

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Diogo Paula Nunes**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PLACAS CERÂMICAS E  
PORCELANATOS**

Juiz de Fora

2021

**Diogo Paula Nunes**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PLACAS CERÂMICAS E  
PORCELANATOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Raphael Fortes Marcomini

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

.  
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PLACAS CERÂMICAS E POR-  
CELANATOS / Diogo Paula Nunes. – 2021.  
44 f. : il.

Orientador: Raphael Fortes Marcomini  
Dissertação – UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, DE-  
PARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA.  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, 2021.

1. Porosidade Aparente 2. Absorção de Água 3. Análise de Fases I Título.

Diogo Paula Nunes

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PLACAS CERÂMICAS E  
PORCELANATOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em 15 de Março de 2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Professor Dr. Raphael Fortes Marcomini - Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Moisés Luiz Lagares Júnior  
Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Professor Carlos Renato Pagotto  
Universidade Federal de Juiz de Fora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família por todo o apoio ao longo dos anos para que eu concluísse o meu Ensino Superior. Em seguida à minha esposa Bárbara pela força, apoio, companheirismo e motivação. Agradeço aos meus amigos que fizeram parte desta trajetória e por muitos momentos de aprendizados vividos juntos. Agradeço também ao professor orientador Raphael Marcomini por acreditar no meu trabalho e possibilitar a conclusão do mesmo.

“Na adversidade, uns desistem  
enquanto outros batem recordes”,  
Ayrton Senna

## RESUMO

O presente trabalho consiste no estudo e comparação de revestimento cerâmico com classificação Semiporoso BIIB e Porcelanato. Através de Normas Brasileiras foram levantados dados como os percentuais de absorção de água de cerâmica e porcelanato que possibilitou o ensaio prático de amostras dos respectivos corpos de prova. A realização de análise de fases permitiu avaliar e comparar as diferenças entre as amostras, bem como confirmar os resultados esperados através de um estudo aprofundado nas fases cerâmicas presentes durante a sinterização da cerâmica e do porcelanato.

Palavras-chave: cerâmica, porcelanato, fases cerâmicas, porosidade aparente, absorção de água, sinterização.

## ABSTRACT

The present work consists of the study and comparison of ceramic tiles with Semiporoso BIIB and Porcelanato classification. Through Brazilian Norms, data were collected such as the percentages of water absorption of ceramics and porcelain that enabled the practical testing of samples from the respective specimens. The realization of phase analysis allowed to evaluate and compare the differences between the samples, as well as to confirm the expected results through a thorough study in the ceramic phases present during the sintering of ceramics and porcelain tiles.

Key-words: ceramic, porcelain, ceramic phases, apparent porosity, water absorption, sintering.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Processode Fabricação . . . . .	16
Figura 2 – Depósito de Matéria-Prima . . . . .	17
Figura 3 – Box de Matéria-Prima . . . . .	18
Figura 4 – Moinho . . . . .	18
Figura 5 – Atomizador . . . . .	19
Figura 6 – Polidora . . . . .	20
Figura 7 – Diagrama de Fases . . . . .	23
Figura 8 – Pontos iniciais da Sinterização por Fase Sólida . . . . .	25
Figura 9 – Processos de Sinterização Fase Sólida . . . . .	25
Figura 10 – Processos de Sinterização Fase Sólida . . . . .	26
Figura 11 – Fase Sólida presente na Sinterização . . . . .	27
Figura 12 – Processos de Sinterização Fase Líquida . . . . .	29
Figura 13 – Fluxograma . . . . .	30
Figura 14 – Preparação Corpos de Prova . . . . .	31
Figura 15 – Corpos de Prova . . . . .	31
Figura 16 – Diagrama Triaxial Cerâmica . . . . .	36
Figura 17 – Micrografia Cerâmica . . . . .	37
Figura 18 – Diagrama Triaxial Porcelanato . . . . .	38
Figura 19 – Micrografia Porcelanato . . . . .	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação AA% . . . . .	14
Tabela 2 – Composição Caulim, Fledspato e Quartzo . . . . .	22
Tabela 3 – Dimensões das Amostras . . . . .	33
Tabela 4 – Massas das Amostras . . . . .	33
Tabela 5 – Resultados PA% e AA% . . . . .	34
Tabela 6 – Média dos Resultados PA% e AA% . . . . .	34
Tabela 7 – Percentual . . . . .	35

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
EDX	Energy Dispersive X-ray

## LISTA DE SÍMBOLOS

AA	Absorção de água
PA	Porosidade Aparente
Mu	Massa Úmida
Ms	Massa Seca
Mi	Massa Imersa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1	Considerações iniciais . . . . .	12
1.2	Motivação . . . . .	12
1.3	Objetivos . . . . .	13
1.3.1	Objetivo Geral . . . . .	13
1.3.2	Objetivos Específicos . . . . .	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>14</b>
2.1	Revestimento Cerâmico . . . . .	14
2.2	Cerâmica Semiporosa BIIB . . . . .	14
2.2.1	Matérias Primas . . . . .	14
2.2.2	Processo de Fabricação . . . . .	15
2.3	Porcelanato . . . . .	16
2.3.1	Matérias Primas Porcelanato . . . . .	16
2.3.2	Processo de Fabricação Porcelanato . . . . .	17
2.4	Normas Brasileiras . . . . .	19
2.5	Análise de Fases . . . . .	20
2.5.1	Fase Cerâmica . . . . .	21
2.5.2	O Sistema $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2$ . . . . .	21
2.5.3	Difratometria Raios X . . . . .	22
2.6	Sinterização . . . . .	24
2.6.1	FASE SÓLIDA . . . . .	24
2.6.2	FASE LÍQUIDA . . . . .	26
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>30</b>
3.1	Fluxograma . . . . .	30
3.2	Materiais e Métodos . . . . .	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>40</b>
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros . . . . .	41
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>42</b>
	<b>ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE . . . . .</b>	<b>44</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

Segundo o dicionário etimológico, por Francesco Bonomi, cerâmica vem do grego *keramos*, que se refere originalmente a “artefatos de argila queimada”. Entende-se por cerâmica tanto uma matéria-prima quanto um produto. Porém, temos disponíveis no mercado algumas diferenciações entre uma cerâmica “tradicional” e uma cerâmica “avançada” classificada como porcelanato.

A cerâmica tradicional parte de matérias-primas naturais ou pouco alteradas, em especial argilas. As amostras em análise neste presente trabalho é uma cerâmica produzida em uma indústria especializada neste segmento, situada em Santa Gertrudes, São Paulo. Os produtos produzidos por esta empresa partem de uma matéria prima da região, que é um polo cerâmico justamente pela presença de argila no local, material usado para fabricação de cerâmicas tradicionais. O material conformado é exposto a um tratamento térmico/queima, cujo controle não é tão rígido quanto no processamento avançado para fabricação de porcelanatos, que tem por objetivo a densificação e aumento de resistência dos produtos finais.

Já a cerâmica avançada, o porcelanato, analisado neste trabalho, parte de 09 matérias-primas (diferentes materiais e jazidas), uma mistura aprovada pela equipe de qualidade da fábrica. Em todas as etapas, todos os processos passam por rigorosos controles de qualidade e fabricação, como por exemplo o tratamento térmico (etapa em que as placas vão ao forno) devem ser muito bem controlado (tempo, temperatura, pressão, atmosfera) para a obtenção de produtos de alto valor agregado, isentos de defeitos.

## 1.2 Motivação

O Brasil se destaca na produção mundial de pisos e revestimentos cerâmicos ocupando o terceiro lugar no ranking segundo análise realizada em 2017.[1] Podemos considerar que através do crescimento ou retraída da construção civil, a economia do país prospera ou não, sendo uma forma de indicativo dessa análise econômica e de desenvolvimento da nação. Diante as necessidades do mercado e objetivando cada vez mais eficiência na produção e na qualidade de produto, temos hoje como principais acabamentos da construção os pisos cerâmicos e porcelanatos. A motivação do presente trabalho consiste justamente em analisar e comparar placas de revestimento cerâmica e placas de revestimento de porcelanato.

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho é um estudo comparativo entre as placas de revestimento cerâmicas e porcelanatos.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Cálculo de Absorção de Água das amostras
- Cálculo da Porosidade Aparente das amostras
- Análise de Fases e Sinterização

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Revestimento Cerâmico

Os revestimentos cerâmicos são usados para recobrimento de chão e paredes, tanto em ambientes internos como externos. Quando usados como revestimento de chão, são chamados normalmente de pisos; quando usados como revestimento de paredes, são conhecidos popularmente como azulejos.

Os revestimentos cerâmicos podem ser classificados segundo especificações normativas, ou regras de mercado, de acordo com suas características estéticas e/ou técnicas. A Tabela 01 apresenta um quadro resumindo as principais características dos revestimentos pertencentes aos diversos grupos de absorção de água, a partir de especificações da norma NBR 13818 para placas prensadas. Essa absorção de água é um meio de se analisar a porosidade das placas cerâmicas que se relacionam diretamente com a resistência mecânica.

Tabela 1 – Classificação AA%

Grupo de Asorção	Absorção de Água	Carga de Ruptura
Porcelanato	$\leq 0,5$	$\geq 1500N$
Semiporoso BIIB	6% a 10%	$\geq 800N$

Fonte: NBR 13818 [3].

