



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE  
MATERIAIS - PGMAT

PATRÍCIA DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM  
REVESTIMENTO CERÂMICO TRANSLÚCIDO**

FLORIANÓPOLIS

2020

Patrícia de Oliveira

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM  
REVESTIMENTO CERÂMICO TRANSLÚCIDO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro Novaes de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo

Florianópolis

2020

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

Oliveira, Patrícia De  
Desenvolvimento e caracterização de um revestimento  
cerâmico translúcido / Patrícia De Oliveira ; orientador,  
Antonio Pedro Novaes de Oliveira, coorientador, Oscar  
Rubem Klegues Montedo, 2020.  
90 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Ciência e Engenharia de Materiais. 2. Translucidez.  
3. Revestimento cerâmico. 4. Propriedades técnicas. 5.  
Porcelanato. I. Oliveira, Antonio Pedro Novaes de. II.  
Montedo, Oscar Rubem Klegues . III. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência e  
Engenharia de Materiais. IV. Título.

Patrícia de Oliveira

**Desenvolvimento e Caracterização de um Revestimento Cerâmico Translúcido**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

**Prof. Antonio Pedro Novaes de Oliveira, Dr.**

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Profa. Elisângela Guzi de Moraes, Dra.**

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Profa. Sabrina Arcaro, Dra.**

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

---

**Prof. Dr. João Batista Rodrigues Neto**

Coordenador do Programa

---

**Prof. Dr. Antonio Pedro Novaes de Oliveira**

Orientador

Florianópolis, 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais Evandro e Ana, a minha irmã Fernanda, ao meu marido Mario Andre e a minha afilhada Alice pelo apoio e incentivo dado a mim.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao professor Dr. Antonio Pedro Novaes de Oliveira pela orientação deste trabalho e pela imensa ajuda durante todo o desenvolvimento.

Ao professor Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo pela co-orientação deste trabalho e pelo auxílio nas micrografias.

A UFSC, seu corpo docente, direção e administração em especial ao secretário do PGMAT, Sr. Rogério Antônio Campos pelo auxílio prestado em todos os momentos de desespero.

A Dra. Elisângela Guzi de Moraes pelo gentil apoio durante a realização dos ensaios no decorrer deste trabalho.

A minha grande amiga Msc. Luyza Bortolotto Teixeira, por todo apoio e auxílio desde os tempos de CMG até a finalização deste trabalho.

A professora Dra Luciana Maccarini Schabbach pela disposição em realizar os ensaios óticos e pela ajuda na discussão dos resultados.

A Cecrisa, por disponibilizar seu laboratório para a realização dos testes, e aos profissionais/amigos com quem trabalhei, que foram minha segunda família, e muito ajudaram na realização deste trabalho, em especial a Deize, Idemar, Givanildo, Marcela, Marco Aurélio e Rodrigo Pizzolo.

Aos meus pais, Evandro Emmanuel de Oliveira e Ana Aparecida Fabro de Oliveira pelo amor e apoio incondicional e por sempre terem me incentivado a estudar e correr atrás dos meus sonhos, vocês são minha fonte de inspiração em tudo.

A minha irmã Fernanda de Oliveira, pelo companheirismo desde sempre, por ser meu espelho e meu orgulho.

Ao meu marido Mario Andre Piccolo, por estar presente em todos os momentos ao meu lado, por acreditar em mim e viver os meus sonhos junto com as nossas companheirinhas Mafalda e Pipoca.

Aos meus colegas Cíntia Máximo de Souza, Jamilson Pinter Júnior e Rodrigo Elias, por terem iniciado esta aventura comigo, pela companhia nas idas e vindas na BR 101 e pelos momentos de descontração quando achávamos que não teria fim.

A minha afilhada Alice Fabro Goulart, por ser meu pequeno raio de sol e por me fazer uma pessoa melhor.

Aos amigos e demais familiares que estiveram presentes durante essa jornada sempre me apoiando e me incentivando.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Um cientista no seu laboratório não é apenas um técnico: é, também, um menino colocado à frente de fenômenos naturais que impressionam como se de um conto de fadas se tratassem!”

(Marie Curie)

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma cerâmica translúcida a partir de uma massa tradicional de porcelanato com a adição de uma frita/granilha como agente de translucidez. Uma massa cerâmica translúcida (STD) foi investigada por meio de análises química (FRX) para determinar quantitativamente os óxidos presentes, análises mineralógicas por meio de DRX com intuito de identificar as fases e as proporções cristalinas e amorfas. Além disso, uma série de testes físicos e mecânicos foram realizados tais como análises térmicas (dilatometria óptica e de contato), ensaios tecnológicos de produto acabado conforme normas técnicas para absorção de água e resistência mecânica e ainda ensaios morfológicos, como a determinação do tamanho de partículas e densidades foram efetuadas, e por fim, avaliação do comportamento ótico pelo método CIELab. A massa de porcelanato padrão também foi ensaiada conforme suas propriedades tecnológicas, como absorção de água, resistência mecânica a verde e após queima, além da análise química por FRX. Ao todo 6 fritas/granilhas foram utilizadas, em diferentes baterias de testes. Num primeiro momento 3 fritas (A, B e C) foram incorporadas em proporções que variaram de 0 a 30% a massa de porcelanato padrão, onde 10 formulações foram definidas, preparadas e ensaiadas do ponto de vista de suas propriedades óticas (cor e transparência), cujos resultados não originaram materiais translúcidos o que demandou uma segunda bateria de testes, com a incorporação de 2 novas fritas (C e D) e 1 granilha (F) em teores que variaram de 20 a 50% em massa de porcelanato padrão. Tais combinações de matérias-primas resultaram em 12 novas formulações sendo que a composição E04 apresentou propriedades óticas e de transparência adequadas, muito embora, devido ao excesso de material fundente houve a deformação da peça. Com o intuito de minimizar esse problema, uma terceira bateria de testes foi realizada com a composição E04 a qual originou duas novas composições. A primeira composição com a adição de 10% de alumina (E05) e uma segunda com 10% de quartzo (E06). A composição E06 atingiu o melhor resultado de translucidez conforme as análises óticas. Tal formulação passou por ensaio refletância, transmitância e foi analisada microestruturalmente por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), e apresentou comportamento próximo a massa cerâmica translúcida, muito embora, ainda apresentou um grau de translucidez inferior a essa.

**Palavras-chave:** Cerâmica translúcida. Cerâmica de revestimento. Porcelanato. Propriedades óticas.

## ABSTRACT

This work aims to develop a translucent ceramic from a traditional porcelain mass with the addition of a frit/grits as a translucent agent. A translucent ceramic mass (STD) was investigated by chemical analysis (XRF) to quantitatively determine the oxides present, mineralogical analysis by means of XRD in order to identify the phases and the crystalline and amorphous proportions. In addition a series of physical and mechanical tests were carried out such as thermal analysis (optical and contact dilatometry), technological tests of the finished product according to technical standards for water absorption and mechanical resistance, and even morphological tests, such as the particle size was determined and densities were performed and finally evaluation of the optical behavior by the CIELab method. The standard porcelain mass was also tested according to its technological properties such as water absorption, mechanical resistance to green and after burning, in addition to chemical analysis by XRF. A total of 6 frit/grits were used in different test batteries. At first, 3 frits (A, B and C) were incorporated in proportions that varied from 0 to 30% in standard porcelain mass, where 10 formulations were defined, prepared and tested from the point of view of their optical properties (color and transparency), the results of which did not give rise to translucent materials, which required a second battery of tests, with the incorporation of 2 new frits (C and D) and 1 grits (F) in levels ranging from 20 to 50% by weight in standard porcelain tiles. Such combinations of raw materials resulted in 12 new formulations and the composition E04 showed adequate optical and transparent properties, although due to the excess of melting material, the piece was deformed. In order to minimize this problem, a third battery of tests was performed with the composition E04 which gave rise to two new compositions. The first composition with the addition of 10% alumina (E05) and a second with 10% quartz (E06). The E06 composition achieved the best translucency result according to optical analyzes. This formulation was tested for reflectance, transmittance and was analyzed microstructurally by means of a scanning electron microscope (SEM), and presented a behavior similar to the translucent ceramic mass, although it still presented a lower degree of translucency than this.

Keywords: Translucent ceramics. Coating ceramics. Porcelain tiles. Optical properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo de revestimentos cerâmicos. ....	29
Figura 2 - Diagrama triaxial cerâmico: porcelanato argila-quartzo-feldspato. ....	32
Figura 3 - Propagação da luz através de um meio (material) transparente (A), um meio translúcido (B) e um meio altamente dispersivo, quase opaco (C). ....	36
Figura 4 - Fotografia mostrando um revestimento cerâmico translúcido. ....	37
Figura 5 - Esquema mostrando a incidência da luz sobre uma placa cerâmica sólida. ....	38
Figura 6 - Esquema de microestrutura de materiais cerâmicos e centros de dispersão de luz. .	39
Figura 7 - Representação dimensional do sistema CIELab. ....	41
Figura 8 - Fluxograma das atividades de pesquisa deste trabalho. ....	42
Figura 9 - Difractograma de raios Xe quantificação por <i>Rietveld</i> da massa translúcida (STD), sendo (a) a verde e (b) sinterizada. ....	53
Figura 10 - Análise do tamanho de partículas da massa translúcida (STD). ....	54
Figura 11 - Curvas de análise térmica (ATD/TG) da massa translúcida (STD). ....	56
Figura 12 - Curva referente de dilatométrica ótica da massa translúcida (STD). ....	56
Figura 13 - Curva referente à análise de dilatométrica de contato da massa translúcida (STD). .	57
Figura 14 - Foto demonstrando o resultado do ensaio de manchamento na (a) massa translúcida (STD) e (b) Formulação E06. ....	62
Figura 15 - Espectros de refletância difusa das amostras estudadas. ....	63
Figura 16 - Transmitância em função do comprimento da onda das amostras estudadas. ....	64
Figura 17 - Análise da porosidade <i>versus</i> absorção de água a três temperaturas, de STD e E06. ....	65
Figura 18 - Micrografia (MEV) da massa cerâmica translúcida (STD) a 200X (a) e a 500X (c), da formulação E06 a 200X (b) e a 500X (d) ....	67
Figura 19 - Foto com incidência de luz na (a) massa translúcida (STD) e (b) Formulação E06. ....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Grupos conforme absorção de água e resistência mecânica. ....	27
Quadro 2 - Especificação das classes de uso das placas cerâmicas prensadas, conforme a Resistência à Abrasão Superficial (PEI).....	28
Quadro 3 - Codificação dos níveis de resistência química.....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composições (% massa) em termos das matérias-primas para massas de grês. ....	32
Tabela 2 - Composição do porcelanato utilizado neste trabalho. ....	44
Tabela 3 - Formulações estudadas na primeira bateria de testes. ....	44
Tabela 4 - Formulações estudadas na segunda bateria de testes. ....	45
Tabela 5 - Formulações (% em massa) estudadas na terceira bateria de testes. ....	45
Tabela 6 - Composição química das matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P). ....	51
Tabela 7 - Composição química (% em massa) da frita E. ....	52
Tabela 8 - Quantificação por <i>Rietveld</i> das composições estudadas. ....	53
Tabela 9 - Densidade real por picnometria a gás hélio da massa translúcida (STD). ....	55
Tabela 10 - Características físicas das matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P). ....	58
Tabela 11 - Análise colorimétrica das matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P). ....	59
Tabela 12 - Caracterização da massa de cerâmica translúcida (STD), massa padrão de porcelanato e formulações com as fritas A, B e C. ....	59
Tabela 13 - Caracterização da massa de cerâmica translúcida (STD) e formulações com as fritas D, E e F. ....	60
Tabela 14 - Caracterização da massa de cerâmica translúcida (STD) e formulação 04 com a frita E. ....	61
Tabela 15 - Características físicas da massa de cerâmica translúcida (STD) e da Formulação E06. ....	61
Tabela 16 - Composição química (% em massa) de STD, P e F06. ....	62
Tabela 17 - Avaliação do parâmetro de translucidez e razão de contraste da massa cerâmica translúcida (STD) e da Formulação E06, a D65, A e CWF. ....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ABCeram	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACPN	<i>Advances in Cleaner Production Network</i>
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, louças sanitárias e congêneres
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
APFAC	Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas de Construção
ATD	Análise térmica diferencial
ATG	Análise termogravimétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBC	Congresso Brasileiro de Cerâmica
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CICC	Congresso Internacional do Conhecimento Científico
CIE	<i>Comission Internationale d'Eclairag</i>
COPEC	<i>Science and Education Research Organization</i>
CR	<i>Contrast Ratio</i> (Razão de contraste)
DRX	Difração de raiosX
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FRX	Fluorescência de raios X
ICDD	<i>International Centre for Diffraction Data</i>
ICSD	<i>Inorganic Crystal Structure Database</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
JCPDS	<i>the Joint Committee on Powder Diffraction Standards</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia (Atual MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações)
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
NBR	Norma Técnica Brasileira
P	Massa de porcelanato padrão
P.F.	Perda ao fogo

PDF	<i>Powder Diffraction File</i>
PEI	<i>Porcelain Enamel Institute</i>
Qualicer	Qualidade a Serviço das Cerâmicas
S.A.	Sociedade Anônima
SBTIC	Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção Civil
SIBRAGEC	Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia na Construção
SINDICERAM	Sindicato da Indústria de Cerâmica e Olaria de Criciúma
STD	<i>Standard</i> (Massa de cerâmica translúcida)
Tg	Temperatura de transição vítrea
TP	<i>Translucency Parameter</i> (Parâmetro de translucidez)
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.1.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>18</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	HISTÓRIA DA CERÂMICA .....	19
2.1.1	<b>A cerâmica no Brasil .....</b>	<b>21</b>
2.1.2	<b>A cerâmica em Santa Catarina .....</b>	<b>22</b>
2.2	MATERIAL CERÂMICO .....	23
2.2.1	<b>Cerâmica vermelha .....</b>	<b>23</b>
2.2.2	<b>Revestimento (placa cerâmica).....</b>	<b>24</b>
2.2.3	<b>Cerâmica branca .....</b>	<b>24</b>
2.2.4	<b>Materiais refratários .....</b>	<b>24</b>
2.2.5	<b>Isolantes térmicos .....</b>	<b>24</b>
2.2.6	<b>Fritas e corantes.....</b>	<b>25</b>
2.2.7	<b>Abrasivos.....</b>	<b>26</b>
2.2.8	<b>Vidro, cimento e cal.....</b>	<b>26</b>
2.2.9	<b>Cerâmica de alta tecnologia (cerâmica avançada) .....</b>	<b>26</b>
2.3	REVESTIMENTOS CERÂMICOS.....	27
2.3.1	<b>Conformação de placas cerâmicas .....</b>	<b>28</b>
2.3.2	<b>Porcelanato.....</b>	<b>31</b>
2.3.3	<b>Aditivos que conferem cor .....</b>	<b>34</b>
2.3.4	<b>Aditivos que conferem translucidez.....</b>	<b>35</b>
2.4	TRANSPARÊNCIA.....	35
2.4.1	<b>Cerâmicas translúcidas .....</b>	<b>36</b>
2.4.2	<b>Propriedades ópticas .....</b>	<b>37</b>

2.4.3	Cor .....	40
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
3.1	MATÉRIAS-PRIMAS E ADITIVOS .....	43
3.2	FORMULAÇÃO E PREPARAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS .....	43
3.3	CARACTERIZAÇÃO.....	46
<b>3.3.1</b>	<b>Caracterização química e mineralógica .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Caracterização física e morfológica.....</b>	<b>47</b>
3.3.2.1	Determinação da distribuição de tamanhos de partículas .....	47
3.3.2.2	Medidas de densidade .....	47
3.3.2.3	Comportamento térmico.....	47
3.3.2.4	Propriedades tecnológicas .....	48
3.3.2.5	Comportamento mecânico.....	49
3.3.2.6	Comportamento ótico .....	49
3.3.2.7	Análise microestrutural .....	50
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA.....	51
4.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOLÓGICA.....	54
<b>4.2.1</b>	<b>Determinação da distribuição dos tamanhos de partículas.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Densidade real.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Análise térmica .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Características tecnológicas das matérias-primas que compõe a massa de porcelanato padrão (P).....</b>	<b>58</b>
4.2.4.1	Análise colorimétrica .....	59
4.3	FORMULAÇÕES .....	59
	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXO A -Termo de autorização para divulgação de informações de empresas.....</b>	<b>85</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Dentre a abrangente gama de materiais cerâmicos constituintes, os revestimentos cerâmicos, em um contexto global, estão entre os materiais mais comuns na construção civil e sua procura deve ser aumentada, pois existe uma tendência de crescimento em moradias ao redor do mundo (CASASOLA; RINCÓN; ROMERO, 2012; JI et al., 2016). O uso desses materiais é bastante variado, sendo utilizados para diversos fins e divididos em grupos de acordo com suas características físicas e químicas e suas aplicações. Tanto revestimentos internos como externos são submetidos a condições específicas de utilização (DE OLIVEIRA et al., 2018).

O sucesso comercial dos revestimentos cerâmicos deve-se ao aumento contínuo da qualidade do produto, tanto do ponto de vista do desempenho técnico quanto da aparência estética. Essa melhora de qualidade decorre da inovação intensiva de produtos e processos que ocorreu nas últimas décadas e hoje é difundida em todos os países produtores de revestimentos cerâmicos (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2014).

Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER, 2018), o Brasil se encontra entre os principais produtores de revestimentos cerâmicos no ranking mundial, que é liderado pela China, que em 2016 alcançou uma produção estimada de 6.500 milhões de m<sup>2</sup>, o que é aproximadamente 50% de toda a produção mundial (BARALDI, 2017; ZACCARON et al., 2015). Ainda em 2016, o Brasil produziu 792 milhões de m<sup>2</sup> para uma capacidade instalada de 1048 milhões de m<sup>2</sup>, e as vendas totais atingiram 800,3 milhões de m<sup>2</sup>, dos quais 706 milhões de m<sup>2</sup> foram vendidos no mercado interno e 94,3 milhões de m<sup>2</sup> foram exportados para 111 países, tendo como principais destinos América do Sul, América Central, América do Norte e Caribe (SANTOS et al., 2016).

Atualmente, existem diferentes tipos de revestimentos cerâmicos no mercado, os quais têm relação com o formato, tipologia, design e, principalmente, com as características técnicas do produto final. Com relação às características técnicas, os produtos de revestimentos cerâmicos são classificados quanto à absorção de água (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2014).

Para que os centros produtores de revestimentos cerâmicos possam crescer, é necessário que haja um crescimento também dos centros consumidores, os quais estão se tornando cada vez mais exigentes em termos de design e tipologia e, principalmente, com relação à qualidade dos produtos. Assim, é essencial a fabricação de novos produtos que

atendam a requisitos estéticos a que o mercado procura, mas com características técnicas cada vez melhores, como baixa absorção de água e elevada resistência mecânica (BOSCHI, 2002).

Devido a isso, nos últimos anos as empresas cerâmicas buscam incessantemente aprimorar suas tecnologias a fim de se tornarem mais competitivas no mercado mundial e isso é o que leva os grandes produtores a estudarem novas tipologias de produto (CRISTIANO; NANDI; ZACCARON, 2015; GENNARO et al., 2007). Exemplo disso são os materiais translúcidos (FERREIRA, 2014).

Entre os revestimentos cerâmicos, o porcelanato é considerado o material tecnologicamente mais avançado e se destaca por ser um material muito compacto, totalmente vitrificado e com baixíssima porosidade (TRPČEVSKÁ et al., 2002). Essas características fornecem ao material excelentes propriedades mecânicas e químicas, tornando-o um material altamente resistente a substâncias químicas e agentes de limpeza, sendo muito resistente à abrasão, possuindo elevada resistência à ruptura (SÁNCHEZ et al., 2010).

As excelentes propriedades mecânicas anteriormente descritas, juntamente com a evolução estética, conferiram ao grês porcelanato um lugar de destaque no mercado de revestimentos cerâmicos (CAVALCANTE et al., 2004). Isso fez com que a taxa de crescimento da produção global desse material cerâmico aumentasse mais que qualquer outro produto cerâmico na última década e meia (FERREIRA, 2014).

Outro material que possui grande destaque no mercado, e é explorado como textura no revestimento cerâmico, é o mármore, que em algumas categorias possui também a propriedade da translucidez. O mármore é considerado uma rocha nobre e traz um grande destaque ao ambiente, além de ser muito requintado, sendo usado normalmente em bancadas, mesas, escadas, nichos ou painéis decorativos (BORGES, 2015).

Materiais translúcidos são extremamente comuns, podendo ser tanto naturais quanto manufaturados, apresentando estruturas que variam das mais simples às mais complexas, sendo considerado como um material em que a transmissão direta é baixa em relação à transmissão total, indicando que o material espalha luz em seu interior (DONNER; JENSEN, 2005; WEI, 2005).

Cerâmicas com características de translucidez são produzidas e dependem de determinadas variáveis, como o tipo de matéria-prima e temperatura no processo de tratamento térmico. Dentre essas cerâmicas, existem as denominadas porcelanas translúcidas (RHODES, 1989). O desenvolvimento mais significativo na história, de porcelanas translúcidas, foi registrado há muitos séculos, na China (COX, 1944; KITOUNI; HARABI, 2011). Esses materiais são tradicionalmente usuais para a produção de louça de mesa. Recentemente,

identificou-se uma tendência moderna para utilizar a porcelana translúcida na produção de luxuosos artefatos de decoração, tais como luminárias para decoração de ambientes (JERMOLOVICIUS; MOLISANI, 2018).

A tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos translúcidos tem sido estudada atualmente por pesquisadores e pelos centros produtores (DE SOUZA, 2012). O desenvolvimento de uma massa cerâmica translúcida e de placas em grandes formatos com esta característica contempla uma técnica inovadora no mercado brasileiro que agrega elevado valor tecnológico e financeiro para a empresa que detém esta capacidade de produção. Essa cerâmica pode substituir os mármore translúcidos, uma vez que esses são comercializados no mercado com elevados preços, muitas vezes inviabilizando seu consumo nas diferentes classes, muito embora existe um amplo espaço no mercado consumidor (LIRA; JEREISSATI; MORAIS, 2017).

A escolha de um revestimento cerâmico translúcido, com características de porcelanato frente aos mármore translúcidos, tem algumas vantagens técnicas importantes que devem ser levadas em consideração. Os porcelanatos translúcidos apresentam resistência mecânica à flexão muito superior a dos mármore translúcidos. Essa elevada resistência mecânica dos porcelanatos translúcidos amplia as suas possibilidades de uso, ao contrário dos mármore translúcidos que não são indicados para utilização em áreas externas, devido à baixa resistência mecânica e absorção de água muito superior. Outra característica importante diz respeito à classe de manchamento dos materiais, onde as pedras naturais do tipo mármore têm maior facilidade de manchar com relação aos porcelanatos.

Além das características técnicas, a fabricação de porcelanatos translúcidos também contempla algumas características estéticas, quando comparados com os mármore translúcidos. Como os mármore são materiais naturais, os relevos destes produtos são sutis e característicos de rochas, enquanto com a aplicação das mais avançadas tecnologias de prensagem de porcelanatos, consegue-se reproduzir os mais variados relevos (tipos e alturas) nos porcelanatos translúcidos.

Muito embora os dados apontados anteriormente sejam relevantes, eventuais problemas na produção de revestimentos cerâmicos são comuns, principalmente relacionados à variação dimensional. Este fenômeno é particularmente pronunciado no caso de revestimentos cerâmicos porosos e porcelanatos, embora a variação na curvatura seja qualitativamente diferente nos dois tipos de produtos (BANNIER et al., 2013; CANTAVELLA et al., 2010).

