem ser reproduzidos na peça durante a produção, por exemplo, imitar mármore e madeiras (MADEIRAS PORTOBELLO - DESIGN, SUSTENTABILIDADE E MODA, [s.d.]; SEM AUTOR, [s.d.]).

Podem ser empregados em diversos ambientes, como internos e externos, áreas molhadas ou molháveis, com incidência de luz, entre outros. Desta forma, pode ser utilizada para os revestimentos de fachadas e piscinas.

As características de um revestimento cerâmico permitem ainda que este seja aplicado na fabricação de pias e bancadas, pois possui alta durabilidade, é de fácil limpeza, além de ser mais higiênico do que pedras de mármore (REBELO, 2010; SANTOS, 2012).

2.3. Revestimentos cerâmicos

O revestimento ou placa cerâmica pode ser definido, segundo a NBR-ISO 13006, como sendo uma “placa fina composta de argilas e/ou outras matérias-primas inorgânicas [...], usualmente conformada por extrusão (A) ou prensagem (B) à temperatura ambiente [...] subsequentemente é secada e queimada a temperaturas suficientes para desenvolver as propriedades requeridas” (ABNT, 2020a).

Atualmente, o método mais utilizado para a fabricação de revestimentos cerâmicos é a prensagem, visto que é um sistema mais produtivo, com a capacidade de produzir peças de diferentes tamanhos e formatos. Além de que é um sistema de fácil automação (ALBARO, 2001).

2.3.1. Panorama mundial da produção e consumo de revestimentos cerâmicos

Atualmente, no mundo são produzidos e consumidos mais de 16 bilhões de m² de revestimento cerâmico. A maior produção e consumo estão concentrados na China. O Brasil é o 3º maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos no mundo (BARALDI, 2021).

Segundo Baraldi (2021) na revista Ceramic World Review, em 2020 foram produzidos 16.093 milhões de m² no mundo, representando um crescimento de 1,7% em relação ao ano de 2019 (Tabela 1). O continente asiático, responsável por 74% do volume global de produção, apresentou um crescimento de 2,8%, impulsionado principalmente pelo aumento de produção na China, na Índia e no Irã. Na Europa, nos países pertencentes à União Europeia (UE) (responsáveis por 7,6% da produção mundial), houve uma queda de 6,6%, enquanto que nos países não pertencentes à UE (11,6% da produção mundial), houve um aumento de 11,9%, principalmente pelo crescimento produtivo na Turquia. Na América do Norte (2% da produção mundial) houve queda de 2,7% e na América Central e Sul (6,8% da produção mundial), a queda foi de 7,6% (BARALDI, 2021).

Já no continente africano, responsável por 5,7% da produção mundial, apresentou um crescimento de 6,1% provocado principalmente pelo investimento dos chineses em países como Uganda, Etiópia, Senegal, Zâmbia, Angola e outros, e do crescimento da produção na Nigéria (BARALDI, 2021).

Tabela 1. Produção mundial por áreas.

Produção Mundial			
Áreas	2020 (milhões de m²)	% da produção mundial	% de variação 20/19
<i>Europa (Países Da UE)</i>	1.218	7,6	-6,6
<i>Europa (Demais Países)</i>	638	4,0	11,9
<i>América Do Norte</i>	321	2,0	-2,7
<i>América Central e do Sul</i>	1.088	6,8	-7,6
<i>Ásia</i>	11.905	74,0	2,8
<i>África</i>	98	5,7	6,1
<i>Oceania</i>	5	0	0
TOTAL	16.093		1,7

Fonte: Adaptado de (BARALDI, 2021).

A China é o maior produtor mundial de revestimentos, correspondendo a 52,7% da produção. A Índia é o 2º maior produtor com 8,2%, seguido pelo Brasil, que representa 5,2% da produção mundial (Tabela 2) (BARALDI, 2021).

Tabela 2. Principais países produtores de revestimentos cerâmicos.

Principais países produtores					
País	2018 (milhões de m²)	2019 (milhões de m²)	2020 (milhões de m²)	% da produção mundial em 2020	% de variação 20/19
<i>1. China</i>	9.011	8.225	8.474	52,7	3,0
<i>2. Índia</i>	1.145	1.266	1.320	8,2	4,3
<i>3. Brasil</i>	872	909	840	5,2	-7,6
<i>4. Vietnã</i>	602	560	534	3,3	-4,6
<i>5. Espanha</i>	530	510	488	3,0	-4,3
Total	16.557	15.827	16.093		1,7

Fonte: Adaptado de (BARALDI, 2021)

O consumo mundial de revestimento cerâmico no ano de 2020, segundo Baraldi (2021) foi de 16.035 milhões de m², representando um crescimento de 2,5% em relação a 2019 (Tabela 3).

Na Ásia, responsável por 71,5% do consumo mundial, o crescimento foi de 2,8%. Na Europa, somados os países pertencentes e não pertencentes a UE, o crescimento foi de 12,7%. E Na África, de 1,4%. Já na América, o consumo se manteve estável (BARALDI, 2021).

Tabela 3. Consumo mundial por áreas.

Consumo Mundial			
Áreas	2020 (milhões de m²)	% do consumo mundial	% de variação 20/19
<i>Europa (países da UE)</i>	1.035	6,5	1,4
<i>Europa (demais países)</i>	563	3,5	11,3
<i>América do Norte</i>	541	3,4	-0,6
<i>América Central e do Sul</i>	1.249	7,5	-1
<i>Ásia</i>	11.470	71,5	2,8
<i>África</i>	1.124	7	1,4
<i>Oceania</i>	53	0,3	6
TOTAL	16.035		2,5

Fonte: Adaptado de (BARALDI, 2021).

Dentre os 10 principais países consumidores de revestimento, destaque para a China, principal consumidor mundial de revestimento, representando 46% de todo o mercado consumidor. A Índia é o 2º país do ranking, representando 5,5% do consumo mundial, seguido pelo Brasil com 5,2% do consumo (Tabela 4) (BARALDI, 2021).

Tabela 4. Principais países consumidores de revestimentos cerâmicos.

Principais países consumidores					
País	2018 (milhões de m²)	2019 (milhões de m²)	2020 (milhões de m²)	% da produção mundial em 2020	% de variação 20/19
1. <i>China</i>	8.163	7.453	7.859	49,0	5,4
2. <i>India</i>	876	910	885	5,5	-2,7
3. <i>Brasil</i>	775	802	829	5,2	3,4
4. <i>Vietnã</i>	542	467	400	2,5	-14,3
5. <i>Indonésia</i>	450	413	357	2,2	-13,6
TOTAL	16.426	15.650	16.035		2,5

Fonte: Adaptado de (BARALDI, 2021)

2.3.1.1. Cenário brasileiro

Atualmente o Brasil é o 3º maior produtor e consumidor mundial, e o 7º maior exportador de revestimento cerâmico (BARALDI, 2021).

Segundo a Associação Nacional de Fabricante de Revestimentos Cerâmicos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER), no Brasil existem cerca de 60 empresas, com um total de 71 unidades fabris e 137 marcas de revestimentos. São gerados mais de 28 mil empregos diretos e 200 mil indiretos (NÚMEROS DO SETOR CERÂMICO, 2020).

Dentro os 25 maiores produtores de revestimentos cerâmicos do mundo, o Brasil possui 4 fabricantes: Cerâmica Carmelo Fior (5º), Grupo Fragnani (11º), Portobello (19º) e Elizabeth (23º) (BARALDI, 2021).

Em 2020, a produção brasileira sofreu uma queda devido aos *lockdowns* causados pela Covid-19 (-7,6%), enquanto que seu consumo interno apresentou um leve aumento (+3,4%) devido ao aumento de demanda no mercado de construção civil (BARALDI, 2021). Na exportação houve uma queda também (-5,9%), apesar do aumento de vendas/exportação para os Estados Unidos, o maior importador de revestimentos cerâmicos brasileiros (BARALDI, 2021).

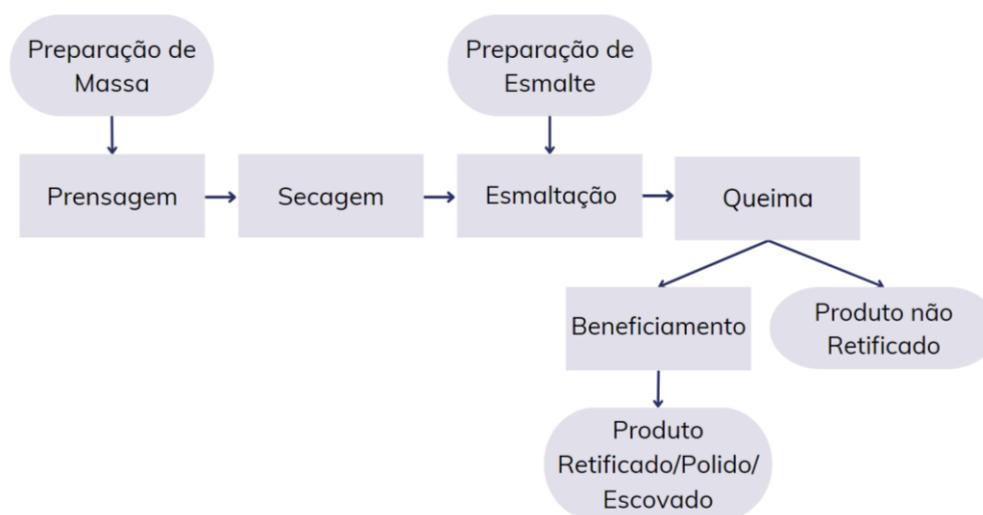
Em 2021, a produção apresentou um crescimento de 24,8%, muito levada pela onda de construções e reformas, bem como lançamento de novos produtos. O mercado interno cresceu 9,2%. E as exportações apresentaram uma alta de 38,5% (PRIETO, 2022).

Desde o final do ano de 2021 já se tem registro de queda no ritmo das construções. Nos três primeiros meses do ano de 2022, já houve uma redução de 2,6% na produção, quando comparado ao mesmo período de 2021. E as vendas apresentam queda de 11,4%, onde as exportações apresentaram crescimento de 6,2% (ANFACER, 2022).

2.3.2. Processo cerâmico

O processo para a produção de placas cerâmicas consiste em diversas etapas, como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Etapas da fabricação do revestimento cerâmico.



Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.2.1. Moagem via seca/via úmida da massa

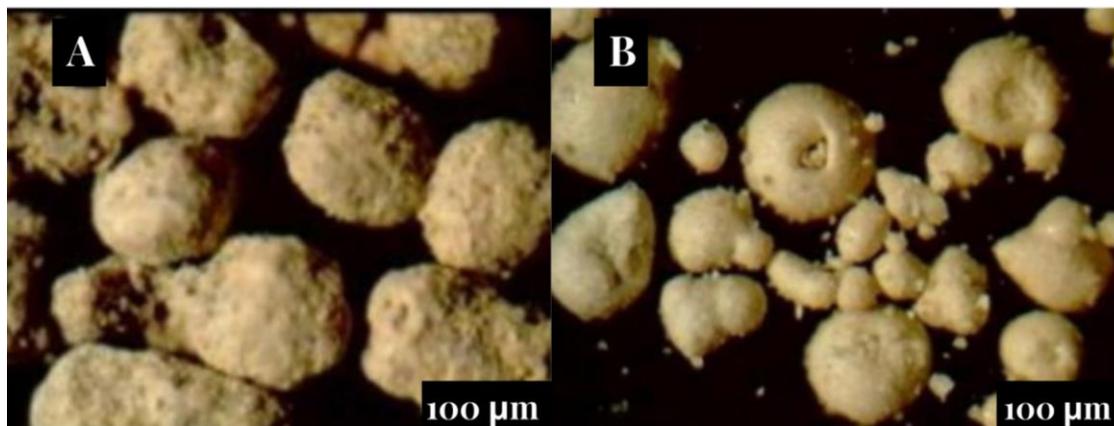
O processo de preparação da massa pode ser realizado via seco ou via úmido. Existem vantagens e desvantagens para ambos os métodos, e o produto final apresenta características diferentes.

A moagem via seco se caracteriza pela cominuição a seco das matérias-primas. Este processo é mais econômico visto que os custos energéticos, principalmente energia térmica, são menores, não é necessário realizar uma etapa de retirada da água, não há custo com a adição de aditivos e defloculantes, entre outros. Entretanto, a distribuição granulométrica é mais dispersa e com a curva deslocada na direção da parte mais grosseira e o pó apresentam geometria irregular (Figura 2 (a)) (KAYACI et al., 2017; LOLLI; NASSETTI; MARINO, 2000; NASSETTI; PALMONARI, 1997; RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001).

Na moagem via úmido as matérias-primas são moídas com água e se faz necessário a utilização de aditivos e defloculantes para melhorar as propriedades reológicas da suspensão

(KAYACI et al., 2017; LOLLI; NASSETTI; MARINO, 2000; RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001). A água é retirada através de um processo chamado *spray dryer*, também conhecido como atomização. Segundo Labrincha et al. (2001), o processo de atomização é a “transformação de uma suspensão aquosa em partículas sólidas em partículas secas” a partir de sua pulverização no interior de uma câmara aquecida (atomizador) (RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001). O formato das partículas irá depender das características físico químicas da suspensão, bem como do atomizador e dos parâmetros de produção (ex: pressão, temperatura) (LOLLI; NASSETTI; MARINO, 2000; RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001). Com o processo de atomização, é possível produzir pós com geometria definida, como mostra Figura 2 (b). Neste trabalho, a massa utilizada foi moída por via úmida.

Figura 2. Geometria do grânulo produzido por via seca (a) e via úmida (b).



Fonte: (BMS DESENVOLVIMENTO, 2018).

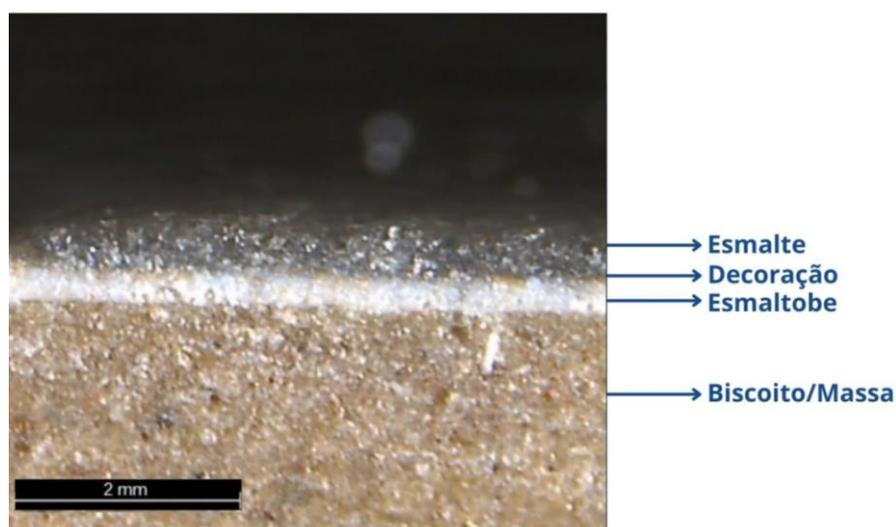
Um estudo realizado por Pamonari et al. 1997, avaliou o comportamento de uma massa preparada via seco e via úmido, e identificou que os pós têm características diferentes e resultam em um produto final com características distintas também. O estudo concluiu que o pós preparados por moagem via úmido apresentam melhores características técnicas (NASSETTI; PALMONARI, 1997)

2.3.2.2. Prensagem e Esmaltação

O método de prensagem é baseado na conformação de um pó com granulometria, geometria e umidade que permita a sua compactação no interior de uma matriz rígida ou flexível através da aplicação de pressão, dando origem ao que se chama de biscoito ou suporte. Esta camada de massa será responsável por conferir resistência mecânica e estabilidade dimensional para o revestimento cerâmico (ALBARO, 2001).

O biscoito passa por uma etapa de secagem para retirar a umidade excedente presente na peça, adquirindo assim, resistência mecânica que permita o transporte da peça na linha de esmaltação sem que a mesma quebre. Na linha de esmaltação o biscoito irá receber aplicação de diferentes camadas em sua superfície (Figura 3), de acordo com as características desejadas para o produto. A parte inferior da placa também recebe uma aplicação de até 30% de sua área, chamada de engobe de muratura, destinado a permitir que as peças se movam dentro do forno sem aderir aos rolos durante a queima (ABNT, 2017b).

Figura 3. Exemplo de um revestimento com o *layout* esmalto-decoração-esmalte



Fonte: Elaborado pela autora.