Os revestimentos cerâmicos possuem diversas aplicações como revestimentos de paredes, para piso em ambientes internos e externos. Se diferem por diferentes tipos de acabamentos superficiais como acetinados (fosco), brilhantes, polidos ou granilhados.

### 2.2 Cerâmica Semiporosa BIIB

As cerâmicas classificadas como Semiporosa BIIB são as que apresentam 6% a 10% de Absorção de Água. Por sua vez, são cerâmicas com um processo de fabricação à seco por não ser necessário um atomizador para fabricação da barbotina, fase úmida do processo que se faz a base do porcelanato com a junção de matérias primas e aditivos. Neste trabalho usarei o termo cerâmica para descrever as análises e estudos realizados.

#### 2.2.1 Matérias Primas

As massas cerâmicas para revestimentos são constituídas por três grupos distintos de matérias-primas com características intrínsecas diferentes: plásticas, fundentes e refratárias. Além das matérias-primas cerâmicas, podem ser usados no decorrer do processo produtivo inúmeros aditivos que exercerão funções de melhorias de custo ou desempenho técnico.



As matérias-primas plásticas são basicamente constituídas por argilas. A plasticidade pode ser definida como a capacidade de um material ser deformado sem ruptura pela ação de uma força e, posteriormente, reter a deformação resultante quando a força aplicada for removida. Essa plasticidade possui um papel importante na fabricação de pisos e revestimentos cerâmicos já que é um parâmetro que está associado à própria argila, ao seu teor de umidade e à sua quantidade na preparação de massas cerâmicas. A adequada plasticidade dessas matérias-primas, argilas, utilizadas serão fundamentais para o sucesso na obtenção de placas cerâmicas isentas de defeitos após a etapa de prensagem.

Na região de Santa Gertrudes, polo cerâmico do Brasil, as principais matérias-primas minerais das rochas argilosas são illita, com menores quantidades de esmectita e caulinita, e quartzo, feldspatos, hematita e hidróxidos de ferro. Os principais óxidos presentes e sua composição química aproximada são:  $SiO_2$  (67%),  $Al_2O_3$  (15%),  $Fe_2O_3$  (5%),  $K_2O$  (2-3%),  $Na_2O$  (0,5%) e  $CaO$  (0,5%). Entretanto, localmente, alguns óxidos como  $K_2O$  e  $Na_2O$  podem apresentar valores variados, segundo Motta.[14]

### 2.2.2 Processo de Fabricação

O processo de fabricação de uma cerâmica a seco passa por algumas etapas nos quais serão descritas brevemente abaixo. Esse processo também é conhecido como Via Seca.

O primeiro passo classificado como mineração é preparar a argila para o processo, no qual a lavra da argila para secagem é fundamental antes da estocagem do material.[6]

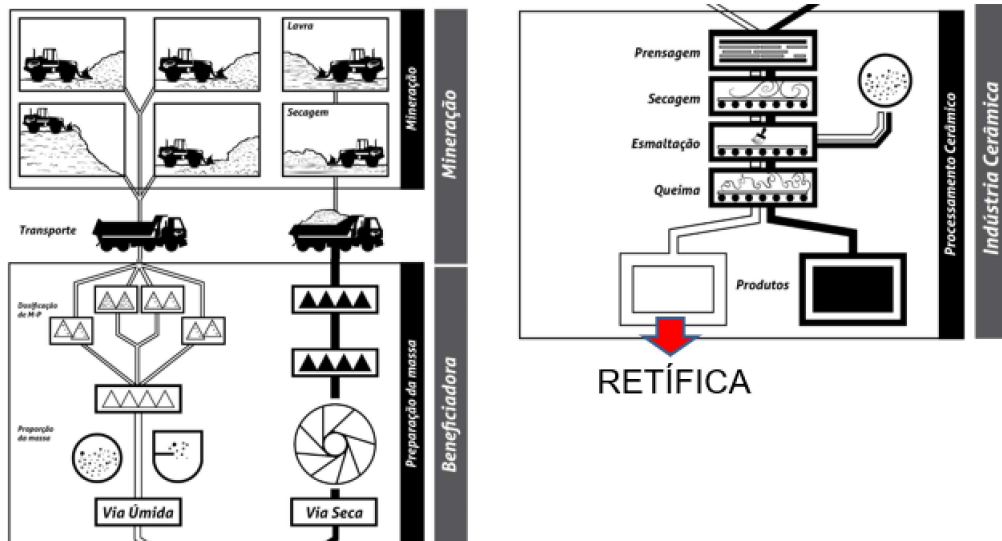
Logo em seguida, no processo definido como preparação da massa, a argila é transportada para moinhos para que ocorra a granulação. Depois temos a prensagem dessa argila no qual ganha o formato objetivado (hoje em dia, os principais formatos disponíveis no mercado são 33x60 cm, 45x45 cm, 50x50 cm, 60x60 cm, 23x100 cm e 46x100 cm). Temos o processo de secagem onde as placas são expostas em fornos de temperaturas médias próximas a 250°C para que ganhem um pouco mais de resistência. Em seguida receberão o engobe e esmalte que classificam o acabamento superficial do produto. Por último, o processo de queima a elevadas temperaturas que concluem o produto final. Os ciclos e as temperaturas de queima adotadas, variam entre 30 e 60 min e 1.050°C e 1.150°C.[6]

Algumas cerâmicas são classificadas como bold (maiores irregularidades laterais) que exigem junta mínima de 5 mm no assentamento, e outras cerâmicas são retificadas que garantem um melhor acabamento lateral com assentamento de junta mínima de 2 mm. Com o processo de retífica, o produto cerâmica ganha valor agregado e garante um melhor efeito estético do produto assentado.[6]

Uma forma de resumir esse processo de fabricação é apresentado na Figura 1. Onde

podemos realizar uma comparação no processo de fabricação Via Seca (cerâmica) e Via Úmida (Porcelanato).

Figura 1 – Processo de Fabricação



Fonte: Embramaco [6].

### 2.3 Porcelanato

O porcelanato é um produto de qualidade superior devido a utilização de matérias-primas nobres cuidadosamente selecionadas e procedimentos de processamento acuradamente controlados. Os porcelanatos apresentam 0% a 0,5% de Absorção de Água. Por sua vez, são um conjunto de cerâmicas e jazidas com um processo de fabricação via úmida que se faz necessário um atomizador para fabricação da barbotina, fase do processo que se faz a base da cerâmica com a junção de matérias primas e aditivos. Essa base apresenta elevadas propriedades mecânicas, tais como dureza, resistências à choques, etc. No mercado, as maiores placas de revestimentos são de porcelanato exatamente pelo fato de serem resistentes mecanicamente, o que torna possível fabricar placas de até 120 cm x 120 cm ou 120 cm x 240 cm. [6].

#### 2.3.1 Matérias Primas Porcelanato

Através de diferentes materiais e jazidas, temos as matérias primas que pertencem os argilominerais de natureza íltico-caulinítica ou montmorilonítica, os quais apresentam características plásticas em razão da própria estrutura mineralógica e da granulometria das partículas. Os minerais fundentes são representados por feldspatos e feldspatoides, talco e outros. Com função estrutural, os refratários quartzos e os quartzitos em geral. Cada

fábrica se diferencia de diferentes receitas para fabricação da própria base do porcelanato que devem atender as normas NBR 15463:13 no processo final de avaliação e certificação de qualidade.

### 2.3.2 Processo de Fabricação Porcelanato

O primeiro passo classificado como mineração é preparar os diferentes minerais e jazidas de diferentes regiões do país para o processo, no qual a lavra das matérias-primas para secagem são fundamentais antes das estocagens. Existe um monitoramento e controle do comportamento dessas matérias primas como lotes previamente liberados para fabricação. A Figura 2 apresenta o armazenamento das matérias primas para produção de porcelanato.

Figura 2 – Depósito de Matéria-Prima



Fonte: Embramaco [6].

Logo em seguida, no processo definido como preparação da massa, os materiais são dosificados (receita fabril para homogeneidade do box) e transportados para moinhos contínuos. Existe a pesagem da receita estabelecida durante esse controle no processo de fabricação. A Figura 3 nos mostra os silos de pré moagem em que cada matéria-prima específica será depositada ocorrendo assim a devida dosagem. A Figura 4 nos mostra os moinhos nos quais a massa ainda seca, apenas mistura das diferentes matérias primas é preparada para menor granulação possível antes de se fazer a barbotina (processo de fabricação que se adiciona água aos materiais).

Após a homogeneização, para esse processo de fabricação de porcelanato é necessário utilizar água para junção dessas matérias primas para se obter a barbotina. Toda a barbotina irá para um atomizador no qual a umidade será retirada para que se obtenha a massa seca com o tamanho de partícula requerida. Resumidamente, pode-se afirmar que

Figura 3 – Box de Matéria-Prima



Fonte: Embramaco [6].