Este trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma composição de um material cerâmico translúcido, a partir de uma massa de grês porcelanato, incorporando à mesma diferentes fritas em teores variados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Formular, produzir e caracterizar um revestimento cerâmico translúcido, obtido a partir de matérias-primas de uso industrial e condições de processamento normalmente empregadas nas indústrias nacionais de fabricação de revestimentos cerâmicos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Selecionar e caracterizar matérias-primas de uso industrial do ponto de vista de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas para obter informações que permitam formular massas cerâmicas que resultem em materiais translúcidos para revestimento;
- Formular, preparar e caracterizar, após queima, composições de massas cerâmicas com intuito de obter um revestimento cerâmico translúcido com absorção de água inferior a 0,5%.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 HISTÓRIA DA CERÂMICA

A palavra 'cerâmica' é derivada do grego *keramos* (κεραμο), e significa “sólido queimado” (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015; ROSENBLUM; SCHULMAN, 2014; SETZ; DA SILVA, 2019). A cerâmica está presente em diferentes civilizações há milhares de anos, sendo um dos primeiros materiais usados pelo homem, seja como artesanato na fabricação de potes e jarros, e posteriormente como componentes na construção. As primeiras unidades de alvenaria foram baseadas em lama seca e usadas pela primeira vez por volta de 8000 a.C. na Mesopotâmia, uma área limitada pelos rios Tigre e Eufrates que se estende do sudeste da Turquia, do norte da Síria e do Iraque atingindo o Golfo Pérsico. O processo de secagem ao sol dos blocos veio, posteriormente, a ser substituído pela sua queima em fornos. Assim, sabe-se que na Mesopotâmia, no vale do rio Indo, utilizaram-se tijolos queimados desde 3500 a.C.(ALVAREZ, 2007; CAMPBELL; PRYCE, 2003; DEBOUCHA; HASHIM, 2011; PACHECO TORRAL; JALALI, 2011; UKWATTA et al., 2015; YASUI, 2005).

Na China e no Egito há registros da utilização de cerâmica há mais de 5 mil anos. Em tumbas de faraós do antigo Egito, vários vasos cerâmicos eram utilizados para armazenar vinhos, óleos e perfumes para fins religiosos. Porém, um dos maiores exemplos na arte da manufatura cerâmica é representado pelo Exército de Terracota, que fazia parte do mausoléu do imperador Qin Shi Huang (260 – 210 a.C.). O termo terracota é empregado para designar argilas modeladas e cozidas em forno (RING, 1996).

A cerâmica esteve presente, portanto, na maioria das culturas ao redor do mundo, e cada uma delas desenvolveu estilos próprios. Com o passar do tempo, tendências foram se consolidando e evoluindo com relação ao aprimoramento artístico a ponto de se definir o estado cultural de uma civilização por meio do estudo dos artefatos cerâmicos que produziam (PETERSON et al., 2015).

Com o passar dos anos, a argila deixou de ser conformada manualmente para produção de artefatos, e passou a ser processada com equipamentos, como prensas e extrusoras (ZACCARON, 2018). A partir de então deu-se início ao processamento dos materiais cerâmicos. Pode-se dizer que no instante em que o homem passou a utilizar fogo para endurecer as peças de barro conformadas, ainda que não se saiba exatamente a maneira como esse processo ocorreu, nasceu a indústria cerâmica. Apesar de todos os processos de fabricação serem artesanais, ela é considerada a mais antiga das indústrias (SETZ; DA SILVA, 2019).

A origem da cerâmica de revestimento pode ser localizada nos países mediterrâneos do Oriente Médio. Em 3000 a.C., os egípcios fabricaram placas cerâmicas esmaltadas de composição quartzosa, com os seus típicos esmaltes de coloração azul, obtidos a partir da extração do cobre. Entre os séculos IX a.C. e VI a.C., os assírios e babilônicos fabricavam placas cerâmicas para revestimentos de parede (azulejo) e também telhas esmaltadas com esmaltes policromáticos (VENTURI, 1992) *apud* (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

O nome “azulejo” provém dos árabes, sendo derivado do termo "azuleicha", que significa "pedra polida". A arte do azulejo foi largamente difundida pelos islâmicos, sendo levado pelos árabes para a Espanha e, de lá, se difundiu por toda a Europa. A influência dos árabes na cerâmica peninsular e depois europeia foi determinante, introduzindo novas técnicas e novos estilos de decoração, como os famosos arabescos e uso das formas geométricas (ANFACER, 2009).

As primeiras cerâmicas para revestimentos arquitetônicos surgiram por volta de 500 a.C., permanecendo por vários séculos como materiais de uso restrito devido ao alto custo. Avanços no setor foram introduzidos pelos ceramistas italianos por volta de 1950, pela transformação dos processos de produção (SILVA, 2005).

Muito embora não seja um grande produtor de revestimentos cerâmicos, Portugal foi o país europeu que, a partir do século XVI, mais utilizou o revestimento cerâmico em seus prédios. Esse gosto pela cerâmica inicia-se a partir das navegações iniciadas no século XV, quando Portugal entrou em contato com outras civilizações, fundindo as suas manifestações artísticas com vários desses países, como as de origem mulçumana, herdeira das tradições orientais, assírias, persas, egípcias e chinesas. A admiração pela cerâmica de revestimento ganha dimensões de arte verdadeiramente nacional, sendo difundida às suas colônias posteriormente (ANFACER, 2009).

Em termos de evolução técnico-científica, os materiais cerâmicos podem ser divididos em três diferentes períodos (DE ALMEIDA, 2013; SETZ; DA SILVA, 2019):

O primeiro período, denominado *keramos*, abrange da pré-história até próximos a 1900, onde nesse período, as peças eram obtidas por meio de matérias-primas naturais, queimadas em fornos rudimentares e toda tecnologia era baseada na experiência de produção artesanal.

O segundo período, denominado período industrial dos silicatos, vai de 1900 até meados de 1940, o qual corresponde ao início da produção de materiais cerâmicos a partir de matérias-primas naturais em escala industrial. Além de possibilitar a produção em larga escala,

a ciência e a engenharia evoluíram, em termos de conhecimentos e estudos para conhecer melhor o que já era obtido na prática.

O terceiro período denomina-se como o período das cerâmicas avançadas ou período das cerâmicas de alta tecnologia, no qual inicia-se em 1940 e continua até os dias atuais. Dentro desse período, há um aprofundamento nas pesquisas e um rápido desenvolvimento de novos materiais com o advento da ciência dos materiais.

### **2.1.1 A cerâmica no Brasil**

No Brasil, antes mesmo da colonização portuguesa, já existia a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos. Cerâmicas mais elaboradas foram encontradas na Ilha de Marajó, do tipo marajoara, cuja origem é da avançada cultura indígena da Ilha; entretanto, estudos arqueológicos indicam a presença de uma cerâmica mais simples na região amazônica, datada de aproximadamente 1600 a.C (BRANDÃO; GUERREIRO; CORREIA, 2014; DE ALMEIDA, 2013; SETZ; DA SILVA, 2019; ZACCARON, 2013).

Com a chegada da colonização europeia, os portugueses estruturaram o trabalho realizado pelos indígenas, com o uso de tornos. Os mesmos introduziram a cerâmica estrutural, por meio de produção bastante rudimentar aplicada pelos jesuítas, que necessitavam de tijolos para fabricação de colégios e conventos (SETZ; DA SILVA, 2019; ZACCARON, 2013). Com a expansão da colônia, muitos edifícios foram erguidos para servir como casas, palácios, escritórios governamentais, teatros, igrejas, etc., seguindo a tradição europeia que foi mantida no Brasil, mesmo após a sua independência em 1822, usando principalmente tijolos de barro (CORRÊA, 2012).

No século XVII, azulejos em estilo barroco começaram a ser encomendados de Lisboa. Estes eram trazidos em forma de painéis e serviam, apenas, como material decorativo. Retratavam cenas da paisagem, do cotidiano da metrópole, divulgando o modo de vida dos portugueses ou cenas bíblicas ajudando nas aulas de catequese (ANFACER, 2009).

No Brasil independente, o uso do azulejo tornou-se, no século XIX, bem mais frequente, revelando-se um excelente revestimento para nosso clima. Casas e sobrados de muitas cidades brasileiras apresentam o colorido alegre e inalterável que, há mais de cem anos, o azulejo lhes confere (ANFACER, 2009).

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABC, 1979), a primeira grande fábrica de produtos cerâmicos do Brasil foi fundada em São Paulo, em 1893, por quatro irmãos

franceses, naturais de Marselha, com o nome de “Estabelecimentos Sacoman Frères”, posteriormente alterado para “Cerâmica Sacoman S.A.”, a qual encerrou suas atividades em 1956. O nome das telhas conhecidas por “francesas” ou “marselhesas” é devido à origem destes empresários. A partir de então, começaram a surgir empresas que fabricavam ladrilhos hidráulicos, azulejos e pastilhas de vidro (GORINI; CORREA, 1999).

A concentração geográfica de empresas é uma característica da indústria produtora de revestimento cerâmico, em função da necessidade de estar próxima às jazidas de argila, matéria-prima básica utilizada na produção do revestimento cerâmico. No Brasil, os principais polos estão localizados nas Regiões Sul e Sudeste: Criciúma, em Santa Catarina, Mogi Guaçu e Santa Gertrudes, em São Paulo (CONSTANTINO; DA ROSA; CORRÊA, 2006).

Atualmente o Brasil é um dos protagonistas do setor de revestimentos cerâmicos, ocupando a segunda posição no ranking mundial de produção e consumo, com exportação para mais de 110 países em todos os continentes (ANFACER, 2019).

### **2.1.2 A cerâmica em Santa Catarina**

A cerâmica estrutural foi introduzida no Estado de Santa Catarina também pelos imigrantes europeus, primeiro pelos açorianos, que chegaram à região litorânea e, mais tarde, pelos alemães e italianos, que levaram esta cultura para outras regiões (VEDVOTTO JÚNIOR; FERREIRA; POSSAMAI, 2013).

A região de Criciúma tem reconhecimento como polo internacional, concentrando as maiores empresas brasileiras, ressaltando que essas empresas produzem com tecnologia via úmida e competem por design e marca, em faixas de preços mais altas (ANFACER, 2009).

Muito desse reconhecimento se dá devido ao fato que nas décadas de 1970 e 1980 houve um período de grande expansão no setor cerâmico nessa região, marcado por um grande investimento em tecnologias e uma troca de conhecimento com outros países produtores, em especial a Itália. Destaca-se que é neste período, no final da década de 1970, que surge, originado também na Itália, o conceito de “grês-porcelanato” (BIFFI, 1997).

A indústria cerâmica tem uma grande importância, pois é considerada um dos segmentos com maior impacto na economia regional. Segundo dados do SINDICERAM - Sindicato das Indústrias de Cerâmica e Olaria de Criciúma (SINDICERAM, 2017), no ano de 2017, a capacidade produtiva foi de 122,171 milhões de m<sup>2</sup>, contando ainda com um faturamento bruto de R\$ 2.267.325.240,00.

Nos últimos anos, em decorrência da crise econômica brasileira, houve uma queda na produção de revestimentos cerâmicos, muito embora não minimize a relevância desse setor a caráter econômico, unido a uma breve espera do aquecimento da construção civil, que trará um aumento produtivo, para atender uma demanda ocasionada pelo déficit habitacional encontrado pelo país atualmente (COMIN, 2018).

## 2.2 MATERIAL CERÂMICO

Os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos constituídos de elementos metálicos e não metálicos, os quais são quimicamente ligados por meio de ligações iônicas e/ou covalentes. As composições químicas desses materiais variam consideravelmente de simples compostos a misturas de muitas e complexas fases unidas. Suas propriedades variam devido às diferenças nas ligações. De um modo geral, materiais cerâmicos são rígidos e quebradiços com baixa resistência mecânica e ductilidade. São bons isolantes térmicos e elétricos (SMITH; HASHEMI, 2012).

Em um contexto global, as cerâmicas são classificadas em tradicionais e avançadas. A primeira é caracterizada pelo uso de matérias-primas naturais e a segunda baseia-se no uso de matérias-primas sintetizadas (BARSOUM, 2003).

Portanto, devido à sua grande variedade, os materiais cerâmicos podem ser classificados por segmentos em função de diversos fatores, por exemplo, matérias-primas e propriedades, mas principalmente por áreas de utilização. Por isso, de acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2019) *apud* Setz e da Silva (2019), deve ser adotada a classificação a seguir.

### 2.2.1 Cerâmica vermelha

A cerâmica vermelha compreende os materiais que adquirem a coloração avermelhada após o processo de queima, sendo o segmento que produz tijolos furados, tijolos maciços, tabelas ou lajes, blocos de vedação e estruturais, telhas, manilhas e pisos rústicos. É uma atividade de base ao possibilitar a construção civil, em geral, desde a mais simples à mais sofisticada. Distribui-se por todo o país, muito dispersada, em micro e pequenas empresas, quase sempre de organização simples e familiar (BUSTAMANTE; BRESSIANI, 2000). As lajotas, ainda que sejam utilizadas como material para revestimento, muitas vezes são enquadradas neste grupo (SETZ; DA SILVA, 2019).

### **2.2.2 Revestimento (placa cerâmica)**

São aqueles materiais, na forma de placas usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos, bancadas e piscinas de ambientes internos e externos. Em função de sua capacidade de absorção de água, dimensão e resistência mecânica, tendem a apresentar valor econômico superior em relação à cerâmica vermelha. Recebem designações tais como: azulejo, pastilha, porcelanato, grês, lajota, piso, etc.(SETZ; DA SILVA, 2019).

### **2.2.3 Cerâmica branca**

A cerâmica branca é um segmento da cerâmica tradicional (ou de silicatos) bastante abrangente, balizada pela cor branca ou clara de queima de sua massa básica, em temperaturas superiores a 1000 °C (MOTTA; TANNO; CABRAL JÚNIOR, 1993).

O setor de cerâmica branca agrupa uma grande variedade de produtos, tais como louças e porcelanas (utilitárias e decorativas), sanitários e porcelana técnica, que se diferenciam, entre outros fatores, pela temperatura de queima e pela composição da massa, notadamente o tipo de fundente. A massa é do tipo composta, constituída de argilas plásticas de queima branca, caulins, quartzo e fundentes (feldspato, filito, rochas feldspáticas, carbonatos) (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JUNIOR, 2001).

### **2.2.4 Materiais refratários**

Os produtos refratários têm como finalidade suportar temperaturas elevadas (mínimo de 1500 °C) (SEGADÃES, 1997), mantendo suas propriedades nas condições específicas de cada processo durante a operação dos equipamentos industriais, que envolve, geralmente, esforços mecânicos, ataques químicos (ácidos e alcalinos) e choques térmicos (SETZ; DA SILVA, 2019; ZIMMER et al., 2004). O desempenho de uma cerâmica refratária depende em grande parte da sua composição. Com base nisso, existem vários tipos como argila refratária, sílica, refratários básicos e refratários especiais (DAL BO; BARBETTA; HOTZA, 2007).

### **2.2.5 Isolantes térmicos**

As cerâmicas que atuam como isolantes térmicos, são subdivididos em outras três classes, conforme a literatura(SETZ; DA SILVA, 2019):os refratários isolantes, nos quais

enquadram-se no segmento de refratários; os isolantes térmicos não refratários, que compreendem produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha obtidos por processos distintos do processo dos refratários isolantes, e podem ser utilizados, em temperaturas de até 1100 °C; e por fim, as fibras e lãs cerâmicas, nas quais apresentam características físicas semelhantes as dos isolantes térmicos não refratários, porém com composições de sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, podendo chegar a temperaturas de utilização de até 2000 °C.

### **2.2.6 Fritas e corantes**

Estes dois tipos de produtos são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos, cujos produtos requerem determinados acabamentos (SERPA, 2007). Frita é um vidro, que após fusão, é vazado em água, fabricado por indústrias especializadas a partir da mistura de diferentes matérias-primas. É aplicado (quando preparado como esmalte/vidrado pela inclusão de aditivos específicos) na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável, aumentar a resistência mecânica e melhorar ou proporcionar outras características (DE NONI JUNIOR, 2005). Segundo a literatura (PRACIDELLI, 2008), as propriedades desejáveis numa boa mistura de fritas são:

- Fundência adequada à temperatura e ciclo de queima, a fim de se obter uma boa interfase, na temperatura de maturação (monoqueima);
- Coeficiente de dilatação adequado ao suporte;
- Resistência química; e
- Textura brilhante ou mate, em função do produto que se quer obter.

Corantes constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais (DE NONI JUNIOR, 2005).

### **2.2.7 Abrasivos**

Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se em um segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos, podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbetto de silício, que são empregados na confecção de lixas, rebolos e ferramentas de corte. São geralmente destinados a operações de polimento em rochas ornamentais, porcelanatos, metais, madeiras e outros (DE NONI JUNIOR, 2005; SETZ; DA SILVA, 2019).

### **2.2.8 Vidro, cimento e cal**

São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados a parte da cerâmica (SANTOS JÚNIOR et al., 2017). Materiais cimentícios, devido à grande aplicação que encontram na engenharia civil, acabam promovendo a maior parte dos estudos voltados a área (SETZ; DA SILVA, 2019).

### **2.2.9 Cerâmica de alta tecnologia (cerâmica avançada)**

O aprofundamento dos conhecimentos da ciência dos materiais proporcionou ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento das existentes nas mais diferentes áreas, como aeroespacial, eletrônica, nuclear e muitas outras e que passaram a exigir materiais com qualidade excepcionalmente elevada. Tais materiais passaram a ser desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados (LANNA; DA SILVA; SILVA, 2003).

Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada. Eles são classificados de acordo com as suas funções em: eletrônicas, magnética, óptica, química, térmica, mecânica, biológica e nuclear. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a ampliar-se como por exemplo, o uso em naves espaciais, satélites, centrais nucleares, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), entre muitos outros (RODRIGUES, 2013).

## 2.3 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

As placas cerâmicas são definidas, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997a), como sendo um material composto de argila e outras matérias-primas inorgânicas de elevado grau de pureza, geralmente utilizadas para revestir pisos e paredes, sendo conformado por extrusão, ou por prensagem. Podem ser esmaltadas ou não esmaltadas, entrando em conformidade pelos símbolos G (*glazed*) ou U (*unglazed*). São materiais incombustíveis e não são afetadas pela luz.

As placas cerâmicas são classificadas internacionalmente pela *International Organization for Standardization* por meio da norma técnica 13006 (ISO, 2018) com base na absorção de água: <3% (Grupo I), 3-10% (Grupo II) e >10% (Grupo III); os grupos I e II são divididos em dois subgrupos, cada um no limiar de absorção de água de 0,5e 6%, respectivamente. O código do grupo inclui uma letra que significa a técnica de modelagem: A para extrusão e B para prensagem (DONDI; RAIMONDO; ZANELLI, 2014). A absorção de água está diretamente ligada aos níveis de porosidade da peça, o que influencia diretamente em outras propriedades, como a resistência mecânica (SANTOS, 2007). O Quadro 1 apresenta a classificação das placas cerâmicas, conforme atribuições descritas a cima.

Quadro 1 - Grupos conforme absorção de água e resistência mecânica.

<b>Tipo do produto</b>	<b>Grupo</b>	<b>Absorção de água (%)</b>	<b>Resistência mecânica</b>
Porcelanato	IA	0 a 0,5	Alta
Grês	IB	0,5 a 3,0	Alta
Semi-grês	IIA	3,0 a 6,0	Média
Semi-poroso	IIB	6,0 a 10,0	Baixa
Poroso	III	Acima de 10,0	Baixa

Fonte: (ABNT, 1997b; INMETRO, 2012).

A resistência ao desgaste corresponde à capacidade da placa cerâmica a resistir ao desgaste superficial, decorrente do tráfego de pessoas e contato com objetos. Classifica-se em abrasão superficial, para produtos esmaltados e abrasão profunda para produtos não esmaltados (DA SLIVA et al., 2015). O Quadro 2 mostra o sistema de classificação das placas cerâmicas em função do nível de resistência ao desgaste por abrasão.

O revestimento cerâmico está susceptível a vários tipos de ataques químicos, como por exemplo em residências, onde é comum o uso de produtos de limpeza nos quais contenham ácidos ou álcalis. Essa propriedade é relativa à capacidade da superfície cerâmica resistir a esses ataques, sem que haja a sua alteração (COSTA, 2018).

Quadro 2 - Especificação das classes de uso das placas cerâmicas prensadas, conforme a Resistência à Abrasão Superficial (PEI).

<b>PEI</b>	<b>Local de uso</b>
PEI 0	Uso para paredes
PEI 1	Banheiros residenciais
PEI 2	Ambientes residenciais, exceto entradas
PEI 3	Ambientes residenciais com tráfego leve de pessoas
PEI 4	Ambientes residenciais e comerciais com tráfego moderado de pessoas
PEI 5	Ambiente comerciais com tráfego intenso de pessoas

Fonte: (ABNT, 1997c; COSTA, 2018; TRISTÃO, 2005).

A resistência ao ataque químico é dividida em duas classes: a residencial, que vem a ser a resistência a produtos domésticos, obrigatória a qualquer placa, e a industrial, que é a resistência a ácidos fortes, concentrados e quentes. A classificação dos materiais quanto à resistência ao ataque químico está representada no Quadro 3.

Quadro 3 - Codificação dos níveis de resistência química.

<b>Agentes químicos</b>		<b>Níveis de resistência química</b>		
		Alta (A)	Média (B)	Baixa (C)
<b>Ácidos e Álcalis</b>	Alta concentração (H)	HA	HB	HC
	Baixa concentração (L)	LA	LB	LC
<b>Produtos domésticos e de piscina</b>		A	B	C

Fonte: (ABNT, 1997b).