Cada camada tem a sua função:

- **Pré molhado**

É uma pulverização de água, de preferência potável para evitar contaminações (sais, particulados, etc) sobre a superfície das peças. Tem como objetivo abaixar a temperatura superficial e permitir que a absorção do engobe/esmalte fique mais lenta e uniforme. Caso as peças cheguem muito quentes (100 °C) na aplicação de engobe/esmalte, irá ocorrer a formação de defeitos estéticos e visuais, por exemplo, variação de tonalidade e brilho, furos, textura enrugada, entre outros (VALLE, 1995).

O pré-molhado não necessariamente estará presente em todos os *layouts* de aplicação. A sua utilização dependerá principalmente do tipo de equipamento que será utilizado para aplicar o engobe/esmalto (VALLE, 1995).

- **Engobe**

As principais funções do engobe são (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994; SANTOS; MELCHIADES; BOSCHI, 2007):

- Homogeneizar e cobrir a superfície do biscoito, podendo ter uma coloração branca ou colorida, a fim de assegurar a constância das cores e impedir que a cor da massa influencie a cor do produto final;
- Selar o biscoito, isolando-o da ação de partículas contaminantes, como o óxido de ferro presente nas argilas que compõem a massa. E limitar defeitos como marca d'água, ou seja, impedir que a água absorvida pela massa, seja visível através do esmalte;
- Acordo dilatométrico do conjunto, pois o engobe é formulado para possuir um coeficiente de dilatação intermediário entre a massa e o esmalte. A dilatação do conjunto influencia a curvatura final do produto, assim como pode ser a origem de defeitos como gretamento e lascados.

Existe ainda a possibilidade da junção do engobe e do esmalte, visando a redução de custo. A camada formada por esta junção é chamada de esmalto e possui características intermediárias entre engobe e esmalte.

- **Esmalte / Cobertura**

O esmalte é um vidro (estrutura amorfa), transparente ou opaco, que pode conter cristais (estruturas ordenadas) em sua superfície (RENAU, 1994). A composição e características do esmalte devem ser ajustadas de acordo com as propriedades e características estéticas desejadas para o produto (BÓ et al., 2018; PRACIDELLI, 2008).

Tem a função de entregar o acabamento estético do produto, além de impermeabilizar, aumentar a limpabilidade, resistência química e abrasão (PRACIDELLI, 2008).

Em geral, é chamado de cobertura quando é utilizado sobre a tinta digital, com a finalidade de proteger a decoração e auxiliar no desenvolvimento das cores da tinta, além de entregar as outras características descritas anteriormente. A cobertura é um esmalte transparente, mate ou brilhante, aplicado finamente (VALLE, 2021a).

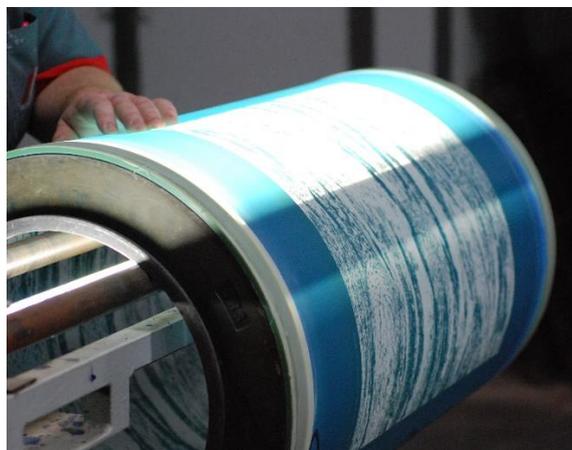
- **Decoração**

É feita através de uma impressora digital jato de tinta, que imprime sobre a peça o desenho desejado (EWERS, 2014). As tintas utilizadas são feitas de uma mistura de óxidos cerâmicos moídos finamente, com óleos e solventes (DONDI et al., 2012, 2014; EWERS, 2014; REIG et al., 2012).

Durante a queima, as tintas irão reagir com o esmalte e desenvolver as cores finais do produto (CONSERVA et al., 2014; EWERS, 2014; ZASSO, 1997).

A versatilidade da impressora digital comparada com as antigas formas de decorar os produtos é maior, pois nas tecnologias antigas eram necessários vários equipamentos e etapas para realizar a decoração em diferentes planos e assim obter uma imagem final com profundidade e movimento (EWERS, 2014). A principal forma de transferir o desenho era por contato, utilizando rolos e telas serigráficas (DONDI et al., 2014) (Figura 4). Para realizar os efeitos, como esfumado, gotejado, profundidade, movimento, eram utilizados raspadores, disco, aerógrafos, etc (VALLE, 1995). Para criar o efeito desejado para o produto, era necessário combinar estas aplicações.

Figura 4. Rolo de silicone para decoração por contato.



Fonte: (CERÂMICO - PRODUTOS - SRS - GRUPPO SRS BRASIL, [s.d.]).

Já com a impressora digital é possível imprimir sem a necessidade de contato, em peças com e sem relevo, atingindo resultados complexos com maior resolução e efeitos de movimento, profundidade e brilho em uma única aplicação (Figura 5) (EWERS, 2014; LOT et al., 2017; MADEIRAS PORTOBELLO - DESIGN, SUSTENTABILIDADE E MODA, [s.d.]; REIG et al., 2012).

Figura 5. Possibilidades de decoração utilizando uma impressora jato de tinta.



Fonte (MADEIRAS PORTOBELLO - DESIGN, SUSTENTABILIDADE E MODA, [s.d.]; PISO E REVESTIMENTO PARA BANHEIRO: DICAS DE CERÂMICAS E OUTRAS OPÇÕES!, [s.d.]).

2.3.2.3. Sinterização ou queima

A queima da placa é realizada em forno de rolos de forma contínua. A temperatura de queima e ciclo depende das características técnicas, estéticas e mecânicas desejadas para o produto final. É nesta etapa em que irão ocorrer as reações físico-químicas (BORGERT, 1999).

As reações físicas são aquelas que não alteram a composição química do material, por exemplo: fusão, evaporação de água, dilatação térmica, transformação alotrópica (ex. quartzo), entre outros.

As reações químicas são aquelas em que há alteração na composição química do material, como a formação de novas substâncias, por exemplo, decomposição de carbonatos, queima da matéria orgânica, entre outros.

A queima é composta basicamente por quatro etapas (BORGERT, 1999):

- Pré-aquecimento é a etapa onde ocorre a preparação da peça para a queima. A água livre e de constituição é eliminada, ocorre a decomposição da matéria orgânica e carbonatos e oxidação dos hidróxidos de ferro. Na faixa entre 550 a 600 °C ocorre a transformação alotrópica do quartzo α para o β (573 °C) que gera expansão da massa (aumento de volume). Por se tratar de uma peça crua, essa variação de volume gerado pelo quartzo não é prejudicial, mas o aquecimento deve ser feito de forma lenta durante esta transição (QUEIROZ, 2009).
- Pré-queima, ocorre o início da fusão de óxidos de ferro e dos feldspatos (ex. albita e nefelina) da massa e início da fusão das fritas do engobe e esmalte (VALLE, 2021b);

- Queima, esta é a etapa onde ocorrer boa parte das transformações químicas e será produzido a microestrutura desejada. O engobe e esmalte irão fundir pelo mecanismo de sinterização por fase líquida. Algumas de suas M_p 's (ex.: fritas) irão fundir totalmente ou parcialmente, formando a chamada fase líquida, que irá auxiliar na fusão e dissolução de outros compostos (MAGALHÃES et al., 2014; SANTOS et al., 2019). Desta forma é possível formar uma camada contínua, homogênea e de baixa porosidade.

O mecanismo de sinterização da massa irá depender de sua composição, em porcelanatos, onde se deseja uma absorção de água inferior a 0,5%, será o mesmo descrito acima. Nesta etapa, a massa de porcelanato retrai e a porosidade diminui em tamanho e quantidade (MAGALHÃES et al., 2014). É importante destacar que por atualmente serem utilizados ciclos de queima rápidos (em geral, inferior a 60 min), nem todos os compostos da fórmula serão dissolvidos na queima, um exemplo disso é o quartzo, que por apresentar uma transformação alotrópica e consequente variação de volume, é um composto crítico (QUEIROZ, 2009);

- Resfriamento, etapa onde massa, esmalte e engobe irão se solidificar e se acoplar como uma única peça. Nesta etapa podem ser gerados defeitos como lascados, gretamento, dificuldade de corte, falta de planaridade, etc (SÁNCHEZ et al., 2018; SANTOS et al., 2019; VALLE, 2021b). O resfriamento pode ser separado em 3 partes (BORGERT, 1999):
 - Direto, onde o resfriamento é feito de forma rápida, através da imposição de ar quente sobre as peças.
 - Indireto, que é de forma lenta e abrange a faixa de temperatura onde irá ocorrer a transformação alotrópica do quartzo (573 °C), desta vez de β para α . Nesta temperatura a peça cerâmica já está solidificada, portanto, o resfriamento deve ser feito de forma lenta. O quartzo livre, ou seja, que não foi dissolvido, está envolto por uma matriz vítrea e cristalina, e com a retração dos cristais de quartzo, são formadas tensões de tração, que podem gerar ou não trincas (QUEIROZ, 2009).
 - Final, o resfriamento volta ser feito de forma rápida, mas desta vez com a imposição de ar frio sobre a peça (BORGERT, 1999).

2.3.2.4. Beneficiamento

Após a queima, as placas cerâmicas podem passar, ou não, por uma etapa de beneficiamento, caracterizada como a etapa final do processamento cerâmico. Desta forma, os produtos beneficiados têm os seus quatro cantos retificados, formando ângulo de 90°. Produtos que não passam pela etapa de beneficiamento, chamados de não-retificados, apresentando apenas os cantos arredondados (Figura 6) (SEM AUTOR, [s.d.]).

Figura 6. Placa cerâmica não-retificada (a) e retificada (b).



Fonte: Elaborado pela autora.

A retifica, além de corrigir o alinhamento da peça e uniformizar o padrão dimensional do lote de produção, é importante para diminuir o espaçamento entre as peças ao assentar, em geral, em produtos retificados é utilizada uma junta de assentamento de 2 mm, enquanto que para peças não-retificadas pode chegar até 5 mm (SEM AUTOR, [s.d.]).

Além da etapa de retificação, os produtos beneficiados podem passar pelo processo de escovação ou polimento, para entregar o acabamento superficial final do produto.

2.3.3. Classificação e tipologias

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é responsável pela normalização técnica no Brasil. A ABNT, através de seus Comitês, estuda e propõe formas de sistematizar processos, a fim de padronizá-los e torná-los reprodutíveis. Seja criando novas normas (NBR) ou incorporando normas internacionais (ex. NBR-ISO) (CATHO COMUNICAÇÃO, [s.d.]).

A produção e controle dos revestimentos cerâmicos fabricados por extrusão ou prensagem são dirigidas pelas normas (ABNT, 2017c, 2020a):

- NBR-ISO 13006 – Placas Cerâmicas – Definições, classificações, características e marcação.
 - Esta norma trás as definições dos termos utilizados, classificação das placas quanto a sua absorção de água, as características técnicas e dimensionais

aceitáveis para produtos de primeira qualidade e as informações que a embalagem deve conter.

- NBR-ISO 10545 – Placas Cerâmicas Partes de 1 a 16.
 - Esta norma, através de suas partes, descreve os ensaios pelos quais as placas devem ser submetidas a fim de determinar as características do produto produzido seguindo a NBR-ISO 13006.
 - Inclui desde a amostragem e critérios de aceitação, até ensaios de resistência ao manchamento, resistência química, gretamento, entre outros.

Segundo a NBR-ISO13006, os revestimentos cerâmicos são divididos em 3 grupos de acordo com a sua absorção de água (baixa, média e alta) e subdivididos através do método utilizado na fabricação (A- Extrudados e B – Prensado a seco), sendo que a abordagem desse trabalho está direcionada a classe dos prensados (B), conforme apresentado na Tabela 5 (ABNT, 2020a).

Tabela 5. Classe B dos revestimentos cerâmicos e suas tipologias.

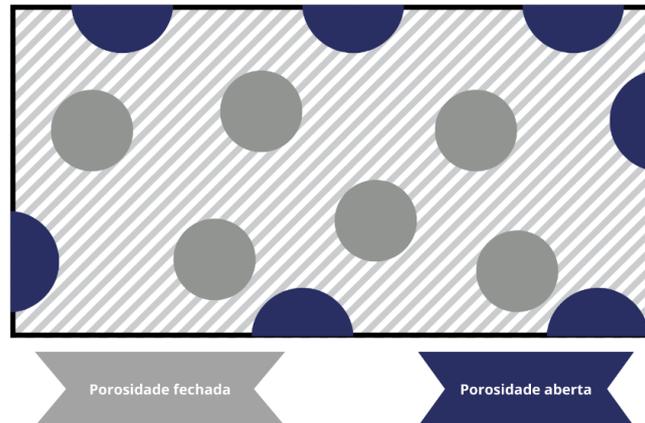
Grupo	Absorção de Água (Aa %)	Classe	Tipologia
<i>Grupo I</i>	Aa ≤ 3%	Aa ≤ 0,5%	BIa Porcelanato
		0,5% < Aa ≤ 3%	BIb Grés
<i>Grupo II</i>	3% < Aa ≤ 10%	3% < Aa ≤ 6%	BIIa Semi-grés
		6% < Aa ≤ 10%	BIIb Semi-poroso
<i>Grupo III</i>	Aa > 10%	BIII	Poroso

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2020a).

A absorção de água é uma medida da quantidade de água que a peça cerâmica consegue absorver após a queima. Está diretamente ligada à porosidade aberta, ou seja, a porosidade interconectada e em comunicação com a superfície exterior do suporte (Figura 7) (BORDIGNON, 2013; REBELO, 2010; SÁNCHEZ et al., 2018; SANTOS, 2012). Quanto maior a quantidade de poros abertos, maior será a absorção de água da peça.

Essa propriedade influencia diretamente outras, como a deformação, planaridade e resistência mecânica do produto.

Figura 7. Representação gráfica da porosidade aberta e fechada.

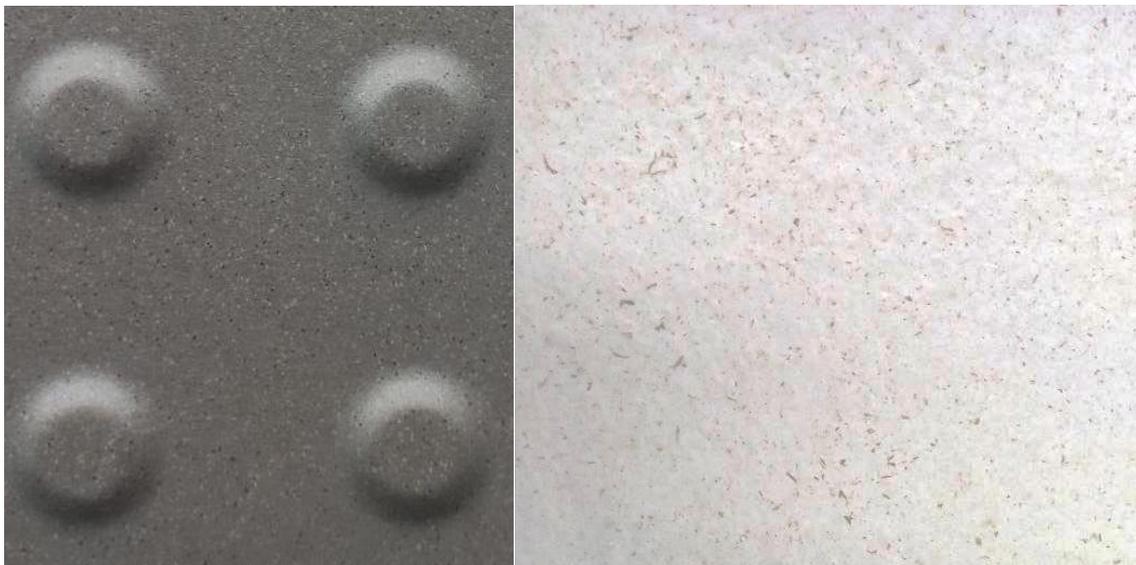


Fonte: Elaborado pela autora.

2.3.4. Porcelanato

Dentro do grupo dos porcelanatos, há o técnico e o esmaltado. O porcelanato técnico possui apenas a massa e os efeitos de decoração são criados através da utilização de massas com pigmentações diferentes (Figura 8).

Figura 8. Porcelanato técnico, decoração feito através de massa colorida.



Fonte: Produtos Portobello Mineral Tecnica Stop 25x25 e Karst Off White 90x90. Elaborada pela autora.