Figura 4 – Moinho



Fonte: Embramaco [6].

a atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas (denominada na cerâmica por “barbotina”) em partículas secas, a partir da pulverização da suspensão no interior de uma câmara aquecida (atomizador). O produto resultante pode ser constituído por pó, grânulos ou aglomerados de grânulos mais pequenos. A forma destas partículas depende muito das propriedades físicas e químicas da suspensão, das características do atomizador e das condições de operação. [11]. A Figura 5 nos apresenta o um atomizador da indústria de fabricação de porcelanato. Vale ressaltar que o resíduo de saída desse atomizador pela chaminé é vapor de água, não sendo prejudicial ao meio ambiente.

Figura 5 – Atomizador



Fonte: Embramaco [6].

Depois temos a prensagem da massa no qual ganha o formato objetivado (hoje em dia, os principais formatos 62,5 x 62,5 cm, 61,8 x 61,8 cm, 82 x 82 cm, 83 x 83 cm, 20 x 120 cm, 62 x 120 cm e 120 x 120 cm). Temos o processo de secagem onde as placas são expostas em fornos de temperaturas médias em torno de 280°C para que ganhem mais resistência. Em seguida receberão o engobe e esmalte que classificam o acabamento superficial do produto. Por último o processo de queima a elevadas temperaturas que concluirão o produto final. Os ciclos e as temperaturas de queima adotadas, variam entre 50 e 70 min e 1.150°C e 1.250 °C. Por se tratar de placas de valor agregado, a maioria dos porcelanatos são retificadas, o que garante um melhor acabamento lateral com assentamento de junta mínima de 2 mm. Existe nos porcelanatos polidos um processo de fabricação adicional no qual ele passa por diferentes etapas de polimento para que fique com a superfície polida, que é altamente lisa, com um brilho maior. A Figura 6 nos mostra o porcelanato na saída da esteira da máquina de polir Italiana.

A composição de um porcelanato apresenta em sua essência: 12% caulim, 27% argila plástica, 48% feldspato, 10% quartzo, talco 0,3%, segundo Antonio Oliveira. [4]

## 2.4 Normas Brasileiras

A NBR 13818:97 define Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e método de ensaio. Essa norma fixa as características exigíveis para fabricação, marcação, declarações em catálogos, recebimento, inspeção, amostragem, ensaios opcionais complementares, métodos de ensaios e aceitação de placas cerâmicas para revestimento.

A NBR 15463:13 define Placa cerâmica para revestimento com baixa porosidade e

Figura 6 – Polidora



Fonte: Autor [15].

elevado desempenho técnico. Pode ser esmaltado ou não, polido ou natural, retificado ou não retificado.

Diante essas normas, verificamos que o porcelanato deve possuir um percentual de porosidade aparente e grau de absorção de água bastante inferiores ao de cerâmicas classificadas BIIB.

## 2.5 Análise de Fases

Uma fase é caracterizada por uma composição, com estequiometria bem determinada e estrutura cristalina específica. Considerando que cada fase tem uma estrutura cristalina própria e propriedades únicas, apresentarão diferentes coeficientes de dilatação térmica linear, dureza e ponto de escoamento. No desenvolvimento de um produto cerâmico, deve-se determinar qual a propriedade exigida pelo produto para ser possível especificar a fase ou as fases que deverão compor o produto.

Matérias-primas cerâmicas são compostas basicamente de silicatos, óxidos e ou compostos covalentes, como carbetos, nitretos e boretos. Óxidos e carbetos de alta pureza são de custo bastante elevado, o que inviabiliza o desenvolvimento de produtos conhecidos como cerâmicas tradicionais, no caso de pisos e revestimentos cerâmicos e porcelanatos

utilizados na construção civil.

Durante a fabricação, a mistura de componentes das matérias-primas pode permanecer intactos, sofrer transformações de fase ou reagir entre si, dando origem a novas fases. Como uma “receita” específica de cada fabricante de pisos cerâmicos e porcelanatos, formular uma massa cerâmica é determinar as quantidades relativas de cada matéria-prima a ser utilizada para a obtenção de um produto com propriedades preestabelecidas, a partir da análise química destas matérias-primas, com o auxílio de diagramas de fase binários e ternários e cálculos matemáticos. Deve-se observar que dependendo da composição química das matérias-primas disponíveis, a etapa de formulação é capaz de indicar a inviabilidade de uso das mesmas na fabricação de um determinado produto com características específicas. Esse processo é possível com a utilização de laboratórios nas fábricas que constantemente avaliam as composições e qualidades das matérias primas para formulação de massas de fabricação.

### 2.5.1 Fase Cerâmica

Para se obter uma fase cerâmica é necessário estabelecer quimicamente uma dosagem de matérias primas em função da geometria do produto e custos envolvidos no processo de fabricação. Essa análise química de matérias primas diretamente relacionada com o diagrama de fases envolvendo seus principais componentes influenciam na sinterização e microestrutura final de um corpo cerâmico com os fatores de massas, de processamento e queima variados.

A partir da composição química das matérias-primas e diagramas de fase, envolvendo os óxidos majoritários e com o auxílio de métodos matemáticos de resolução de matrizes, torna-se possível determinar melhor o conjunto de matérias-primas e suas proporções, na obtenção de uma ou mais fases que satisfaçam as propriedades exigidas para a cerâmica ou porcelanato em questão. Também é possível prever quais as fases irão compor o produto e as propriedades do mesmo.

A maioria dos produtos de cerâmica tradicionais podem ser obtidos a partir da mistura de argila, quartzo e feldspato (triaxial cerâmico). Massas triaxiais cerâmicas são compostas por argilas, feldspato e quartzo com pequenas quantidades de metais alcalino-terrosos como impurezas. As argilas são responsáveis por conferir a plasticidade necessária durante o processamento. O quartzo é uma das formas polimórficas da sílica e é responsável pela estrutura do corpo. O feldspato é usado como fundente ou formador de fase líquido, pois apresenta ponto de fusão inferior aos demais componentes.

### 2.5.2 O Sistema $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2$

A composição básica é a mistura de argila mais talco como matérias-primas. Esses materiais são utilizados por causa da facilidade de conformação; eles possuem grãos finos,

são plásticos e não abrasivos. Além disso, a natureza de grãos finos desses materiais é essencial para o processo de queima.

Os componentes principais, Argila(caulim), Feldspato e Quartzo em análises são apresentados na Tabela 2 em suas proporções principais.

Tabela 2 – Composição Caulim, Feldspato e Quartzo

%	Caulim	Feldspato	Quartzo
$SiO_2$	46,96	67,02	99,81
$Al_2O_3$	38,05	19,22	0,12
$Fe_2O_3$	0,46	0,19	0,08
MnO	0,008	0,007	0,002
MgO	0	0	0,01
CaO	0,02	0,06	0,01
$Na_2O$	0,03	3,75	0,03
$K_2O$	1,14	9,42	0,06
$TiO_2$	0,03	0	0,073
$P_2O_5$	0,108	0,035	0,02
PF	13,2	0,03	0,1
Total	99,99	100	99,9

Fonte: NBR 13818 [3].

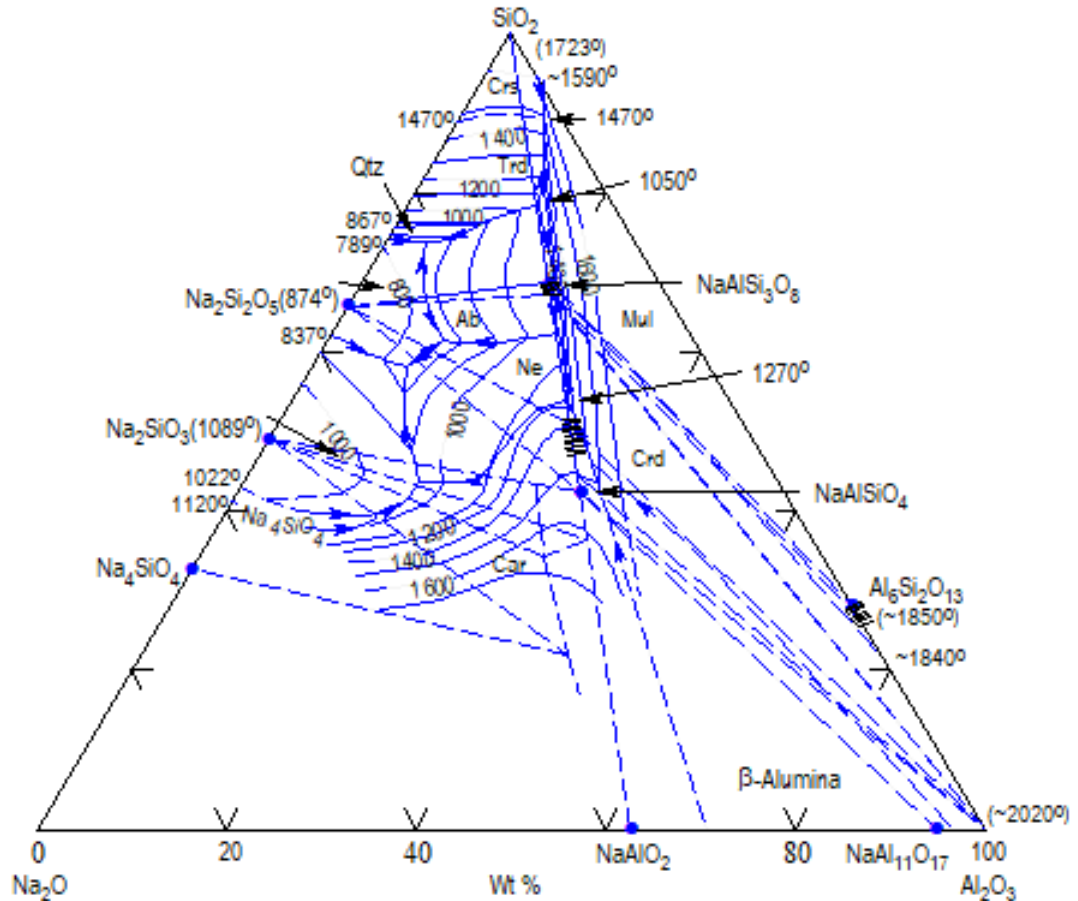
O diagrama triaxial é apresentado na Figura 7, de forma que qualquer ponto representa os três componentes citados acima: argila cauliníticas ( $Al_2O_3$ ) feldspato ( $Na_2O$ ), quartzo ( $SiO_2$ ). Basicamente a função dos componentes de minerais argilosos são a plasticidade (fase caulinita, illita e montmorilonita), os componentes de sílica são responsáveis pela estabilidade dimensional (quartzo), e os feldspato pela fusibilidade (fase ortoclásio e albita).