### 2.3.1 Conformação de placas cerâmicas

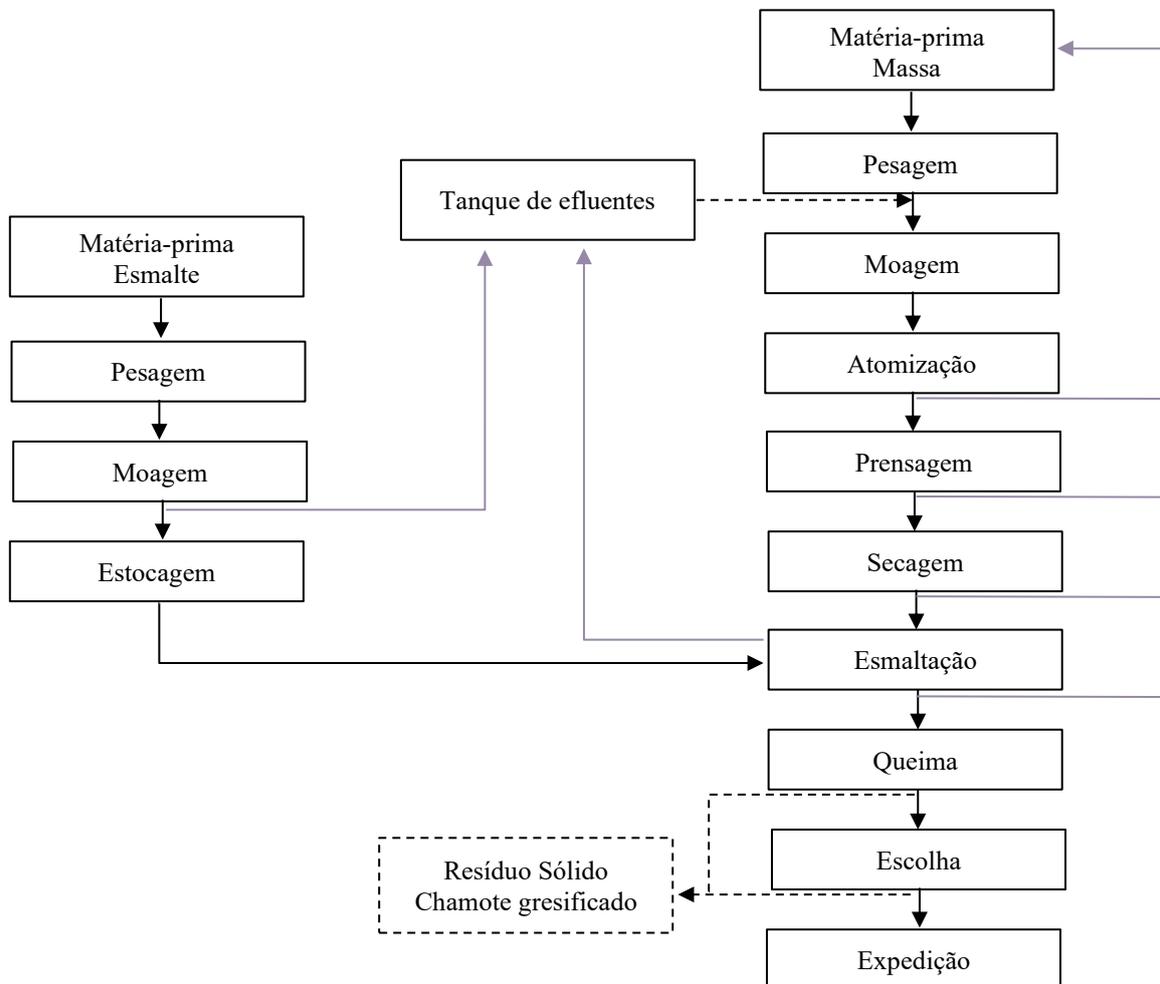
Massas cerâmicas utilizadas para a fabricação de revestimento vitrificado são geralmente elaboradas a partir de uma mistura de diversas matérias-primas que podem ser agrupadas, por exemplo, em plásticas, inertes, fundentes e modificadores de fundência (EMILIANI; CORBARA, 1999). Em casos específicos, determinadas tipologias de revestimento cerâmico são obtidas por meio da mistura de um único tipo de matéria-prima, a argila. Como a argila apresenta, além do argilomineral, outros constituintes como impureza (tais como quartzo, feldspatos, carbonatos, etc.), a constituição química e mineralógica de determinadas argilas pode ser adequada para a obtenção de revestimento cerâmico, mesmo aplicando-se uma tecnologia de ponta atualmente disponível. Isto significa que é possível obter revestimento cerâmico, utilizando-se desde uma única argila a uma mistura complexa de diversas matérias-primas. Partindo-se da premissa que a argila, devido ao aporte de plasticidade em mistura com água, é essencial em uma formulação de massa, as demais matérias-primas

podem ser misturadas à argila para corrigir eventuais deficiências em função do processamento e dos requisitos técnicos desejados (TEIXEIRA; MONTEIRO; VIEIRA, 2011).

Um dos aspectos fundamentais da produção de revestimentos cerâmicos são os baixos valores de porosidade; para isso, além das características das matérias-primas, as condições do processamento também são importantes (SÁNCHEZ-MUÑOZ et al., 2002).

A produção de cerâmica compreende diferentes processos, variando de acordo com cada produto acabado (FRAMINAN; LEISTEN; RUIZ, 2014). Basicamente, o processo produtivo de revestimentos cerâmicos pode ser resumido como observado no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo de revestimentos cerâmicos.



Fonte: (CASAGRANDE et al., 2008).

O processo de fabricação dos revestimentos cerâmicos envolve alguns estágios, onde posterior ao recebimento da matéria-prima natural, tem-se sua preparação, que ocorre por moagem, podendo ser a seco ou a úmido (FRAMINAN; LEISTEN; RUIZ, 2014).

A moagem é a operação unitária aplicada ao processo cerâmico com o objetivo de reduzir, seja por dispersão ou ruptura, o tamanho de partículas e homogeneizar a composição da massa cerâmica. Esta operação pode ser realizada de forma contínua ou descontínua, via seca ou úmida. Cerca de 47% dos revestimentos cerâmicos no Brasil são produzidos via úmida. A suspensão resultante da moagem via úmida é denominada barbotina (DE NONI JUNIOR, 2005).

Após o processo de moagem a úmido, segue a secagem e granulação em “*spraydryer*”, conhecido por atomizador (GEREMIAS; KAHN; GOUVÊA, 2003). A atomização é efetuada, via de regra, com a evaporação parcial da água contida na barbotina concomitantemente com a formação de aglomerados esféricos (LEGLER, 2006).

O pó atomizado é obtido quando se injeta a barbotina em alta pressão (25 a 30 bar) e convenientemente nebulizada dentro de uma câmara de secagem, onde entra em contato com ar aquecido entre 500 e 600°C proveniente de um gerador de calor (NUNES, 2011).

O material atomizado é carregado em silos e daí passa ao processo de conformação por prensagem, que é o estágio em que a peça de cerâmica é moldada. Esta modelagem é realizada por prensas hidráulicas, que comprimem mecanicamente o material atomizado em moldes regularmente moldados (BOVEA et al., 2010).

Uma vez que o corpo cerâmico tenha sido formado, esse passa por um processo de secagem para reduzir o teor de umidade a níveis baixos o suficiente para que as fases de esmaltação e queima sejam realizadas corretamente (BOVEA et al., 2010). Em suma, a secagem das peças cerâmicas tem por objetivo reduzir a quantidade de água do material de 5,4 a 6% para valores inferiores a 0,5%. Podem ser obtidos valores de até 0,1% (FRIZZO, 2018).

Nesta fase, verifica-se um aumento de resistência mecânica da peça cerâmica, atribuída a uma densificação causada pelo empacotamento e atração de partículas que aumentam as forças de ligação entre elas (AMORÓS et al., 2003).

A esmaltação da placa cerâmica, é a etapa do processo, pós secagem, em que se aplica uma cobertura vítrea impermeável, que visa melhorar a estética e as propriedades tecnológicas dos revestimentos; esta etapa pode ou não ser realizada. Normalmente, se utiliza uma camada intermediária entre o esmalte e o suporte denominada engobe, um tipo especial de esmalte que tem por objetivo ocultar a cor do suporte e eliminar imperfeições na superfície do mesmo, impermeabilizar a peça e reduzir a camada de vidro e reduzir interações indesejáveis na interface esmalte suporte (SOUSA, 2008).

A composição do esmalte cru é feita de matérias-primas fundentes e refratárias, nos quais são preparadas por moagem via úmida, onde necessitam ser insolúveis em água. É

constituída de uma mistura de matérias-primas com uma granulometria bastante fina, que é aplicada na forma de suspensão à superfície da peça cerâmica; geralmente esse tipo de esmalte é queimado em temperaturas acima de 1200 °C (DURÁN et al., 2002; INOCENTE et al., 2017a).

A queima é a fase central do processo cerâmico, onde se provoca uma modificação fundamental nas propriedades das peças cerâmicas, dando lugar a um material duro e resistente. Para porcelanatos, a queima é o processo de aquecimento das peças em temperaturas usuais entre 1190 e 1230 °C (FRIZZO, 2018).

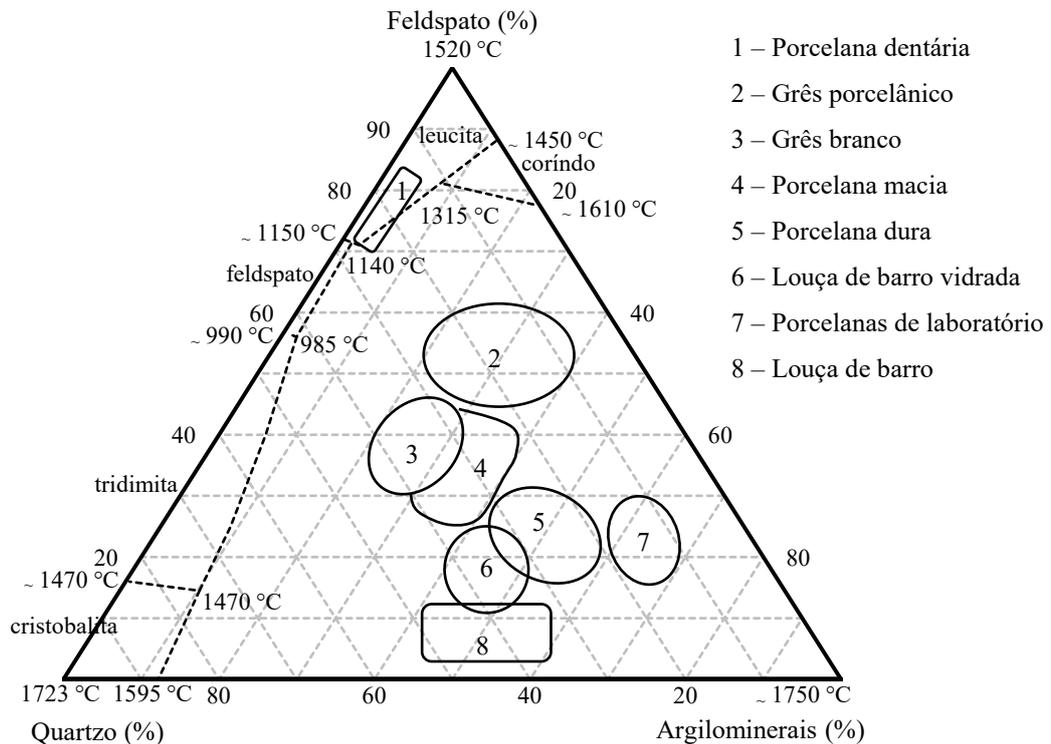
A temperatura de queima é um dos fatores determinantes na obtenção das propriedades técnicas apropriadas dos revestimentos cerâmicos. Além da influência da temperatura, as características dos ladrilhos também dependem do tempo de queima, principalmente em ciclos mais rápidos, pois a troca de calor entre o ambiente e a cerâmica faz com que sua superfície seja aquecida mais rapidamente que seu interior (CARGNIN et al., 2015).

### 2.3.2 Porcelanato

O porcelanato é formado, em geral, por uma mistura triaxial de argilominerais (caulim e argilas), quartzo e feldspatos, favorecendo a formação de fases vítreas (TARVORNPANICH; SOUZA; LEE, 2008a, 2008b). As porcelanas exibem diversas aplicações, pois suas características físicas, químicas e mecânicas variam em função da composição química (JERMOLOVICIUS; MOLISANI, 2018). A Figura 2 mostra um diagrama de fase ternário do sistema caulim-quartzo-feldspato, onde são mostradas várias aplicações para a porcelana em função de sua composição química triaxial.

O porcelanato constitui a evolução do material conhecido com o nome de “grês químico”, tradicionalmente vinculado aos pequenos formatos (5 cm x 5 cm, 10 cm x 10 cm) ligados a tecnologias hoje não mais utilizadas. As novas composições adotadas e o emprego dos fornos a rolos, associados às modernas prensas hidráulicas de alta pressão e precisão de conformação, permitiram que o produto aumentasse o seu valor agregado, valendo-se da confiabilidade alcançada pela queima rápida. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre uma composição tradicional de “grês químico” usada antigamente. Na composição clássica, a temperatura de queima é de aproximadamente 1200 a 1220 °C, em um ciclo de 40 a 50 h. Já a composição atual, é adequada aos ciclos rápidos de queima (temperatura de queima entre 1200 e 1230 °C e ciclo de 50 a 70 min) (DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015).

Figura 2 - Diagrama triaxial cerâmico: porcelanato argila-quartzo-feldspato.



Fonte: adaptado de(ZANELLI et al., 2011).

Tabela 1 - Composições (% massa) em termos das matérias-primas para massas de grês.

Matéria-prima	Composição (%)	
	Clássica	Porcelanato
Caulim	35-45	12-18
Argila plástica	12-18	27-32
Feldspato	27-32	72-48
Quartzo	12-18	5-10
Talco	-	0-3

Fonte:(DE OLIVEIRA; HOTZA, 2015)apud(DE OLIVEIRA, 1998).

O caulim confere cor branca à massa cerâmica e é suporte fundamental de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), o qual, durante a fase de vitrificação da peça regula a reação de equilíbrio, que se processa a temperaturas acima de  $1000^\circ C$ . Desta forma, o caulim se torna o esqueleto da estrutura do produto cerâmico, dando-lhe resistência e conferindo-lhe impermeabilidade (BENVINDO DA LUZ; LINS, 2005).

Os argilominerais, que compõem esta composição pode apresentar diferentes minerais, como caulinita, montmorilonita, ilita, clorita, etc. Esta fração argilosa, além de apresentar comportamento plástico e facilitar a moldagem da peça, tem como função o aporte de óxidos de silício e alumínio, que formarão a fase cristalina do material (SANTOS et al., 2016).

Na composição de porcelanato, os argilominerais servem como um duplo propósito de fornecer tamanho de partícula fina e boa plasticidade para a formação (KITOUNI; HARABI, 2011). Essas apresentam comportamento relativamente refratário, com temperaturas de sinterização na ordem de 1200°C; dessa forma, faz-se necessária a utilização de matérias-primas complementares, de preferência com características fundentes. Para isso, são utilizados feldspatos (ou feldspatóides) que, na presença das argilas, formam uma fase líquida, reduzindo a temperatura de sinterização necessária para diminuir a porosidade (ABAJO, 2000).

Feldspato é o termo empregado para denominar um grupo de minerais constituídos de aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio, e mais raramente bário (LIRA; NEVES, 2013). Na indústria cerâmica, a quantidade de feldspato utilizada varia com o tipo de produto (BENVINDO DA LUZ; LINS, 2008). Em linhas gerais, o feldspato atua como um fundente, formando um líquido viscoso na temperatura de queima e auxiliando na vitrificação (KITOUNI; HARABI, 2011; MATTHEW; FATILE, 2014).

O quartzo é principalmente um material de enchimento barato que permanece não reativo a baixas temperaturas de queima e forma um líquido altamente viscoso a temperaturas mais altas (KITOUNI; HARABI, 2011). Esse mineral é adicionado às massas cerâmicas de porcelanato quando há a necessidade de equilibrar a relação entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , favorecendo a formação de mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) durante a queima. É usado também em cerâmicas porosas com a função de tornar a massa menos plástica, favorecendo a liberação de substâncias gasosas e a saída de água (BIFFI, 2002).

O produto queimado é constituído de uma matriz vítrea, na qual partículas de mulita e as partículas de quartzo, que não se dissolveram totalmente, estão dispersas. O quartzo- $\alpha$  é estável até a temperatura de 573 °C, acima da qual ocorre a transformação alotrópica para quartzo- $\beta$ , modificando a sua estrutura cristalina para um tetraedro hexagonal. As temperaturas nas quais os cristais de quartzo começam a se formar dependem fortemente do tamanho das partículas de quartzo; quanto menores as partículas, mais baixa é a temperatura de fusão (LERDPROM et al., 2016; SANCHEZ et al., 2001).

A adição de matérias-primas que contém magnésio, como o talco, tendem a aumentar a cinética de densificação, melhorando as propriedades físicas da fase líquida, aumentando sua tensão superficial e diminuindo sua viscosidade (BIASINI et al., 2003).

De todos os componentes é requerida uma baixa concentração de óxidos colorantes como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , para evitar contaminações cromáticas da cor natural da massa. As relações quantitativas entre os componentes dependem da natureza mineralógica das argilas, da

granulometria das partículas argilosas e, em última análise, da reatividade destas com relação aos minerais fundentes (DE OLIVEIRA, 1998).

### **2.3.3 Aditivos que conferem cor**

A cor de algumas tipologias de porcelanatos é um dos fatores de fundamental importância na classificação do produto final, devido ao apelo estético que confere ao material. Esta não é uma propriedade absoluta, mas sim uma percepção humana, e os critérios de classificação de cor variam de indústria para indústria.

- **Pigmentos**

Os pigmentos conferem cor para as massas cerâmicas através da dispersão das suas partículas coloridas no meio que se pretende colorir, formando uma mistura heterogênea (suspensão).

Um pigmento cerâmico é uma substância orgânica ou inorgânica, que é constituída por pequenas partículas praticamente insolúveis no meio ou na matriz em que são incorporados e com os quais não reage nem química nem fisicamente. Uma das principais características dos pigmentos é a resistência a altas temperaturas, que são necessárias para obter a peça final colorida. Um dos exemplos mais comuns de pigmentos são óxidos ou sais (como íons dos metais de transição) (FERREIRA.2014).

- **Branqueadores**

A maior parte dos óxidos branqueadores apresentam também a características de serem opacificadores, e são comumente utilizados para fabricação de esmaltes cerâmicos. A opacidade é conferida devido ao diferente índice de refração, geralmente mais elevado do que as demais fases da matriz aonde são adicionados.

Os branqueadores são na verdade, cristais de tamanho pequena e alto índice de refração, como por exemplo, o óxido de zircônio. Os conhecidos “porcelanatos técnicos” que tem como característica a cor altamente branca possuem em sua composição um percentual de óxido de zircônio em substituição a pequenas quantidades de argilas e caulins (FERREIRA 2014)

### 2.3.4 Aditivos que conferem translucidez

Para a fabricação de materiais cerâmicos translúcidos é necessário o uso de matérias-primas de elevado grau de pureza, e ainda garantir um índice de refração idêntico entre as diferentes fases formadas para evitar as perdas por dispersão de luz.

Dentre os aditivos que tem sido utilizado para conferir o grau de translucidez para as massas cerâmicas estão às fritas cerâmicas, as fritas são materiais vítreos constituídos majoritariamente por sílica e óxidos modificadores de rede que possuem um custo baixo e normalmente são empregadas na fabricação de esmaltes cerâmicos.

A adição de fritas (silicatos e aluminossilicatos de Na, Mg, K, Ca, Zn, Ba e Zr) em massas cerâmicas, tornam a coloração do produto após a queima mais clara, aumentando os valores da coordenada colorimétrica L (FERREIRA, 2014).

Analisando as composições de massas cerâmicas translúcidas, a translucidez da anortita tem sido considerada relevante. A anortita,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , em que 0,56% é  $\text{Na}_2\text{O}$ , 19,20% corresponde a  $\text{CaO}$ , 35,84 % a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e, 44,40 % é  $\text{SiO}_2$ , de estrutura triclinica, faz parte da família dos feldspatos. O índice de refração da anortita é de 1,58 e está muito próximo ao do vidro ( $\pm 1,51 n$ ), o que faz com que estes materiais tenham excelentes características de translucidez, que podem ser comparadas com as porcelanas translúcidas chinesas.

## 2.4 TRANSPARÊNCIA

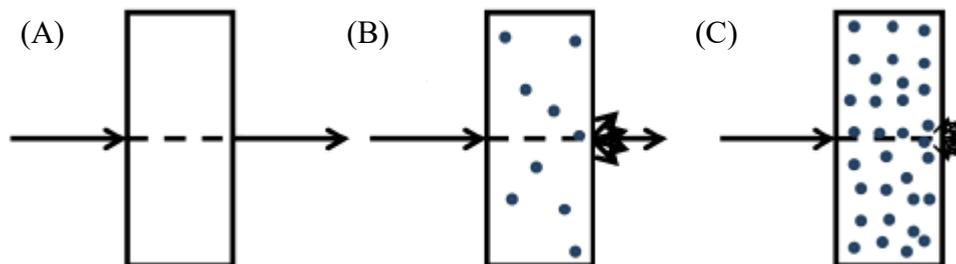
Em ciência e tecnologia, a palavra transparente é usada para os componentes que mostram imagens nítidas, independentemente da distância entre o objeto e o material transparente, sendo alcançada quando, após a transmissão pelo material, a luz não sofre absorção ou dispersão perceptíveis. Isso se aplica, por exemplo, a alguns vidros, cerâmicas transparentes monocristalinas e policristalinas (SUÁREZ et al., 2012).

Um feixe de luz pode atingir a velocidade de aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s, quando no vácuo. No entanto, a luz pode se propagar em outros meios além do vácuo. Esses meios podem ser classificados de acordo com a interação deles com o feixe de luz, sendo de acordo com a literatura (SOUZA, 2018), os meios transparente, translúcidos e opacos.

A transparência representa a capacidade dos materiais para permitir a transmissão de luz através deles. Ao atravessar um material transparente, um feixe de luz se propaga na mesma direção antes e depois de atravessar o material (Figura 3.A). No entanto, materiais perfeitamente transparentes são de natureza rara e a maioria deles apresenta os chamados centros de dispersão.

Quando a concentração dos centros de dispersão é suficientemente grande, o material ainda permite a transmissão da luz, mas o feixe de luz transmitido não se propaga apenas ao longo da direção do incidente, mas os feixes difusos e dispersos podem ser detectados; nesse caso, o material se torna translúcido permitindo a passagem da luz através dele, porém sem observação de objetos (Figura 3.B). Quando a quantidade de centros de dispersão é maior, os materiais dispersam tanta luz que se tornam opacos (Figura 3.C).

Figura 3 -Propagação da luz através de um meio (material) transparente (A), um meio translúcido (B) e um meio altamente dispersivo, quase opaco (C).



Fonte: (SUÁREZ et al., 2012).

A maioria dos materiais transparentes possuem centros de espalhamento, causando um desvio na direção de propagação da luz através do material, o que leva a uma perda significativa na transmissão máxima teórica. Nas cerâmicas policristalinas transparentes, esses centros espalhadores são: contorno de grão, poros residuais, fase secundária, dupla refração, inclusões e rugosidade da superfície (IKESUE; AUNG, 2008).

#### 2.4.1 Cerâmicas translúcidas

Em meados da década de 60, as cerâmicas translúcidas foram propostas por Coble (1961). Nesta época, pensava-se que bastaria a eliminação dos poros remanescentes para se obter materiais translúcidos e/ou transparentes. A motivação era produzir bulbos para lâmpadas de alta potência, pois os materiais disponíveis na época não resistiam às condições extremas nas quais estas lâmpadas estavam sujeitas (CHIANG; BIRNIE-III; KINGERY, 1997). Com os estudos da época, conseguiu-se obter alumina translúcida utilizando-se, adequadamente, MgO como aditivo de sinterização (COBLE, 1961).

A caracterização da translucidez da cerâmica é muitas vezes qualitativa, por exemplo, uma fotografia de impressão vista através de uma cerâmica é reproduzida para dar uma ideia da sua transparência. É preciso ter cuidado ao caracterizar a translucidez de um material com

base na fração média de luz transmitida por um número de amostras. Algumas cerâmicas variam de completamente transparentes a completamente opacas, dependendo do método de preparação. Quando há uma variação tão grande na transparência, tanto a transmitância quanto a refletividade em função do comprimento de onda devem ser medidas para a caracterização de cada amostra como uma função do método de preparação (THOMAS; DOREMUS, 1976).

Na maioria dos materiais cerâmicos translúcidos, a absorção de luz dentro da amostra na região visível é insignificamente pequena. Por isso, a transparência da amostra é determinada pela luz perdida pela dispersão. Em cerâmicas ferroelétricas opticamente transparentes, a dispersão de luz pode ser controlada eletricamente. Portanto, são necessárias medições precisas dos parâmetros de translucidez e espalhamento na ausência de um campo elétrico. Como a quantidade de luz perdida devido à dispersão depende do número de centros de dispersão e de sua eficiência, esses parâmetros podem ser usados para especificar a qualidade do material (THOMAS; DOREMUS, 1976). Na Figura 4 tem-se a representação de um revestimento cerâmico translúcido.

Figura 4 -Fotografia mostrando um revestimento cerâmico translúcido.



Fonte: Autor, 2019.

#### 2.4.2 Propriedades ópticas

A caracterização da qualidade óptica de diferentes amostras, a partir da fração de luz transmitida em função do comprimento de onda requer uma especificação cuidadosa da espessura de cada amostra e do método de medição. Para fins comparativos, a medição da transmitância ou refletividade em amostras da mesma espessura e polimento de superfície pela mesma técnica seria suficiente. No entanto, em muitos casos, pode ser difícil preparar amostras com espessuras idênticas. Pequenas diferenças na espessura podem resultar em deduções

equivocadas em relação à qualidade de transmissão de um material. Portanto, correções acuradas para essas diferenças devem ser feitas (THOMAS; DOREMUS, 1976).