Já o porcelanato esmaltado recebe aplicação de camadas como engobe, esmalte e decoração. Ele pode ser classificado em 3 categorias (SEM AUTOR, 2013)(SEM AUTOR, [s.d.]):

- Natural, com acabamento superficial mate (fosco) e liso, indicado para fachadas e áreas residenciais e comerciais, tanto secas (ex: sala de estar) quando molháveis (ex: banheiro);
- Polido, com acabamento superficial brilhante, mais liso do que um natural, é indicado para fachadas, áreas residenciais e comerciais secas, pois, quando em contato com a água pode ser tornar escorregadio.
- Externos, com acabamento superficial mate (fosco) e rugoso, são antiderrapantes, é destinado a áreas externas que tenham contato com água e circulação de pessoas, por exemplo varandas, piscinas, rampas, entre outros.

2.3.5. *Esmaltes e suas matérias-primas*

Os esmaltes são suspensões aquosas, onde sua fração de sólidos é composta por fritas, suspensores, modificadores e estabilizadores de rede, opacificantes, aditivos e em alguns casos, corantes (OGATA et al., 2008; PRACIDELLI, 2008).

As propriedades estéticas (cor, textura, brilho, etc) e físico-químicas (resistência química, ao manchamento, etc), do esmalte vão depender diretamente da composição, dos parâmetros de queima (tempo, temperatura e resfriamento) e da forma de aplicação (ex. campana e disco) (PRACIDELLI, 2008).

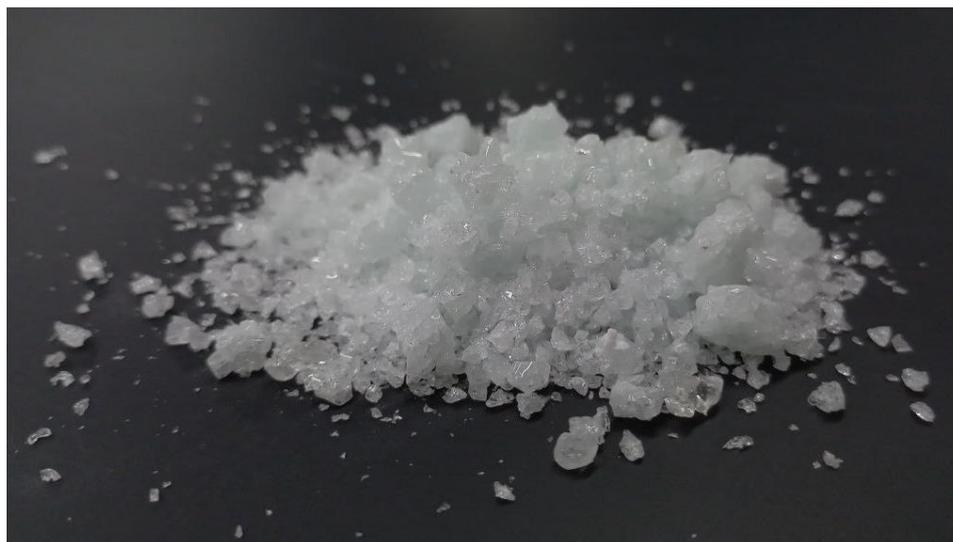
Dentre as propriedades físico-químicas, a fusibilidade e a viscosidade de queima do esmalte e de suas matérias-primas são muito importantes para definir o comportamento durante a queima e das propriedades finais do produto.

2.3.5.1. Matérias-Primas

- Fritas

As fritas são materiais com características vítreas, preparados pelo método de fusão. Neste método, todas as matérias-primas são misturadas, moídas e levadas a fornos sob temperaturas em torno de 1500 °C. Quando atingem o estado fundido viscoso, o vidro é resfriado bruscamente em água, momento em que são formadas as fritas (Figura 9) (BÓ et al., 2018; PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994).

Figura 9. Exemplo de frita utilizada na formulação de esmaltes e engobes.



Fonte: Elaborado pela autora.

As matérias-primas básicas para a preparação das fritas são (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994):

- quartzo, fonte de sílica, responsável pela formação do reticulado vítreo;
- argilas, responsáveis pela estabilização da rede;
- feldspatos, sendo mais utilizados os de potássio e sódio. São fundentes e, portanto, auxiliam na formação da fase líquida viscosa;
- óxidos, são modificadores e estabilizadores de rede. Dependendo do óxido utilizado, a frita terá características diferentes, e por consequência o esmalte, por exemplo, o óxido de Bário (BaO) aumenta a densidade da frita, é um fundente energético para fritas mates (quando associado a outros alcalinos e alcalinos terrosos), possui alto índice de refração e proporciona uma elevada interface com o suporte (GRUPO ESMALGLASS-ITACA, 2000; RENAU, 1994).

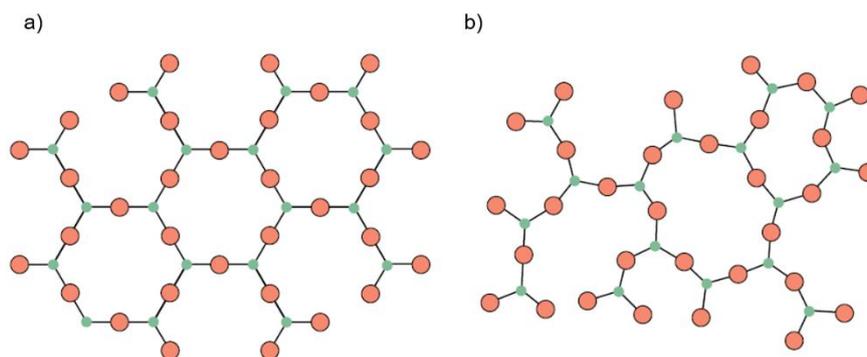
As fritas em geral são classificadas em mates e brilhantes e podem ser utilizadas de forma combinada.

As fritas brilhantes são mais fundentes, contribuindo para o estiramento do esmalte, já as fritas mates são mais refratárias e possuem ponto de amolecimento mais alto. Essa diferença de fusibilidade afeta algumas características do esmalte, como porosidade e limpabilidade.

As fritas mates possuem índice de refração mais alto do que as fritas brilhantes, por conta disso, possuem acabamento superficial fosco (PRACIDELLI, 2008). A efeito mate (matificação) da frita ocorre por devitrificação, ou seja, partes da fase vítrea

(estrutura amorfa – Figura 10 (b)) são seletivamente utilizados para a formação de fases cristalinas (Figura 10 (a)). Este efeito ocorre pela adição de elementos modificadores de rede como o cálcio, magnésio, bário, zinco e titânio. Estes elementos durante a queima, formam compostos com a sílica e no resfriamento precipitam como compostos cristalinos, como por exemplo a wollastonita (composto de cálcio e sílica) (OLIVEIRA; HOTZA, 2011; PRACIDELLI, 2008; REGO et al., 2006a, 2006b; SÁNCHEZ, 1997).

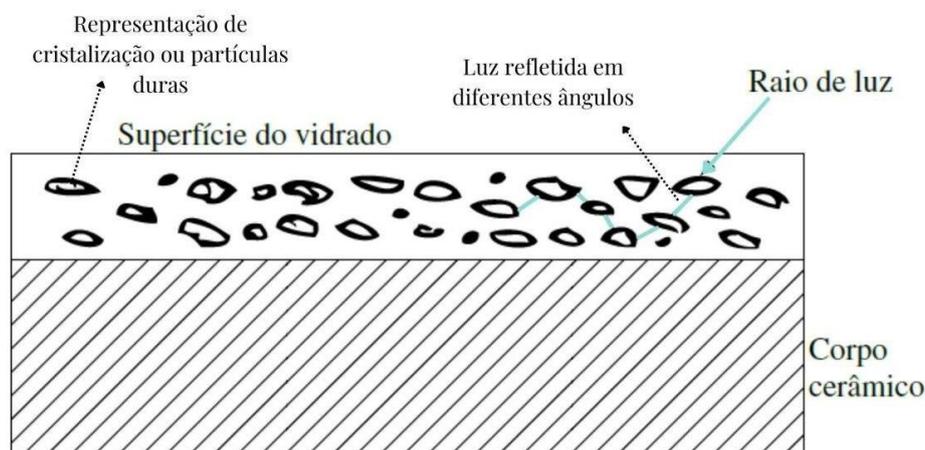
Figura 10. Estrutura cristalina (a) e amorfa (b).



Fonte: Adaptado de (CALLISTER, 2013).

Nos esmaltes, o efeito mate pode estar ligado à devitrificação da frita e/ou à adição de partículas refratárias/fases cristalinas na formulação do esmalte, que não fundem ou se dissolvem na fase vítrea durante a queima das placas cerâmicas e permanecem inertes na microestrutura, desta forma, o esmalte apresenta matriz vítrea com fases cristalinas dispersas (ex.: Al_2O_3 , Zr_2O) (BÓ et al., 2018; PRACIDELLI, 2008; REGO et al., 2006a; SÁNCHEZ, 1997). A Figura 11 apresenta uma representação gráfica de como o efeito mate é produzido.

Figura 11. Representação gráfica da incidência e reflexão da luz em um esmalte mate.



Fonte: Adaptado de (SÁNCHEZ, 1997).

- Suspensores (formadores de suspensão)

Como dito anteriormente, o esmalte é uma suspensão aquosa, sua parte sólida tem tendência de sedimentação, o que prejudica sua moagem, armazenamento, peneiramento e aplicação.

As argilas, como o caulim e a bentonita, são utilizadas como agentes suspensores e aumentam a estabilidade da suspensão, evitando sua sedimentação. Entretanto, a bentonita altera de forma acentuada a reologia da suspensão, aumentando a viscosidade e a pseudoplasticidade. É recomendado não ultrapassar 2% na composição (BÓ et al., 2018; PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994).

Já o caulim, não deve superar 10% da composição. Ele também pode alterar características como brilho e textura do esmalte (RENAU, 1994).

- Modificadores e estabilizadores de estrutura

São óxidos que interferem diretamente na rede vítrea do esmalte.

Os óxidos modificadores de rede ocupam os interstícios da rede, enfraquecendo as ligações e facilitando o seu rompimento/quebra, o que afeta a dureza e a fusibilidade do esmalte (PRACIDELLI, 2008; SÁNCHEZ, 1997).

São principalmente elementos da coluna dos alcalinos, alcalinos terrosos da tabela periódica, como o potássio e o sódio. Esses materiais são conhecidos como feldspatos e possuem uma temperatura de fusão relativamente baixa (1060 – 1100 °C) (SÁNCHEZ, 1997).

A presença de óxidos como CaO, MgO, BaO, ZnO e TiO₂ ou de compostos formados por estes óxidos e a sílica (ex. wollastonita, willemita, anortita), podem contribuir, dependendo da quantidade, para aumentar o brilho ou matizar a superfície. O efeito mate está ligado à cristalização de compostos na superfície do esmalte (PRACIDELLI, 2008; SÁNCHEZ, 1997).

Os carbonatos, como os de cálcio e magnésio, também fazem partes deste grupo. São fundentes energéticos que a uma dada temperatura se decompõem, liberando CO₂ e o metal (Ca, Mg, Ba, entre outros), formando ligações com os átomos de Si e/ou Al, dando origem a outros compostos (SOARES et al., 2014). O carbonato de bário, utilizado na fabricação de fritas, confere maior fundência, menor viscosidade de queima e maior brilho para a frita, quando associado a outros alcalinos e alcalinos terrosos (RENAU, 1994).

Já os elementos estabilizadores da rede têm por principal objetivo evitar que ocorra a devitrificação, ou seja, evitar que a estrutura amorfa (desordenada) vire estrutura cristalina (ordenada) (Figura 10). A devitrificação afetaria diretamente as características químicas (resistência ao ataque químico), mecânicas e estéticas do esmalte. A alumina (Al_2O_3) é um exemplo de estabilizador de rede (PRACIDELLI, 2008; SÁNCHEZ, 1997). Entretanto, como apresentado anteriormente, a devitrificação de parte da estrutura pode ser desejada, principalmente quando se busca o efeito mate no esmalte.

- Opacificantes

São óxidos que fazem com que o esmalte fique mais branco ou leitoso. Em geral são utilizados em produtos onde pretendesse a cor branca plena ou em engobes. Este efeito ocorre por estes óxidos não se dissolverem na fase vítrea (PRACIDELLI, 2008; SÁNCHEZ, 1997).

Óxidos como Al_2O_3 , TiO_2 e ZrO_2 são muito utilizados, principalmente este último. Estes óxidos aumentam a refratariedade do esmalte e influenciam no desenvolvimento de cores (PRACIDELLI, 2008; SÁNCHEZ, 1997).

Entretanto, esta não é sua única função, podem ser utilizados também para deixar o esmalte/esmaltobe/engobe mais refratário.

- Aditivos

São substâncias orgânicas ou inorgânicas que podem ser adicionadas no momento da moagem ou como correção após moagem, para ajustar as propriedades reológicas do esmalte. Podem ser divididos em dois grandes grupos (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994):

Defloculantes: abaixam a viscosidade do esmalte, tornando-os mais fluidos. Exemplo: tripolifosfato sódico ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), metasilicato sódico ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), cloreto de sódio (NaCl), etc.

Ligantes: aumentam a viscosidade e plasticidade do esmalte. Exemplo: Carboximetilcelulose (CMC), goma arábica, etc.

- Corantes

São pós cerâmicos calcinados, provenientes de óxidos dos metais de transição (Fe, Vn, Cr, Co, Ti, Mn, Cu, etc) ou de terras raras (Pr, La, etc), que são adicionados

ao esmalte, em geral, após a moagem (MELCHIADES; BOSCHI, 1999; PRACIDELLI, 2008; ZASSO, 1997). Podem ser preparadas misturas de diferentes corantes para se adquirir a cor desejada.

O comportamento do corante é influenciado diretamente pela composição do esmalte e parâmetros de queima (FILHO, 1999).

2.3.6. Métodos para aplicação de esmalte - Equipamentos

O equipamento e a metodologia utilizados para aplicar os esmaltes irá influenciar diretamente no produto final. Por exemplo, um produto com aplicação de esmalte por disco terá uma textura mais rugosa do que se fosse aplicado por campana (BERTO, 2000; MELCHIADES; BOSCHI, 1999). Com o avanço da tecnologia as formas de aplicar esmalte também evoluíram, principalmente para a aplicação em grandes formatos (ex: 1,20x1,20; 1,20x2,70 m).

A aplicação dos esmaltes pode ser dividida em basicamente dois tipos:

- Cortina Contínua (BERTO, 2000)
 - É uma metodologia utilizada há muitos anos e não apenas no setor de revestimento cerâmico. Caracteriza-se pela formação de uma cortina de esmalte por onde a peça cerâmica irá passar. Dois exemplos de equipamentos que utilizam essa metodologia são:
 - Campana – O equipamento consiste em um disco metálico pelo qual o esmalte desliza por gravidade até a borda do disco, de onde cai e forma uma cortina de esmalte, como apresentado na Figura 12. O esmalte é impulsionado para cima da campana por uma bomba, onde é possível regular o fluxo de suspensão que será estornado. Como o esmalte cai por gravidade, é importante controlar a densidade (faixa entre 1,80 a 1,85 g/cm³) e a viscosidade (entre 35 a 45 segundos em Copo Ford nº 4), para evitar oscilações da cortina e heterogeneidades de aplicação. É possível obter uma placa cerâmica com camada de esmalte homogênea, lisa, mas com camada de aplicação maior do que outros equipamentos, seja pelo método de cortina contínua ou pulverização.

Figura 12. Aplicação por campana



Fonte: Elaborado pela autora.

- Vela – O equipamento consiste em um recipiente (caixa) metálico com orifícios por onde o esmalte irá passar. Na parte inferior há duas lâminas que permitem controlar o quanto de esmalte será usado na formação do véu, ou seja, o ajuste de espessura. Diferente da campana, o esmalte forma uma cortina através de sua pressurização dentro do recipiente metálico (Figura 13). Sendo assim é possível trabalhar com um intervalo maior de densidades (faixa entre 1,70 a 1,85 g/cm³) e viscosidade (entre 25 a 40 segundos em Copo Ford nº 4). Com este equipamento, é possível obter uma aplicação semelhante a feita por campana, mas com camada menor

Figura 13. Aplicação por vela.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Pulverização (BERTO, 2000)
 - É uma metodologia que se baseia na pulverização e aplicação de pequenas gotas de esmalte, muito próximas, formando uma camada contínua sobre a

peça. Como ocorre a pulverização do esmalte, é preciso que o equipamento seja fechado, minimizando o desperdício de esmalte. Dois exemplos de equipamentos que utilizam essa metodologia são:

- Cabine de disco – O equipamento consiste em uma cabine com um ou dois conjuntos de discos com orifícios na extremidade, por onde, com a velocidade de rotação, será pulverizado o esmalte (Figura 14). Por conta da necessidade de fluidez do esmalte é preciso que sua viscosidade seja baixa (inferior à 25 segundos em Copo Ford nº 4), a densidade utilizada é entre 1,30 a 1,60 g/cm³ ((PRACIDELLI, 2008).