### 2.5.3 Difractometria Raios X

Segundo Callister, Uma metodologia para determinação quantitativa de fases cerâmicas é descrita utilizando-se a difratometria de raios X. Raios X são uma forma de



Figura 7 – Diagrama de Fases



Fonte: FASES [19].

radiação eletromagnética que possui altas energias e pequenos comprimentos de onda da ordem de grandeza do espaçamento atômico para sólidos. Quando um feixe de raios-X impingem num material sólido, uma porção deste feixe será espalhado em todas as direções pelos elétrons associados com cada átomo ou íon que fica no caminho do feixe. Um dos principais usos da difratometria de raios X é para a determinação da estrutura cristalina. O tamanho e a geometria da célula unitária podem ser resolvidos a partir das posições angulares dos picos de difração, enquanto que o arranjo de átomos dentro da célula unitária está associado com as intensidades relativas destes picos. [2]

Realizar uma análise em Raio X dos corpos de prova tornaria possível determinar o arranjo de átomos das fases presentes nos materiais. O microscópio eletrônico de varredura

é uma ferramenta que devido à alta capacidade de resolução de imagens, permite-nos observar imagens com excelente nitidez.

## 2.6 Sinterização

A sinterização é um processo termodinâmico no qual um sistema de partículas vem a adquirir uma estrutura sólida, através da atuação de mecanismos de transporte de matéria, resultando na redução de energia livre do sistema através do crescimento de contatos entre as partículas, redução do volume dos poros e alteração da geometria dos poros. Através da sinterização é promovida a densificação e a evolução da microestrutura do material, com conseqüente aumento expressivo da dureza e resistência mecânica. [16]

No caso dos revestimentos cerâmicos, podemos descrever dois tipos de sinterização: a sinterização por fase sólida e a sinterização por fase líquida. Dependendo do processo é possível densificar total ou parcialmente a estrutura, sendo que a sinterização por fase sólida se obtém uma estrutura com uma porosidade maior, enquanto que o fechamento total da porosidade é mais facilmente obtido através da sinterização por fase líquida.[17]

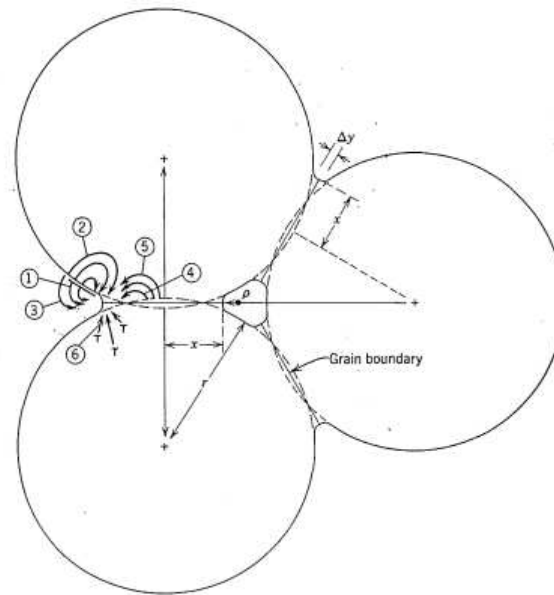
### 2.6.1 FASE SÓLIDA

Na sinterização por fase sólida, o material é transportado sem que haja qualquer tipo de líquido na estrutura. Existem como formas de transporte de material neste caso: por difusão atômica ou por transporte de vapor. Em ambos, o material é transferido para a região de contato entre partículas vizinhas. Sejam quais forem os mecanismos atuantes, rigidez e densificação são conseguidas pelo aumento da área de contato entre as partículas e o melhor empacotamento de matéria. [17]

As mudanças que ocorrem durante o processo de sinterização estão relacionadas a mudanças no tamanho e na forma do grão, mudanças na forma dos poros e mudanças no poro. Quando o pó (argila) está compactado, antes de ser queimado, é composto de grãos individuais separados por entre 25 a 60 vol% de porosidade. Para maximizar propriedades como resistência mecânica é desejável eliminar o máximo possível desta porosidade. Durante os estágios iniciais da sinterização, a difusão do contorno de grão e a difusão do volume são os aspectos mais importantes a serem analisados. Pois através da difusão da superfície pelos contornos do grão ocorre o fluxo por deformação plástica, o que causa a retração e densificação com a diminuição dos poros.[10]

Na figura 08, temos os pontos iniciais da sinterização. No ponto 1, temos a difusão por superfície. No ponto 2, a difusão pela rede através da superfície. No ponto 3, temos o transporte por vapor (evaporação e condensação). No ponto 4, difusão pelos contornos do grãos. No ponto 5, a difusão pela rede através dos contornos. No ponto 6, o fluxo por deformação plástica.[10]

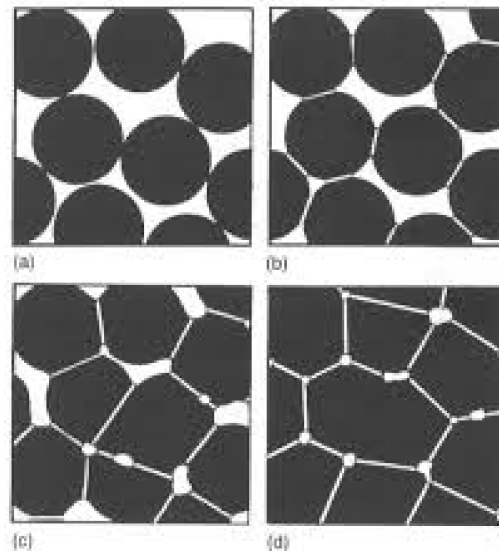
Figura 8 – Pontos iniciais da Sinterização por Fase Sólida



Fonte: Kingeryl [10].

Na figura 09 temos o processo de sinterização por fase sólida dividido em três estágios: estágio inicial, intermediário e final. Inicialmente temos o particulado que será aquecido até iniciar o primeiro estágio.

Figura 9 – Processos de Sinterização Fase Sólida



Fonte: Randall [7].

No primeiro estágio temos o rearranjo das partículas de pó e formação de uma ligação forte ou pescoço nos pontos de contato entre partículas, onde a densidade relativa aumenta em aproximadamente 10%.

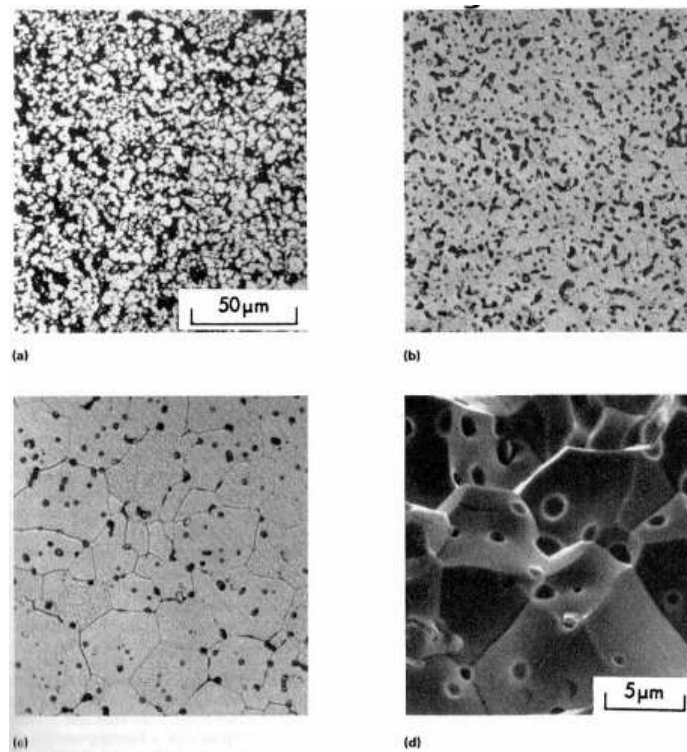
Seguimos para o segundo estágio intermediário onde o tamanho dos contatos aumenta, porosidade diminui substancialmente e partículas se aproximam levando à

retração da peça. Os contornos de grãos são formados e crescem lentamente fazendo com que a densidade relativa possa alcançar até 90%. O estágio termina quando os poros estão isolados.