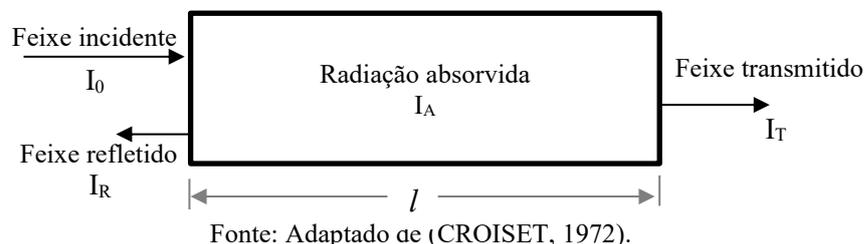
Argilas opacas e translúcidas, frequentemente usadas em utensílios de mesa, não são apropriadas para aplicações ópticas, devido ao alto conteúdo de fontes de dispersão óptica, isto é, defeitos (IKESUE; AUNG, 2008).

A fabricação de revestimentos cerâmicos translúcidos depende de alguns fatores limitantes que estão associados às propriedades do material. As cerâmicas são constituídas por grãos aleatoriamente orientados. Desta forma, anisotropias são fatores que levarão a diferenças quando as propriedades das cerâmicas forem comparadas as de um monocristal (KRELL; HUTZLER; KLIMKE, 2009). Portanto, materiais com estrutura cúbica têm vantagem sobre os demais quanto a obtenção de cerâmicas translúcidas por não apresentarem propriedades ópticas diferentes em cada uma das direções a serem analisadas.

O comportamento da luz incidente sobre um corpo depende principalmente do seu comprimento de onda e da natureza do material. Fatores como porosidade e espessura da placa cerâmica influenciam diretamente na translucidez do produto final. Desta forma, a luz incidente sobre a placa cerâmica poderá ser refletida, refratada, espalhada e/ou absorvida (BENITEZ et al., 2017).

Quando a luz interage com uma placa cerâmica sólida, uma parte da radiação é transmitida através do meio, uma parte é absorvida e uma parte é refletida na interface. Desta forma, a luz incidente ( $I_0$ ) é um resultado do somatório de  $I_R$ ,  $I_A$  e  $I_T$  (CUSTODIO; KUBOTA; ANDRADE, 2000), conforme está representado na Figura 5.

Figura 5 - Esquema mostrando a incidência da luz sobre uma placa cerâmica sólida.



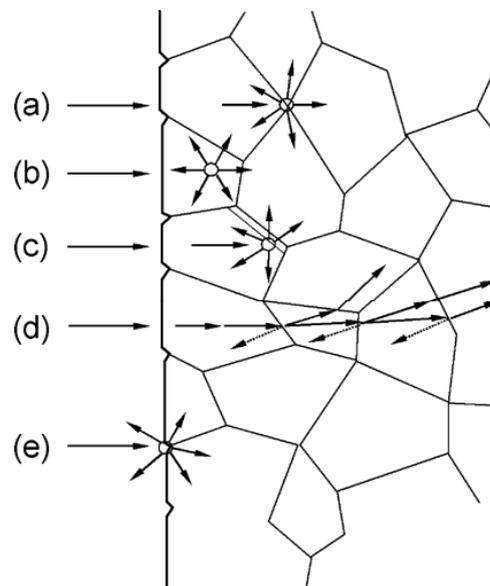
Assim, os materiais cerâmicos capazes de transmitir luz com pouca absorção são chamados de placas cerâmicas transparentes, enquanto os materiais capazes de transmitir luz, mas de maneira difusa, dispersa no interior do material, são chamados de placas cerâmicas translúcidas.

Quando comparamos as cerâmicas policristalinas translúcidas com as monocristalinas, percebe-se uma vantagem na primeira quanto à eficiência e facilidade de fabricação. Todavia, a presença de limites e contornos de grãos e poros em cerâmicas policristalinas, afeta negativamente a translucidez e a densificação destes materiais durante a sinterização (BENITEZ et al., 2017).

Os materiais policristalinos podem apresentar diferentes estruturas com diferentes índices de refração de luz (IKESUE et al., 2006). Desta forma, são identificados inúmeros centros espalhadores de luz, como representado na Figura 6 e relacionados a seguir:

- a. Espalhamento devido aos contornos de grãos;
- b. Espalhamento devido aos poros fechados no interior;
- c. Espalhamento devido às fases secundárias;
- d. Espalhamento devido à birrefringência;
- e. Espalhamento devido a rugosidades na superfície, podendo alterar o ângulo de incidência, e provocar múltiplas reflexões.

Figura 6 -Esquema de microestrutura de materiais cerâmicos e centros de dispersão de luz.



Fonte: (IKESUE et al., 2006).

Para uma microestrutura cerâmica policristalina, inicialmente, a luz tem uma intensidade incidente, dependendo da rugosidade da superfície já que podem ser criados os componentes de reflexão difusa e transmissão difusa. Além disso, a luz é refletida por reflexão especular na superfície do material. A luz que incide sobre os materiais policristalinos além de

penetrar e refletir pode ainda interagir com a porosidade do material e com os contornos de grãos e impurezas (BENITEZ et al., 2017).

Baseado nas informações colocadas anteriormente, a translucidez está diretamente relacionada com os ajustes no processamento dos materiais cerâmicos e com as fases formadas durante a etapa de sinterização. Desta forma, um controle ideal das rampas e temperaturas e a escolha do ciclo de queima ideal favorecem a formação de fases que minimizem a dispersão da luz e favoreçam a absorção na parte do espectro desejado.

### 2.4.3 Cor

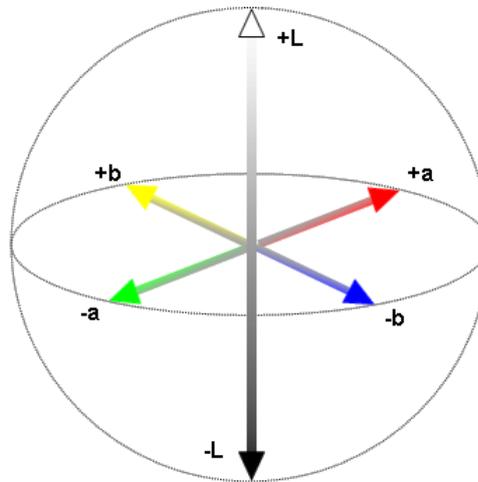
A variação de cor de um sistema, com a modificação da concentração de certo componente, pode ser estudada ou quantificada por meio de análise colorimétrica. A cor é originada a partir de um agente cromóforo, resultante da adição de um reagente apropriado, ou pode ser intrínseca ao constituinte analisado (FONSECA, 2017). Portanto, a colorimetria consiste em medir e analisar a intensidade e composição da cor, transformando em números as principais características da cor (INOCENTE et al., 2017b).

Um dos sistemas de medidas colorimétricas recomendado pelo CIE (*Comission Internationale d'Eclairage*) desde 1976 e comumente usados na indústria cerâmica é o sistema CIELAB (MACHADO et al., 1997).

Esses parâmetros representam os eixos de um diagrama tridimensional, por meio de coordenadas X, Y e Z. O sistema CIELAB converte estes valores num espaço uniforme de cor para as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , como mostra a Figura 7. Este sólido de cor fornece informações tanto sobre a cromaticidade quanto sobre a luminosidade da amostra, e reproduz bem a experiência visual.

Valores positivos de  $a^*$  indicam cores vermelhas, enquanto valores negativos representam cores verdes. Da mesma forma, valores positivos de  $b^*$  demonstram cores amarelas e valores negativos demonstram cores azuis.  $L^*$  é uma medida da escala de cinza, entre o preto e o branco, em uma faixa de medida que varia de 0-100. O encontro dos três valores define uma cor (INOCENTE et al., 2017b).

Figura 7 -Representação dimensional do sistema CIELab



Fonte: (KORIFI et al., 2013).

A definição das tolerâncias cromáticas instrumental é estabelecida em função dos limites de tolerância da visão humana, que deve ser traduzida em termos de  $\Delta E^*$  (STASIENIUK; PETRINI, 1991; TOZZI, 1992).

Para facilitar a avaliação de tais diferenças (tolerâncias), assumem-se como constantes os critérios fonte de iluminação, o ângulo de incidência e o ângulo de observação. Não existe um ajuste cromático perfeito, mas para cores lisas (efeitos) em produtos cerâmicos adotam-se valores de  $\Delta E^*$  num intervalo de 0,5 a 0,7 CIELAB. Para este parâmetro, a diferença entre duas cores, definida como  $\Delta E^*$ , é calculada por meio da Equação 1 (MACHADO et al., 1997):

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$\Delta E^*$  = tolerância cromática;

$(\Delta L^*) = (L^*_P - L^*_A)$ ;

$(\Delta a^*) = (a^*_P - a^*_A)$ ;

$(\Delta b^*) = (b^*_P - b^*_A)$ ;

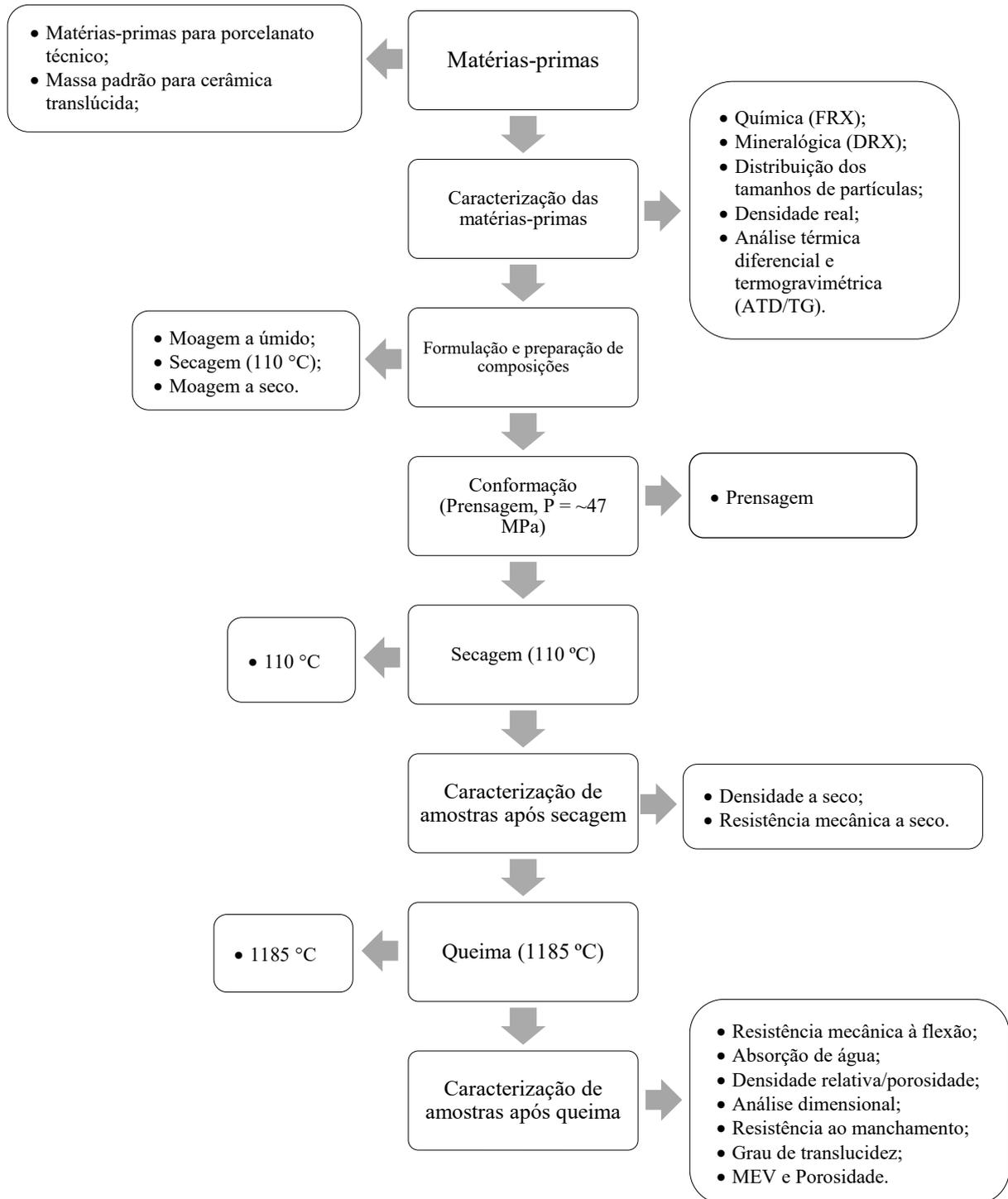
$A$  = Amostra;

$P$  = Padrão.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades e as principais etapas deste trabalho de pesquisa estão esquematicamente mostradas no fluxograma apresentado na Figura 8.

Figura 8 -Fluxograma das atividades de pesquisa deste trabalho.



Fonte: Autor (2019).

### 3.1 MATÉRIAS-PRIMAS E ADITIVOS

Para a realização do estudo, foi utilizada uma massa de cerâmica translúcida, gentilmente cedida por uma empresa de fritas, esmaltes e corantes, a qual serviu como padrão (STD) de referência. A massa cerâmica translúcida tem como característica principal, além da translucidez, o elevado grau de alvura. Assim, um dos critérios utilizados para a seleção das matérias-primas foi a composição química e a coloração das massas antes e após o processo de queima.

A mesma empresa cedeu seis fritas/granilhas, que vieram a ser usadas como agentes para obtenção da translucidez, sendo essas incorporadas em diferentes teores em uma massa de porcelanato técnico.

Porcelanatos técnicos são compostos por massas cerâmicas de coloração branca, porém sem nenhum grau de translucidez. Desta forma, estas massas serviram como base para dar início ao desenvolvimento das formulações de uma massa cerâmica translúcida. As diferentes matérias-primas, usuais na fabricação de porcelanato, foram cedidas pela Cecrisa Revestimentos Cerâmicos S.A., que desenvolveu a formulação do porcelanato.

### 3.2 FORMULAÇÃO E PREPARAÇÃO DE MASSAS CERÂMICAS

As massas de porcelanato técnico do grupo Cecrisa Revestimentos Cerâmicos S.A. possuem em sua composição matérias-primas nacionais pertencentes aos três grupos do diagrama triaxial (Figura 2) para formulação de massas cerâmicas, que são:

**Argilas plásticas brancas:** como bentonitas cálcicas, que têm como finalidade principal conferir plasticidade à massa cerâmica translúcida;

**Fundentes brancos:** como talcos cerâmicos e feldspatos potássicos que atuam na formação de fase líquida durante a etapa de sinterização, garantindo assim a retração do material e obtenção de valores de absorção de água abaixo de 0,5%. Os feldspatos atualmente utilizados na fabricação de porcelanatos técnicos brancos têm como característica um elevado grau de translucidez quando analisados sozinhos. Desta forma, eles também atuarão conferindo translucidez a massa cerâmica;

**Refratários brancos:** estes materiais são de fundamental importância na composição da massa cerâmica, pois eles conferem estabilidade dimensional ao produto final, além de evitar o excesso de fundência da massa cerâmica. Pertencem a este grupo materiais como caulins brancos e quartzo.

Sendo por fim adicionados nesta formulação de massa os materiais com características fundentes e translúcidas:

**Fundentes translúcidos:** além dos fundentes brancos, foram utilizados também materiais fundentes translúcidos como fritas cerâmicas com elevado ponto de amolecimento, utilizadas na composição de esmaltes. Estes materiais são os principais responsáveis pela translucidez da massa cerâmica desenvolvida.

Como citado anteriormente, uma formulação base de porcelanato técnico, com composição de diferentes matérias-primas, foi utilizada nesse trabalho, como pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição do porcelanato utilizado neste trabalho.

<b>Matérias-primas</b>	<b>Composição (% massa)</b>
Feldspatos	56,00
Caulins	24,00
Argilas plásticas	19,45
Defloculante	0,55

Fonte: Autor, 2019.

Para desenvolvimento de uma nova composição cerâmica translúcida, adotou-se como material cristalino a composição de porcelanato técnico e como material amorfo a frita.

Baseando-se nisso, foram utilizadas seis fritas/granilhas, que incorporadas à composição de porcelanato em diferentes teores, foram investigadas. Em um primeiro momento, foram selecionadas três fritas (A, B e C), que apresentaram maior capacidade de molhamento da massa atomizada. Inicialmente, as composições foram desenvolvidas conforme os dados da Tabela 3, variando-se os teores de frita de 0 até 30%, sobre a composição de porcelanato, formando nove formulações e uma padrão de porcelanato (P).

Tabela 3- Formulações estudadas na primeira bateria de testes.

<b>Composição com as Fritas A, B e C</b>		
<b>Código</b>	<b>Massa atomizada (% massa)</b>	<b>Fritas (% massa)</b>
00	100	0
01	90	10
02	80	20
03	70	30

Fonte: Autor, 2019.

Em uma etapa posterior, uma nova bateria de ensaios foi realizada, com novas três fritas/granilhas (D, E e F), cujas formulações variaram de 20 a 50% desses materiais, incorporados à massa atomizada, como pode-se observar na Tabela 4. Com essas formulações, foi possível promover a formação de fase amorfa, no qual contribui com a translucidez no corpo cerâmico. Ao todo, novas doze formulações foram desenvolvidas.

Tabela 4 - Formulações estudadas na segunda bateria de testes.

<b>Composição com as Fritas D, E e F</b>		
<b>Código</b>	<b>Massa atomizada (% massa)</b>	<b>Fritas (% massa)</b>
01	80	20
02	70	30
03	60	40
04	50	50

Fonte: Autor, 2019.

O uso da frita E junto a composição 04 foi por fim avaliada com a adição de coríndon e quartzo (em 10% em massa) na formulação, com intuito de estabilizar a massa, gerando outras duas composições, como observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Formulações (% em massa) estudadas na terceira bateria de testes.

<b>Código</b>	<b>Massa atomizada (%)</b>	<b>Frita E (%)</b>	<b>Coríndon (%)</b>	<b>Quartzo (%)</b>
E05	45	45	10	-
E06	45	45	-	10

Fonte: Autor, 2019.

Após definição das formulações das massas, as mesmas foram preparadas em laboratório e submetidas a testes de produto acabado. As massas foram preparadas por meio de moagem a úmido (35% de água) em moinho de bolas do tipo “periquito” com capacidade de 500 mL (Servitech CT-242), até atingir resíduo de moagem de 0,2 - 0,3% em malha #325 MESH. Subsequentemente, as suspensões resultantes foram secas em estufa de laboratório (Solab, modelo SL-100) a  $110 \pm 5$  °C. Em etapa posterior, as massas secas foram maceradas e moídas a seco em moinho de bolas do tipo “periquito” (Servitech CT-242) por 7 min. Ao final, foram umidificadas em 7% e deixadas em descanso por 1 h, para homogeneização total da massa.

Uma vez dosadas, de acordo com as formulações definidas, as massas foram prensadas individualmente, em uma prensa hidráulica laboratorial (Mignon, modelo SSN/EA), a uma pressão específica de  $\sim 47$  MPa (470 kgf/cm<sup>2</sup>) (que corresponde a máxima pressão aplicada

industrialmente a este tipo de massa). Foram prensados cinco corpos de prova (para cada formulação definida) em forma de disco com 50 mm de diâmetro e 8 mm de espessura os quais passaram pelo processo de caracterização técnica.

As provas foram secas em estufa laboratorial (Solab, SL-100) a  $110 \pm 5$  °C, para remoção da umidade das placas prensadas.

As massas formuladas e adequadamente preparadas foram queimadas em forno a rolos laboratorial (Jung modelo TE1513) e, em uma etapa posterior, foram submetidas a um gradiente de queima de seis temperaturas, iniciando com 1170 até 1195 °C. Muito embora a massa cerâmica translúcida (STD) apresente sua melhor condição técnica quando submetida ao processo térmico a 1185 °C, optou-se pela realização da investigação em diferentes temperaturas para analisar em quais faixas as massas formuladas apresentariam absorção de água abaixo de 0,5%, além de maior translucidez e índice de alvura. Foram aplicados também dois ciclos de queima diferentes para as massas formuladas, um primeiro ciclo de queima de 37 min, que corresponde à queima dos porcelanatos esmaltados nos fornos de produção, e um segundo ciclo de 70 min que corresponde ao ciclo de queima do porcelanato técnico.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO

As matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P) foram individualmente investigadas, assim como a massa P e massa cerâmica translúcida (STD), conforme suas características físicas, químicas, mineralógicas, térmicas, microestruturais, mecânicas e óticas.

#### 3.3.1 Caracterização química e mineralógica

Os materiais estudados foram analisados quimicamente, por meio de medidas de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX), método mais usual para determinação da composição química quantitativa de materiais cerâmicos. Essa análise foi realizada para as matérias-primas da composição de porcelanato em um espectrômetro Epsilon 3XLE Panalytical e a massa de cerâmica translúcida em um espectrômetro Panalytical Axios Max, tubo de Ródio 4 kV. A determinação da perda ao fogo foi realizada em pastilhas prensadas e queimadas a 1000 °C.

A caracterização mineralógica da composição cerâmica translúcida foi realizada a verde e pós-queima, por difratometria de raios X (DRX) em um difratômetro Philips, modelo

X'Pert, com radiação  $\text{CuK}\alpha$ , 40 kV, 30 mA,  $0,05^\circ$ , 2 s. As análises dos difratogramas foram realizados com o auxílio do programa computacional X'Pert High Score Plus 2.2 – Panalytical B.V., com banco de dados JCPDS-ICDD PDF-2 2004 (ICDD, 2004) e a base de dados ICSD (ICSD, 2012). A quantificação das fases foi realizada utilizando-se o método de *Rietveld*.

### 3.3.2 Caracterização física e morfológica

#### 3.3.2.1 Determinação da distribuição de tamanhos de partículas

A determinação da distribuição de tamanhos de partículas para a identificação do tamanho médio de partículas foi realizada por difratometria a laser (Mastersizer 3000), com utilização de ultrassom para desaglomerar os pós das amostras. O teste foi realizado na massa padrão de cerâmica translúcida.

#### 3.3.2.2 Medidas de densidade

A densidade real ou teórica ( $\rho_t$ ) da massa cerâmica translúcida foi obtida a partir de medidas em picnômetro a gás hélio (Quantachrome, Ultrapycnometer 1000).

Para determinação da densidade aparente das amostras formuladas, discos secos de 50 mm x 6 mm, foram submetidos a medidas de massa utilizando-se o princípio de Arquimedes em água a  $25^\circ\text{C}$ , de acordo com a Equação 2.

$$\rho_{ap} = \left( \frac{m}{m_s - m_i} \right) x \rho_L \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

$\rho_{ap}$  = densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m$  = massa inicial (g);

$m_s - m_i = V$  = correspondente à diferença entre a massa impermeabilizada ( $m_s$ ) e a massa imersa ( $m_i$ ) no líquido, compatível com o volume do corpo em imersão ( $\text{cm}^3$ );

$\rho_L$  = densidade da água a temperatura ambiente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

#### 3.3.2.3 Comportamento térmico

As análises térmicas (ATD/TG) foram realizadas em um analisador térmico simultâneo (Netzsch, modelo STA 409 EP) no intervalo de temperatura compreendido entre  $20$  e  $1250^\circ\text{C}$ , com taxa de aquecimento de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$  em atmosfera de ar. Para cada análise foram

utilizadas amostras de 10 mg em cadinho de alumina, e como material de referência foi utilizado um cadinho de alumina vazio.

A análise dilatométrica da massa cerâmica translúcida foi realizada em um dilatômetro de contato (DIL 402/ NETZCH) a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min em atmosfera oxidante entre -150 e 1650 °C. Para estas análises foram utilizados corpos de prova com dimensões nominais de 20 mm x 5 mm x 5 mm.