Figura 14. Aplicação por disco.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Cabine de pistolas (*Airless*) – O equipamento consiste em uma cabine com pistolas, também conhecidas como canetas, que fazem a pulverização em alta pressão. Essas canetas são oscilantes, ou seja, elas se movem na transversal para pulverizar de forma homogênea a peça (Figura 15). Possibilita o uso de esmaltes com densidade mais baixa, de 1,15 a 1,60 g/cm³ e a aplicação de camadas mais finas (cerca de 200 g por m²). Esse tipo de aplicação é mais utilizado para quando se deseja: uma camada transparente ou proteger a decoração feita por tinta digital ou aplicar efeitos sobre as peças.

Figura 15. Aplicação por pistolas.



Fonte: Elaborado pela autora.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

As matérias-primas utilizadas para a formulação do esmalte para cobertura foram, frita padrão (STD), frita de bário, suspensores, modificadores/estabilizadores de rede e aditivos.

A composição completa das fritas com os óxidos que as compõem são confidenciais, entretanto, algumas informações precisam ser conhecidas para compreender o seu comportamento:

- Frita STD: rica em sílica (SiO_2), cerca de 50% da composição; possui aproximadamente 20% de óxidos fundentes;
- Frita de Bário: possui 32% de óxido de bário (BaO) e cerca de 7% de óxidos fundentes.

3.2. Estudo laboratorial

3.2.1. Comparação de fusibilidade e características das fritas do estudo

Antes de iniciar as formulações, foi realizada uma avaliação comparativa de fusibilidade, viscosidade de queima e brilho das fritas STD e de bário. Para tal, foi necessário moer a frita (80%), utilizando uma base de suspensor (10%) e água (10%).

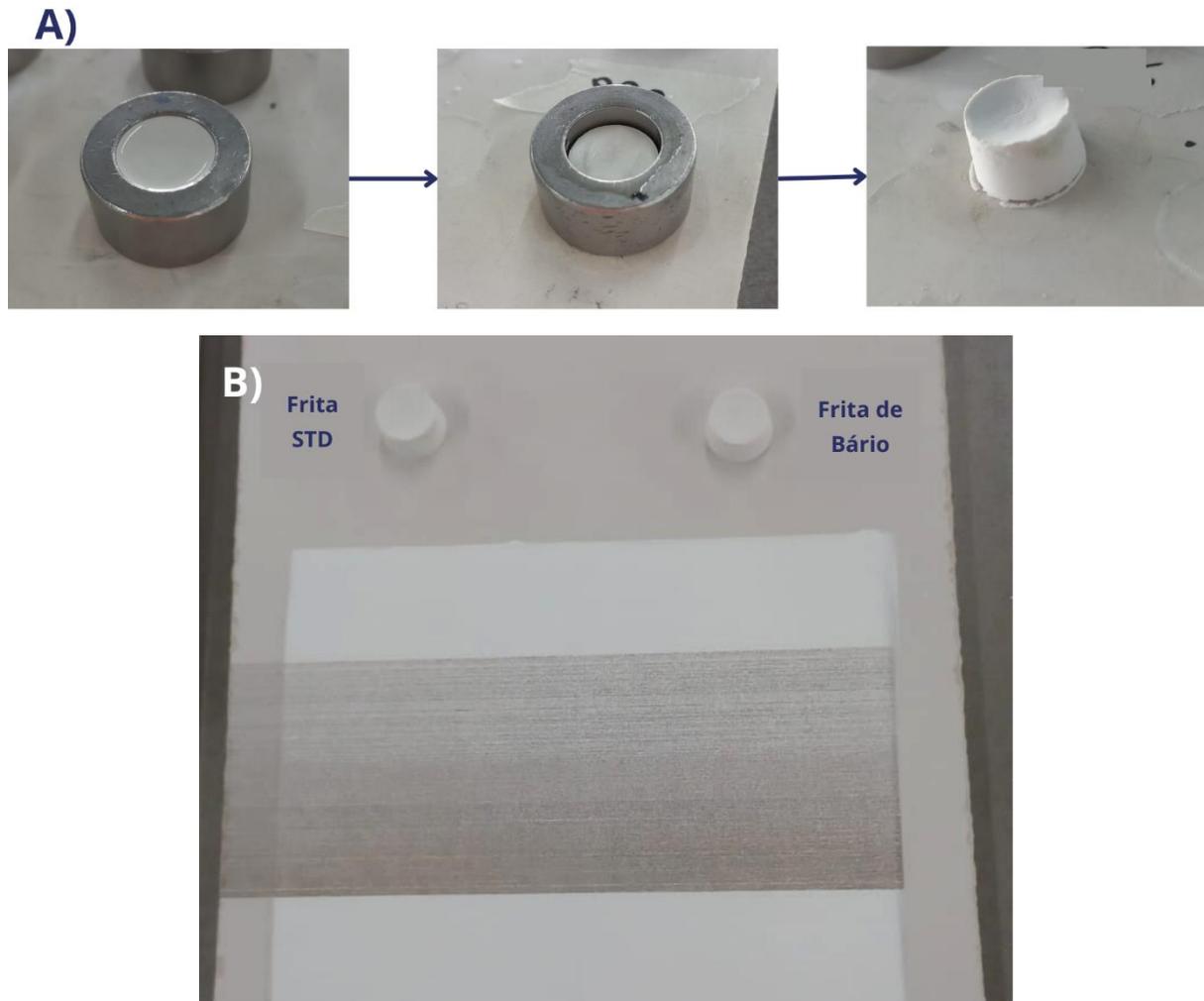
A moagem foi realizada em moinho periquito com bolas e jarro de alumina de 500g, por 15 min.

Para avaliar a fusibilidade, foi preparado um cilindro de 2x2 cm, também conhecido por botão de fusibilidade, pelo método de colagem de barbotina, onde a suspensão foi vertida em um molde metálico com base de gesso (Figura 16 a). Após a formação do cilindro, este foi seco a temperatura ambiente por 8h para então ser desmoldado e transferido ao biscoito cerâmico.

Para avaliar o brilho, a suspensão foi aplicada com biníl de abertura 0,4 mm sobre um biscoito previamente engobado. Após, foi aplicado uma faixa de decoração digital, conforme Figura 16 b).

A queima da peça foi realizada no forno da linha de produção (forno a rolos contínuo), com temperatura máxima de 1205 °C e ciclo de queima de 39 min.

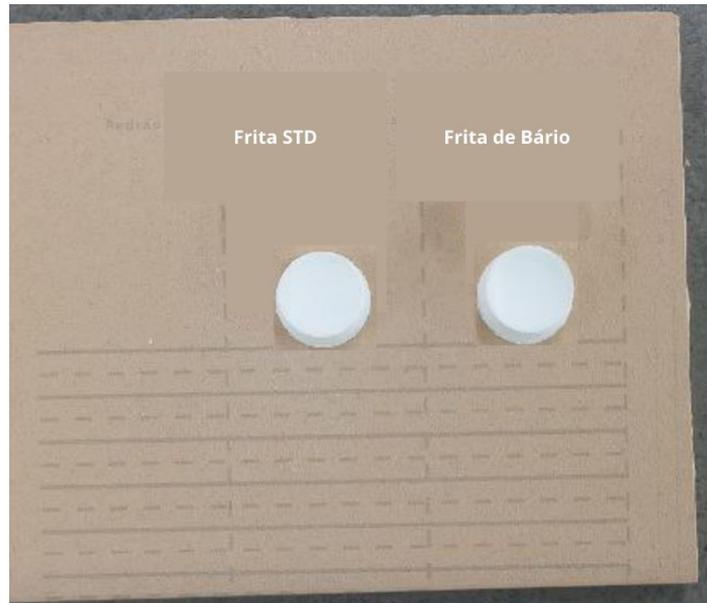
Figura 16. A) Preparação do botão de fusibilidade, B) Biscoito cerâmico com aplicação de biníl e transferência do botão.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para avaliar a viscosidade de queima também foi preparado um botão, entretanto, a suspensão foi vertida em molde metálico sobre uma base de revestimento cerâmico poroso (BIII) já queimado. Esta base é graduada, conforme Figura 17, para auxiliar na visualização do escorrimento do botão. Após 4h de secagem, a peça foi levada para queima em forno Mufla a 1190 °C com tempo de patamar de 120 min, taxa de aquecimento de 10 °C/min e inclinação de 45°.

Figura 17. Botão para avaliar a viscosidade de queima da frita.

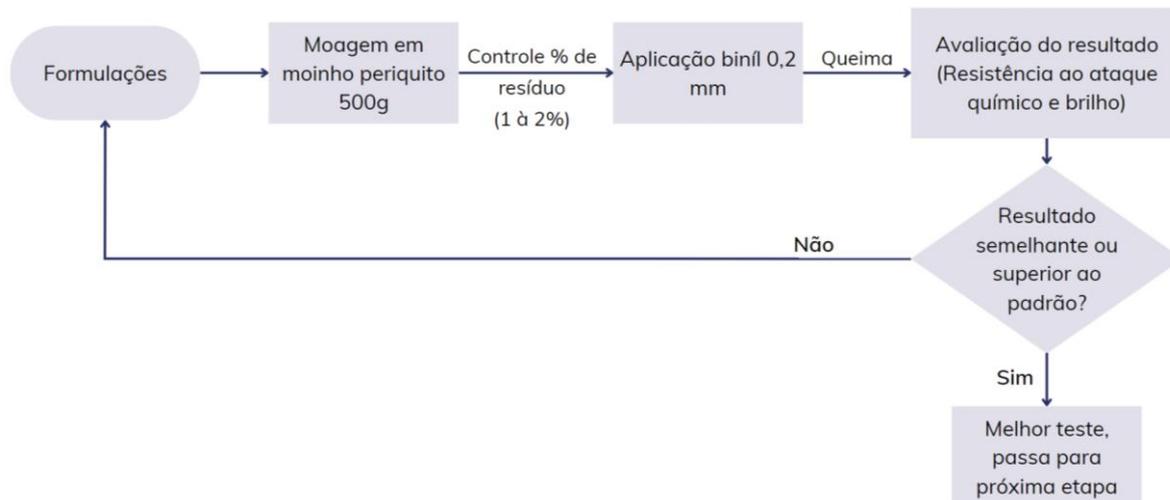


Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.2. Estudo e avaliação das formulações

A etapa de preparação das formulações e avaliação foi realizado conforme a Figura 18.

Figura 18. Estudo de formulações em escala laboratorial

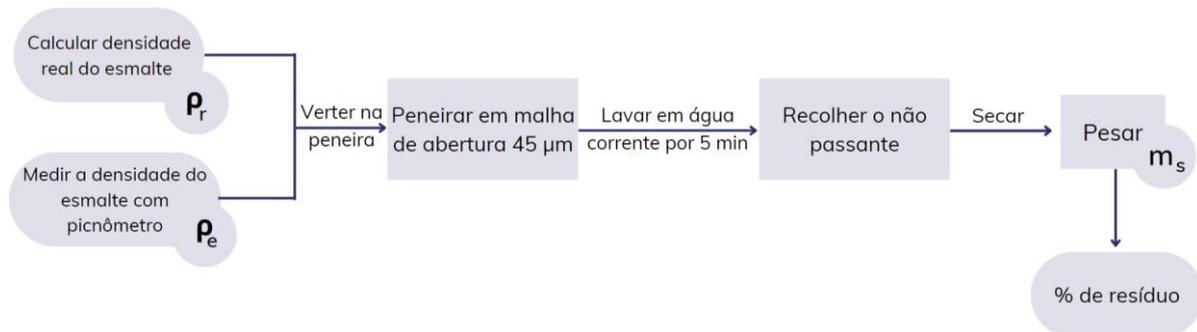


Fonte: Elaborado pela autora.

As matérias-primas para a preparação dos esmaltes foram pesadas (500g) utilizando uma balança analítica e moídas a úmido em moinho periquito utilizando jarro e bolas de alumina, por 37 min para atingir a porcentagem de resíduo seco desejado, 1 a 2% de material não passante na peneira de abertura 45 μ m.

O cálculo do percentual de resíduo foi realizado de acordo com o Figura 19 e as Equações 1 e 2.

Figura 19. Etapas para determinação do percentual de resíduo de um esmalte cerâmico.



Fonte: Elaborado pela autora.

Primeiramente foi calculado a densidade real (ρ_r) do esmalte utilizando a Equação 1,

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{\rho_e}\right) - 1 + \frac{\%sólido}{100}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

ρ_e é a densidade do esmalte medido com o picnômetro de 100 ml

% de sólidos é o quanto de material sólido o esmalte possui após a secagem de 100 g de material úmido.

Para calcular o percentual de resíduo foi utilizado a Equação 2,

$$\% \text{ de Resíduo} = \frac{m_s(1 - \rho_r)}{\rho_r(1 - \rho_e)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde m_s é o resíduo não passante na peneira de abertura de 45 μm após a secagem.

Após o resíduo atingir a faixa de 1 a 2% de material não passante na peneira de abertura de 45 μm , os esmaltes foram aplicados contra o padrão (esmalte STD) utilizando biníl de abertura de 0,2 mm.

Por este estudo se tratar de um esmalte para cobertura, o esmalte foi aplicado sobre uma placa recolhida da linha de produção que já continha as demais camadas do layout, neste caso, pré-molhado, esmalto e decoração.

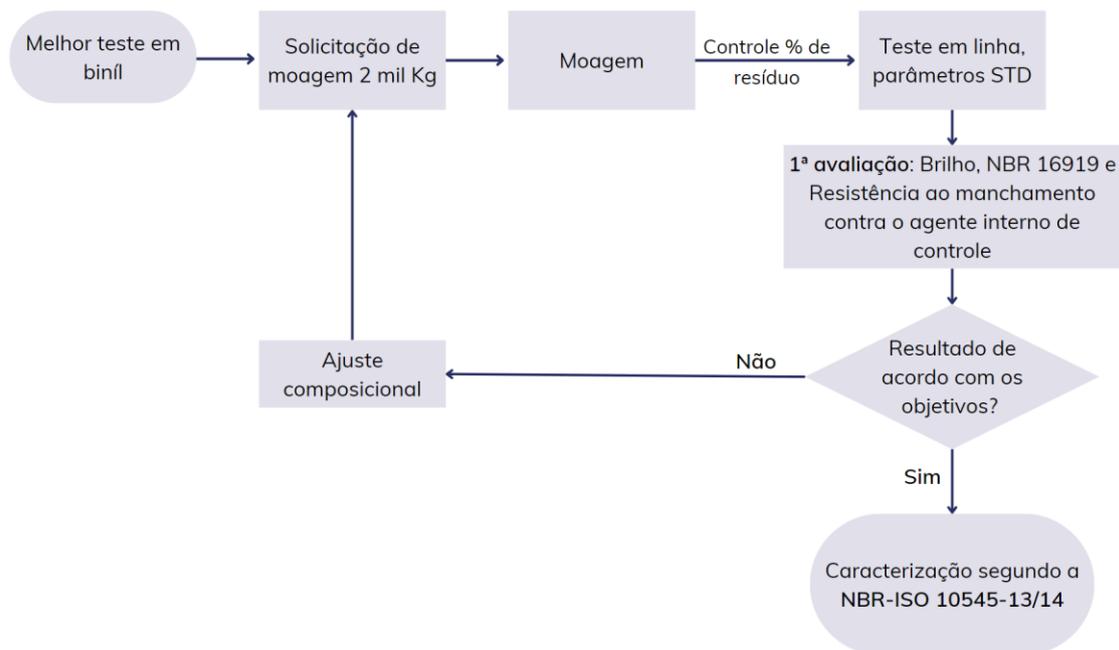
A queima da peça foi realizada no forno da linha de produção (forno a rolos contínuo), com temperatura máxima de 1205 °C, o ciclo de queima foi de 39 min.

Os testes foram avaliados quanto a brilho (Glossmeter, Hoshiba), e resistência ao ataque químico utilizando as soluções de ácido clorídrico (HCl) 3 e 18% e hidróxido de potássio (KOH) 30 e 100 g/L, conforme NBR-ISO 10545-13.

3.3. Teste em linha de produção

O teste em linha de produção foi realizado e avaliado de acordo com o Figura 20.