No terceiro estágio (sinterização final), os poros se fecham e são eliminados lentamente com pouca densificação e dessa forma, o tamanho de grão aumenta.

Na figura 10 podemos verificar o crescimento de grãos. Crescimento de grão é o processo pelo qual o tamanho médio de grão de um material (livre de tensão ou quase) aumenta continuamente durante o tratamento térmico. Os grãos crescem pelo movimento dos contornos e a força motriz é a diferença na energia livre do material nos dois lados de um contorno de grão, que faz com que o contorno se mova na direção de seu centro de curvatura.

Figura 10 – Processos de Sinterização Fase Sólida



Fonte: Randall [7].

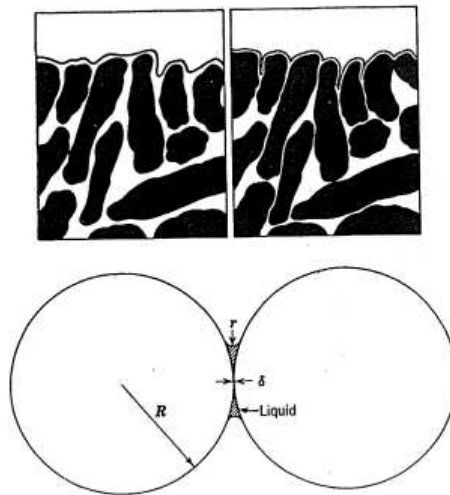
### 2.6.2 FASE LÍQUIDA

A Sinterização por Fase Líquida é o processo de sinterização no qual um dos elementos do sistema propicia a formação de uma fase líquida durante o processo de sinterização. Estudos de um grande número de sistemas indicam que para a densificação ocorrer de forma eficiente é essencial existir uma quantidade significativa de fase líquida, uma solubilidade alta do sólido no líquido e assim, o umedecimento do sólido pelo líquido. [10]

Basicamente podemos dividir a sinterização por fase líquida também em três etapas: a primeira etapa se classifica pelo rearranjo onde a fase líquida consegue fluir havendo o deslizamento de partículas, o reempacotamento e ocorre também a densificação rápida. A segunda etapa é a dissolução reprecipitação onde a fase sólida presente dissolve-se no líquido fazendo com que a quantidade de líquido aumenta até saturar-se em componente sólido e o líquido torna-se transportador de átomos da fase sólida. Por último, a etapa de retração final onde ocorre o crescimento de pescoço, crescimento de grão e aumento de tamanho do poro.[10]

A figura 11 demonstra a superfície da composição sólido-líquido com quantidades variáveis de fase líquida. Também demonstra como uma parte líquida entre duas esferas sólidas exerce pressão para aproximá-las. Essa pressão capilar resultará na força motriz para densificação.

Figura 11 – Fase Sólida presente na Sinterização



Fonte: Kingeryl [10].

A sinterização do porcelanato ocorre em presença de fase líquida viscosa. Este processo de densificação contribui para a baixa porosidade final das peças e confere a baixa absorção de água. A massa de porcelanato é rica em fundentes e este fato somado à temperatura de sinterização, promove a formação de fase líquida viscosa e é isso que favorece a eliminação da maioria dos poros presentes e, conseqüentemente, a densificação do produto final. Como resultado, uma maior retração linear é obtida devido à ação da força de capilaridade nos poros da peça sobre a fase líquida. [16]

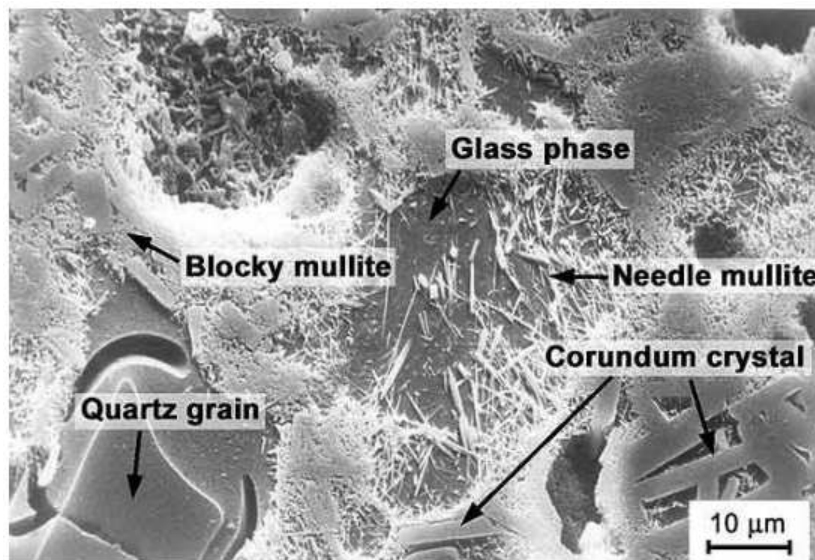
A sinterização do porcelanato é realizada utilizando ciclos de queima rápida, sendo que esses ciclos devem obedecer um intervalo de tempo total de no máximo 60 minutos, com intervalo de temperatura máxima variando entre 1250 e 1260°C. Uma importante consideração a respeito dos tempos de sinterização dos porcelanatos se relaciona ao fato de que eles, quando tem maior duração, de maneira geral, favorecem a diminuição das

temperaturas necessárias para se obter as propriedades mais importantes desejadas nos porcelanatos. Mudanças nas condições de queima podem acarretar significativamente em mudanças na densidade e, conseqüentemente, na característica dos poros fechados dos porcelanatos. Além disso, ciclos de sinterização significativamente curtos podem acarretar na produção de grande volume de poros fechados nos porcelanatos, mesmo que a absorção de água por parte desses materiais seja muito próxima de zero. Desta forma, podem ser ocasionados problemas de manchamento em produtos polidos e até problemas relacionados ao desempenho mecânico dos mesmos.[8]

Os seguintes mecanismos são ativos durante a sinterização do porcelanato: difusão superficial, responsável pela forte redução de área específica com retração desprezível no estágio inicial; fluxo viscoso, responsável pela ocorrência de densificação, principalmente no intervalo de 1050 a 1200°C; crescimento de poro, contrastando a diminuição da taxa de sinterização no estágio final ( $> 1175^{\circ}\text{C}$ ) e resultando em inchamento por sinterização prolongada. Vale ressaltar que durante a sinterização, a densificação aumenta progressivamente no intervalo de 1050 a 1200 °C, a fusão de eutéticos de feldspato – quartzo ocorre a 900°C e que uma grande massa de fase líquida viscosa está presente em 1000 °C, entretanto a retração não é proporcional à quantidade de fase líquida. Diante dessas afirmações, pode-se sugerir que a densificação depende da viscosidade da fase líquida e que mudanças limitadas na composição das massas e tempo sinterização, pode afetar a temperatura de queima. Uma vez que a taxa de sinterização é muito rápida acima de 70 – 80% de remoção de poro, com retração volumétrica variando de 2 – 5% por minuto em uma temperatura de 1200°C. [5]

Durante a sinterização do porcelanato, ocorre também dissolução parcial do quartzo na fase líquida. Mas esta dissolução pode ser limitada devido ao rápido ciclo de queima ser de, no máximo, 60 minutos. Outro fator que pode ocorrer durante a queima é o inchamento dos poros. O inchamento pode ser responsável pelo crescimento do poro e pela diminuição da taxa de densificação no estágio final da sinterização. [18] Os corpos cerâmicos prensados apresentaram, após secagem em 110°C, retração linear, massa específica aparente e tensão de ruptura a flexão dentro dos valores recomendados para produção industrial de revestimentos cerâmicos. Além disso, os corpos cerâmicos apresentaram a desidroxilação da caulinita, formação de mullita primária e formação de fase vítrea, que tem papel importante na densificação dos corpos cerâmicos. [12]

Figura 12 – Processos de Sinterização Fase Líquida



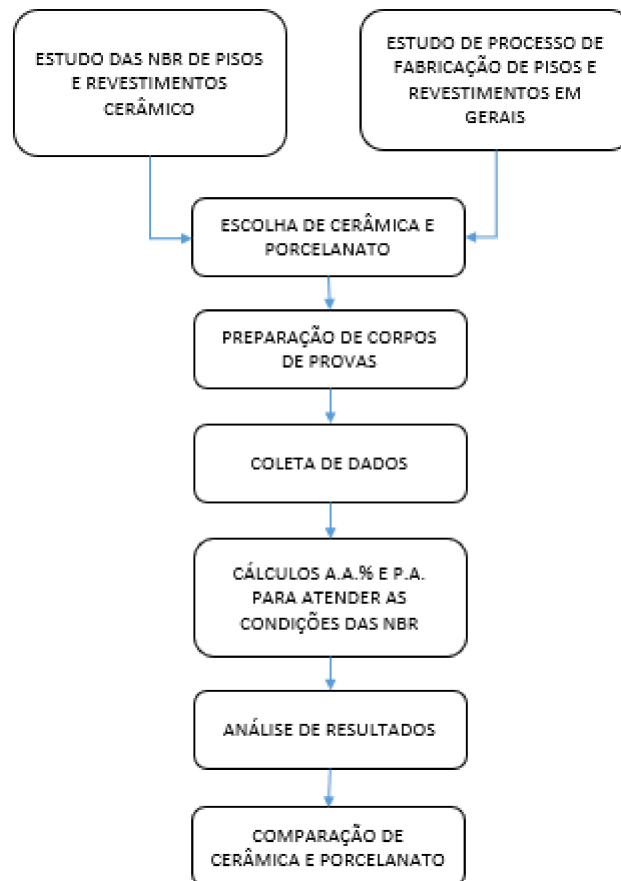
Fonte: Kagawa [9].