#### 3.3.2.4 Propriedades tecnológicas

As amostras foram analisadas quanto as suas características tecnológicas, conforme norma NBR 13818(ABNT, 1997c).

Após a queima, a retração linear de queima foi determinada, por meio de medidas das dimensões do material com um paquímetro digital (Digimess/ 150 mm com precisão de ± 0,05 mm). O ensaio consiste em realizar medições na peça verde e seca e, posteriormente, fazer nova medição após a queima (cinco corpos-de-prova). Os resultados foram calculados utilizando-se a Equação 3.

$$RTL_Q = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

$RTL_Q$  = Retração linear de queima (%);

$L_s$  = comprimento das peças verdes pós-secagem (mm);

$L_q$  = comprimento das peças pós-queima (mm).

Em seguida, outros cinco corpos de prova de cada massa formulada foram submetidos ao ensaio de absorção de água a vácuo (CAPACITIVA), para verificar quais formulações apresentaram valor abaixo de 0,5%, o qual é um requisito para a fabricação de porcelanatos (ABNT, 1997c). O método de absorção de água a vácuo consiste em colocar os corpos-de-prova em uma câmara de vácuo no qual é aplicado uma depressão de 7,5 kPa para retirada de todo ar de dentro do recipiente, as peças permanecem nesta condição por 10 min, logo em seguida é adicionado água dentro do recipiente e as peças ficam em contato por 5 min, por fim retira-se a pressão e água e as peças são secas e pesadas para realização do cálculo de absorção de água.

### 3.3.2.5 Comportamento mecânico

Ao todo, cinco corpos de prova de cada formulação, após queima, foram submetidos ao ensaio de resistência mecânica à flexão a três pontos, com utilização de um flexímetro (Servitech modelo CC2006/600) de acordo com a norma NBR 13818 (ABNT, 1997c).

### 3.3.2.6 Comportamento ótico

As amostras selecionadas foram submetidas a análises colorimétricas para avaliação de cor de queima (coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b$ ), realizadas por meio de um Espectrofotômetro (Minolta, modelo CM-508d). Sistema de coordenadas retangulares  $L^*a^*b^*$  definido pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage* – Comissão Internacional de Iluminação). Iluminante: D65. Observador-padrão: foco sobre a retina. ( $A/10^\circ$ ).

A formulação com melhor característica colorimétrica passará pelo processo de aplicação de incidência de luminosidade, através da introdução de luz, e a observação a olho nu para análise do comportamento em comparação a massa cerâmica translúcida.

O ensaio de manchamento, foi realizado na formulação que atingiu melhores características óticas, sendo realizado para comparação com a massa cerâmica translúcida padrão, segundo NBR 13818 (ABNT, 1997c), o qual está relacionado a maior ou menor facilidade de limpeza dos corpos de prova após a aplicação de agentes manchantes. Neste caso, foi utilizado óxido de cromo verde que permaneceu na superfície dos corpos de prova por 24 h, segundo a norma NBR 13818 a limpeza dos corpos de prova ocorre inicialmente com água corrente (classe de manchamento 05), caso a mancha persista na superfície é adicionado detergente (classe de manchamento 04), sapólio (classe de manchamento 03), ácidos concentrados (classe de manchamento 02), até chegar na classe de manchamento 01, aonde a mancha não pode ser removida.

Numa etapa final as amostras STD e a amostra selecionada foram submetidas novamente ao ensaio colorimétrico e também de refletância e transmitância com intuito de se obter a translucidez e a razão de contraste. As avaliações colorimétricas das pastilhas foram realizadas por meio de um Espectrofotômetro (Minolta, modelo CM-508d) com geometria de medição especular inclusa, na faixa de comprimento de 400 a 700 nm (espectro visível). Utilizou-se os iluminantes padrões CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*): D65 (luz do dia), A (luz incandescente) e CWF (luz do dia média), e observador padrão de  $10^\circ$ . Como

fundos padrões branco e preto foi utilizada a cartela de papel Leneta (modelo 2A opacidade), onde as amostras foram dispostas.

A razão de contraste (CR), método utilizado para medir a opacidade, foi calculado a partir da divisão do índice de reflexão da luz das amostras sobre o fundo preto ( $Y_p$ ) pelo índice de reflexão sobre o fundo branco ( $Y_b$ ), obtendo a relação, ilustrada na Equação 4 (LEE; BIN, 2016; VICHI et al., 2016):

$$CR = \frac{Y_p}{Y_b} \quad (\text{Equação 4})$$

### 3.3.2.7 Análise microestrutural

Para se avaliar a superfície das amostras estudadas, usou-se um microscópio eletrônico de varredura (MEV, Zeiss EVO MA10) em 200 e 500 X de aumento.

A porosidade aparente e a absorção de água foram realizadas com intuito de correlacionar estes resultados com a análise microestrutural, sendo determinadas pelo método de Arquimedes. Nesse método, os corpos-de-prova são imersos em água destilada em ebulição, e deixados por 2 h, conforme proposto pela literatura (DUTRA; DE ARAÚJO PONTES, 2002). Foram investigadas peças em três diferentes temperaturas: 1150, 1185 e 1200 °C, das quais são usualmente utilizadas na queima de monoporosas, porcelanatos e porcelanatos técnicos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA

A Tabela 6 mostra a composição química das matérias-primas utilizadas para a preparação e produção da massa de porcelanato técnico padrão (P) estudadas, as quais são majoritariamente compostas por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) com teores entre  $\sim 45$  e  $\sim 75\%$ . Os silicatos e sílica livre presentes nas matérias-primas contribuem para alta estabilidade dimensional ao corpo cerâmico queimado, pois é formador de rede (HEVIA et al., 2006; MELLO et al., 2011). O óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) também está em teores elevados nas matérias-primas, característica comum desses materiais. Um dos caulins utilizados na formulação de porcelanato técnico apresentou elevado teor desse óxido ( $\sim 40\%$ ). As demais matérias-primas ficaram em um valor intermediário entre 13 e 25%. Com isso, verifica-se que a grande maioria dos materiais apresentam aproximadamente 80%, em massa, de óxidos de alumínio e de silício, a qual é favorável para a formação de materiais cerâmicos (KUMMER et al., 2007).

Tabela 6 - Composição química das matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P).

Matérias-primas	Óxidos constituintes (% em massa)											
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Mn}_2\text{O}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	P.F.
Feldspato	75,34	17,79	1,98	3,41	0,25	0,01	0,25	<0,02	0,10	0,05	<0,05	0,80
	75,93	14,01	1,09	5,62	0,13	0,04	1,45	0,18	<0,01	<0,01	<0,02	1,05
Caulim	62,90	23,75	0,95	0,30	0,63	0,03	0,07	<0,02	0,08	<0,01	<0,05	9,52
	45,00	39,00	<0,01	<0,01	0,50	0,40	<0,01	<0,02	0,03	<0,02	<0,04	14,00
Argila	53,77	25,02	1,64	1,44	2,25	0,36	3,02	1,38	0,08	0,01	0,02	10,96
	70,86	19,62	0,17	0,10	1,25	1,41	0,04	<0,01	0,01	0,03	0,02	6,48
	56,16	13,42	0,60	0,33	2,84	0,21	2,53	3,78	0,20	0,08	0,7	19,76

P.F. Perda ao fogo.

Fonte: Autor, 2019.

Os óxidos fundentes apresentaram teores comumente encontrados em materiais para produção de revestimentos cerâmicos (DONDI et al., 1999), onde os teores médios de óxidos alcalinos ( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ) ficaram em até  $\sim 5,5\%$ . Os fundentes representados pela família dos alcalinos terrosos ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ) apresentaram teores abaixo de  $6,5\%$ .

O elevado teor de perda ao fogo (P.F.) para algumas matérias-primas, significa que estes materiais possuem grande quantidade de hidróxidos, como o  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  e componentes voláteis de matéria orgânica, sulfatos e carbonatos (KUMMER et al., 2007).

Entre os requisitos básicos para as massas de porcelanato está a queima de cor branca, que restringe o uso de matérias-primas que contêm altos níveis de óxidos cromóforos

(principalmente  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ ) (DOS SANTOS et al., 2013). As argilas brasileiras são comumente conhecidas pelos teores em demasia desses óxidos, o que necessita da dosagem adequada, para não promover eventuais problemas na produção (MOTTA; ZANARDO; CABRAL JUNIOR, 2001). Observa-se a presença de óxidos cromóforos entre as argilas investigadas em teores que chegam a ultrapassar os 3%, muito embora, as demais não excederam 1%, entre os feldspatos e os caulins. Na maioria das aplicações industriais impurezas como minerais argilosos e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) são indesejadas devido a seus efeitos deletérios, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de cor, como já citado (SOUZA et al., 2014a).

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise da composição química da frita E, que apresentou em testes preliminares os melhores resultados de translucidez, quando incorporado a massa padrão. A presença dos óxidos formadores de rede ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ficaram  $< 55\%$ , valores usualmente encontrados na literatura (SCARPATO, 2013; TEZZA et al., 2011). Os óxidos cromóforos ( $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e os óxidos alcalinos ( $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ) apresentaram baixos teores ( $< 1\%$ ). Deve-se destacar a presença em maiores teores dos óxidos alcalinos terrosos ( $\text{CaO}+\text{MgO}$ ), que ficou próximo dos 30%, e por fim, os óxidos de metais de transição da família 4B ( $\text{ZrO}_2+\text{HfO}_2+\text{TiO}_2$ ), que atingiram valores  $\sim 15\%$ . Elementos como o zircônio (Zr) geralmente são usados para opacificar os esmaltes.

Tabela 7 - Composição química (% em massa) da frita E.

Óxidos (%)	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{BaO}$	$\text{ZrO}_2+\text{HfO}_2$
Frita E	53,85	$< 0,05$	0,64	0,14	1,20	28,62	0,09	0,16	0,11	0,13	14,84

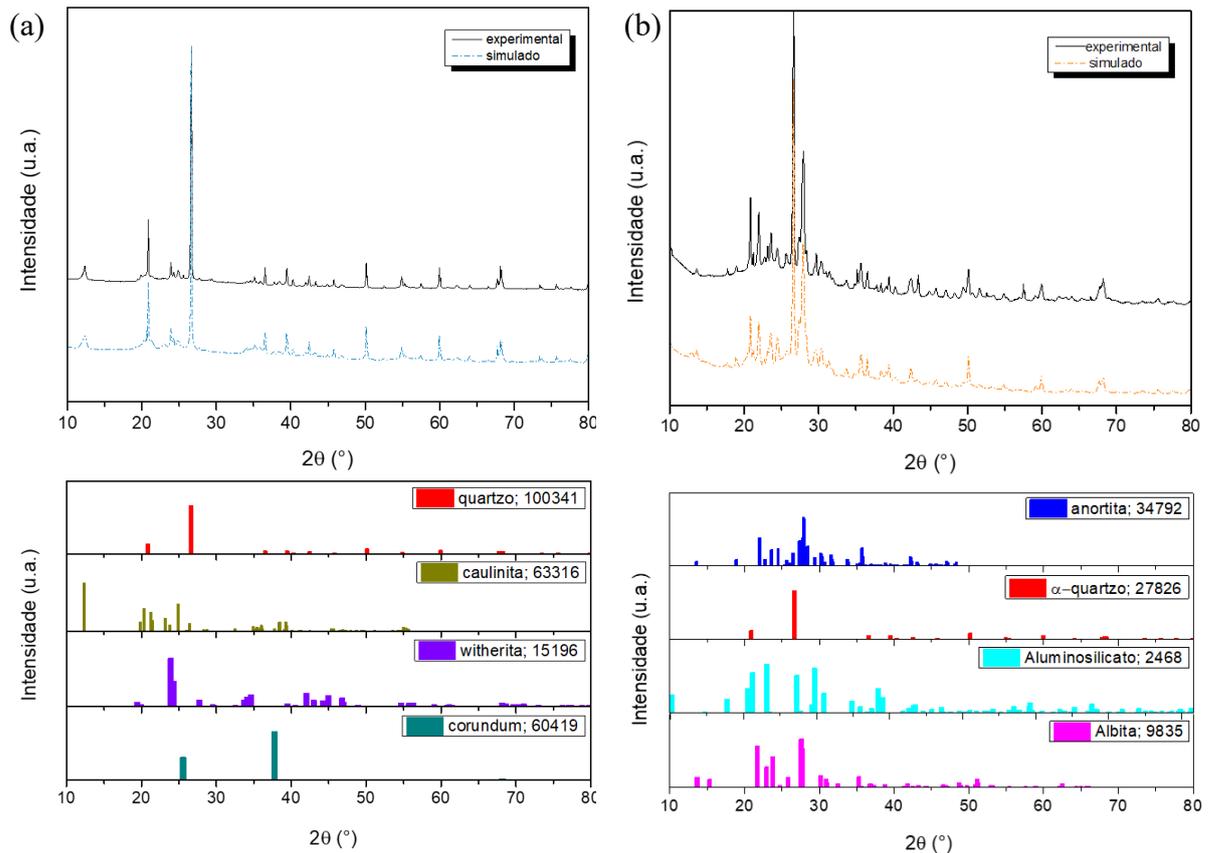
Fonte: Autor, 2019.

A Figura 9 mostra os difratogramas de raios X da massa translúcida a verde e após a queima e a Tabela 8 a quantificação por *Rietveld*. Na massa verde, picos de difração de raios X correspondentes às fases cristalinas de quartzo,  $\text{SiO}_2$  (ICSD-100341); caulinita,  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (ICSD-63316); carbonato de bário,  $\text{BaCO}_3$  (ICSD-15196) e coríndon,  $\text{Al}_2\text{O}_3-\alpha$  (ICSD-6419) foram identificados. Dentre as fases encontradas, a sílica e a caulinita apresentaram maiores teores, sendo esses comumente encontrados nas massas cerâmicas. O carbonato de bário é utilizado na composição de alguns tipos de vitrocerâmicas com características translúcidas (ARAUJO et al., 2015), e o coríndon em cerâmicas transparentes (BIN et al., 2010; LIU et al., 2014).

Verificou-se que não houve alteração significativa na fração cristalina e amorfa mesmo após o tratamento térmico, muito embora, constatou-se alterações na natureza das fases

crystalinas, onde novas fases surgiram após a queima, onde as fases cristalinas encontradas foram anortita  $(\text{Ca,Na})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$  (ICSD-34792), nefelina  $\text{KNa}_3\text{Al}_4$  (ICSD-2468); albita,  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (ICSD-9835) e sílica,  $\text{SiO}_2$  (ICSD-27826).

Figura 9 - Difratoograma de raios Xe quantificação por *Rietveld* da massa translúcida (STD), sendo(a) a verde e (b) sinterizada.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 8 - Quantificação por *Rietveld* das composições estudadas.

Massa translúcida (STD) a verde				
Fórmula química	Fase	ICDD (JCPDS)	ICSD	%
$\text{SiO}_2$	$\alpha$ -Quartzo	01-086-1560	100341	50,2
$\text{Al}_4(\text{OH})_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})$	Caulinita	01-080-0886	63316	39,9
$\text{Ba}(\text{CO}_3)$	Witherita	01-071-2394	15196	6,7
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Corundum	01-077-2135	60419	3,2
GOF*	5,9			
Massa translúcida (STD) sinterizada				
Fórmula química	Fase	ICDD (JCPDS)	ICSD	%
$\text{Ca}_{0,86}\text{Na}_{0,14}\text{Al}_{1,94}\text{Si}_{2,06}\text{O}_8$	Anortita	01-076-0832	34792	62
$\text{SiO}_2$	Quartzo	01-085-0794	27826	14,1
$\text{K}_{0,25}\text{Na}_6\text{Al}_{6,24}\text{Si}_{9,76}\text{O}_{32}$	Aluminosilicato de sódio-potássio	01-070-1260	2468	6,8
$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	Albita	01-071-1156	9835	17,1
GOF*	5,2			

\*GOF: *goodness-of-fit*, determina o índice de qualidade do refinamento.

Fonte: Autor, 2019.

A estrutura amorfa, ou também denominada estrutura vítrea, são formadas por arranjos atômicos aleatórios e sem simetria ou ordenação ao longo do alcance. É devido a essa não ordenação que os materiais sólidos amorfos possuem característica de transparência. Portanto, baseado nisso, observa-se que a massa translúcida possui  $\frac{3}{4}$  de sua estrutura com fração amorfa. A determinação da fração de fase cristalina e amorfa na amostra de massa translúcida padrão ocorreu via software, com a determinação/integração da área total e da área de background.

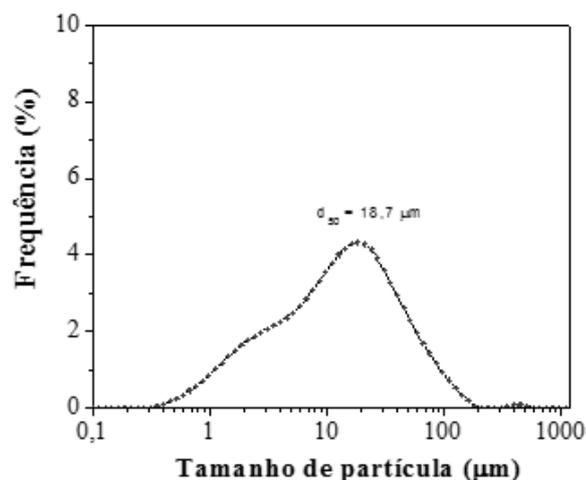
## 4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MORFOLÓGICA

Essa etapa do estudo apresenta os resultados das principais características físicas da massa cerâmica translúcida (STD), bem como as propriedades tecnológicas da massa de porcelanato padrão (P).

### 4.2.1 Determinação da distribuição dos tamanhos de partículas

A Figura 10 mostra a curva de distribuição de tamanhos de partículas para a massa translúcida (STD). O tamanho médio de partículas encontrado foi de  $18,7 \mu\text{m}$ , este valor está próximo ao que eventualmente é encontrado na literatura para massas para de porcelanatos cerâmicos, o tamanho médio de partículas está diretamente relacionado com o grau de empacotamento das massas durante o processo de conformação. (ALVES; MELCHIADES; BOSCHI, 2014; BAUCIA JR. et al., 2010; MENEZES; VARELA; VARELA, 2016).

Figura 10 - Análise do tamanho de partículas da massa translúcida (STD).



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.2 Densidade real

A Tabela 9 mostra os valores das medidas de densidade real da massa translúcida, obtidas por picnometria a gás hélio, os quais estão muito próximos dos encontrados na literatura (PRADO et al., 2012) para esse mesmo teste em massa de porcelanato, isto é, 2,7 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 9 - Densidade real por picnometria a gás hélio da massa translúcida (STD).

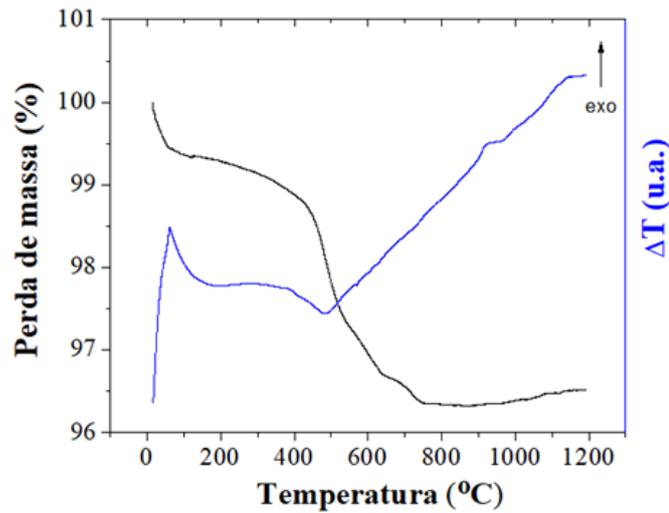
Amostras	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
1	3,62	2,73
2	3,62	2,73
3	3,62	2,73
4	3,62	2,73
5	3,61	2,74
<b>Média</b>	<b>3,61</b>	<b>2,73</b>

Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.3 Análise térmica

A Figura 11 mostra as curvas de análise térmica diferencial e termogravimétrica. Como pode ser observado até 200 °C, aproximadamente, ocorre uma perda de massa < 1% referente à eliminação de água adsorvida. O primeiro evento exotérmico ocorre abaixo de 200°C, correspondendo à evaporação da água fisicamente adsorvida nas partículas minerais (NIETO; ABAD; AZAÑÓN, 2008). A decomposição térmica na faixa de temperatura de ~300 a 800°C deveu-se principalmente à desidroxilação (liberação de grupos OH<sup>-</sup> estruturais) dos minerais (DE ALMEIDA AZZI et al., 2016; ESCALERA et al., 2014). O segundo pico, representado por um fenômeno endotérmico a 500 °C, está associado a perda ao fogo, que ocorre devido à desidroxilação da caulinita, em seguida ocorre a decomposição dos carbonatos, devido a presença do BaCO<sub>3</sub> na composição da massa translúcida padrão. Na temperatura de ~570 °C apresenta a ocorrência de um leve pico endotérmico, indicando a presença de quartzo e sua transformação estequiométrica (BARRETO; COSTA, 2017; GALÁN-ARBOLEDAS et al., 2017; SALAH et al., 2018). Entre 900 e 1000 °C ocorreu um pico exotérmico relativo à cristalização da anortita (BECKER et al., 2017; DE OLIVEIRA HENRIQUES et al., 2017; DE SOUSA; SALOMÃO; ARANTES, 2017; WANG et al., 2017).

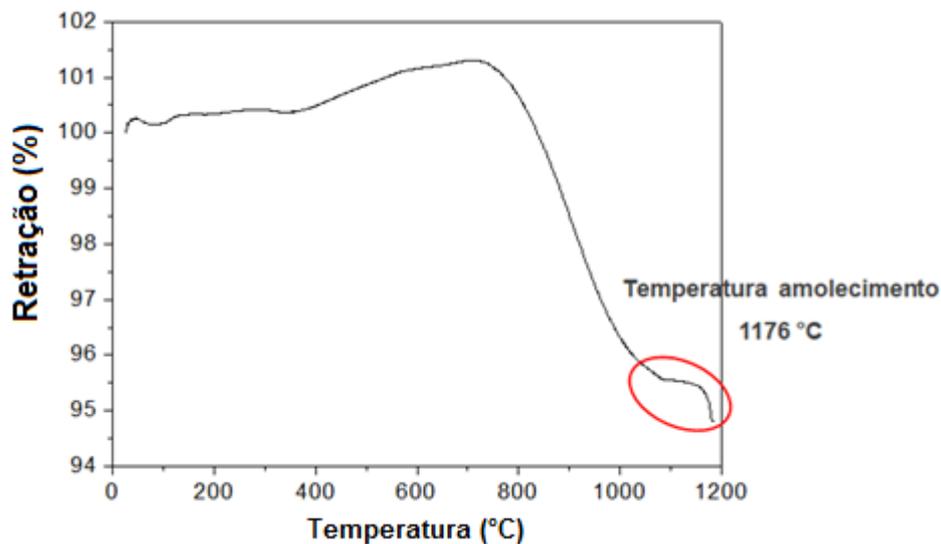
Figura 11 - Curvas de análise térmica (ATD/TG) da massa translúcida (STD).



Fonte: Autor, 2019.

Com intuito de analisar a variação dimensional da massa translúcida em função da temperatura, análises dilatométricas em dilatômetro ótico e de contato foram realizadas, como mostram as Figuras 12 e 13, respectivamente.

Figura 12 - Curva referente de dilatometria ótica da massa translúcida (STD).



Fonte: Autor, 2019.