Figura 20. Etapas do teste em linha de produção.



Fonte: Elaborado pela autora.

A formulação que apresentou o melhor resultado nos testes de binil foi encaminhada para o setor de preparação de esmaltes realizar a moagem de 2 mil kg com 1 a 2% de resíduo.

A aplicação do esmalte foi feita com uma cabine de pistolas (como a apresentada na Figura 15), seguindo os parâmetros de produção.

A queima foi realizada no forno da linha de produção (forno a rolos contínuo), com temperatura máxima de 1205 °C, o ciclo de queima foi de 39 min. Após, as peças do teste foram recolhidas e avaliadas quanto à resistência ao manchamento utilizando um agente interno de manchamento e coeficiente de atrito dinâmico (NBR 16919).

Como apresentado pela Figura 20, se o teste apresentar resultado de acordo com os objetivos, nesta 1ª avaliação, ele prossegue para a próxima etapa onde será feita a caracterização da placa cerâmica quanto à resistência ao ataque químico e ao manchamento, segundo as NBR-ISO 10545, partes 13 e 14, respectivamente.

Entretanto, se o resultado da primeira avaliação for negativo, será feito um ajuste na composição, realizada nova moagem e novo teste.

3.4. Técnicas de caracterização

Os testes foram caracterizados segundo as metodologias abaixo.

3.4.1. Fusibilidade e Viscosidade de queima

Ambas as propriedades (fusibilidade e viscosidade de queima) são características intrínsecas do material e estão relacionadas a composição química e parâmetros de queima.

A fusibilidade é a capacidade de um material passar do estado sólido para o líquido ou líquido viscoso, com a adição de calor. Quanto mais alta é a temperatura em que ocorre esta transição, mais refratário é o material (maior o ponto de amolecimento (PA)), já quanto que quanto menor esta temperatura, mais fundente é o material (menor o PA). Este é um conceito muito utilizado para descrever o comportamento das fritas, esmaltes e engobes. Esta propriedade é avaliada por meio de uma análise do botão de fusibilidade e permite realizar comparações qualitativas (PRACIDELLI, 2008).

A viscosidade de queima se trata de uma propriedade importante que determina algumas das características finais do produto. Ela está relacionada com a reatividade do esmalte com a massa, como a dissolução, recristalização e devitrificação de compostos do esmalte (por exemplo, cristalização de compostos que geram o efeito mate), além de controlar a uniformidade da camada de esmalte (característica também conhecida como estiramento do esmalte) e de influenciar na eliminação de bolhas produzidas pelas gases que são eliminadas da massa durante a queima (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994). Esta propriedade é muito influenciada pela presença de óxidos alcalinos (PRACIDELLI, 2008).

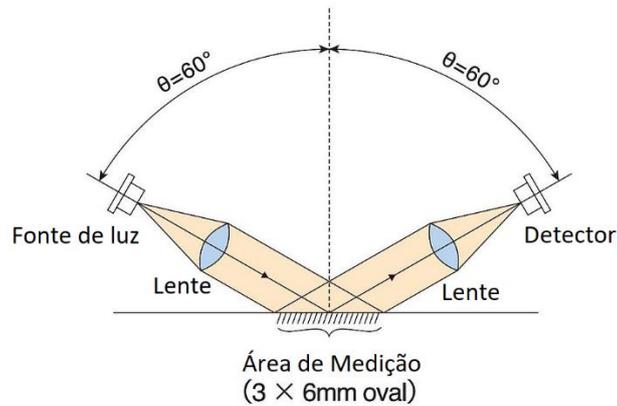
A utilização de fritas com baixa viscosidade no esmalte pode ajudar a diminuir a porosidade interna do mesmo, já que este irá fluir mais (o estiramento será maior), além de melhorar a resistência à abrasão e ao manchamento (PRACIDELLI, 2008).

3.4.2. Brilho

O princípio de funcionamento do equipamento (Figura 21) está na emissão de um raio de luz com ângulo de 30° e intensidade determinada. Essa luz incide sobre a peça e é refletida, mas em sentido oposto, onde é capturada e convertida por uma célula fotovoltaica em sinal

elétrico, que é processado e apresentado de forma numérica no display (IG-410 - HORIBA, [s.d.]).

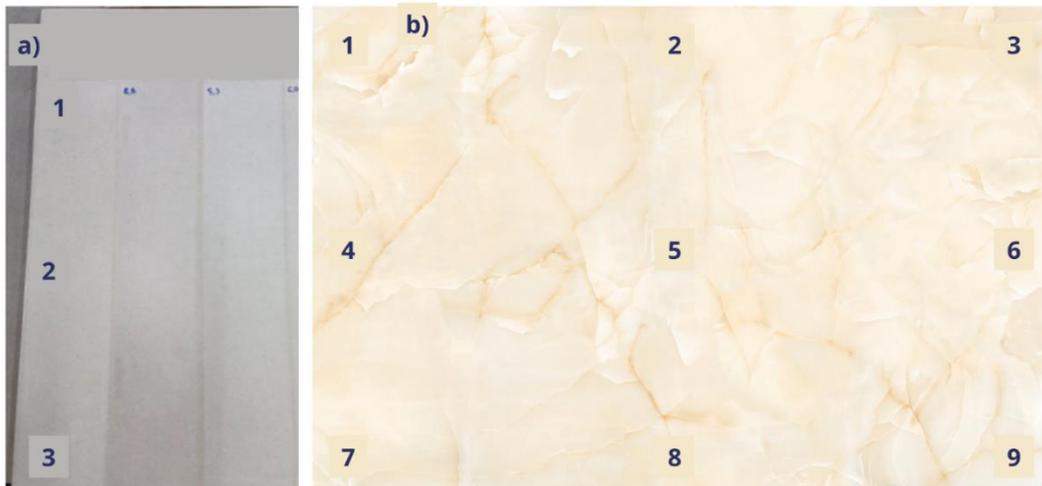
Figura 21. Princípio de funcionamento de um medidor de brilho.



Fonte: Adaptado de (IG-410 - HORIBA, [s.d.]).

Para este ensaio a peça deve estar a temperatura ambiente e limpa, para então posicionar o equipamento Glossmeter IG-140 (Horiba) sobre a peça. Nos binís foram realizadas 3 medidas e feita a média aritmética, já nas placas produzidas na linha de produção foram feitas 9 medidas conforme Figura 22.

Figura 22. Pontos de medição de brilho no biníl (a) e na placa cerâmica (b).



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.3. Resistência ao manchamento

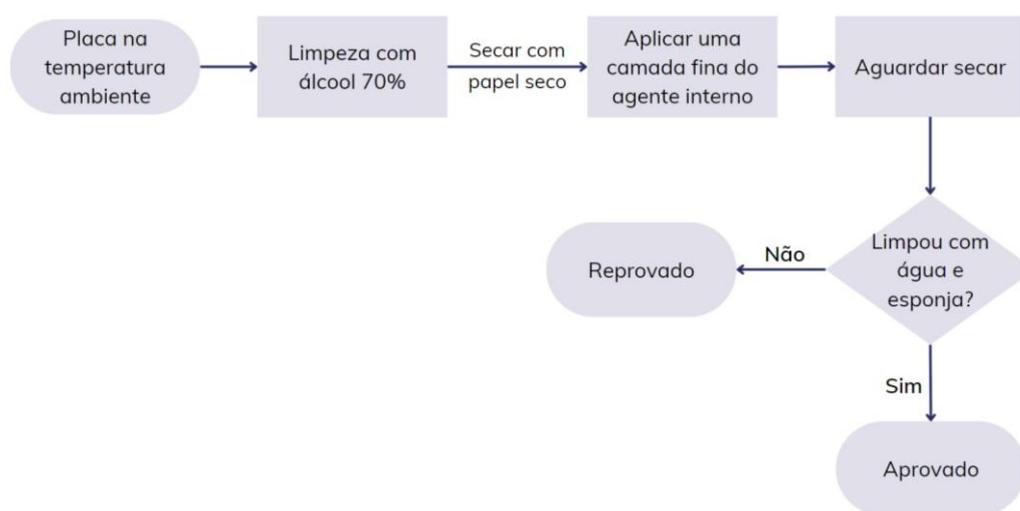
A resistência ao manchamento é um dos principais requisitos para os revestimentos cerâmicos. É importante a facilidade de limpeza, sem a utilização de produtos agressivos como por exemplo produtos que contenham partículas abrasivas ou agentes químicos (ácido ou base),

pois estes irão abrasionar / atacar quimicamente a superfície da placa cerâmica. Este efeito pode alterar permanente a superfície do produto, aumentando a dificuldade de limpeza (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2008).

Para realizar uma primeira avaliação dos testes em linha de produção foi utilizado o agente de manchante interno. Este produto é utilizado para avaliar a resistência ao manchamento do revestimento cerâmico, é um controle de qualidade interno utilizado após a queima.

Este procedimento de avaliação foi realizado conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23. Procedimento para avaliar a limpabilidade utilizando o agente de manchante interno.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para a caracterização do esmalte teste, foi seguida a NBR-ISO 10545-14. Esta norma regulamenta os materiais e procedimentos que devem ser aplicados para determinar a resistência ao manchamento dos revestimentos cerâmicos e as classificações que se enquadram (ABNT, 2017d).

Os agentes manchantes descritos pela norma são (Figura 24):

- Verde - Óxido de cromo (Cr_2O_3) em solução oleosa;
- Vermelho – Óxido de ferro (Fe_2O_3) em solução oleosa;
- Com ação química/oxidante – Iodo em solução alcoólica;
- Com ação de formação de película – Óleo de oliva.

Figura 24. Ensaio de resistência ao manchamento segundo a NBR 10545-14.



Fonte: Elaborado pela autora.

É necessário deixar a superfície da placa cerâmica exposta a estes agentes manchantes por 24h para então iniciar a limpeza.

Os agentes limpantes são:

- Água quente ($55 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$);
- Produto de limpeza fraco, não contendo abrasivo, com pH de 6,5 a 7,5 (Ex: detergente);
- Produto de limpeza forte, contendo abrasivos, com pH entre 9 a 10;
- Solvente, podendo ser solução de ácido clorídrico, hidróxido de potássio ou acetona.

A limpeza inicia com água e conforme a necessidade são utilizados os outros produtos de limpeza. Entre cada limpeza, a peça deve ser levada a estufa ($105 \pm 5^\circ\text{C}$) por 2h para secagem.

A classificação é feita de forma visual e de acordo com o agente de limpeza utilizado, onde é atribuída a nota 5 para o revestimento em que água é possível remover as manchas e 0 onde não é possível remover a mancha com nenhum agente de limpeza. Por exemplo, se todos os agentes manchantes forem removidos com água, o revestimento é classificado como 5. Se for necessário utilizar detergente (produto de limpeza fraco) para remover alguma das manchas, é classificado como 4, e assim por diante.

3.4.4. Coeficiente de atrito dinâmico

O coeficiente de atrito dinâmico (CAD) é uma propriedade relacionada à “interface dos materiais que estão em contato” (ABNT, 2020b). Está relacionada principalmente com a

rugosidade das superfícies e o meio líquido em que se encontram os materiais (ABNT, 2020b; SCORISA et al., 2016). O CAD nada mais é do que uma medida da facilidade de escorregamento.

Os revestimentos cerâmicos podem ser causadores de queda por escorregamento, já que sua superfície, em geral é lisa, apresentando baixa rugosidade. Por conta disso, para garantir a segurança no uso de um revestimento cerâmico é importante avaliar o local de uso e o CAD (ABNT, 2020b; SCORISA et al., 2016).

Segundo a NBR 16919 produtos com coeficiente de atrito $\geq 0,40$ é recomendado para locais onde se requer resistência ao escorregamento.

O ensaio de CAD foi realizado seguindo a NBR 16919, onde “é determinado o atrito dinâmico entre a amostra e um slider, movendo-se a uma velocidade constante de $17 \pm 1,7$ mm/s em toda a superfície” da placa. A placa cerâmica a ser avaliada foi limpa utilizando álcool etílico e pano. Após estar seca e livre de sujidades, foi aspergida sobre a placa uma solução de água com tensoativo não iônico de $C_{34}H_{62}O_{11}$ (ABNT, 2020b). O equipamento para a medição foi calibrado segundo as especificações do fabricante (Gabrielli, Itália), foi posicionado sobre a placa e acionado para realizar a medição. O equipamento foi configurado para percorrer 60 cm da peça e realizar a medição a cada 0,1 segundos, gerando em torno de 245 medidas, da qual a média é apresentada no visor do equipamento. O desvio de medida (erro) do equipamento é de $\pm 0,06$.

3.4.5. Resistência ao ataque químico

A resistência ao ataque químico é outra propriedade importante para os revestimentos cerâmicos já que alguns dos agentes de limpeza utilizados podem atacar quimicamente a superfície do produto (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2008; ZANNINI, 2006).

Com o ataque químico da superfície da placa cerâmica, pode levar à perda de cor e brilho (descaracterização do produto) e impregnação de sujidades.

A NBR-ISO 10545 em sua parte 13, regulamenta os materiais químicos e suas concentrações, além dos procedimentos utilizados para realizar o ensaio e classificar o produto, perante o resultado (ABNT, 2020c).

Os produtos químicos utilizados são:

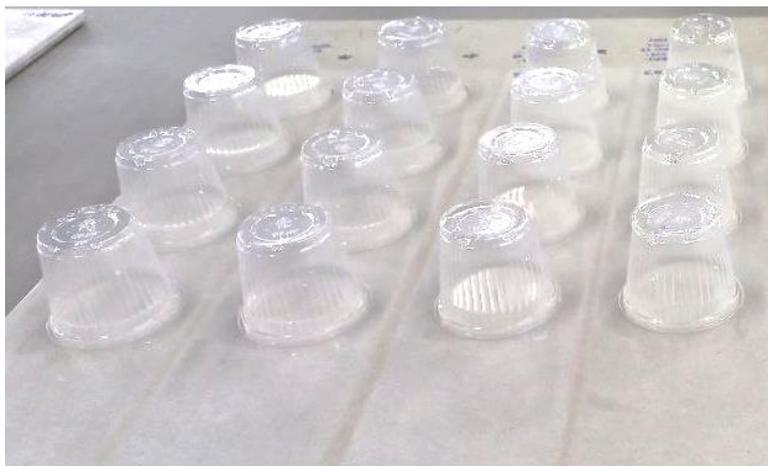
- Solução de cloreto de amônio 100 g/L– Produto químico doméstico (NH_4Cl);
- Solução de hipoclorito de sódio 20 mg/L – Sais de piscina (Hipo);
- Ácido cítrico 100 g/L (Cit);

- Ácido hidroclorídrico 3% (HCl 3%);
- Ácido hidroclorídrico 18% (HCl 18 %);
- Hidróxido de potássio 30 g/L (KOH 30);
- Hidróxido de potássio 100 g/L (KOH 100);
- Ácido láctico 5% (Lat).

A placa cerâmica deve ser cortada em pedaços de no mínimo 10x10 cm e expostas às soluções. As de cloreto de amônio, hipoclorito de sódio e ácido cítrico devem ser mantidas em contato com o corpo de prova por 24h. Já as demais são mantidas em contato por 96 ± 1 h, onde após 48h devem ser substituídas. Após, os corpos de prova devem ser lavados em água corrente por 10 min e secos em estufa (105 ± 5 °C) antes da avaliação.

Para a avaliação da resistência ao ataque químico dos binís o ensaio foi realizado da mesma forma, mas sem cortar a peça (Figura 25).

Figura 25. Ensaio de resistência ao ataque químico nos binís.



Fonte: Elaborado pela autora.