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Fluxograma

Para a análise das placas cerâmicas, foi baseado no seguinte fluxograma apresentado na Figura 13:

Figura 13 – Fluxograma



Fonte: Autor [15].

#### 3.2 Materiais e Métodos

Para realização deste trabalho foram utilizadas amostras de cerâmica e porcelanato, com dois processos de fabricação distintos e diferentes resistências mecânicas e absorção d'água. A cerâmica semiporosa BIIB e o Porcelanato.

Para obtenção das amostras foram utilizados um exemplar de cerâmica e um exemplar de porcelanato do Grupo Embramaco, no qual foram separadas 03 amostras de cerâmicas e 03 amostras de porcelanatos nos formatos próximos a 2x2 cm.

Para obtenção das peças de amostras foram utilizadas um disco diamantado com uso de fluido água para o corte, apresentado na Figura 14. Assim, foram possíveis obter os



corpos de porvas que são apresentados na Figura 15.

Figura 14 – Preparação Corpos de Prova



Fonte: Autor [15].

Figura 15 – Corpos de Prova



Fonte: Autor [15].

Após o processo de obtenção das amostras, os corpos de prova foram submetidos a alguns ensaios para cálculo de absorção de água. O cálculo de porosidade aparente fornece o provável percentual do volume de poros abertos, após a sinterização, dos corpos de prova em relação ao seu volume total. A porosidade aparente (PA), a absorção de água (AA) foram determinadas pelo método de Arquimedes.

Os corpos de prova cerâmicos foram pesados a seco para coleta de Massa Seca (Ms), depois foram submerso em água destilada por 24 horas, depois de retirado da água

os corpos de prova foram pesados para obtenção de Massa Úmida ( $M_u$ ). Foram medidas também a massa dos corpos de prova imerso, para assim obter o valor de Massa Imersa ( $M_i$ ). Quando se fala da Massa Imersa deve-se utilizar um recipiente com água sobre uma balança, realizar a tara (zerar essa balança que antes mostrava a massa do recipiente com a água) e depois mergulhar a amostra que se deseja obter a chamada Massa Imersa. Com esses dados, é possível calcular o percentual da porosidade aparente, utilizando a equação a seguir, segundo Menezes. [13]

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \cdot 100 \quad (3.1)$$

A absorção de água é o valor em porcentagem, da massa de água absorvida pelo corpo.

O ensaio foi realizado da seguinte maneira: os corpos de prova cerâmicos foram submersos em água por 24 horas. Logo após, esse período submerso, os corpos cerâmicos retirados da água e o excesso de água foi removido com pano umedecido, em seguida foi pesado para verificação da variação da massa em função da água. O percentual da massa de água absorvido pelo corpo de prova cerâmico é calculado pela equação abaixo:

$$AA(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (3.2)$$

#### 4 RESULTADOS E ANÁLISES

O primeiro passo foi numerar os corpos de provas e realizar as devidas medidas em largura, altura e espessura. Esses dados são apresentados na Tabela 3, em que obtivemos amostras próximas a 2x2 cm.

Tabela 3 – Dimensões das Amostras

Amostra	Dimensões
PORCELANATO I	8,80 x 20,80 x 18,95 mm
PORCELANATO II	8,80 X 17,10 x 18,90 mm
PORCELANATO III	8,80 x 19,00 x 18,55 mm
CERÂMICA I	7,40 x 19,20 x 19,15 mm
CERÂMICA II	7,40 x 18,75 x 19,00 mm
CERÂMICA III	7,40 x 17,85 x 19,55 mm

Fonte: Autor [15].

Em seguida, os corpos de provas foram destinados a pesagem a seco, úmido e imerso, onde foram obtidos os seguintes resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Massas das Amostras

Amostra	Massa Seco	Massa Úmido	Massa Imerso
PORCELANATO I	7,00 g	7,00 g	7,00 g
PORCELANATO II	6,20 g	6,26 g	6,28 g
PORCELANATO III	6,90 g	6,92 g	6,93 g
CERÂMICA I	5,00 g	5,34 g	5,35 g
CERÂMICA II	4,80 g	5,07 g	5,08 g
CERÂMICA III	4,40 g	4,70 g	4,72 g

Fonte: Autor [15].

Percebe-se que as amostras de porcelanatos sofreram pouca alteração de massa por possuir pouca absorção de água, ao contrário de amostras de cerâmicas que absorveram bastante água.

A partir dos dados desta Tabela 4 foi possível encontrar os valores de AA% e PA determinadas através das fórmulas. Os resultados dos cálculos são apresetnados na Tabela 5 e a média desses resultados na Tabela 6.

Tabela 5 – Resultados PA% e AA%

Amostra	Porosidade Aparente	Absorção de Água
PORCELANATO I	0,00%	0,00%
PORCELANATO II	3,00%	0,96%
PORCELANATO III	2,00%	0,29%
CERÂMICA I	34,00%	6,37%
CERÂMICA II	27,00%	5,33%
CERÂMICA III	15,00%	6,38%

Fonte: Autor [15].

Tabela 6 – Média dos Resultados PA% e AA%

Amostra	Porosidade Aparente	Absorção de Água
PORCELANATO	1,67%	0,42%
CERÂMICA	25,33%	6,02%

Fonte: Autor [15].

A porosidade aparente fornece o percentual do volume de poros abertos dos corpos de prova em relação ao seu volume total, onde era esperado que os valores das amostras de Porcelanatos fossem mínimos enquanto os de cerâmica fossem consideravelmente altos.

A baixa porosidade desejada e, conseqüentemente, elevada resistência mecânica conferida aos produtos finais de porcelanato, fazem com que o feldspato esteja presente em grandes quantidades na massa de porcelanato tendo, portanto, um papel fundamental. Para o porcelanato, o alto teor de álcalis (óxidos de metais alcalinos e alcalinos terrosos) proveniente dos feldspatos é extremamente importante, já que proporciona o aparecimento da primeira fase líquida formada durante a sinterização, sendo responsável pelo processo inicial da densificação, refletindo em baixa porosidade no produto final.

As cerâmicas possuem elevado teor de  $SiO_2$ , o quartzo que se faz presente como um dos principais minerais das rochas argilosas presentes em Santa Gertrudes. Em menores quantidades aparecem as argilas caulínicas e feldspatos nessas cerâmicas.

A partir da composição química das matérias primas e diagramas de fase, envolvendo os óxidos majoritários e com o auxílio de métodos matemáticos de resolução de matrizes, torna-se possível determinar melhor o conjunto de matérias primas e suas proporções, na obtenção de uma ou mais fases que satisfaçam as propriedades exigidas para um determinado produto. Da mesma maneira, torna-se possível prever quais as fases comporão o produto e, conseqüentemente, as propriedades desse produto.

Em um diagrama  $Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2$  é possível encontrar os pontos de cerâmica e porcelanato para se analisar as fases presentes. Basicamente deve-se seguir os parâmetros

de percentuais desse componentes para cada referência em análise e localizá-lo no diagrama triaxial. Na Tabela 07 encontramos os percentuais referentes à cerâmica e porcelanato desses três compostos analisados, usado como referência em uma proporção para 100%, segundo Motta e Antônio.[14]

Tabela 7 – Percentual

Amostra	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Na_2O$
CERÂMICA	81,21%	18,18%	0,61%
PORCELANATO	73,12%	22,58%	4,30%

