

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**GABRYELLA CERRI MENDONÇA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA COM A ADIÇÃO  
DE RESÍDUO ORIUNDO DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

**Bagé  
2019**

**GABRYELLA CERRI MENDONÇA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA COM A ADIÇÃO  
DE RESÍDUO ORIUNDO DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Corrêa Ferreira

**Bagé  
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

M539p Mendonça, Gabryella Cerri  
Produção e caracterização da cerâmica vermelha com a adição de resíduo oriundo da indústria cervejeira / Gabryella Cerri Mendonça.

88 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2019.

"Orientação: Cristiano Corrêa Ferreira".

1. Materiais cerâmicos. 2. Resíduo. 3. Indústria cervejeira. 4. Bagaço de malte. 5. Cerâmica vermelha. I. Ferreira, Cristiano Corrêa (orient.). II. Título.

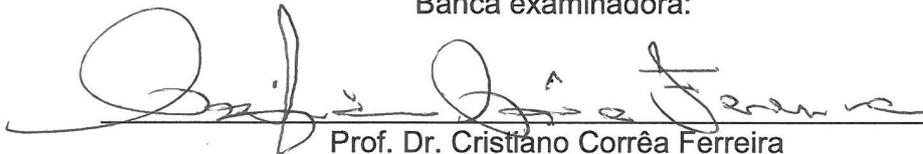
**GABRYELLA CERRI MENDONÇA**

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CERÂMICA VERMELHA COM A ADIÇÃO  
DE RESÍDUO ORIUNDO DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

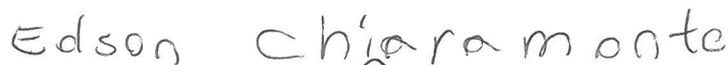
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Química da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em: 26 de junho de 2019.

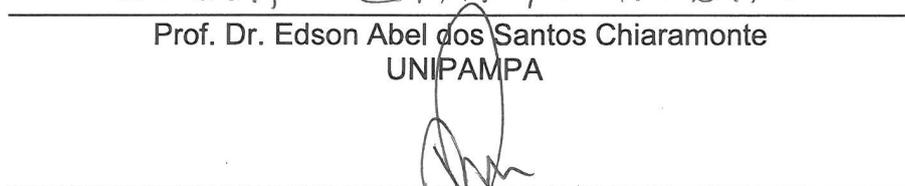
Banca examinadora:



Prof. Dr. Cristiano Corrêa Ferreira  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. Dr. Edson Abel dos Santos Chiaramonte  
UNIPAMPA



Profª. Drª. Vera Lúcia Duarte Ferreira  
UNIPAMPA

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Kelly Cerri Mendonça e Márcio Martins Mendonça, que sempre me apoiaram e incentivaram os meus estudos e as minhas escolhas, que não mediram esforços para me ajudar no que fosse preciso e por me mostrarem que sou capaz de realizar todos os meus sonhos.

A minha vó materna, Maria Eli Gomes Cerri, por toda a preocupação, a vibração e a torcida por todas as minhas conquistas, além de todos os conselhos.

Ao meu irmão, Guilherme Cerri Mendonça, por cuidar de mim, mesmo de longe, ao seu companheirismo e carinho.

Ao meu namorado, Fernando Dias Sá, companheiro de todas as horas, por sempre me ajudar nos momentos que precisei, pela paciência e pelo encorajamento nas horas difíceis, sempre me mostrando que para todo problema tem uma solução e que se não tiver, a gente inventa.

Aos meus amigos, Luís Paulo Delgado Martins, Bruna Vaz Menegotto, Paloma Pereira, Karen Carvalho, Illgner Miller e Cristiane Geissler, que compartilharam comigo diversos momentos, tristes e felizes, de aprendizado e diversão. Vou levar vocês comigo sempre.

Ao Sr. Juarez Fonseca, por sempre me ajudar com todas as análises. A sua colaboração foi de extrema importância para este trabalho.