A classificação é feita de forma visual e são atribuídas as classificações A, B e C, onde,

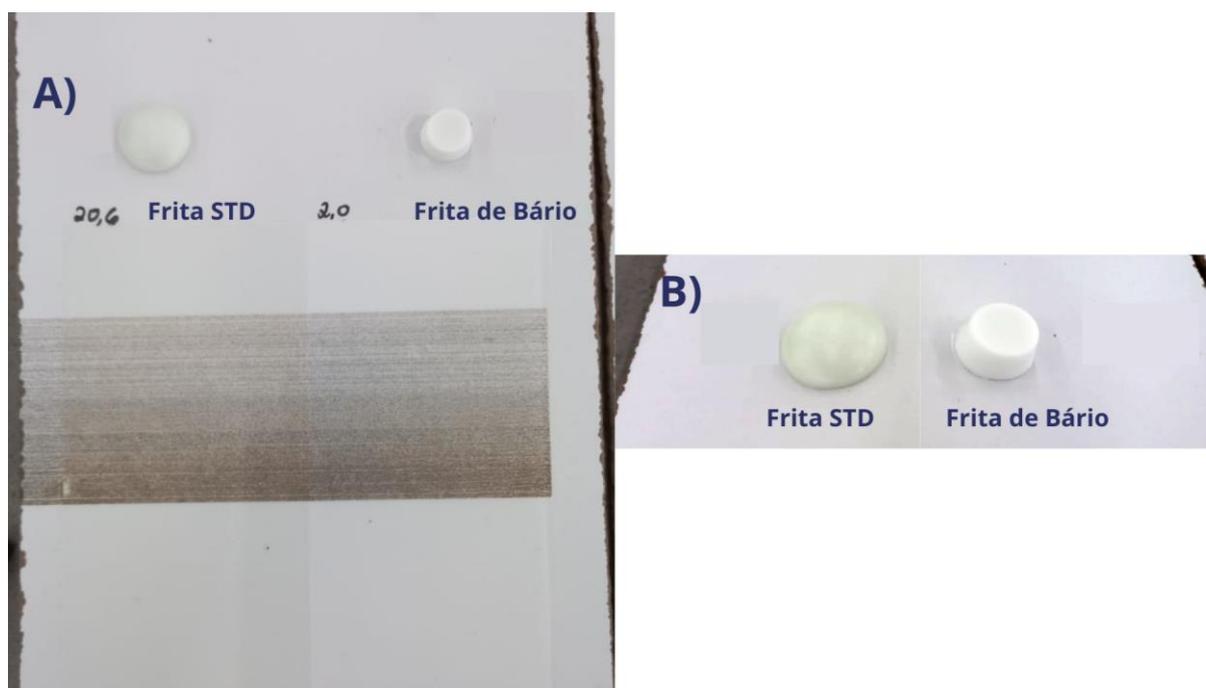
- A – não é possível ver a marca feita pelo reagente (não atacou);
- B – apresenta perda de brilho (atacou);
- C – apresenta descaracterização do produto, perda de cor ou de desenho (atacou);

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comparação das características das fritas STD e de Bário

As características físicas, químicas e estéticas de um esmalte são em grande parte influenciadas pela frita ou fritas utilizadas na sua composição. A composição e fusibilidade da frita, por sua vez, irão influenciar no desenvolvimento de cor, brilho, transparência, resistência química, entre outros. As Figuras 26 e 27 apresentam o binil, botões de fusibilidade e escorrimento de ambas as fritas.

Figura 26. Comparação de brilho (a) e fusibilidade (b) entre as fritas STD e bário.



Fonte: Elaborado pela autora.

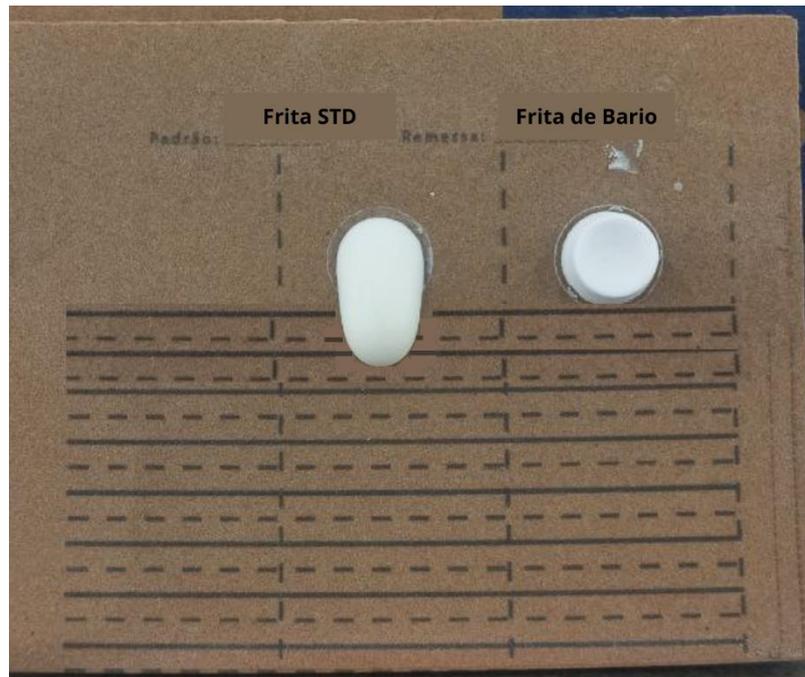
Como apresentado na Figura 26 (a), a frita STD desenvolveu mais brilho (20,6 lux) do que a frita de Bário (2,0 lux). Ambas possuem o efeito fosco característico de uma frita mate, mas em termos de brilho, a frita de Bário pode ser considerada mais mate do que a frita STD.

Quanto à fusibilidade (Figura 26 (b)), a frita STD apresentou comportamento mais fundente em comparação com a frita de Bário, este comportamento já era esperado, considerando a composição das fritas, pois a frita STD possui 20% de óxidos fundentes (grupo dos modificadores de rede), enquanto que a frita de Bário possui apenas 7%.

Entretanto, é importante destacar que segundo a literatura, o óxido de bário é um fundente energético, com viscosidade de queima mais baixa que a SiO_2 , o que propiciaria uma maior fundência, mas, este comportamento é desencadeado apenas, quando na presença de outros metais alcalinos e alcalinos terrosos (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994; VALLE,

2021b). Na formulação da frita de Bário, a presença destes elementos é inferior a 10%, não gerando um efeito expressivo. Tal efeito pode ser comprovado pela avaliação do botão de escorrimento (Figura 27), onde fica visível que a frita de Bário utilizada no estudo possui viscosidade de queima mais alta do que a frita STD, que como apresentado anteriormente na seção 3.1 é rica em SiO₂.

Figura 27. Botão de escorrimento para avaliação da viscosidade de queima das fritas STD e de bário.



Fonte: Elaborado pela autora.

Este comportamento da frita de Bário pode influenciar a viscosidade de queima do esmalte, dependendo do percentual que for utilizado desta frita na composição.

Segundo Pracidelli (2008) e Renau (1994) a utilização de fritas de baixa viscosidade auxiliam para a formação de uma camada de esmalte mais homogênea, além de diminuir a porosidade interna e superficial do mesmo, melhorando a resistência ao ataque químico, à abrasão e ao manchamento (PRACIDELLI, 2008; RENAU, 1994).

Conhecendo o comportamento de ambas as fritas, foi possível determinar e traçar as estratégias para o desenvolvimento de um novo esmalte com a adição da frita de bário, tendo como base uma composição de esmalte padrão (esmalte STD) mate. Desta forma, por se tratar de uma frita mais refratária do que a frita STD, foi decidido limitar o seu percentual na composição (inferior a 15%).

4.2. Estudo laboratorial

Para este estudo apenas algumas matérias-primas tiveram seu percentual alterado. Além das Fritas, mais cinco matérias-primas pertencentes ao grupo dos modificadores/estabilizadores de rede foram alteradas. Os percentuais de suspensores e aditivos não foram alterados, pois resultaria na modificação das propriedades reológicas do esmalte (OGATA et al., 2008).

4.2.1. 1ª Bateria de teste

Considerando o resultado da avaliação das fritas (seção 4.1), inicialmente foram preparadas duas formulações com 10 e 13% de Frita de bário, como mostra a Tabela 6, para determinar qual o percentual de frita de bário seria utilizado no estudo. Na Tabela 7 são apresentados os percentuais das matérias-primas estudadas e na Tabela 8, os resultados de brilho e resistência ao ataque químico.

Tabela 6. Formulações para a 1ª bateria de teste e resultado de brilho e ataque químico.

Grupo	STD	T1	T2
<i>Frita STD</i>	37,40	27,40	27,40
<i>Frita de Bário</i>	-	10	13
<i>Suspensores</i>	13,50	13,50	13,50
<i>Modificadores/Estabilizadores de rede</i>	48,50	48,50	45,50
<i>Aditivos</i>	0,60	0,60	0,60
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7. Percentual das matérias-primas estudadas.

Matéria-prima	STD	T1	T2
<i>Mp A</i>	3,0	3,0	-
<i>Frita STD</i>	37,4	27,4	27,4
<i>Frita de Bário</i>	-	10,0	13,0

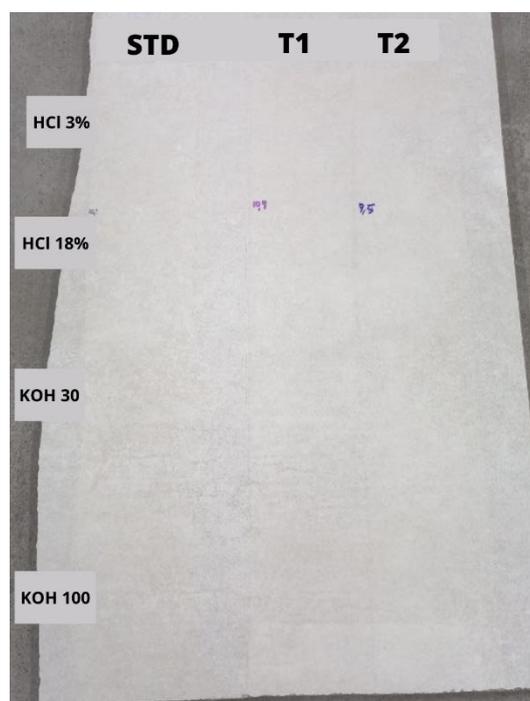
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8. Resultado de brilho e ataque químico da 1ª bateria de testes.

		STD	T1	T2
<i>Brilho</i>		10,2	10,9	9,5
<i>Ataque químico (Figura 28)</i>	<i>HCl 3%</i>	A	A	A
	<i>HCl 18%</i>	A	A	A
	<i>KOH 30</i>	A	A	A
	<i>KOH 100</i>	A	A	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 28. Binil da primeira bateria de testes em laboratório.



Fonte: Elaborado pela autora.

No teste T1 foi substituído 10% da Frita STD por 10% da Frita de bário. Esta substituição gerou pouca variação no brilho (+ 0,7 lux) e nenhuma alteração de ataque químico.

Já no teste T2, além desta inversão de fritas, foi retirado 3% da matéria-prima A (Mp A), fonte de Si e Ca, pertencente ao grupo dos modificadores/estabilizadores de rede.

Esta Mp, de forma individual, tem efeito matizante através da sua dissolução e recristalização durante o resfriamento. Entretanto, é possível identificar que o efeito desta Mp na composição padrão é de aumentar o brilho do esmalte, o que demonstra que ela, se dissolve durante a queima e não volta a recristalizar durante o resfriamento (VALLE, 2021b).

Ao ser retirada da composição (T2), o brilho do esmalte caiu 1,4 lux, comparado ao T1 (10,9 X 9,5 lux, respectivamente).

Como se deseja uma composição de esmalte com brilho baixo e não houve alteração na resistência química do esmalte, a formulação T2 se mostrou promissora para continuar os estudos.

4.2.2. 2ª Bateria de teste

A Tabela 9 apresenta as formulações preparadas na segunda bateria de testes e a Tabela 10 o percentual das matérias-primas estudadas.

Os percentuais de suspensores e aditivos não foram alterados, pois resultaria na modificação das propriedades reológicas do esmalte (OGATA et al., 2008).

O objetivo desta bateria foi avaliar o comportamento do esmalte mantendo fixo o percentual de 13% de frita de Bário e alterando os percentuais da frita STD e dos modificadores/estabilizadores de rede. É importante destacar que as propriedades desenvolvidas pelo grupo dos modificadores e estabilizadores é dependente da Mp e da sua reação na fórmula, por exemplo, podemos ter Mp que tenham a característica matizante, mas que nesta formulação tem efeito contrário (Mp A) (VALLE, 2021a).

Tabela 9. Formulações para a 2ª bateria de teste e resultados de brilho e ataque químico

Matéria-prima	STD	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<i>Frita STD</i>	37,40	27,40	26,50	25,00	26,50	27,50	27,00
<i>Frita de Bário</i>	-	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
<i>Suspensores</i>	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50	13,50
<i>Modificadores/ Estabilizadores de rede</i>	48,50	45,50	46,40	47,90	46,40	45,40	45,90
<i>Aditivos</i>	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10. Percentual das sete matérias-primas estudadas na 2ª bateria.

	STD	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<i>Mp A</i>	3,0	-	-	-	-	-	-
<i>Mp B</i>	5,6	5,6	6,6	5,6	6,6	5,6	6,0
<i>Mp C</i>	2,0	2,0	2,0	4,4	2,0	2,0	2,0
<i>Mp D</i>	9,0	9,0	9,0	9,0	-	-	5,0
<i>Mp E</i>	26,5	26,5	26,5	26,5	35,5	35,5	30,5
<i>Frita STD</i>	37,4	27,4	26,5	25,0	26,5	27,5	27,0
<i>Frita de Bário</i>	-	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0

Fonte: Elaborado pela autora.

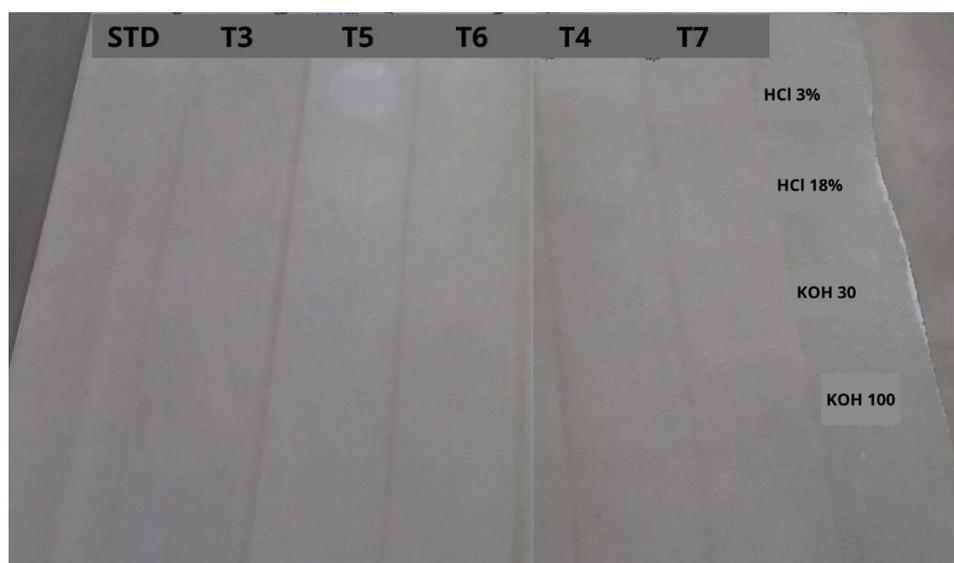
Tabela 11. Resultado de brilho e ataque químico da 2ª bateria de testes.

		STD	T2	T3	T4	T5	T6	T7
<i>Brilho</i>		10,2	9,5	8,5	9,2	5,3	6,4	7,0
<i>Ataque químico</i> (Figura 24)	<i>HCl 3%</i>	A	A	A	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>C</u>	A
	<i>HCl 18%</i>	A	A	A	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>C</u>	A
	<i>KOH 30</i>	A	A	A	<u>B</u>	<u>B</u>	<u>B</u>	A
	<i>KOH 100</i>	A	A	A	<u>B</u>	<u>B</u>	<u>B</u>	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Como apresentado pela Tabela 11, as formulações T4, T5 e T6 apresentaram resistência química inferior ao padrão (STD), incluindo classificação de resistência C, onde ocorre a descaracterização do produto e perda de características estéticas (Figura 29 e 30).

Figura 29. Binil da segunda bateria de testes em laboratório.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 30. Ataque químico C, descaracterização do desenho e perda de brilho.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na formulação do T4 foi retirado 1,5% da Frita STD (fundente) e 1% da Mp **B** (refratária) e adicionado + 2,5% à Mp **C**. A Mp **C** é uma matéria-prima fonte de cálcio e magnésio.

Segundo a literatura, a adição de matérias-primas fontes de Ca e Mg leva à formação de compostos cristalinos com o Si (ex.: silicatos e aluminossilicatos). Estas fases são responsáveis por causar o empobrecimento da composição química da interface entre cristal e matriz, onde esta área apresentará menor percentual de SiO₂, aumentando a susceptibilidade ao ataque químico (REGO et al., 2006a, 2006b).