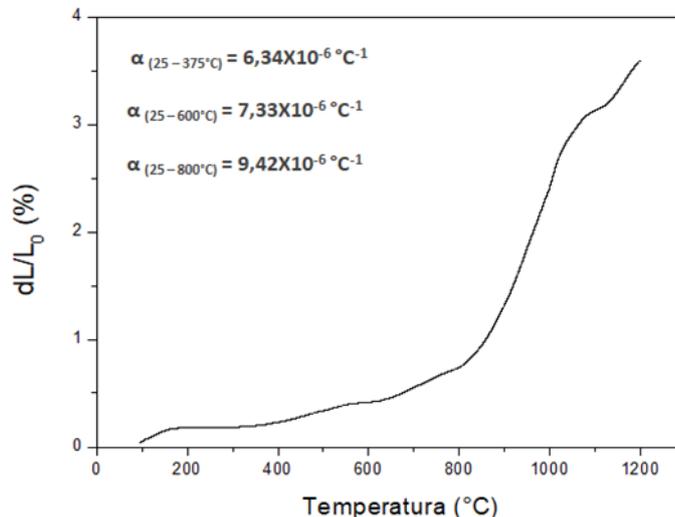
Percebe-se na curva dilatométrica que entre 200 e  $\sim 750$  °C a massa cerâmica translúcida apresenta uma expansão, justificado pelo coeficiente linear de expansão térmica em consequência da cristalização das fases cristalinas. Acredita-se que nesta faixa de temperatura ocorre eliminação da água de umidade e da água adsorvida em forma de gás, ocorre ainda um aumento de gás formado no interior da amostra devido a descarbonatação do  $\text{BaCO}_3$  e da

desidroxilação da caulinita. Este comportamento verificado nos materiais é causado pelo aumento na amplitude vibracional entre seus átomos à medida que se aumenta a temperatura. Observa-se entre 750 e 1100 °C um acentuado declínio na curva de dilatométrica, ou seja, uma brusca retração linear. Acredita-se que este comportamento pode estar relacionado com os óxidos provenientes dos carbonatos, que reagem com o quartzo livre formando silicatos e silício-aluminatos de cálcio e magnésio, diminuindo a quantidade de quartzo livre da massa e, conseqüentemente, a redução da expansão provocada pela transformação do quartzo  $\alpha$  em  $\beta$  (CARLOS et al., 2014).

Na Figura 13, a curva dilatométrica de contato da massa translúcida é mostrada até 1200 °C. Nele é observada uma dilatação inicial durante o aquecimento com uma leve inclinação até aproximadamente 400 °C. A inflexão observada é devida à secagem pela remoção de umidade. Subseqüentemente, a referida dilatação ocorre a uma velocidade mais alta entre 500 e 600 °C relacionada à mudança alotrópica de quartzo- $\alpha$  para quartzo- $\beta$ . A dilatação continua até cerca de 800 °C e a partir de então, aumenta drasticamente, até ~1050 °C. Entre 700 e 1000 °C várias reações ocorrem entre  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a partir da decomposição de minerais da argila e dos cátions presentes na argila (Mg, Ca, Fe) que explicam o aumento de volume (COTES et al., 2013). O gráfico também ilustra os valores dos coeficientes de dilatação térmica das amostras, calculados para o intervalo de temperaturas entre 25 e 325 °C, 25 e 600 °C e 25 e 800 °C.

O valor do coeficiente de dilatação térmica para a amassa translúcida padrão é muito próximo ao valor encontrado na literatura para a anortita ( $4,82 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ), uma vez que esta é a fase majoritária desta composição após a sinterização.

Figura 13-Curva referente à análise de dilatométrica de contato da massa translúcida (STD).



Fonte: Autor, 2019.

#### 4.2.4 Características tecnológicas das matérias-primas que compõe a massa de porcelanato padrão (P)

A Tabela 10 apresenta as características físicas dos corpos-de-prova oriundos das matérias-primas que constituem a massa de porcelanato técnico (P). Num primeiro momento, foi realizada a caracterização a seco, através da densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) e resistência mecânica à flexão (RMF). A densidade a seco apresenta o teor de empacotamento de uma determinada matéria-prima (COMIN, 2018). Com base nisso, observa-se que as argilas por apresentarem plasticidade e compactarem melhor obtiveram uma maior densidade aparente a seco, seguidas dos caulins e por fim os feldspatos, que são materiais arenosos e apresentam plasticidade nula quando caracterizados individualmente. Peças mais densas a seco tendem a apresentar melhor comportamento mecânico nessa mesma condição, e os valores apresentam melhor resistência nas peças com maior densidade. Essas propriedades são importantes para o manuseio das peças cruas (FRIZZO, 2018).

Para as características pós-queima das mesmas matérias-primas, como retração térmica linear de queima (RTLq), absorção de água (AA) e densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), a tabela apresenta que as matérias-primas que tiveram menor retração de queima tenderam a maiores valores de absorção de água, o que se caracterizam como refratárias, já as matérias-primas com maior retração de queima apresentam menores valores de absorção de água, se caracterizando como fundentes (PRADO et al., 2008).

Tabela 10 - Características físicas das matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P).

Matérias-primas	Características a seco		Queima (°C)	Características pós-queima		
	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )	RMF (MPa)		RTLq (%)	AA (%)	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Feldspato	1,544 ±0,0017	1,20 ±0,012	1088	13,34 ±0,026	0,89 ±0,012	2,340 ±0,0024
	1,669 ±0,0022	1,03 ±0,021	1163	11,50 ±0,016	0,50 ±0,036	2,396 ±0,0017
Caulim	1,724 ±0,0043	2,21 ±0,026	1245	8,13 ±0,012	8,97 ±0,016	2,085 ±0,0026
	1,803 ±0,0029	3,15 ±0,021	1220	4,00 ±0,024	10,70 ±0,024	2,014 ±0,0019
Argila	1,903 ±0,0024	4,31 ±0,041	1205	7,91 ±0,023	0,18 ±0,024	2,496 ±0,0023
	1,976 ±0,0028	3,80 ±0,026	1220	3,77 ±0,018	9,73 ±0,033	2,083 ±0,0024
	1,886 ±0,0026	3,35 ±0,022	1173	9,02 ±0,022	0,43 ±0,012	2,412 ±0,0020

Fonte: Autor, 2019.

A correlação entre retração de queima e absorção de água está na formação de fase líquida durante o tratamento térmico, onde materiais mais fundentes tendem a ocupar os poros da peça e assim maior preenchimento do interior do corpo cerâmico, resultando em maior retração e menor absorção de água; com isso, peças mais densas (JUNG et al., 2012; LUZ; RIBEIRO, 2005).

#### 4.2.4.1 Análise colorimétrica

Através da análise colorimétrica (Tabela 11) é possível identificar quais matérias-primas podem influenciar para uma perda da coloração branca da massa final. Segundo o sistema Cielab, quando maior forem os valores de \*L, mais branca é a amostra; desta forma, quanto maior o teor de matérias-primas com elevado \*L, mais branca será a massa final.

É possível observar que os caulins são responsáveis pelos maiores gradientes da coloração branca, com teores de \*L > 90; ainda para esse parâmetro, os feldspatos e as argilas obtiveram números entre 73 e 83. As argilas obtiveram valores de \*b > 9,90, o que são atribuídos à coloração amarela, geralmente remetidos à presença de ferro, elemento encontrado em teores mais expressivos nas argilas, quando comparado às demais matérias-primas.

Tabela 11 - Análise colorimétrica das matérias-primas constituintes da massa de porcelanato padrão (P).

Matérias-Primas	Parâmetros Colorimétricos			Translucidez
	*L	*a	*b	
Feldspato	73,18	4,71	8,73	NÃO
	83,00	-1,50	7,10	SIM
Caulim	91,09	0,67	6,03	NÃO
	97,05	0,29	3,18	NÃO
Argila	80,90	2,20	9,90	NÃO
	82,09	3,35	18,37	NÃO
	79,12	1,65	10,37	NÃO

Fonte: Autor, 2019.

### 4.3 FORMULAÇÕES

Para a primeira bateria de testes, as formulações variaram de 10 a 30% das fritas A, B e C na massa padrão de porcelanato (P), cujos resultados podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 - Caracterização da massa de cerâmica translúcida (STD), massa padrão de porcelanato e formulações com as fritas A, B e C.

Código	Retração (%)	Absorção de água (%)	Parâmetros Colorimétricos				Temperatura de queima (°C)	Translucidez
			*L	*a	*b	ΔE		
STD	7,80 ±0,020	0,02 ±0,008	90,62	-0,15	3,12	Ref.	1185	SIM
P	8,60 ±0,028	0,08 ±0,005	80,16	1,90	7,82	11,65	1185	NÃO
A 01	7,60 ±0,012	0,02 ±0,012	81,70	1,56	7,53	10,10	1185	NÃO
A 02	5,20 ±0,017	0,03 ±0,010	83,82	1,42	7,23	8,10	1185	NÃO
A 03	4,10 ±0,012	0,03 ±0,008	84,81	1,06	7,31	7,26	1185	NÃO
B 01	8,50 ±0,020	0,03 ±0,009	81,58	1,51	7,51	10,19	1185	NÃO
B 02	6,00 ±0,016	0,04 ±0,011	83,41	1,18	7,59	8,59	1185	NÃO
B 03	5,00 ±0,021	0,08 ±0,014	84,58	0,95	7,80	7,72	1185	NÃO
C 01	6,80 ±0,024	0,16 ±0,005	80,82	1,68	10,48	12,39	1185	NÃO
C 02	7,90 ±0,014	0,08 ±0,008	81,07	1,11	10,80	12,32	1185	SIM
C 03	8,30 ±0,026	0,00 ±0,001	83,90	0,50	8,38	8,56	1185	Levemente

Fonte: Autor, 2019.

Ao todo, foram investigadas nove formulações e a massa padrão de porcelanato (P), onde nenhuma delas atingiu o grau de translucidez desejado. A formulação C02 apresentou um teor de translucidez muito próximo a amostra padrão, porém os valores de \*L no ensaio colorimétrico, apresentaram valores abaixo da amostra padrão (STD) o que acabou escurecendo a massa, descaracterizando a mesma. Já a formulação C03 apresentou um leve grau de translucidez, porém também apresentou uma coloração muito escura quando comparada com a amostra padrão (STD). Muito embora a frita C apresente resultados que podem ser explorados, a adição de teores acima de 20% desse material poderia fundir durante a queima, deixando a massa opaca, prejudicando a translucidez.

Com isso, uma segunda bateria de testes foi efetuada, onde as formulações variaram de 20 a 50% das fritas/granilhas D, E e F incorporadas a massa padrão de porcelanato (P), cujos resultados são apresentados na Tabela 13.

As amostras com granilha (F) apresentaram maior translucidez quando comparadas com as amostras com frita, porém esse material proporcionou uma coloração muito escura para a peça após-queima e como uma das principais características do porcelanato translúcido é a coloração branca estas amostras foram descartadas.

Os resultados com as duas fritas (D e E) na composição 04 (50%) foram as que apresentaram os melhores resultados de translucidez, se aproximando da amostra padrão (STD), porém esta composição se apresentou como fundente, ocasionando a deformação da peça durante a queima, o que necessitou a reprodução dos testes com a introdução de materiais que inibissem a fundência da massa, como quartzo e coríndon. A frita E, que apresentou menor deformação, foi utilizada em uma nova bateria de testes, em duas novas formulações.

Tabela 13 - Caracterização da massa de cerâmica translúcida (STD) e formulações com as fritas D, E e F.

Código	Retração (%)	Absorção de água(%)	Parâmetros Colorimétricos				Temperatura de queima (°C)	Translucidez
			*L	*a	*b	ΔE		
STD	7,80 ±0,021	0,02 ±0,016	90,62	-0,15	3,12	Ref.	1185	SIM
D01	8,60 ±0,012	0,08 ±0,010	89,78	-0,27	5,56	2,58	1185	NÃO
D02	7,60 ±0,022	0,02 ±0,012	89,16	-0,20	4,44	1,96	1185	NÃO
D03	5,20 ±0,017	0,03 ±0,008	89,06	-0,10	4,06	1,82	1185	NÃO
D04	4,10 ±0,024	0,03 ±0,012	88,45	0,02	4,00	2,35	1185	SIM
E01	8,20 ±0,021	0,02 ±0,010	91,14	-0,19	4,04	1,05	1185	NÃO
E02	8,00 ±0,020	0,05 ±0,016	90,88	-0,13	3,96	0,88	1185	NÃO
E03	8,00 ±0,015	0,02 ±0,015	90,40	-0,05	3,88	0,80	1185	SIM
E04	7,60 ±0,018	0,02 ±0,012	89,12	0,00	3,76	1,64	1185	SIM
F01	5,00 ±0,022	8,62 ±0,017	87,48	0,00	2,34	3,23	1185	NÃO
F02	6,80 ±0,025	1,88 ±0,015	85,56	0,03	2,57	5,09	1185	SIM
F03	8,30 ±0,017	0,05 ±0,009	80,14	0,08	3,17	10,48	1185	SIM
F04	8,30 ±0,022	0,00 ±0,000	78,79	0,13	4,56	11,92	1185	SIM

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 14 apresenta os resultados para o teste com a frita E na massa de porcelanato, com a incorporação de quartzo e coríndon, onde pode-se observar que ambos os materiais contribuíram para reduzir a fundência da massa após a queima, porém, a amostra E06 apresentou um teor de translucidez maior quando analisada visualmente, desta forma esta foi escolhida como melhor resultado. Com isso, foi encaminhada à realização dos ensaios físicos.

Tabela 14 - Caracterização da massa de cerâmica translúcida (STD) e formulação 04 com a frita E.

Código	Retração (%)	Absorção de água (%)	Parâmetros Colorimétricos				Temperatura de queima (°C)	Translucidez
			*L	*a	*b	ΔE		
STD	7,80± 0,023	0,02± 0,012	90,62	-0,15	3,12	Ref.	1185	OK
E05	6,80± 0,019	0,04± 0,012	88,93	-0,18	4,90	2,45	1185	OK
E06	8,05± 0,028	0,02± 0,015	89,03	-0,05	5,14	2,57	1185	OK

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 15 apresenta os resultados para os testes físicos da massa cerâmica translúcida (STD) e da Formulação E06, onde observa-se que a massa desenvolvida atende os requisitos técnicos quando comparados a massa STD.

Das características a seco do material, o produto desenvolvido resultou em uma peça mais densa e resistente, muito embora os valores envolvidos foram pouco relevantes. Dentre as características pós-queima, E06 apresentou absorção inferior e maior resistência mecânica, resultados por uma maior densificação durante o processo de sinterização.

Tabela 15 - Características físicas da massa de cerâmica translúcida (STD) e da Formulação E06.

	Características a seco		Características pós-queima				Resistência ao Manchamento
	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )	RMF (MPa)	RTLq (%)	AA (%)	RMF (MPa)	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )	
STD	1,719 ± 0,002	0,82 ± 0,017	7,80 ± 0,026	0,03 ± 0,008	2,47 ± 0,004	2,103 ± 0,002	Manchou
E06	1,817 ± 0,002	1,26 ± 0,021	8,05 ± 0,022	0,02 ± 0,010	3,17 ± 0,008	2,373 ± 0,004	Não Manchou

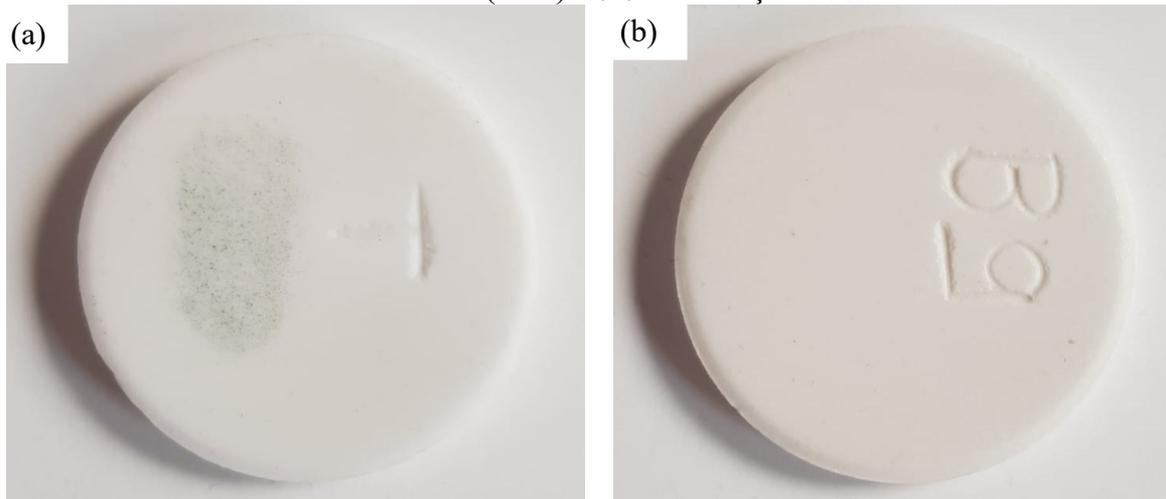
Fonte: Autor, 2019.

Dentre os valores mais expressivos, destacam-se a resistência ao manchamento, onde a peça desenvolvida a partir da formulação E06 não foi afetada no teste, ao contrário de STD que sofreu manchamento, como observa-se na Figura 14.

A Tabela 16 mostra a composição química analisada, comparando a massa cerâmica translúcida (STD), a massa padrão de porcelanato (P) e a formulação E06, onde é possível observar que a presença dos óxidos formadores de rede (SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) totalizam > 80% da composição química da massa em STD e P. Devido ao baixo teor desses óxidos na composição química da Frita E, a formulação E06 apresentou teor próximo a 70%. A alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) é

usada na produção de alguns materiais transparentes para aplicações balísticas (KRELL; HUTZLER; KLIMKE, 2005). Estas aluminas são sinterizadas, geralmente, a temperaturas maiores que 1700 °C (MAO et al., 2008; WEI; RHODES; SYLVANIA, 2000).

Figura 14 -Foto demonstrando o resultado do ensaio de manchamento na (a) massa translúcida (STD) e (b) Formulação E06.



Fonte: Autor, 2019.

Tabela 16 - Composição química (% em massa) de STD, P e E06.

Óxidos (%)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	P.F.
<b>STD</b>	60,10	0,05	20,17	0,10	0,74	6,06	5,20	1,03	0,09	1,13	0,07	-	4,00
<b>P</b>	59,12	0,06	19,92	0,10	0,83	5,98	5,98	5,08	0,08	1,16	0,04	0,09	5,00
<b>E06</b>	62,10	0,13	9,16	0,23	0,73	13,65	13,65	1,73	0,04	0,12	0,05	6,30	4,00

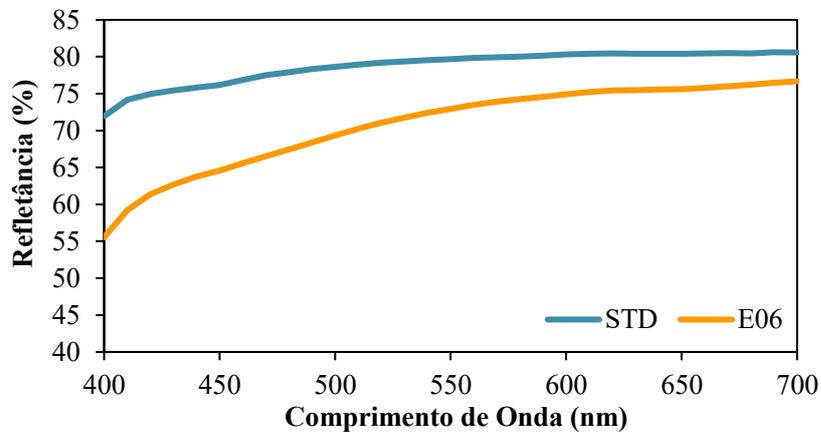
P.F. Perda ao fogo

Fonte: Autor, 2019.

A presença dos óxidos alcalinos (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) e alcalinos terrosos (CaO+MgO) representaram cerca de 13% do total de óxidos presentes para STD, chegando a 17% para P e chegando a quase 30% para a E06. Esses óxidos são fundentes, e tendem a ter funções de estabilidade a ataques de agentes atmosféricos e aumento da resistência a mudanças bruscas de temperatura (ZACCARON et al., 2016). Observou-se baixos níveis de óxidos cromóforos (principalmente Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub>) em todas as formulações, ficando < 1%. Muito embora esses óxidos são responsáveis pela coloração das peças durante a queima, existem estudos utilizando TiO<sub>2</sub> como aditivo na fabricação de lentes cerâmicas (PEUCHERT et al., 2009). Foi observado a presença de zircônio (ZrO<sub>2</sub>) com 6,30%. Na cerâmica esse óxido deixa o material cerâmico com resistência muito alta à propagação de fendas e também apresenta uma expansão térmica muito elevada.

Os espectros de refletância difusa para as amostras estudadas são apresentados na Figura 15, enquanto os resultados da análise cromática usando o espaço de cores CIELab para a investigação da transmitância estão integrados na Tabela 17. O gráfico da Figura 15 permite identificar qualitativamente a influência dos fenômenos de absorção e espalhamento nas amostras estudadas dentro da faixa de comprimento de 400 a 700 nm (espectro visível), onde existe grande semelhança no modelo espectral com refletâncias em torno de 15% maior para STD na faixa inicial (400 nm) e E06 se aproximando a padrão ao longo do comprimento de onda, ficando <5% na faixa final investigada (700 nm).

Figura 15 - Espectros de refletância difusa das amostras estudadas.



Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 17 mostra as coordenadas cromáticas no CIELab, e a razão de contraste (CR) das amostras em estudo.

Tabela 17- Avaliação dos parâmetros colorimétricos e razão de contraste da massa cerâmica translúcida (STD) e da Formulação E06, a utilizando os iluminantes D65, A e CWF.

	Amostra	Fundo	L*	a*	b*	CR	Opacidade (%)
D65	STD	Branco	91,4442	-0,2499	2,3982	1,001	100
		Preto	91,4884	-0,2544	2,2698		100
	E06	Branco	88,1102	0,1308	6,6681	1,003	100
		Preto	88,2394	0,1111	6,3130		100
A	STD	Branco	91,5847	0,3982	2,4194	1,000	100
		Preto	91,6194	0,3584	2,2858		100
	E06	Branco	88,5839	1,6921	6,9732	1,003	100
		Preto	88,6874	1,5936	6,6022		100
CWF	STD	Branco	91,5453	-0,1726	2,7237	1,001	100
		Preto	91,5835	-0,1741	2,5781		100
	E06	Branco	88,4652	0,0380	7,5760	1,003	100
		Preto	88,5754	0,0248	7,1734		100

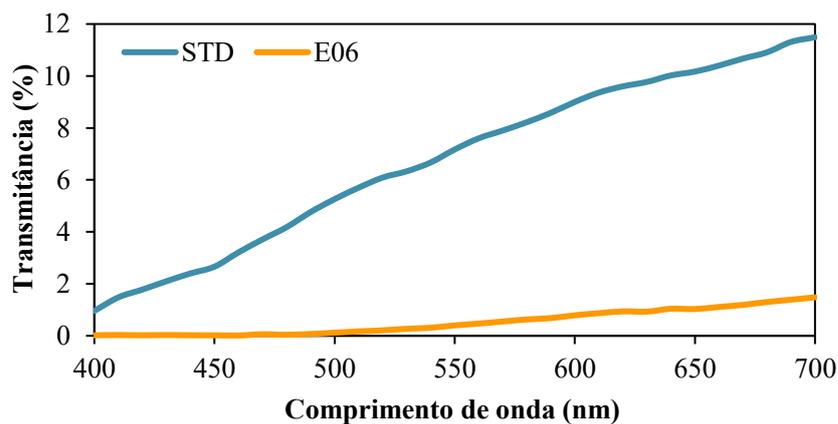
CR: Razão de contraste

Fonte: Autor, 2019.