Agradeço também a Letícia Monego que sempre estava presente no laboratório, principalmente, quando me ajudou com a moagem da argila.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cristiano Corrêa Ferreira, primeiramente por ter aceitado ser meu orientador, por me ajudar na construção deste trabalho, por sempre se mostrar presente quando eu precisei, além de toda paciência que teve comigo durante esses quatro anos trabalhando juntos, além da amizade construída durante esse processo.

À banca examinadora por ter aceitado o convite.

Por fim, a todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O Brasil é o terceiro maior consumidor de cerveja do mundo e, nos últimos anos, a criação de cervejarias artesanais cresceu exponencialmente, sendo que o Rio Grande do Sul é considerado o estado com o maior número de cervejarias. No processo de fabricação de cerveja, uma quantidade significativa de resíduo é gerada como, por exemplo, o bagaço de malte. Por outro lado, o uso de recursos naturais não renováveis, como a argila, pode chegar ao fim, em função das políticas de proibição dos órgãos de fiscalização e ambientais. Por esse motivo, a incorporação de resíduos sólidos tem se mostrado como uma alternativa viável para melhorar as propriedades tecnológicas das cerâmicas. Diante disso, o objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi utilizar esse resíduo *in natura* em adição de diferentes porcentagens, em volume na argila *in natura* (0, 5, 10, 15 e 20%), para a fabricação de corpos cerâmicos via extrusão. A argila foi coletada em indústria de mineração e o resíduo foi proveniente de uma microcervejaria e provém da etapa do processo de filtração do mostro. A argila passou pelo processo de sazonalização, foi destorroada e moída. Já o resíduo foi seco em estufa, moído e quarteado. Foram realizadas as seguintes formulações: A0, BM5, BM10 e BM20, sendo com 0, 5, 10, 15 e 20% de adição em volume do resíduo à massa argilosa. Ambas as matérias-primas foram submetidas à caracterização química pela Fluorescência de Raios-X (FRX) e física, por meio dos Limites de Atterberg, densidade aparente e análise granulométrica. A conformação das amostras foi realizada via extrusão a vácuo e a secagem foi feita de modo natural e artificial. As umidades, contrações lineares de secagem e de queima, perda ao fogo e resistência mecânica a seco foram avaliadas. A sinterização dos produtos cerâmicos foi realizada em temperaturas de 900 e 1000 °C, com taxa de aquecimento de 100 °C/hora e o patamar de sinterização de três horas quando foi atingida a temperatura requerida. Os ensaios de caracterização dos produtos foram realizados por: resistência mecânica pela tensão de ruptura à flexão, absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente. Um ensaio de patologia também foi realizado, a eflorescência. Por fim realizou-se também uma análise estatística da resistência mecânica e absorção de água a partir do Teste Dunnnett e avaliou-se essas mesmas análises em um tratamento estatístico pela Análise de Agrupamento. Para a resistência mecânica, a média dos valores obtidos para a temperatura de queima de 900 °C variaram de 12,359±3,71 MPa até 24,21±6,41 MPa. Para a queima a 1000 °C, variaram de 16,15±2,65 MPa até 29,86±5,16 MPa. Para a absorção de água, a média dos valores obtidos para a temperatura de 900 °C variaram de 14,69±0,41% até 23,66±2,84%. E, para 1000 °C, variaram de 12,3±2,07% até 19,41±1,43%. Tanto a resistência mecânica quanto a absorção de água obtiveram melhores valores na temperatura de queima a 1000 °C, inclusive, a presença da eflorescência nessa temperatura de queima foi menor. Dessa forma, todas as formulações em ambas as temperaturas de queima se enquadram dentro dos valores de RM, AA, PA e MEA das normas exigidas, indicando que o bagaço de malte adicionado em argila para materiais cerâmicos é uma alternativa viável. A análise de agrupamento, mostrou que há uma boa similaridade entre as formulações, indicando a possibilidade de uso desse resíduo para fabricação de cerâmica vermelha.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha. Bagaço de malte. Resistência mecânica. Absorção de água. Eflorescência.