Já nas formulações T5 e T6, foi retirado a Mp **D** (9%) e todo o seu percentual foi acrescentado à Mp **E**. Ambas as matérias-primas são fontes de Al, Si, K e Na, entretanto, em percentuais diferentes. A Mp **D** apresenta maior percentual de Si e K, enquanto que a Mp **E** possui maior percentual de Al e Na. Ao retirar a Mp **D**, o brilho caiu de 10,2 lux (STD) para 5,3 (T5) e 6,4 (T6) lux. Ambas formulações também apresentaram resistência ao inferior ao padrão. Este efeito é justificado pela composição química destas duas matérias-primas, a Mp **D** é uma fonte de Si, o que leva a formação de maior percentual de fase vítrea, gerando mais brilho e maior resistência química. A Mp **E** por outro lado, irá contribuir para uma maior formação de fase cristalina, causando o empobrecimento da fase vítrea e por fim a maior susceptibilidade ao ataque (REGO et al., 2006a, 2006b).

Visto que estas formulações apresentaram resultado de resistência química inferior à composição STD, elas foram reprovadas.

Para a formulação do teste T3, foi retirado 1,10% da concentração de Frita STD e acrescentado a Mp **B**. Esta Mp **B** tem comportamento mais refratário do que a Frita STD, neste

caso, ela não funde durante a queima, assim, o esmalte conterá diversas partículas em sua superfície, que irão contribuir para a diminuição do índice de refração, resultando em um brilho mais baixo, ou seja, efeito matizante por adição de partículas (SÁNCHEZ, 1997). O teste T3 apresentou brilho de 8,5 lux, um ponto menor que o T2 (1ª bateria). Além disso, a resistência química da formulação T3 foi semelhante ao STD.

Já na formulação T7, foi retirado 4% da Mp **D**, que como visto nas formulações T5 e T6 influencia a resistência química e brilho. A sua substituição pela Mp **E** levou a diminuição de 2,5 lux, entretanto, não afetou a resistência química, que como apresentado pela Tabela 11 permaneceu como classificação A (ataque químico não visível). Tal efeito demonstra que há um percentual limitante da Mp **D** onde a partir do qual levará a diminuição de resistência ao ataque químico.

Diante dos resultados obtidos nesta bateria, as formulações T3 e T7 foram as melhores. Como se deseja um esmalte com brilho inferior ao STD, foi escolhido o T7 para a realização dos testes em produção.

4.3. Teste em linha de produção

Antes de alterar definitivamente a composição, seja da massa, do engobe ou do esmalte, é preciso validar o teste em linha de produção, nas condições padrão de linha e forno. O resultado obtido em laboratório muitas vezes pode não se repetir quando feito em larga escala, por motivos de moagem, equipamentos, queima, entre outros.

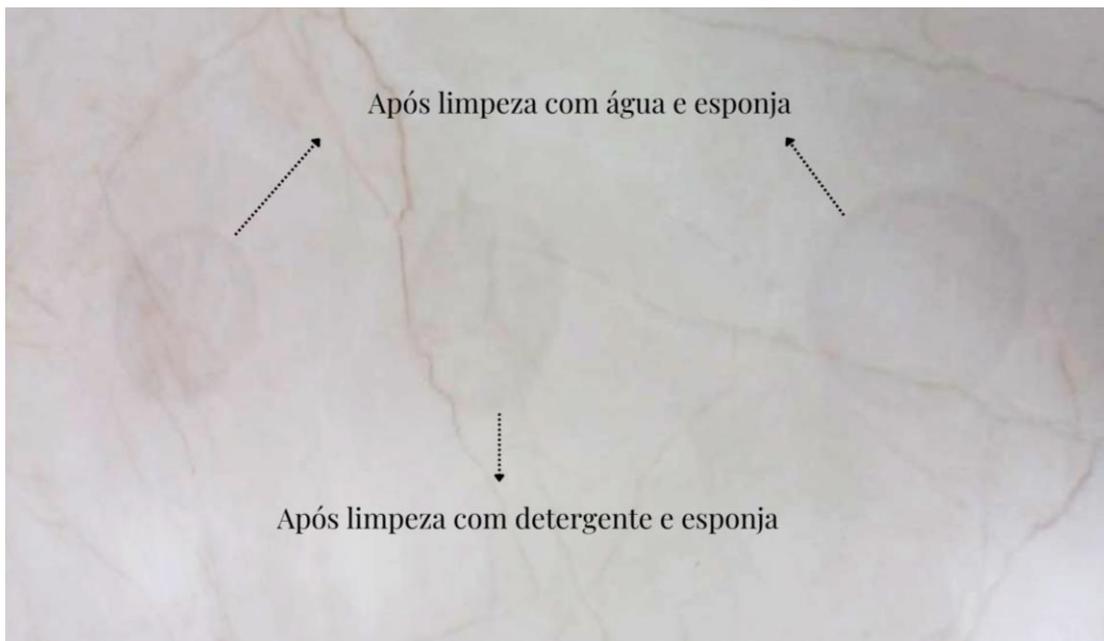
Após a aplicação do esmalte T7 em cabine de pistolas e queima das peças, estas foram esfriadas à temperatura ambiente para realizar o teste de resistência ao manchamento utilizando o agente interno, medido o coeficiente de atrito dinâmico (CAD) e brilho. O resultado é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Resultado do T7 em linha de produção

Testes	T7	STD
<i>Brilho (lux)</i>	11,0	9,5
<i>Resistência ao manchamento contra o agente interno (Figura 31)</i>	Não resistente (Figura 31)	Resistente
<i>Coefficiente de atrito dinâmico</i>	0,43 / 0,49 / 0,46 = 0,45	0,50 / 0,48 / 0,46 = 0,48

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 31. Teste de resistência ao manchamento no T7.



Fonte: Elaborado pela autora.

Comparando o resultado de brilho do T7 em biníl (Tabela 11), com o das placas em linha de produção (Tabela 12), temos que em produção o brilho foi maior, inclusive foi superior ao brilho do STD. Esse fenômeno pode estar relacionado com a forma de aplicação do esmalte, tamanho da peça, interação da peça com a queima e estabilidade do esmalte e de suas matérias-primas.

Lembrando que a formulação T7 possui 4% a menos da Mp D, que como visto nos testes em biníl (Seção 4.2.2) está relacionada ao brilho e estabilidade da estrutura do esmalte (sua retirada completa levou à perda de resistência química).

Com relação ao CAD, a diferença apresentada está dentro do erro do próprio equipamento, portanto, pode-se considerar que não houve alteração no resultado.

Já a limpabilidade do teste (resistência ao manchamento) apresentou resultado inferior ao do STD. Como apresentado na Figura 31, mesmo após a limpeza com água e esponja, a mancha deixada pelo agente interno não saiu. Foi realizado também a limpeza com detergente, seguindo as diretrizes da NBR-ISO-14 apresentado na seção 3.4.2, entretanto, não houve alteração significativa no resultado.

Avaliando o comportamento da frita de bário em comparação com a frita STD (seção 4.1), observa-se que a de bário além de ser mais refratária, possui maior viscosidade de queima. A utilização de fritas de alta viscosidade de queima prejudica a porosidade interna do esmalte (PRACIDELLI, 2008) e neste caso, prejudica também a porosidade superficial, visto que o

esmalte foi aplicado em cabine de pistolas, onde a formação da camada de esmalte se dá pela agrupamento de pequenas gotas. Para este tipo de aplicação, o ideal seria a utilização de fritas de baixa viscosidade, auxiliando no fechamento dos poros (PRACIDELLI, 2008).

Para reverter este resultado, foi realizado um ajuste na formulação, criando assim o T8, como apresentado na Tabela 13.

Para a formulação T8, foram retirados 3% da frita de bário e acrescentados mais 1% de Frita STD e 2% da Mp D (Tabela 14). O objetivo desta modificação foi aumentar a fusibilidade e diminuir a viscosidade de queima do esmalte.

Antes de realizar o teste em linha de produção, foi avaliado brilho e resistência química em biníl. O brilho aumentou 1 lux e a resistência química se manteve na classificação A (Tabela 15).

Tabela 13. Ajuste na formulação do T7 para um novo teste.

Matéria-prima	STD	T7	T8
<i>Frita STD</i>	37,40	27,00	28,00
<i>Frita de Bário</i>	-	13,00	10,00
<i>Suspensores</i>	13,50	13,50	13,50
<i>Modificadores/Estabilizadores de rede</i>	48,50	45,90	47,90
<i>Aditivos</i>	0,60	0,60	0,60
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 14. Percentual das sete matérias-primas estudadas após o ajuste de formulação.

	STD	T7	T8
<i>Mp A</i>	3,0	-	-
<i>Mp B</i>	5,6	6,0	6,0
<i>Mp C</i>	2,0	2,0	2,0
<i>Mp D</i>	9,0	5,0	7,0
<i>Mp E</i>	26,5	30,5	30,5
<i>Frita STD</i>	37,4	27,0	28,0
<i>Frita de Bário</i>	-	13,0	10,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15. Resultado de brilho e ataque químico após ajuste na formulação.

Matéria-prima		STD	T7	T8
<i>Brilho</i>		10,2	7,0	8,0
<i>Ataque químico</i>	<i>HCl 3%</i>	A	A	A
	<i>HCl 18%</i>	A	A	A
	<i>KOH 30</i>	A	A	A
	<i>KOH 100</i>	A	A	A

Fonte: Elaborado pela autora.

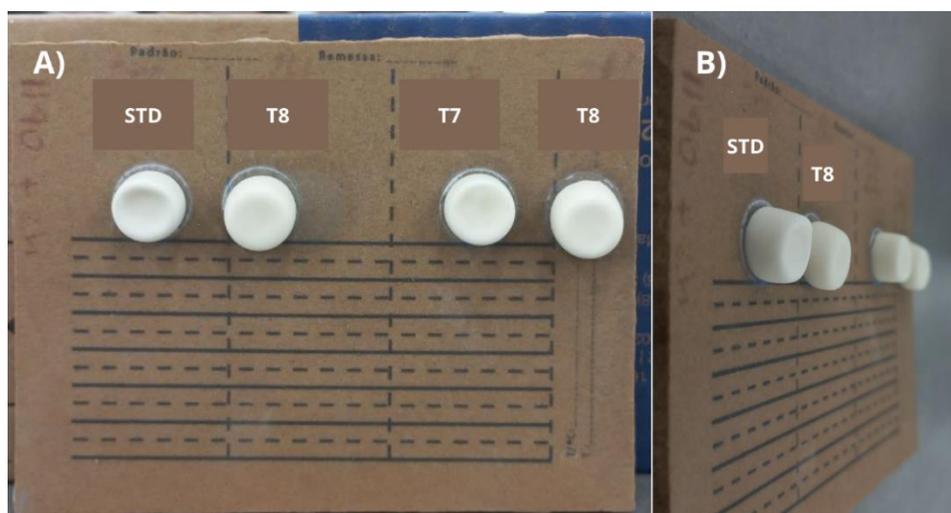
Também foram preparados os botões de fusibilidade e escorrimento, para validar alteração na formulação. Como apresentado nas Figuras 32 e 33, o T8 ficou levemente mais fundente e menos viscoso quando comparado ao STD e T7. Isso mostra que a alteração proposta foi bem sucedida, cabe agora avaliar se o resultado se manterá em linha de produção.

Figura 32. Botão de fusibilidade dos esmaltes STD, T8 e T7.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 33. Comparação da viscosidade de queima entre os esmaltes STD, T8 e T7.



Fonte: Elaborado pela autora.

O novo teste em linha de produção foi realizado conforme o anterior, seguindo os parâmetros de produção.

Após as peças estarem frias, foi realizado novamente o teste de limpabilidade, medido o brilho e CAD (Tabela 16).

Tabela 16. Resultado do teste T8 em linha de produção.

Testes	T8	STD
<i>Brilho (lux)</i>	7,8 a 9,4	9,0 a 10,0
<i>Resistência ao manchamento contra o agente interno</i>	Saiu com água	Saiu com água
<i>Coefficiente de atrito dinâmico</i>	0,46 / 0,48 / 0,46 = 0,46	0,50 / 0,48 / 0,46 = 0,48

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o resultado apresentado na Tabela 16 é possível afirmar que o ajuste de composição foi bem sucedido e a hipótese levantada anteriormente de que o problema de manchamento foi causado pela viscosidade de queima alta da frita de Bário estava correta.

Como o resultado da avaliação preliminar do T8 foi positiva, foram realizados os testes para a caracterização do produto final, quanto à resistência ao ataque químico e ao manchamento (NBR-ISO 13 e 14, respectivamente).

4.4. Resistência ao ataque químico e ao manchamento

Os resultados dos ensaios de resistência ao ataque químico e ao manchamento são apresentados nas Tabelas 17 e 18, respectivamente.

Tabela 17. Resistência ao ataque químico do T8 comparado ao STD e T7.

Agentes químicos	T8	STD	T7
<i>HCl 3%</i>	A	A	A
<i>HCl 18%</i>	A	A	A
<i>KOH 30</i>	A	A	B
<i>KOH 100</i>	B	B	B
<i>LAT</i>	A	A	A
<i>CIT</i>	A	A	A
<i>HIPO</i>	A	A	A
<i>NH₄Cl</i>	A	A	A

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18. Resistência ao manchamento do T8.

Agentes manchantes	T8	STD	T7
<i>Óxido de Ferro</i>	5	5	5
<i>Óxido de Cromo</i>	5	5	5
<i>Iodo</i>	5	5	5
<i>Óleo de Oliva</i>	5	5	5

Fonte: Elaborado pela autora.

Para comparação, nas Tabelas 17 e 18 também é apresentado o resultado do T7, teste reprovado no ensaio de resistência ao manchamento contra o agente interno. Contra os agentes manchantes de norma, o T7 apresentou limpabilidade máxima (classe 5 – com água), assim como o T8 e o STD.

Entretanto, quando utilizado o agente interno de manchamento (Tabelas 12 e 16), existe diferença e que o T7 apresenta menor resistência ao manchamento do que o T8.

O agente de manchamento de controle interno é mais restritivo do que os agentes manchantes de norma.

Comparando ao desempenho do padrão, o teste T8 apresentou o mesmo resultado tanto de resistência ao ataque químico quanto de resistência ao manchamento contra os agentes de norma e contra o agente de norma, portanto, apresenta potencial para ser utilizado em porcelanatos que necessitem de esmalte para cobertura mate, transparente e de brilho baixo.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados e avaliações do comportamento da Frita de Bário, é possível identificar que sua adição na composição de esmalte padrão resulta na diminuição do brilho, ou seja, deixa-o mais mate. A Frita de Bário, quando comparada à Frita STD, é mais refratária (menor a fusibilidade) e possui maior viscosidade de queima.

Para percentuais superiores a 10% de adição, o esmalte passa a apresentar viscosidade de queima levemente superior à composição padrão.

Esta característica influencia negativamente propriedades como a resistência ao manchamento quando utilizado o agente interno.

O esmalte desenvolvido apresentou resistência ao manchamento contra o agente interno e ao manchamento segundo a NRB-ISO 10545-14. Apresentou também resistência ao ataque químico igual ao padrão, coeficiente de atrito dinâmico acima de 0,40 e sobretudo, brilho inferior ao padrão.

Diante de tais resultados, este projeto de conclusão de curso aplicado na indústria de revestimentos cerâmicos, concluiu que o desenvolvimento de um novo esmalte com a adição de frita de bário atingiu resultados relevantes e que possibilitam a sua utilização em porcelanatos naturais.

Resta como trabalhos futuros acompanhar o novo esmalte em linha de produção, para avaliar a sua estabilidade e desempenho dentro do processo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 15270-2:2017 - Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], p. 15, 2017. a.
- ABNT. NBR 13755 - Revestimentos CERâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante - Projeto, execução, inspeção e aceitação - Procedimento. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], p. 65, 2017. b.
- ABNT. NBR-ISO 10545-1 - Placas Cerâmicas - Parte 1: Amostragem e critérios de aceitação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], p. 14, 2017. c.
- ABNT. NBR-ISO 10545-14: Placas Cerâmicas Parte 14: Determinação da resistência ao manchamento. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], p. 14, 2017. d.
- ABNT. NBR-ISO:13006 - Placas cerâmicas - Definições, classificação, características e marcação. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], p. 65, 2020. a.
- ABNT. NBR 16919 - Placas cerâmicas - Determinação do coeficiente de atrito. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], p. 13, 2020. b.
- ABNT. NBR-ISO 10545-13: Placas Cerâmicas - Parte 13: Determinação da resistência química. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, [S. l.], 2020. c.
- ALBARO, J. L. Amorós. A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial Parte III: Variáveis do Processo de Compactação Instituto. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 26–32, 2001.
- ANFACER. **História da Cerâmica**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/historia-da-ceramica>. Acesso em: 22 jan. 2022.
- ANFACER. **Exportações de revestimentos cerâmicos cresceram 6,2% no primeiro trimestre**. 2022. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/noticias/exportacoes-de-revestimentos-ceramicos-cresceram-6-2-no-primeiro-trimestre>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- BARALDI, Luca. World production and consumption of ceramic tiles. **Ceramic World Review**, [S. l.], v. 143, p. 26–42, 2021.
- BARSOUM, M. .. **Fundamentals of ceramics**. New York, NY: McGraw-Hill, 1996.
- BERTO, Arnaldo Moreno. Adequação das Propriedades de Tintas e Esmaltes aos Sistemas de Aplicação e Técnicas Decorativas Parte I: Esmaltação. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 5, n. 5, p. 11–18, 2000.
- BMS DESENVOLVIMENTO. **Treinamento Porcelanato**. , 2018.
- BÓ, Marcel Dal; MARIANO; MACHADO, Naiane; FRAGNANI, André Sorato; SILVA,

Jessica Marcineiro; LAPOLLI, João Vitor Antunes; POSSENTI, Grazielle Vefago Boaventura; FIGUEIREDO. Desenvolvimento de esmaltes especiais a partir de resíduos de vidro para aplicação em cerâmica artística. *In: 7º SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSE 2018, Anais [...].* [s.l.: s.n.] p. 1–7.