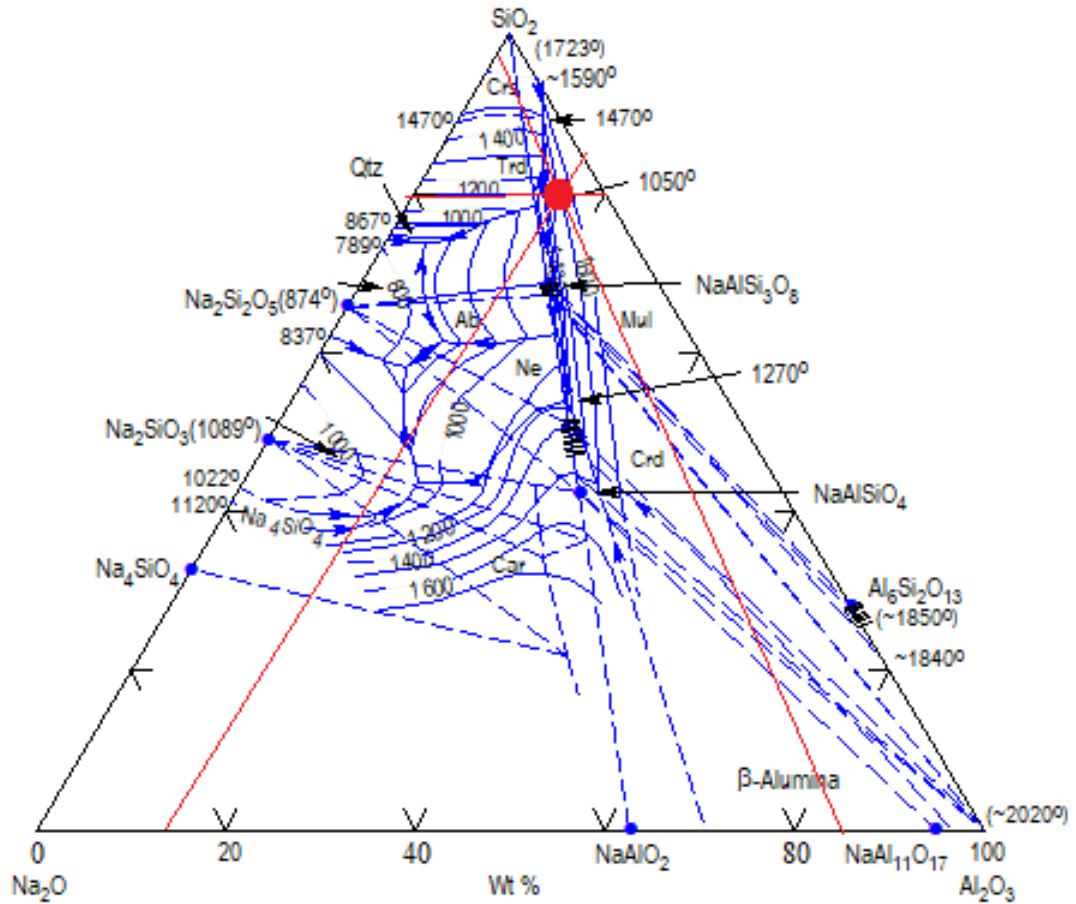
Fonte: Autor [15].

Deve-se observar que os diagramas de fases ilustram a formação de fases a partir da reação entre os componentes presentes na matéria-prima. Portanto o resultado esperado da análise de fases e microestrutura dos corpos de provas de cerâmicas e porcelanatos deste presente trabalho caracteriza-se pelo encontro das principais fases: quartzo, a mullita e a fase vítrea.

As características da microestrutura que podem ser determinadas são: o número de identificação de fases presentes, incluindo porosidade; a quantidade de fases presentes; e característica de cada fase como tamanho, forma e orientação. [10]

Na Figura 16 podemos localizar o ponto de Cerâmica no Diagrama através da determinação do percentual de composição descrito na tabela 7. Para encontrar o ponto foi seguido o princípio de variação de uma ponta à outra de 0% a 100%, no qual a ponta do triângulo simbolizada por  $SiO_2$  representa 0% de  $Na_2O$  e 100% de  $SiO_2$ . A outra ponta do triângulo simbolizada por  $Na_2O$  representa 100% de  $Na_2O$  e 0% de  $Al_2O_3$ . Seguindo assim, a outra ponta simbolizada por  $Al_2O_3$  representa 100% de  $Al_2O_3$  e 0% de  $SiO_2$ .

Figura 16 – Diagrama Triaxial Cerâmica

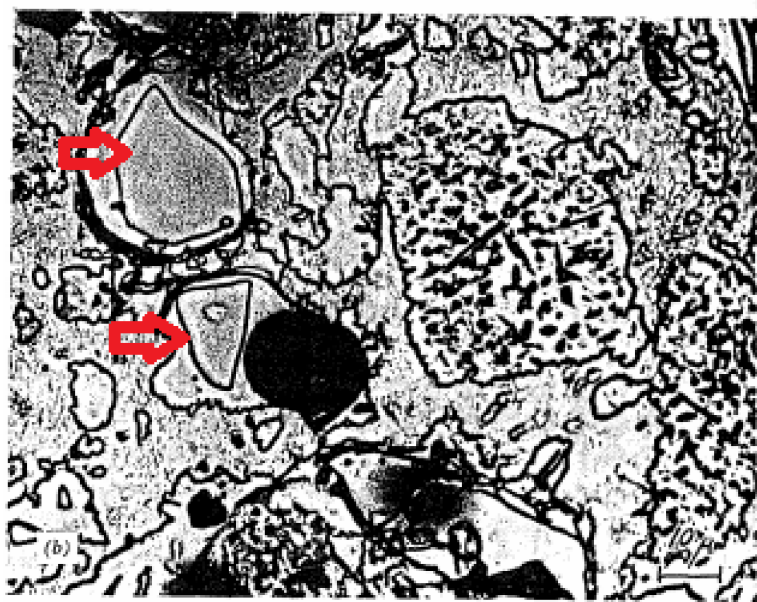


Fonte: Autor [15].

Observando a Figura 16 podemos identificar a presença principal da fase Quartzo na cerâmica através da temperatura de queima de 1050°C. As placas de cerâmica quando são aquecidas, o quartzo alpha estável, que é a forma alotrópica da sílica estável à temperatura ambiente expande-se uniformemente até 573 °C, quando ocorre a transformação reversível do quartzo alpha em quartzo beta estável. Durante o resfriamento, é esperado na análise de fases que as partículas de quartzo formem trinca periférica ao grão devido a maior contração delas em relação à fase vítrea. De modo semelhante, a diferença do coeficiente de expansão térmica entre as fases causam trincas no vidro formado no resfriamento. A presença de trincas periféricas às partículas de quartzo e principalmente trincas na fase vítrea (possivelmente interconectadas) e a fratura de grãos de quartzo limitam a resistência mecânica das cerâmicas. A microestrutura apresentada na figura 17 é um

resultado esperado para a análise da cerâmica, onde é possível visualizar grandes grãos de quartzo cercados por uma borda de vidro (fase vítrea) com alto teor de sílica. Poros também estão presentes [10]

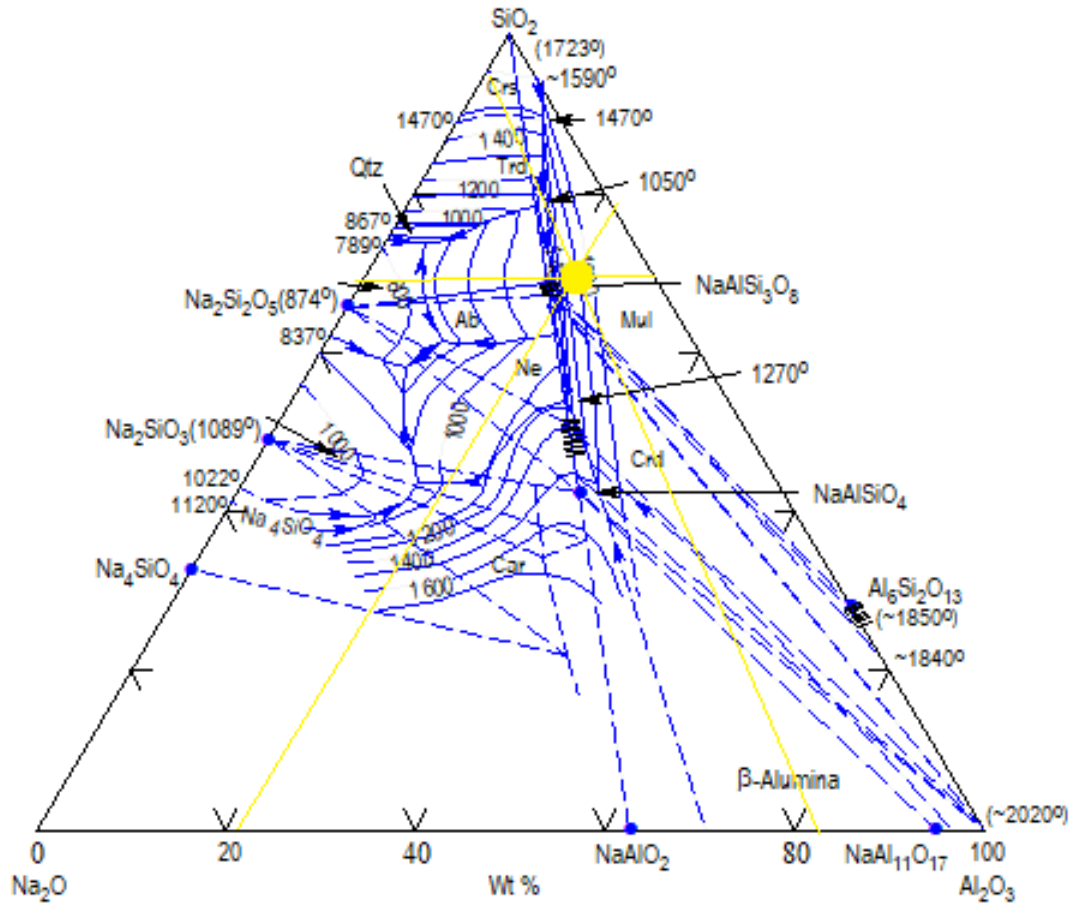
Figura 17 – Micrografia Cerâmica



Fonte: Kingery [10].

Na Figura 18 podemos localizar o ponto do Porcelanato no Diagrama através da determinação do percentual de composição, seguindo os mesmos passos descritos para encontrar o ponto na Figura 15.