Em geral, as amostras estão no mesmo quadrante: luminosidade significativa ( $L^* > 88$ ), com uma tendência quase imperceptível para verde ( $-a^*$ ) para STD em D65 e CWF, vermelho ( $+a^*$ ), às demais e amarelo ( $+b^*$ ); em nenhum caso são observadas condições acromáticas ( $a^*=0$ ;  $b^*=0$ ). De acordo com essas tendências, fica claro que são brancos quentes (com um leve tom de amarelo) e não brancos frios (com um leve tom de azul). Por outro lado, essas nuances foram pouco significativas, uma vez que todas estavam abaixo de 10, em uma escala de 0 a 100. Já os valores para a razão de contraste (CR) apresentados ficaram todos marginalmente iguais (1,00), mostrando que transmissão de luz é semelhante em ambas as amostras, pode-se afirmar que tanto a amostra STD quanto a amostra E06 apresentam o mesmo grau de opacidade, isto porque a razão de contraste é o parâmetro que possibilita a análise da opacidade das amostras e quanto mais próximo de 1,00 mais opaca a amostra será.

A transmitância é a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria. É um fenômeno relacionado diretamente à absorbância. Consiste na passagem inalterada de radiação pela matéria, ocasionada pela saturação dessa energia. Quanto maior a transmitância na faixa de comprimento de onda da luz visível (380-760 nm) caracteriza-se transparência do material (SOUZA et al., 2014b). O gráfico da Figura 16 apresenta o comportamento para o teste de transmitância das amostras estudadas.

Figura 16 - Transmitância em função do comprimento da onda das amostras estudadas.



Fonte: Autor, 2019.

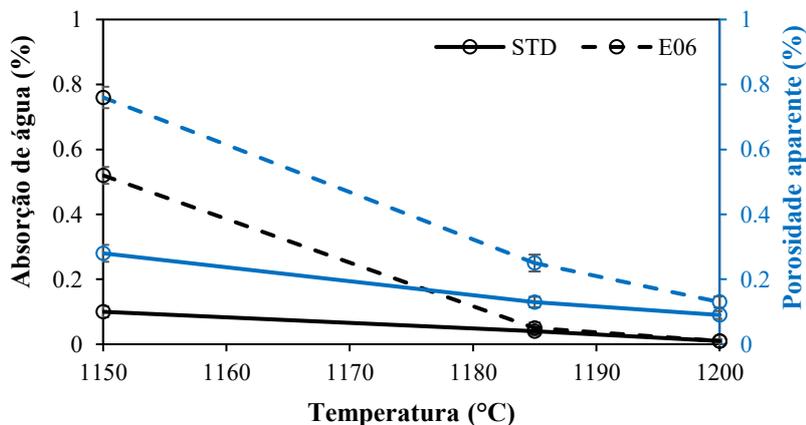
Para os valores avaliados de transmitância observou-se que E06 apresentou menor translucidez, que pode estar relacionada com a maior porosidade desta composição, ficando aproximadamente em 2% e a amostra STD obteve teores em até ~12%. Analisando os resultados da figura 16 observa-se que tanto a amostra padrão quanto a formulação desenvolvida apresentaram uma certa quantidade de luz transmitida através de sua espessura, o

que os caracterizam como um material translúcido. Ressalta-se que os resultados podem ter sofrido interferência devido a planaridade das amostras, a formulação E06 apresentou um excesso de fundência na temperatura de queima analisada, muito provavelmente ocasionado pela introdução da frita como fundente translúcido, este excesso de fundência ocasionou uma variação superficial da amostra o que pode não apresentar confiabilidade nos resultados, já que o equipamento faz as medições por contato com a superfície do material. Outro fator que foi levado em consideração, é que devido essa variação de planaridade na amostra, houve uma variação na sua espessura, e a transmitância é afetada exponencialmente pela espessura do material (Lei de Beer Lambert), desta forma os resultados podem ter sofrido influencia desta variação.

A Figura 17 apresenta o ensaio de porosidade aparente e absorção de água realizado nas amostras STD e E06 em três temperaturas (1150°C, 1185°C, 1200°C), com intuito de se avaliar o comportamento ao longo do processo de queima. É possível observar que a absorção de água (A.A.) de STD teve uma variação de 0,1% dentro dos 50 °C investigado, já E06 ficou entorno de 0,9%. Porém, ressalta-se que em 1185 °C, temperatura usada para realização dos testes, ambas amostras estão marginalmente com mesmos teores.

A avaliação da porosidade aparente (P.A.) ilustra um comportamento similar a absorção de água, tendo em vista que essas duas propriedades estão ligadas diretamente. Porém, para esse caso, a estabilidade dos teores acontece após 1200 °C, ficando a 1185 °C com uma diferença de aproximadamente 0,13%.

Figura 17 - Análise da porosidade *versus* absorção de água a três temperaturas, de STD e E06.



Fonte: Autor, 2019.

Relacionando estes resultados com o ensaio de manchamento, mesmo com uma porosidade aparente menor a amostra STD manchou em contato com óxido de cromo verde

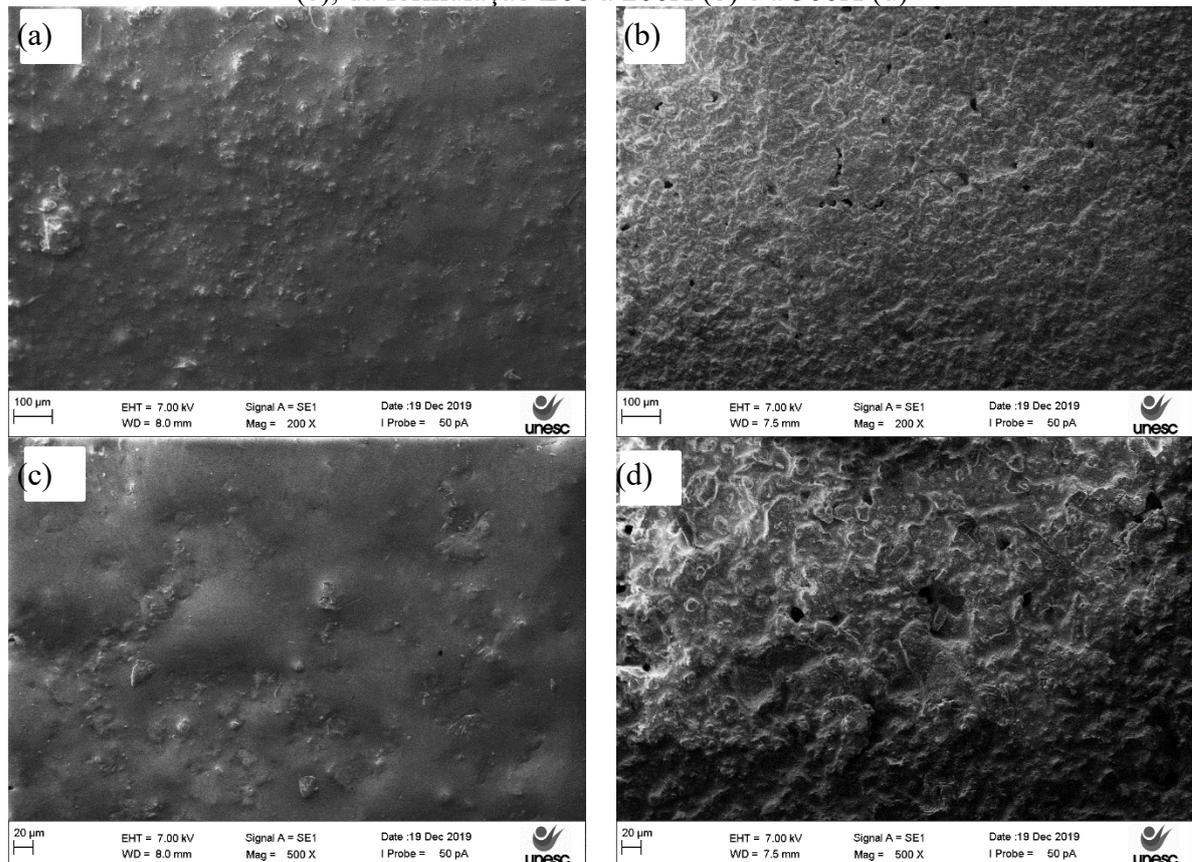
pois a sua superfície após a queima apresentava-se visualmente mais rugosa e áspera, enquanto a formulação E06 apresentou uma superfície mais lisa devido a introdução da frita, desta forma a superfície rugosa da amostra STD facilitou a impregnação do agente manchante, levando-se em consideração que o manchamento depende do tamanho de poros.

A Figura 18 apresenta a avaliação microestrutural das amostras STD e E06, obtida por MEV a 200 e 500 X, com intuito de se analisar a porosidade das peças. É possível observar que STD apresenta maior uniformidade após a sinterização, onde comparado a formulação E06, que possui poros em toda a extensão da análise.

O aumento da porosidade na formulação E06 está relacionada com a introdução da frita como fundente translúcido, a frita possui elevada tensão superficial em relação a massa cerâmica, causando uma baixa molhabilidade, desta forma parte da frita aflora para a superfície durante a etapa de queima causando um selamento da mesma e deixando a amostra com a superfície mais lisa e brilhante, e o interior com porosidade fechada. Fritas com alto teor de CaO também contribuem para o aumento da porosidade, durante a etapa de desgaseificação o CaO pode criar bolhas no interior do material que se não conseguirem migrar até a superfície e sair do interior do material acabam formando poros, se a frita apresentar uma fundencia em demasia, quando exposta a temperatura máxima de queima por muito tempo irá gerar bolhas de ar no interior do material gerando também porosidade fechada.

É importante ressaltar que a porosidade interfere diretamente em demais propriedades do material cerâmico, sendo a translucidez uma delas, uma vez que os poros atuam como espalhadores de luz, portanto um material menos poroso resulta na característica translúcida (GENOVA, 1993).

Figura 18 - Micrografia (MEV) da massa cerâmica translúcida (STD) a 200X (a) e a 500X (c), da formulação E06 a 200X (b) e a 500X (d)



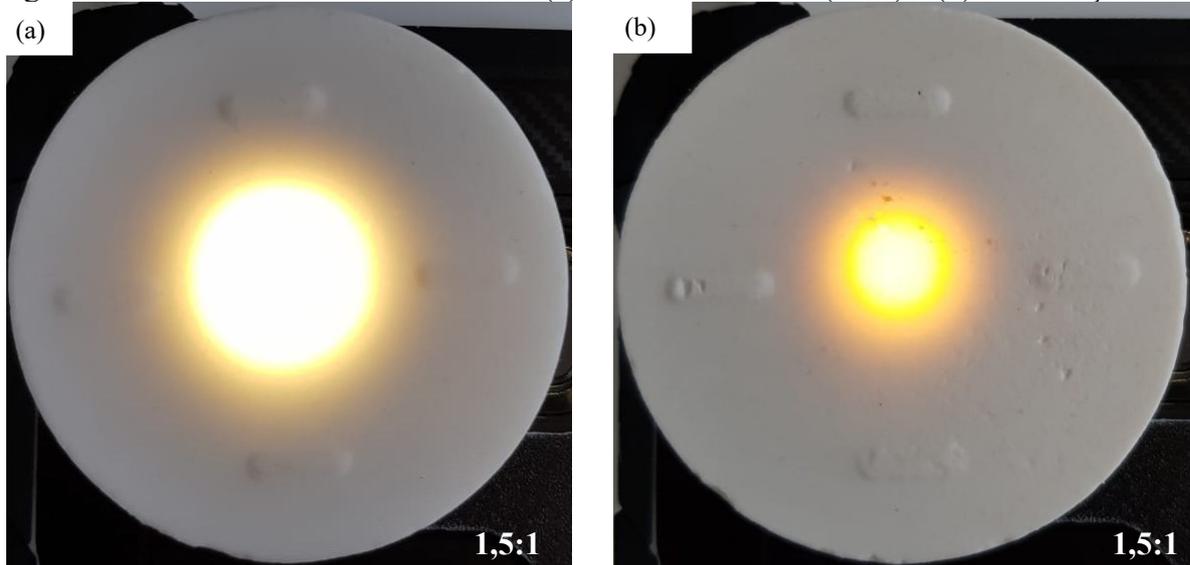
Fonte: Autor, 2019.

A Figura 19 mostra uma imagem com uma luz incidindo sobre as peças estudadas, a fim de avaliar visualmente a translucidez das amostras. É possível observar que a massa translúcida (Figura 19.a) apresentou maior incidência da luz, muito embora a Formulação E06 (Figura 19.b) tenha atingido um certo grau de translucidez.

A formulação E06 atende as condições de uma massa cerâmica translúcida com características técnicas de porcelanato como apresentado na Tabela 15, isto possibilita a sua utilização em diversos segmentos de mercado, principalmente quando levado em consideração o ensaio de manchamento e resistência mecânica a queimado, enquanto a massa padrão se restringe ao uso em paredes e superfícies isentas de agentes manchantes a formulação desenvolvida pode ser utilizada em ambientes internos e externos, parede e piso e em superfícies com elevado grau de manchamento, como bancadas de cozinhas e banheiro. Além da utilização deste produto para projetos estruturais eles ainda podem ser empregados em elementos de decoração como cabeceiras de cama e luminárias.

Quando comparado com os mármore translúcidos a grande vantagem deste porcelanato translúcido está na não geração de pó de pedra quando as peças são cortadas, o que diminui os índices de poluição ambiental e geração de resíduos.

Figura 19 - Foto com incidência de luz na (a) massa translúcida (STD) e (b) Formulação E06.



Fonte: Autor, 2019.

Além dos resultados técnicos obtidos, relacionados a produção de um novo material cerâmico translúcido a partir de uma massa de porcelanato com a adição de fritas como agente amorfo, convém salientar também os aspectos econômico-financeiros relacionados. Em uma análise sobre a produção por kg, verificou-se uma redução de R\$ 6,11 para R\$ 1,67, ou seja, uma economia de R\$ 4,44 por kg produzido, o que reflete a um produto 72,66 % mais barato ao tradicional. Levando a uma escala industrial, a redução se torna significativa, onde no processamento de 1 ton da massa cerâmica tradicional (R\$ 6.611,00) se torna superior que no consumo de 3,6 ton da formulação desenvolvida (R\$ R\$ 6.012,00), mostrando que E06 quase quadriplica a produção.

## CONCLUSÃO

A partir da utilização de uma massa padrão de porcelanato técnico e utilizando materiais vítreos como agente formador de translucidez, foram realizadas diferentes formulações com intuito de investigar as propriedades óticas a fim de se encontrar uma formulação que atenda as características de uma massa translúcida. Com base nos resultados obtidos, apresenta-se a seguir as seguintes considerações:

- A análise química (FRX) das amostras de massa cerâmica translúcida (STD) e massa cerâmica de porcelanato técnico (P) mostraram ser bastante similares entre esses dois materiais, apenas havendo uma diferença entre o óxido de potássio ( $K_2O$ ) de 4%. Já a formulação que obteve maior translucidez E06, apresentou um teor dos óxidos alcalinos e alcalinos terrosos de praticamente o dobro a mais que STD e P, destacando o aumento de óxido de sódio ( $Na_2O$ ), óxido de cálcio ( $CaO$ ) e dióxido de zircônio ( $ZrO_2$ ), muito devido ao fato da incorporação da frita;
- A massa cerâmica translúcida (STD) foi caracterizada quanto sua mineralogia (DRX), e apresentou uma fração amorfa superior a 75%, e com base nessa informação, as formulações foram desenvolvidas, porém, com teores de agentes formadores de translucidez abaixo de 50% incorporados, devido ao fato que fritas em excesso podem ocasionar problemas quanto a deformação pirolástica da peça. Foi observado que as amostras com 50% de fritas incorporadas obtiveram melhores propriedades óticas (em comparação às demais formulações), porém sofreram com problemas de deformação plástica após a queima, e com isso, foi adicionado quartzo e coríndon para a estabilidade dimensional;
- Para trabalhos futuros é essencial realizar a análise de DRX da formulação E06 a fim de quantificar as fases cristalinas formadas após a sinterização e correlacionar estas fases com o percentual de transmitância;
- Dentro dos ensaios tecnológicos, verificou-se que tanto a verde quanto pós-queima, as peças apresentaram propriedades físico-mecânicas bastante similares, tendo valores marginalmente muito próximos, concluindo que a formulação desenvolvida consegue atender as especificações alcançadas pela formulação STD;
- Destaca-se no ensaio de manchamento, onde a formulação desenvolvida não foi afetada pelo óxido de cromo, utilizado como agente manchante no teste, ao contrário de STD que foi susceptível, concluindo que para esse ensaio E06 se saiu superior a massa cerâmica translúcida;

- Verificou-se através da avaliação do parâmetro de transmitância e razão de contraste, que a formulação desenvolvida apresentou um teor de transparência 25% maior que a padrão estudada, com uma transmissão de luz igual entre si. A espectrofotometria de reflexão difusa utilizada no presente estudo investigativa analisa mais precisamente as propriedades óticas de translucidez e opacidade das amostras que a simples comparação visual;
- Em uma análise econômico-financeira, verificou-se que a produção por Kg produzida da formulação desenvolvida (E06) é ~3,5 vezes mais barata que a massa cerâmica translúcida;
- A análise microestrutural apresentou que E06 apresenta maior porosidade aparente, o que fica evidenciado no MEV. Com base nisso, é importante ressaltar que a porosidade é um agente espalhador de luminosidade no interior do corpo cerâmico, interferindo negativamente nas características translúcidas do material desenvolvido.

Por fim, conclui-se que é possível desenvolver um novo material translúcido a partir da formulação de porcelanato com a incorporação de fritas, e que atenda as características de absorção de água inferior a 0,5%, e tenha propriedades que permita a produção em escala industrial.

## REFERÊNCIAS

- ABAJO, M. F. **Manual sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos**. Terrassa, España: Beralmar SA, 2000.
- ABC. **Anuário Brasileiro de Cerâmica**. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Cerâmica, 1979.
- ABCERAM. **Informações técnicas - Definição e classificação**. Disponível em: <[www.abceram.org.br/definicao-e-classificacao](http://www.abceram.org.br/definicao-e-classificacao)>. Acesso em: 20 ago. 2019.
- ABNT. **NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997a.
- ABNT. **NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento - Classificação**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997b.
- ABNT. **NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento - Especificações e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997c.
- ALVAREZ, J. A. S. **Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano**. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. **Anais...**Lisboa - Portugal: APFAC, 2007
- ALVES, H. J.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Microestrutura Porosa do Porcelanato Polido - Parte 1: Efeito do Tamanho de Partículas da Massa sobre o Mancharmento. **Cerâmica Industrial**, v. 18, n. 2, p. 26–31, 2014.
- AMORÓS, J. L. et al. Evolution of the mechanical strength of industrially dried ceramic tiles during storage. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 23, p. 1839–1845, 2003.
- ANFACER. **História da Cerâmica**. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/historia-ceramica>>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- ANFACER. **Setor cerâmico: Panorama mundial**. Disponível em: <<https://www.anfacer.org.br/mundial>>. Acesso em: 10 ago. 2019.
- ARAUJO, M. C. C. et al. Materials Characterization Residual glass and crystalline phases in a barium disilicate glass – ceramic. **Materials Characterization**, v. 110, p. 192–196, 2015.
- BANNIER, E. et al. Delayed curvature and residual stresses in porcelain tiles. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 33, p. 493–501, 2013.
- BARALDI, L. World production and consumption of ceramic tiles. **Tile International**, v. 3, p. 42–49, 2017.
- BARRETO, I. A. R.; COSTA, M. L. DA. Sintering of red ceramics from yellow

Amazonian latosols incorporated with illitic and gibbsitic clay. **Applied Clay Science**, v. 152, p. 124–130, 2017.

BARSOUM, M. W. **Fundamentals of Ceramics**. New York, NY, USA: Ed. Taylor & Francis Group LLC, 2003.

BAUCIA JR., J. A. et al. Estudo de fundentes alternativos para uso em formulações de porcelanato. **Cerâmica**, v. 56, p. 262–272, 2010.

BECKER, E. et al. Use of mechanically-activated kaolin to replace ball clay in engobe for a ceramic tile. **Cerâmica**, v. 63, n. 367, p. 295–302, 2017.

BENITEZ, T. et al. Transparent ceramic and glass-ceramic materials for armor applications. **Ceramics International**, v. 43, n. 16, p. 13031–13046, 2017.

BENVINDO DA LUZ, A.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2005.

BENVINDO DA LUZ, A.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e especificações**. 2<sup>a</sup> Ed. ed. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2008.

BIASINI, V. et al. Effect of talc and chlorite on sintering and technological behaviour of porcelain stoneware tiles. **Silicates Industriels**, v. 68, n. 5–6, p. 67–73, 2003.

BIFFI, G. **Il gres porcellanato. Manuale di fabbricazione e tecniche di impiego**. Faenza, Italia: Faenza editrice, 1997.

BIFFI, G. **O grês porcelanato: manual de fabricação e técnicas de emprego**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo, SP: Faenza Editrice do Brasil Ltda, 2002.

BIN, Z. et al. The fluorescence and thermoluminescence characteristics of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C ceramics. **Chin. Phys. B**, v. 19, n. 7, p. 077805: 1–4, 2010.

BORGES, B. D. **Revestimento cerâmico translúcido inspirado no cobogó**. Criciúma, SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, 2015.

BOSCHI, A. O. Uma Análise Crítica do Setor de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 2, p. 8–13, 2002.

BOVEA, M. D. et al. Environmental performance of ceramic tiles: Improvement proposals. **Materials and Design**, v. 31, n. 1, p. 35–41, 2010.

BRANDÃO, A. J. DE S.; GUERREIRO, C. C.; CORREIA, L. S. A Cerâmica Marajoara: Leituras e releituras imagéticas na Amazônia brasileira. **Revista Litteris**, v. 14, p. 1–25, 2014.

BUSTAMANTE, G. M.; BRESSIANI, J. C. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**, v. 5, n. 3, p. 31–36, 2000.

CAMPBELL, J. W. P.; PRYCE, W. **Brick: A World History**. 2nd. Ed. ed. [s.l.]

Thames & Hudson, 2003.

CANTAVELLA, V. et al. **Delayed curvatures in porous ceramic wall tiles**. XI Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico. **Anais...Castellón - España: Qualicer**, 2010

CARGNIN, M. et al. Modeling and simulation of the effect of the firing curve on the linear shrinkage of ceramic materials: laboratory scale and industrial scale. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 02, p. 433–443, 2015.

CARLOS, E. M. et al. **Análise da estabilidade térmica de engobes cerâmicos desenvolvidos com rejeito de mármore**. 21º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Anais...Cuiabá, MT: 2014**

CASAGRANDE, M. C. et al. Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais: Processamento e Aplicações no Setor Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 13, n. 1/2, p. 34–42, 2008.

CASASOLA, R.; RINCÓN, J. M.; ROMERO, M. Glass – ceramic glazes for ceramic tiles: a review. **J Mater Sci**, v. 47, p. 553–582, 2012.

CAVALCANTE, P. M. T. et al. The influence of microstructure on the performance of white porcelain stoneware. **Ceramics International**, v. 30, p. 953–963, 2004.

CHIANG, Y.-M.; BIRNIE-III, D. P.; KINGERY, W. D. **Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering**. 1st. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1997.

COBLE, R. L. Sintering Crystalline Solids. II. Experimental Test of Diffusion Models in Powder Compacts. **Journal of Applied Physics**, v. 32, n. 5, p. 793–799, 1961.

COMIN, A. B. **Caracterização das argilas da formação Rio Bonito para aplicação industrial**. Criciúma, SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, 2018.

CONSTANTINO, A. DE O.; DA ROSA, S. E. S.; CORRÊA, A. R. **Panorama do setor de revestimentos cerâmicos**. Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2006.

CORRÊA, M. R. S. the Evolution of the Design and Construction of Masonry Buildings in Brazil. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 7, n. 2, p. 3–11, 2012.

COSTA, G. F. **Avaliação dos procedimentos de execução de revestimentos internos: Um estudo de caso na cidade de São Luiz/MA**. São Luiz - MA: Universidade Federal do Maranhão - UFMA, 2018.