BORDIGNON, Francesco. **Modelo de referencia para o desenvolvimento de produtos cerâmicos considerando o ciclo de vida total do produto.** 2013. Universidade de São Paulo, [S. l.], 2013.

BORGERT, J. B. 1º Workshop sobre Revestimentos Cerâmicos: A Influência da Queima na Variação da Tonalidade de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 4, n. 1–6, p. 47–49, 1999.

CABRAL, Marsis; AZEVEDO, Paulo Brito Moreira De; CUCHIERATO, Gláucia; MOTTA, José Francisco Marciano. Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte IV Indústria de Louça e Porcelana (Mesa, Utilitários e Decoração), Demanda Mineral e Análise de Fatores de Competitividade Setorial. **Cerâmica industrial**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 13–28, 2019. DOI: 10.4322/cerind.2019.022.

CALLISTER, W. D. *Materials science and engineering: An introduction* (8th edition). **Materials & Design**, [S. l.], 2013. DOI: 10.1016/0261-3069(91)90101-9.

CATHO COMUNICAÇÃO. **O que é Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)?** | **Catho**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.catho.com.br/carreira-sucesso/dicas/o-que-e-abnt/>. Acesso em: 16 maio. 2022.

Cerâmico - Produtos - SRS - Gruppo SRS Brasil. [s.d.]. Disponível em: <https://www.grupposrs.com.br/produtos/ceramico>. Acesso em: 20 maio. 2022.

CINO, Francisco; BRÖTZ, F. J. Tecnologias Modernas para a Produção de Louça Sanitária. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 01, n. 03, p. 23–26, 1996.

Como é a Fabricação de Tijolos? 2019. Disponível em:

<https://ceramicamonaco.com.br/blog/fabricacao-de-tijolos/>. Acesso em: 25 jan. 2022.

CONSERVA, Lisandra R. S.; NASTRI, Suelen; LEITE, Álvaro P.; MELCHIADES, Fábio G.; BOSCHI, Anselmo O. Íons Cromóforos e a Cor de Queima de Porcelanatos Esmaltados. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 13–16, 2014. DOI: 10.4322/cerind.2014.073.

DONDI, M.; BLOSI, M.; GARDINI, D.; ZANELLI, C. Pigmentos Cerâmicos para Tintas de Decoração Digital: Visão Geral. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 17, n. 5–6, p. 23–29, 2012. DOI: 10.4322/cerind.2014.026.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Resistência ao Manchamento de

Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 39–45, 2008.

DONDI, Michele; BLOSI, Magda; GARDINI, Davide; ZANELLI, Chiara; ZANNINI, Paolo. Tecnologia Jato de Tinta para Decoração Digital de Placas Cerâmicas: Visão Geral. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 7–13, 2014. DOI: 10.4322/cerind.2014.065.

EWERS, Gillian. Decoração por Jato de Tinta Para onde Vamos Agora? **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 19, n. 5, p. 10–15, 2014. DOI: 10.4322/cerind.2014.086.

FILHO, Oscar de Abril. Esmaltes, Esmaltação e Variação de Tonalidade. **Cerâmica Internacional**, [S. l.], v. 4, n. 1–6, p. 40–42, 1999.

FRANCO, E. ...; GESICKI, A. L. ...; SALVETTI, A. ... DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE QUEIMA EM FUNÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS PARA MATÉRIA PRIMA DA FORMAÇÃO AQUIDAUANA NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. In: ANAIS DO 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA 2001, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 201–2015.

GASPARETO, Milena Gomes Talavera; TEIXEIRA, Silvio Rainho. Utilização de Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD) como Material não Plástico para a Produção de Tijolos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 40–46, 2017. DOI: 10.4322/cerind.2017.014.

GRUPO ESMALGLASS-ITACA. **Treinamento Monoporosa**. [s.l: s.n.].

HOTZA, Dachamir. Colagem de Folhas Cerâmicas. **Cerâmica**, [S. l.], v. 43, p. 157–164, 1997.

HOTZA, Dachamir. Etimologia e uso em diferentes línguas de alguns termos técnicos empregados na fabricação de cerâmica tradicional. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 17–21, 2007.

IG-410 - HORIBA. [s.d.]. Disponível em: <https://www.horiba.com/int/products/detail/action/show/Product/ig-410-330/>. Acesso em: 17 maio. 2022.

Informações Técnicas - Definição e Classificação. [s.d.]. Disponível em: <https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

KAYACI, K.; YILDIRIM, Y.; TARHAN, M.; DURGUT, E.; ERGIN, H. Comparação entre as Tecnologias de Moagem a Seco como Referência para os Parâmetros Tecnológicos do Grânulo Formado. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 7–14, 2017. DOI: 10.4322/cerind.2017.009.

KINGERY, W. ...; BOWEN, K.; UHLMANN, D. ... **Introduction to ceramics**. 2 ed ed. New York, NY: Wiley, 1976.

LOLLI, L.; NASSETTI, G.; MARINO, L. F. B. A Preparação a Seco de Massas Cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 23–27, 2000.

LORENZI, Renan Fidel de Lucena; ZORZI, Janete Eunice. Colagem de Barbotina de Cerâmicas Avançadas. In: XV ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES DA UCS 2007, Caxias do Sul. **Anais [...]**. Caxias do Sul p. 1.

LOT, A. V.; NIEVES, L. J. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Tintas para Decoração Digital (Jato de Tinta) de Revestimentos Cerâmicos: Parte 2 Fatores Responsáveis pelo Desempenho. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 15–18, 2017. DOI: 10.4322/cerind.2017.008.

MACEA. **A história da Porcelana**. 2017. Disponível em: <https://www.macea.com.br/noticias/a-historia-da-porcelana>. Acesso em: 22 jan. 2022.

Madeiras Portobello - Design, sustentabilidade e moda. [s.d.]. Disponível em: <https://archtrends.com/blog/madeiras-portobello/>. Acesso em: 11 maio. 2022.

MAGALHÃES, Mariane; CONTARTESI, Flavia; CONSERVA, Lisandra Rafaela dos Santos; MELCHIADES, Fábio Gomes; BOSCHI, Anselmo Ortega. Efeitos do Ciclo de Queima sobre as Temperaturas de Mínima Absorção de Água e Máxima Densificação de Porcelanatos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 20–25, 2014. DOI: 10.4322/cerind.2014.067.

MATERIOTECA SUSTENTÁVEL. **Avaliação do Ciclo de Vida da Cerâmica Vermelha**. [s.d.]. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/ceramica-vermelha/>. Acesso em: 16 jun. 2022.

MELCHIADES, Fábio G.; BOSCHI, Anselmo Ortega. Cores e Tonalidades em Revestimentos Cerâmicos Introdução Aspectos que Influenciam a Visualização das Cores. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 4, n. 1–6, p. 11–18, 1999. Disponível em: http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v04n16/v4n16_2.pdf.

MENDES, Felipe. **Pandemia mudou relação com lar e estimulou reformas, diz CEO da Telhanorte | VEJA**. 2020. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/pandemia-mudou-relacao-com-lar-e-estimulou-reformas-diz-ceo-da-telhanorte/>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MORENO, Alana. **Marajoara, uma rica cultura que se perdeu com o tempo**. [s.d.]. Disponível em: <https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/idiomas/marajoara-uma-rica-cultura-que-se-perdeu-com-o-tempo/57796>. Acesso em: 22 jan. 2022.

NASSETTI, G.; PALMONARI, C. Moagem Fina à Seco e Granulação vs. Moagem à Umido e Atomização na Preparação de Massas de Base Vermelha para Monoqueima Rápida de Pisos

Vidrados. **Cerâmica Internacional**, [S. l.], v. 2, n. 5/6, p. 11–15, 1997.

Números do Setor Cerâmico. 2020. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>.

OGATA, Paula; HIGA, Silvia Midori; MELCHIADES, Fábio Gomes; BOSCHI, Anselmo Ortega. Efeito do Teor de Aditivos e Bentonita sobre a facilidade de Peneiramento e Sedimentação de Esmaltes Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 13, n. 4, p. 19–21, 2008. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657367f8c9d6e028b4742/pdf/ci-13-4-587657367f8c9d6e028b4742.pdf>.

OLIVEIRA, A. P. N. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 5, n. 6, p. 37–47, 2000. Disponível em: http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v05n06/v5n6_6.pdf.

OLIVEIRA, Antonio P. Novaes De; HOTZA, Dachamir. **Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos**. 2ª Edição ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2011.

Piso e revestimento para banheiro: dicas de cerâmicas e outras opções! [s.d.]. Disponível em: <https://archtrends.com/blog/revestimento-para-banheiro/>. Acesso em: 11 maio. 2022.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 2, p. 31–35, 1997.

PRACIDELLI, Sebastião. Estudo dos Esmaltes Cerâmicos e Engobes. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 13, n. 1/2, p. 8–20, 2008.

PRIETO, Carlos. **Revestimentos cerâmico vê 2022 com vendas estagnadas**. 2022. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/noticias/jornal-valor-economico-traz-balanco-do-setor-em-2021>. Acesso em: 25 jun. 2022.

QUEIROZ, Luiz Fernando Teixeira. **Efeito da quantidade de areia quartzosa no processamento, microestrutura e propriedades da cerâmica vermelha para telhas**. 2009. Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darsy Ribeiro, [S. l.], 2009.

REBELO, Carlos da Rocha. **Projeto e Execução de Revestimento Cerâmico - Interno**. 2010. Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2010.

REGO, Bruna Turino; MELCHIADES, Fábio Gomes; FEDERAL, Universidade; CARLOS, De São; LUIZ, Rod Washington; SP, São Carlos. Resistência ao Ataque Químico dos Esmaltes Mates Acetinados. Parte 1: Características Microestruturais de Produtos Comerciais. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 13–16, 2006. a.

REGO, Bruna Turino; MELCHIADES, Fábio Gomes; FEDERAL, Universidade; CARLOS, De São; LUIZ, Rod Washington; SP, São Carlos. Resistência ao Ataque Químico dos

Esmaltes Mates Acetinados . Parte 2: Alternativas para o Desenvolvimento de Esmaltes Mates de Alta Resistência ao Ataque Químico. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 11, n. 5/6, p. 17–20, 2006. b.

REIG, Yolanda; LÁZARO, Vicente; MATEU, Ana; FELIU, Carlos. Decoração Cerâmica com Tecnologias de Jato de Tinta (Inkjet). **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 7–14, 2012. DOI: 10.4322/cerind.2014.006.

RENAU, Rafael Galindo. **Pastas y Vidrados - en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos**. 1^a edición ed. [s.l.] : Faenza Editrice Ibérica, S.L, 1994.

RIBEIRO, Manuel J.; VENTURA, José M.; LABRINCHA, J. A. A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 34–40, 2001. Disponível em:

<http://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/5876570f7f8c9d6e028b4657>.

RUIZ, Mauro Silva; TANNO, Luiz Carlos; CABRAL JUNIOR, Marsis; COELHO, José Mário; NIEDZIELSKI, Jean Carlos. A Indústria de Louça e Porcelana de Mesa no Brasil. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 29–34, 2011.

SÁNCHEZ, E. Matérias-primas para a fabricação de fritas e esmaltes cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 2, n. 3/4, p. 32–40, 1997.

SÁNCHEZ, E.; SANZ, V.; BORDES, M. C.; SALES, J.; KAYACI, K.; TASKIRAN, M. U.; ANIL, Ü. E.; TÜRKC, S.; TARHAN, M. Deformação de queima em grés porcelanato de grande formato: Efeito das variáveis de composição e de processo. **Cerâmica industrial**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 7–16, 2018. DOI: 10.4322/cerind.2018.011.

SANTOS, Daniel Carvalho Dos. **Revestimentos Em Fachadas: Texturas X Cerâmicas**. 2012. Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2012.

SANTOS, Lisandra R. Dos; NASTRI, Suelen; ZENATTI, Suelen; LOT, Ana Virgínia; MELCHIADES, Fábio G.; BOSCHI, Anselmo O. A evolução da deformação pirolástica de porcelanatos durante a queima. **Cerâmica industrial**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 27–34, 2019. DOI: 10.4322/cerind.2019.015.

SANTOS, Geocris R.; MELCHIADES, Fábio G.; BOSCHI, Anselmo O. Desenvolvimento de uma Metodologia para o Acompanhamento da Evolução do Amadurecimento de Engobes Durante a Queima. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 22–27, 2007.

SCORISA, Murilo Milani; LOT, Ana Virgínia; MELCHIADES, Fábio Gomes; BOSCHI, Anselmo Ortega. Breve Descrição dos Métodos de Avaliação da Resistência ao Escorregamento de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 7–

12, 2016. DOI: 10.4322/cerind.2016.020.

SEM AUTOR. **Exército de terracota**. [s.d.]. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Exército_de_terracota. Acesso em: 22 jan. 2022a.

SEM AUTOR. **O que é porcelanato - tudo que você precisa saber!** [s.d.]. Disponível em:

<https://archtrends.com/blog/o-que-e-porcelanato/>. Acesso em: 12 maio. 2022b.

SEM AUTOR. **Tipos de porcelanato - veja qual é o melhor porcelanato para sua casa :**

Archtrends Portobello Blog. 2013. Disponível em: <https://archtrends.com/blog/tipos-de-porcelanato-para-usar-em-toda-a-casa/>. Acesso em: 12 maio. 2022.

SEM AUTOR. **A HISTÓRIA DA PORCELANA CHINESA E SUA INFLUÊNCIA NA**

DECORAÇÃO. 2019. Disponível em: <https://blog.oridecor.com.br/a-historia-da-porcelana-chinesa-e-sua-influencia-na-decoracao/>. Acesso em: 22 jan. 2022.

SOARES, R. A. L.; DO NASCIMENTO, R. M.; PASKOCIMAS, C. A.; CASTRO, R. J. S.

Avaliação da adição de dolomita em massa de cerâmica de revestimento de queima vermelha.

Cerâmica, [S. l.], v. 60, p. 516–523, 2014. DOI: 10.1590/s0366-69132014000400009.

TANNO, Luiz Carlos; CUCHIERATO, Gláucia; MOTTA, José Francisco Marciano;

JUNIOR, Marsis Cabral; SINTONI, Ayrton; MACHADO, Solange; YOKOTA, Ryoiti.

Perspectivas para a Indústria Cerâmica de Sanitários no Brasil. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 33–36, 2003.

TANTO. **Revestimentos pós-pandemia: o que está mudando neste setor do mercado de decoração? – Blog Tanto**. 2022. Disponível em:

<https://blog.tanto.com.br/2022/05/03/revestimentos-pos-pandemia-o-que-esta-mudando-neste-setor-do-mercado-de-decoracao/>. Acesso em: 26 jun. 2022.

THENÓRIO, Iberê; FULFARO, Mari. **Como é feito o tijolo?** 2019. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=ZRIW6PdEEh8>. Acesso em: 10 maio. 2022.

VALLE, Moisés Bernardo. **Esmaltação Processo Cerâmico**. [s.l: s.n.].

VALLE, Moisés Bernardo. **Processo Cerâmico - Preparação de Esmaltes**. [s.l: s.n.]

VALLE, Moisés Bernardo. **Comportamento na Queima**. Tijucas.

ZANNINI, Paolo. Investigação Analítica sobre o Ataque Ácido e Alcalino em Superfícies Cerâmicas Esmaltadas. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 12–17, 2006.

ZASSO, Cassimiro F. A Influência da Granulometria de Corantes e Esmaltes no

Desenvolvimento das Cores Introdução. **Cerâmica Industrial**, [S. l.], v. 2, n. 3–4, p. 41–50, 1997.