Figura 18 – Diagrama Triaxial Porcelanato

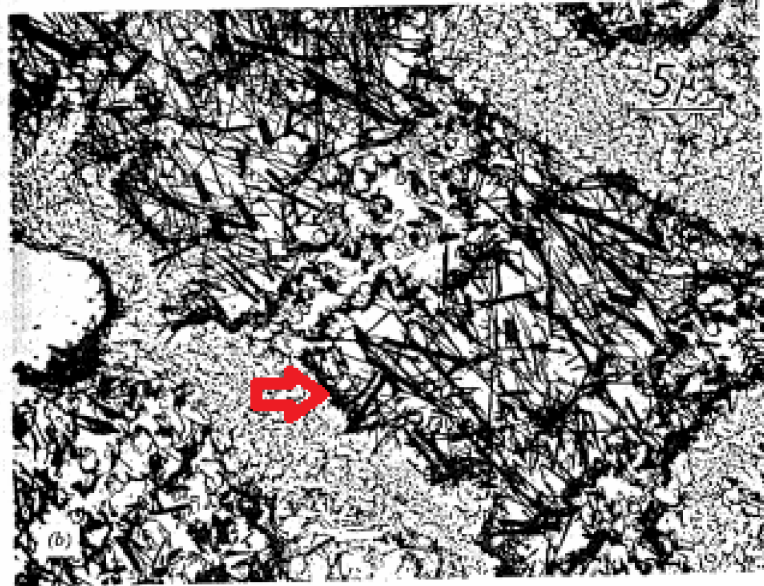


Fonte: Autor [15].

Observando a Figura 18, o resultado esperado na análise de fases do Porcelanato se destaca pela fase mulita através da temperatura de queima de 1250 °C. Essa fase Mulita poderia ser observada na microestrutura na forma de escama e de agulhas e por originar-se do caulim, a mulita na forma de escama é denominada primária. A mulita que cristaliza a partir do feldspato fundido apresenta a forma de agulhas, facilmente identificável, é denominada secundária. A figura 19 ilustra como seria o resultado esperado pela análise do porcelanato, com a microestrutura da mulita apresentada na forma de escama e de agulhas. [10].



Figura 19 – Micrografia Porcelanato



Fonte: Kingery [10].

A formação de mulita primária é uma consequência direta da decomposição do caulim com o aumento de temperatura. A formação de mulita secundária dá-se na fase vítrea formada pela fusão do feldspato, sendo fortemente influenciada pela viscosidade e composição química da fase vítrea em altas temperaturas (próximas a 1200 °C).

Na queima do Porcelanato, durante o aquecimento, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, em decorrência da fusão parcial dos componentes menos refratários presentes na massa. Um dos fatos essenciais na diferenciação da cerâmica e porcelanato, visto que na cerâmica a fase líquida não se forma. O aumento da temperatura provoca a redução da viscosidade das fases líquidas, facilitando assim o seu “escorrimento” para dentro dos espaços vazios entre as partículas que ainda não se fundiram, resultando em uma diminuição do volume de poros e na retração da peça.

## 5 CONCLUSÕES

Todos os objetivos do presente trabalho foram cumpridos. Através de pesquisas e visitas técnicas na fábrica Embramaco, o objetivo de adquirir conhecimento sobre o processo de fabricação de Cerâmica e Porcelanato e análise comparativa foi alcançado. Com a obtenção de dados e cálculos, foi possível realizar uma comparação segundo a ABNT dos diferentes tipos de revestimentos, assim como uma revisão bibliográfica das fases no processo de queima das cerâmicas e porcelanatos. É importante ressaltar que os estudos práticos que poderia ter sido realizados em laboratório só não foram possíveis devido à Pandemia.

Ao executar o estudo das fases o resultado esperado é a presença principal da fase quartzo nas cerâmicas, que possuem uma resistência mecânica inferior ao porcelanato. Basicamente, a porosidade aparente encontrada nos resultados são frutos do diâmetro dos poros que são prejudiciais à resistência mecânica das peças, como era de se esperar. A presença das fases de quartzo e principalmente possíveis trincas na fase vítrea e a fratura de grãos de quartzo limitam a resistência mecânica das cerâmicas por ser um concentrador de tensão. Consequentemente, encontra-se uma absorção de água de 6% a 10%, resultado obtido neste trabalho conforme a NBR exige.

Nos porcelanatos o encontro de uma porosidade aparente menor era de se esperar. A superfície da amostra apresenta-se livre de porosidade aberta, explicando os baixos valores de absorção de água e dessa porosidade aparente. A formação da fase de mulita esperada nos porcelanatos é uma consequência direta da decomposição do caulim com o aumento de temperatura. A formação de mulita dá-se na fase vítrea formada pela fusão do feldspato, sendo fortemente influenciada pela viscosidade e composição química da fase vítrea. Esse resultado elevado esperado de feldspato irá nos indicar a baixa porosidade desejada e, consequentemente, elevada resistência mecânica conferida aos produtos finais. Assim, conforme analisado em cálculos dos corpos de provas, foi encontrado uma Absorção de Água inferior a 0,5% conforme a NBR exige.

Concluí-se assim, a análise comparativa de placas de cerâmicas e porcelanatos com amostras da fábrica utilizados como corpos de provas para os testes. Seria possível uma análise mais detalhada do resultado esperado através de Raio X e micrografia onde seria possível identificar as fases e os poros presentes nos corpos de provas, onde neste trabalho foi apresentado este resultado esperado através de um estudo aprofundado na fabricação de cerâmicas e porcelanatos e teorias envolvidas no processo.

## 5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Análise de Micrografia de Poros em laboratório das amostras de cerâmicas e porcelanatos
- Análise de fases por difração em Raios-X das amostras de cerâmicas e porcelanatos.
- Análise de Resistência Mecânica com Carga de Ruptura

## REFERÊNCIAS

- [1] L. Baraldi. World production and consumption of ceramic tiles. *Machinery Economics Studies by Acimac*, 2017.
- [2] W. D. Callister. *Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução*. John Wiley e Sons Inc, 2002.
- [3] A. B. de Normas Técnicas. *NBR 13818*. ABNT, 1997.
- [4] A. P. N. de Oliveira. *Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos*. editora UFSC, 2ª edição edition, 2015.
- [5] M. e. a. Dondi. *The role of surface microstructure on the resistance to stain of porcelain stoneware tiles*. Journal of the European Ceramic Society, v. 25, n. 4, 357 a 365, 2005.
- [6] G. Embramac. *Treinamento Técnico*. Empresa Brasileira de Materiais para Construção, 2014.
- [7] R. M. German. *Fundamentals of Sintering*. S.J. Schneider Engineered Materials Handbook, Ceramics and Glasses, vol4 edition, 1991.
- [8] C. Heck. *Grês Porcelanato. Cerâmica Industrial*. Inc, vol4 edition, 1996.
- [9] N. Kim, K. Hiraga, K. Morita, H. Yoshida, and Y. Kagawa. *Light scattering in MgO doped alumina fabricated by spark plasma sintering*. Acta Materialia 58, 2010.
- [10] W. D. Kingery, H. K. Bowen, and D. R. Uhlmann. *Introduction to Ceramics*. John Wiley Sons Inc, second edition edition, 1975.
- [11] J. M. V. e. J. A. Manuel J. Ribeiro. A atomização como processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica. *Cerâmica Industrial*, 6 Setembro/Outubro, 2001.
- [12] M. M. d. P. Melo. *Análise microestrutural de misturas cerâmicas de grês porcelanato com adição de chamote de telhas cerâmicas*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Campus Universitário, 2009.
- [13] J. Menezes. Avaliação da porosidade aparente e absorção de água da massa cerâmica para porcelanato em função da incorporação de resíduo de caulim. *Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 18 de maio de 2016.
- [14] J. F. M. Motta. Características do pólo de revestimentos cerâmicos de santa gertrudes. *Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo*, 2004.

- [15] D. P. Nunes. *Análise Comparativa entre Placas de Cerâmica e Porcelanato*. 1ª edição edition, 2020.
- [16] R. O. R. Thummler. *Introduction to Power Metallurgy*. The Institute of Materials Carlton House Terrace, 1993.
- [17] C. Silva, Angelus Giuseppe Pereira da e Alves Junior. *Teoria da Sinterização por fase sólida, uma análise crítica da sua aplicação*. n.289, pp.171-176. ISSN 1678-4553, v44 edition, 1999.
- [18] e. a. Sánchez NS. *Requirements of Cyc2p and the porin, Por1p, for ionic stability and mitochondrial integrity in Saccharomyces cerevisiae*. Arch Biochem Biophys 392(2):326-32, 2001.
- [19] USP. Formulação de materiais cerâmicos. [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5624649/mod\\_resource/content/1/Formula%C3%A7%C3%A3o%20de%20materiais%20cer%C3%A2micos.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5624649/mod_resource/content/1/Formula%C3%A7%C3%A3o%20de%20materiais%20cer%C3%A2micos.pdf). Acesso em 24/09/2020.

**ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE****UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA****Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>1</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>2</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 15 de Março de 2021.

*Diogo Paula Nunes*

---

Diogo Paula Nunes – Discente  
Matrícula: 201365346M – CPF: 09657044677

<sup>1</sup> LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>2</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.