COTES, M. T. et al. Estudio de la influencia del método de moldeo de materiales cerámicos elaborados a partir de residuos en sus propiedades. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidro**, v. 52, n. 4, p. 169–176, 2013.

COX, W. E. **The book of pottery and porcelain**. 2nd vol. ed. New York, NY, USA: Crown Publisher, 1944.

CRISTIANO, M.; NANDI, V. S.; ZACCARON, A. Evolução do processo de decoração na indústria de revestimentos cerâmicos: impressão jato de tinta. **Cerâmica**, v. 61, p. 334–340, 2015.

CROISSET, M. **L'hygrothermique dans le bâtiment: confort thermique d'hiver et d'été, condensations**. Paris, France: Eyrolles, 1972.

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. DE. Lei dos Processos de Absorção da Radiação. **Revista Chemkeys**, v. 3, p. 1–5, 2000.

DA SLIVA, M. N. P. et al. Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. **Cadernos de Garduação: Ciências exatas e tecnológicas**, v. 2, n. 3, p. 87–97, 2015.

DAL BO, M.; BARBETTA, P. A.; HOTZA, D. Utilização de Resíduos da Indústria de Revestimentos Cerâmicos na Fabricação de Refratários Triaxiais. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 1/2, p. 42–46, 2007.

DE ALMEIDA AZZI, A. et al. Characterization of clays from the Corumbataí formation used as raw material for ceramic industry in the Santa Gertrudes district, São Paulo, Brazil. **Applied Clay Science**, v. 132–133, p. 232–242, 2016.

DE ALMEIDA, F. O. Cerâmica antiga na periferia leste amazônica: O sítio Remanso/MA. **Amazônica**, v. 5, n. 1, p. 72–96, 2013.

DE NONI JUNIOR, A. **Modelagem matemática aplicada ao controle dimensional de placas cerâmicas de monoqueima processadas por via úmida**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2005.

DE OLIVEIRA, A. P. N. Grês Porcelanato: Aspectos Mecadológicos e Tecnológicos. **Cerâmica Industrial**, v. 3, n. 3, p. 34–41, 1998.

DE OLIVEIRA, A. P. N.; HOTZA, D. **Tecnologia de Fabricação de revestimentos cerâmicos**. 2ª Ed. ed. Florianópolis, SC: Editora UFSC, 2015.

DE OLIVEIRA, C. P. et al. **Estudo das características técnicas dos revestimentos cerâmicos**. Revista Perspectivas Online: Exatas e Engenharias. **Anais...Campos dos Goytacases - RJ: VI CICC**, 2018

DE OLIVEIRA HENRIQUES, J. D. et al. Thermal treatment of clay-based ceramic membranes for microfiltration of *Acutodesmus obliquus*. **Applied Clay Science**, v. 150, n. September, p. 217–224, 2017.

DE SOUSA, L. L.; SALOMÃO, R.; ARANTES, V. L. Development and characterization of porous moldable refractory structures of the alumina-mullite-quartz system.

**Ceramics International**, v. 43, n. 1, p. 1362–1370, 2017.

DE SOUZA, A. D. V. **Desenvolvimento de metodologia para fabricação de cerâmica de Y2O3 transparente**. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo - USP, 2012.

DEBOUCHA, S.; HASHIM, R. A review on bricks and stabilized compressed earth blocks. **Scientific Research and Essays**, v. 6, n. 3, p. 499–506, 2011.

DONDI, M. et al. The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructure and mechanical properties. **InterCeram: International Ceramic Review**, v. 48, n. 2, p. 75–83, 1999.

DONDI, M.; RAIMONDO, M.; ZANELLI, C. Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. **Applied Clay Science**, v. 96, p. 91–109, 2014.

DONNER, C.; JENSEN, H. W. Light Diffusion in Multi-Layered Translucent Materials. **ACM Transactions on Graphics**, v. 24, n. 3, p. 1032–1039, 2005.

DOS SANTOS, G. R. et al. **Whiteness process of tile ceramics : using a synthetic flow as a modifier agent of color firing**. 13th Latin American Conference on the Applications of the Mössbauer Effect - LACAME 2012. **Anais...Medellín**, Colombia: Springer, Dordrecht, 2013

DURÁN, A. et al. **Introducción a los esmaltes cerâmicos**. Madrid, España: Faenza Editrice Ibérica, 2002.

DUTRA, R. P. S.; DE ARAÚJO PONTES, L. R. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. **Cerâmica**, v. 48, n. 308, p. 223–230, 2002.

EMILIANI, G. P.; CORBARA, F. **Tecnología Cerámica – Le Materia Prime**. Faenza, Italia: Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 1999.

ESCALERA, E. et al. High temperature phase evolution of Bolivian kaolinitic-illitic clays heated to 1250°C. **Applied Clay Science**, v. 101, p. 100–105, 2014.

FERREIRA, A. S. DA C. **Formulação de um grés porcelânico super-branco e translúcido**. Aveiro - Portugal: Universidade de Aveiro, 2014.

FONSECA, A. L. **Determinação do índice de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal na água da lagoa de Extremoz/RN**. Natal, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 2017.

FRAMINAN, J. M.; LEISTEN, R.; RUIZ, R. A Case Study : Ceramic Tile Production. In: **Manufacturing scheduling systems: An integrated view on models, methods and tools**. London, UK: Springer-Verlag, 2014. p. 371–395.

FRIZZO, R. G. **Piroplasticidade em cerâmica de composição albita-feldspato**

**potássico-caulim**. Criciúma, SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, 2018.

GALÁN-ARBOLEDAS, R. J. et al. Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing. **Construction and Building Materials**, v. 144, p. 327–337, 2017.

GENNARO, R. DE et al. Zeolite–feldspar epiclastic rocks as flux in ceramic tile manufacturing. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 105, p. 273–278, 2007.

GENOVA, L. A. **Efeito de aditivos nas características microestruturais e ópticas da alumina**. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo - USP, 1993.

GEREMIAS, M. L.; KAHN, H.; GOUVÊA, D. **Caracterização das argilas da bacia do Paraná, no sul de Santa Catarina, para uso na fabricação de pisos cerâmicos**. São Paulo, SP: EPUSP, 2003.

GORINI, A. P. F.; CORREA, A. R. Cerâmica Para Revestimentos. **BNDES Setorial**, n. 10, p. 201–252, 1999.

HEVIA, R. et al. **Manufacture of porcelain tile with selected raw materials from the Argentine Republic**. IX Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico. **Anais...Castellón - España: Qualicer**, 2006

ICDD. **The Powder Diffraction File, PDF-2**. Newtown Square, PA: International Centre for Diffraction Data, 2004.

ICSD. **Inorganic Crystal Structure Database**. Eggenstein-Leopoldshafen, Germany: National Institute of Standards and Technology, 2012.

IKESUE, A. et al. Progress in ceramic lasers. **Annual Review of Materials Research**, v. 17, n. 36, p. 397–429, 2006.

IKESUE, A.; AUNG, Y. L. Ceramic laser materials. **Nature Photonics**, v. 2, p. 721–727, 2008.

INMETRO. **Revestimentos Cerâmicos (pisos e azulejos)**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>>. Acesso em: 23 ago. 2019.

INOCENTE, J. M. et al. Study for vitreous waste recovery in the formulation of heavy clay ceramics. **Material Science & Engineering International Journal Research**, v. 1, n. 2, p. 56–60, 2017a.

INOCENTE, J. M. et al. Efeito de um corante incorporado a três vidrados de louça em grés. **Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo**, v. 14, n. 1, p. 78–84, 2017b.

ISO. **13006 Ceramic tiles - Definitions, classification, characteristics and marking** International Organization for Standardization. New York, NY, USA: American

National Standards Institute (ANSI), 2018.

JERMOLOVICIUS, A. B.; MOLISANI, A. L. Porcelana colorida translúcida para luminárias decorativas. **Cerâmica**, v. 64, p. 341–351, 2018.

JI, R. et al. Preparation of novel ceramic tiles with high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content derived from coal fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 114, p. 888–895, 2016.

JUNG, M. et al. Comparativo entre diferentes métodos de determinação da retração linear de placas cerâmicas. **Rev. Técnico Científica (IFSC)**, v. 3, n. 1, p. 242–251, 2012.

KITOUNI, S.; HARABI, A. Sintering and mechanical properties of porcelains prepared from algerian raw materials. **Cerâmica**, v. 57, p. 453–460, 2011.

KORIFI, R. et al. CIEL\*a\*b\* color space predictive models for colorimetry devices - Analysis of perfume quality. **Talanta**, v. 104, p. 58–66, 2013.

KOSONITTIKUL, R.; CHATRCHAIWIWATTANA, S.; JUNTEVEE, N. Spectrophotometric Analysis of Optical Translucency, Opalescence, and Contrast of Leucite Ceramic for CAD-CAM. **KKU Res J**, v. 8, n. 1, p. 81–97, 2008.

KRELL, A.; HUTZLER, T.; KLIMKE, J. **Physics and Technology of Transparent Ceramic Armor: Sintered Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs Cubic Materials**. Proceedings of Specialists Meeting on Nanomaterials Technology for Military Vehicle Structural Applications (NATO), Research and Technology Organization (RTO), Applied Vehicle Technological Panel (AVT). **Anais...Granada, Spain: 2005**

KRELL, A.; HUTZLER, T.; KLIMKE, J. Transmission physics and consequences for materials selection, manufacturing, and applications. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 29, p. 207–221, 2009.

KUMMER, L. et al. Reutilização dos Resíduos de Polimento de Porcelanato e Feldspato na Fabricação de Novo Produto Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v. 12, n. 3, p. 34–38, 2007.

LANNA, M. A.; DA SILVA, C. R. M.; SILVA, O. M. M. **Desenvolvimento de novas ferramentas à base de nitreto silício**. 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...João Pessoa - PB: ABCeram, 2003**

LEDIĆ, K. et al. Analiza parametra translucencije staklokeramike izrađene različitim tehnološkim postupcima. **Acta Stomatologica Croatica**, v. 49, n. 1, p. 27–35, 2015.

LEE, Y.; BIN, Y. Translucency and color match with a shade guide of esthetic brackets with the aid of a spectroradiometer. **Dental Press J Orthod**, v. 21, n. 2, p. 81–87, 2016.

LEGLER, H. C. DE M. **Controle da porosidade em fases vítreas formadas pela ação de fundentes em cerâmicas gresificadas**. Por: Universidade Federal do Rio Grande do

Sul - UFRS, 2006.

LERDPROM, W. et al. Porcelain production by direct sintering. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 36, n. 16, p. 4319–4325, 2016.

LIRA, H. L.; NEVES, G. A. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n. 3, p. 110–117, 2013.

LIRA, W. E.; JEREISSATI, G. M.; MORAIS, T. A. **Análise do custo do setor serviço em edificações residenciais unifamiliares de padrão médio e alto**. 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção - 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. **Anais...Fortaleza - CE: SBTIC+SIBRAGEC**, 2017

LIU, Q. et al. Titanium effect on the thermoluminescence and optically stimulated luminescence of Ti,Mg: $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> transparent ceramics. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 582, p. 754–758, 2014.

LUZ, A. P.; RIBEIRO, S. **Comportamento mecânico de amostras de grês porcelanato contendo resíduo de vidro como fundente**. 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...São Pedro - SP: Associação Brasileira de Cerâmica**, 2005

MACHADO, P. P. et al. Controle de qualidade para revestimentos cerâmicos através da análise colorimétrica de superfície vidrada monocromática. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 3/4, p. 51–55, 1997.

MAO, X. et al. Transparent Polycrystalline Alumina Ceramics with Orientated Optical Axes. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 9, n. 10, p. 3431–3433, 2008.

MATTHEW, G. O.; FATILE, B. O. Characterization of Vitrified Porcelain Tiles using Feldspar from Three Selected Deposits in Nigeria. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 3, n. 9, p. 67–72, 2014.

MELLO, I. S. et al. Revisão sobre argilominerais e suas modificações estruturais com ênfase em aplicações tecnológicas e adsorção - Uma pesquisa inovadora em universidades. **Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta**, v. 9, n. 1, p. 141–152, 2011.

MENEZES, J. N.; VARELA, D. L. V.; VARELA, M. L. **Avaliação da porosidade aparente e absorção de água da massa cerâmica para porcelanato em função da incorporação de resíduo de caulim**. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...Águas de Lindóia, SP: Associação Brasileira de Cerâmica**, 2016

MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CABRAL JÚNIOR, M. Argilas plásticas para cerâmica branca no estado de São Paulo - Potencialidade geológica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 2, p. 158–173, 1993.

MOTTA, J. F. M.; ZANARDO, A.; CABRAL JUNIOR, M. As matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O perfil das Principais Industrias Cerâmicas e Seus Produtos. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 2, p. 28–39, 2001.

NIETO, F.; ABAD, I.; AZAÑÓN, J. M. Smectite quantification in sediments and soils by thermogravimetric analyses. **Applied Clay Science**, v. 38, n. 3–4, p. 288–296, 2008.

NUNES, W. J. **Avaliação da eficiência dos sistemas de tratamento das emissões atmosféricas no processo de atomização de massa cerâmica**. Criciúma, SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2011.

PACHECO TORRAL, F.; JALALI, S. **Eco-efficient Construction and Building Materials**. London, UK: Springer London, 2011. v. 53

PETERSON, M. et al. Estudo da incorporação de cinza proveniente da queima de lenha de eucalipto na formulação de massa de uma industria cerâmica estrutural do sul-catarinense. **Revista Unifebe**, v. 1, n. 15, p. 9–18, 2015.

PEUCHERT, U. et al. Transparent cubic-ZrO<sub>2</sub> ceramics for application as optical lenses. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 29, p. 283–291, 2009.

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

PRADO, A. C. A. et al. Redução da susceptibilidade à deformação pirolástica das argilas do Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes através da adição de matérias-primas. **Cerâmica**, v. 54, p. 7–20, 2008.

PRADO, A. C. DE A. et al. Compacidade do suporte cerâmico cru versus propriedades do revestimento cerâmico cozido. **REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 65, n. 1, p. 99–105, 2012.

RHODES, D. **Arcilla y vidriados para el ceramista**. Barcelona, España: Ediciones CEAC, 1989.

RING, T. A. **Fundamentals of ceramic powder processing and synthesis**. San Diego - CA: Academic Press, 1996.

RODRIGUES, V. A. F. **Caracterização e melhoria de desempenho de secador de peças cerâmicas**. Coimbra - Portugal: Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2013.

ROSENBLUM, M. A.; SCHULMAN, A. A review of all-ceramic restorations. **The Journal of the American Dental Association - JADA**, v. 128, n. 3, p. 297–307, 2014.

SALAH, I. BEN et al. Potential use of the lower cretaceous clay (Kef area, Northwestern Tunisia) as raw material to supply ceramic industry. **Applied Clay Science**, v. 161, p. 151–162, 2018.

SÁNCHEZ-MUÑOZ, L. et al. Influência da composição das matérias-primas no processo de gresificação de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica**, v. 48, n. 307, 2002.

SANCHEZ, E. et al. Efeito da Composição das Matérias-Primas Empregadas na Fabricação de Grês Porcelanato Sobre as Fases Formadas Durante a Queima e as Propriedades do Produto Final. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 5, p. 15–22, 2001.

SÁNCHEZ, E. et al. Porcelain tile : Almost 30 years of steady scientific-technological evolution. **Ceramics International**, v. 36, p. 831–845, 2010.

SANTOS, C. P. et al. Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado de Sergipe - Brasil. **Cerâmica**, v. 62, p. 147–156, 2016.

SANTOS, J. DE O. **Diretrizes para elaboração de projeto para produção de revestimento cerâmico em paredes internas**. São Paulo, SP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

SANTOS JÚNIOR, E. L. et al. **Avaliação de Impacto Ambiental da Indústria Cerâmica Estrutural como Ferramenta da Produção Mais Limpa**. 6th International Workshop Advances in Cleaner Production. **Anais...**São Paulo, SP: ACPN, 2017

SCARPATO, M. **Obtenção de caracterização de vidrados de TiO<sub>2</sub> com atividade fotocatalítica**. Criciúma, SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2013.

SEGADÃES, A. M. **Refractários**. Aveiro - Portugal: Universidade de Aveiro, 1997.

SERPA, E. C. DE S. N. **Obtenção de fritas cerâmicas a partir de resíduo refratário proveniente do setor metalúrgico**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2007.

SETZ, L. F. G.; DA SILVA, A. C. **O Processamento Cerâmico sem Mistério**. São Paulo, SP: Blucher, 2019.

SILVA, J. R. R. **Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmico**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2005.

SINDICERAM. **Dados do Setor**. Disponível em: <[www.sindiceram.com.br/dados-do-setor](http://www.sindiceram.com.br/dados-do-setor)>. Acesso em: 19 ago. 2019.

SMITH, W. F.; HASHEMI, J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5ª ed. Porto Alegre, RS: AMGH Editora Ltda, 2012.

SOUSA, S. J. G. **Desenvolvimento de massas cerâmicas processadas por via seca com matérias-primas do norte fluminense visando aplicação em revestimento poroso**. campo: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2008.

SOUZA, M. T. et al. Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do

Sul para aplicações industriais. **Cerâmica**, v. 60, p. 569–574, 2014a.

SOUZA, M. T. et al. **Produção e caracterização de vidro Sódico-Cálcico a partir de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul**. 21º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Anais...**Cuiabá, MT: 2014b

SOUZA, N. R. DA S. **Estudo da luminescência persistente em cerâmicas translúcidas de  $\text{CaAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+},\text{RE}^{3+}$  sinterizadas a laser**. São Cristóvão, SE: Universidade Federal de Sergipe - UFSE, 2018.

STASIENIUK, R. D.; PETRINI, J. L. **Formulación, Medida y Ajuste del Color en Esmaltes Cerámicos**. [s.l: s.n.].

SUÁREZ, M. et al. Sintering to Transparency of Polycrystalline Ceramic Materials. In: LAKSHMANAN, A. (Ed.). **Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques**. London, UK: InTech, 2012. p. 527–552.

TARVORNPANICH, T.; SOUZA, G. P.; LEE, W. E. Microstructural Evolution in Clay-Based Ceramics I: Single Components and Binary Mixtures of Clay, Flux, and Quartz Filler. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 91, n. 7, p. 2264–2271, 2008a.

TARVORNPANICH, T.; SOUZA, G. P.; LEE, W. E. Microstructural Evolution in Clay-Based Ceramics II: Ternary and Quaternary Mixtures of Clay, Flux, and Quartz Filler. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 91, n. 7, p. 2272–2280, 2008b.

TEIXEIRA, K. O.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Efeito da temperatura de queima em composição de massa para revestimento cerâmico vitri fi cado com argila caulínica e nefelina sienito. **Cerâmica**, v. 57, p. 32–37, 2011.

TEZZA, V. B. et al. **Desenvolvimento de vidrado cerâmico com atividade fotocatalítica**. 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...**Porto de Galinhas, PE: Associação Brasileira de Cerâmica, 2011

THOMAS, M. B.; DOREMUS, R. H. Characterizing Opacity of Translucent Ceramic Materials. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 59, n. 5–6, p. 229–32, 1976.

TOZZI, N. **Smalti Ceramic Considerazioni Teoriche e Pratiche**. Faenza, Italia: Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A, 1992.

TRISTÃO, A. M. D. **Classificação da informação na Indústria da Construção Civil: uma aplicação em placas cerâmicas para revestimento**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 2005.

TRPČEVSKÁ, J. et al. Microstructure and Porcelain Stoneware Properties. **Key Engineering Materials**, v. 223, p. 265–268, 2002.

UKWATTA, A. et al. Possible use of biosolids in fired-clay bricks. **Construction and**

**Building Materials**, v. 91, p. 86–93, 2015.

VEDVOTTO JÚNIOR, G.; FERREIRA, G. L. B.; POSSAMAI, O. **Proposta de um modelo de planta industrial sustentável para o processo industrial de cerâmica vermelha na região do Vale do Rio Tijucas em Santa Catarina, Brasil**. I World Congress on Systems Engineering and Information Technology. **Anais...**Porto, Portugal: COPEC, 2013

VENTURI, V. **Tecnologia cerâmica: le piastrelle**. 2. ed. Faenza, Italia: Gruppo Editoriale Faenza Editrice, 1992.

VICHI, A. et al. Comparison of Contrast Ratio, Translucency Parameter, and Flexural Strength of Traditional and “Augmented Translucency” Zirconia for CEREC CAD/CAM System. **Journal of Esthetic and Restorative Dentistry Journal**, v. 28, n. SI, p. S32–S39, 2016.

WANG, H. et al. Synthesis of a ceramic tile base based on high-alumina fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 155, p. 930–938, 2017.

WEI, G. C. Transparent ceramic lamp envelope materials. **J. Phys. D: Appl. Phys.**, v. 38, p. 3057–3065, 2005.

WEI, G. C.; RHODES, W. H.; SYLVANIA, O. Sintering of Translucent Alumina in a Nitrogen – Hydrogen Gas Atmosphere. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 83, n. 7, p. 1641–1648, 2000.

YASUI, I. Ceramics, History of. In: BASSANI, F.; LIEDL, G. L.; WYDER, P. (Eds.). **Encyclopedia of Condensed Matter Physics**. London, UK: Elsevier Ltd., 2005. v. 1p. 173–177.

ZACCARON, A. **Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização de resíduos**. Criciúma, SC: Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, 2013.

ZACCARON, A. et al. Sinterização de metal e vitrosa em uma única queima aplicada ao setor de peças especiais. **Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo**, v. 12, n. 2, p. 159–166, 2015.

ZACCARON, A. et al. Utilização de Vidro de Garrafas para Redução da Absorção de Água em Produtos de Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 20, n. 5/6, p. 35–39, 2016.

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

ZANELLI, C. et al. Formulation range of porcelain stoneware in the clay– quartz–feldspars ternary and physical properties. **Journal of NonCrystalline Solids**, v. 357, p. 3251–3260, 2011.

ZIMMER, A. et al. **Comparação entre refratários magnesianos e dolomíticos utilizados em panelas para refino de aço.** 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Anais...Curitiba, PR: 48º CBC, 2004

**ANEXOS**

**ANEXO A -Termo de autorização para divulgação de informações de empresas**

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES**

**Empresa:** Cecrisa Revestimentos Cerâmicos S.A.

**CNPJ:** 79.655.916/0001-30

**Inscrição Estadual:** 252.994.531

**Endereço completo:** BR 101 Km 392, nº 2585 Bairro São Domingos, Criciúma, SC – 88.812-600

**Representante da empresa:** Antonio Sergio Nunes Rosa

**Telefone:** (48) 3431-6602

**e-mail:** cecrisa@cecrisa.com.br

**Tipo de produção intelectual:** ( ) Monografia; ( ) Relatório Técnico; ( ) Relatório de Estágio;

(X) Dissertação; ( ) Tese; ( ) Outro: \_\_\_\_\_

**Título/subtítulo:** Desenvolvimento e caracterização de um revestimento cerâmico translucido

**Autoria:** Patricia de Oliveira Piccolo

**Orientador:** Antonio Pedro Novaes de Oliveira

**Co-orientador:** Oscar Rubem Klegues Montedo

**Universidade:** Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Nome do Curso:** Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

**Campus:** Florianópolis – SC

Como representante da empresa acima nominada, declaro que as informações e/ou documentos disponibilizados pela empresa para o trabalho citado:

(X) Podem ser publicados sem restrição.

( ) Possuem restrição parcial por um período de \_\_\_\_ anos, não podendo ser publicada as seguintes informações e/ou documentos: \_\_\_\_\_

( ) Possuem restrição total para publicação por um período de \_\_\_\_ anos, pelos seguintes motivos:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



ANTONIO SERGIO NUNES ROSA  
Gerente Técnico Corporativo

Criciúma, SC 04 de fevereiro de 2020

Local e data