## ABSTRACT

Brazil is the largest consumer of beer in the world and, in recent years, a creation of handcrafted beers exponentially expanded, with Rio Grande do Sul being the most important with the largest number of breweries. No brewing process, a significant amount of garbage is generated such as, for example, malt bagasse. On the other hand, the use of nonrenewable natural resources, as a task, can end, as a function of environmental and control policies. For this reason, a mixture of solids may have been a viable alternative to improve the technological properties of ceramics. Thus, the work of this course of the prophet hood has been to that in the text in the earth in the text in the quantum in the nature (0, 5, 10, 15 and 20%), for the manufacturer of ceramics for extrusion. The seed was collected in a mining industry and the residue was proven in a microbrewery and provided the most role filtration process step. Clay to the seasoning process, it was dismantled and ground. Already the residue was dried, in the greenhouse, ground and quartet. The following formulations were made: A0, BM5, BM10 and BM20, with 0, 5, 10, 15 and 20% volume deposition of the residue to the clay mass. Both raw materials were submitted to the chemical characterization of the X-Ray Fluorescence (FRX) and physical, through the Atterberg Limits, by the apparent intensity and granulometric analyses. The conformation of the plants was carried out by vacuum extrusion and the feed was made naturally and artificially. Humidity, linear drying and firing resistance and dry strength were evaluated. The sintering of the ceramic products was carried out at temperatures of 900 and 1000 °C, with a heating rate of 1000 °C/hour and the sintering stage of the three hours when the required temperature was reached. Mechanical resistance performed the products characterization tests by bending rupture stress, water absorption, apparent porosity and apparent specific mass. A pathology test was performed, efflorescence. Finally, a statistical analysis of the mechanical resistance and water absorption from the Dunnett Test was performed and the same analysis were evaluated in a statistical treatment by Group Analysis. For the mechanical strength, the average values obtained for the burning temperature of 900 °C varied from 12.539±3.71 MPa to 24.21±6.41 MPa. For the firing as 1000 °C, they ranged from 16.15±2.65 MPa to 29.89±5.16 MPa. For the water absorption, the average values obtained for the temperature of 900 °C varied from 14.69±0.41% to 23.66±2.84%. At 1000 °C, they ranged from 12.3±2.07% to 19.41±1.43%. Both the mechanical strength and the water absorption obtained better values at the burning temperature at 1000 °C, even the presence of the efflorescence at the burning temperature was lower. Thus, all the formulation at both firing temperatures fall within the RM, AA, Pa and MEA values of the required standards, indicating that malt bagasse added in clay for ceramic materials is a viable alternative. The group analysis showed that there is a good similarity between the formulations, indicating the possibility of using this residue to make red ceramic.

Keywords: Red ceramics. Malt cake. Mechanical resistance. Water absorption. Efflorescence.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo do Processo Cervejeiro.....	20
Figura 2 – Fluxograma da Geração de Resíduos em uma Indústria Cervejeira	22
Figura 3 – Fluxograma do Processo Produtivo da Cerâmica Vermelha.....	29
Figura 4 – Fluxograma Geral da Metodologia.....	35
Figura 5 – Coleta das Matérias-Primas.....	36
Figura 6 – Sazonamento da Argila.....	37
Figura 7 – Pré-tratamento da Argila.....	37
Figura 8 – Pré-tratamento do Resíduo.....	38
Figura 9 – Preparação das Matérias-Primas para Realização FRX.....	39
Figura 10 – Ensaio de Densidade Aparente.....	40
Figura 11 – Limite de Liquidez.....	41
Figura 12 – Limite de Plasticidade.....	41
Figura 13 – Limite de Contração.....	43
Figura 14 – Análise Granulométrica.....	44
Figura 15 – Massa específica.....	45
Figura 16 – Moldagem.....	46
Figura 17 – Secagem Natural.....	47
Figura 18 – Presença de Mofo nos CPs.....	47
Figura 19 – Secagem Artificial.....	48
Figura 20 – Medições pós-secagem.....	48
Figura 21 – Resistência Mecânica a Seco.....	50
Figura 22 – CPs Antes e Pós-Queima.....	51
Figura 23 – Etapas do Ensaio de Tensão de Resistência à Flexão.....	52
Figura 24 – Etapas dos ensaios de Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente.....	53
Figura 25 – Ensaio de Eflorescência.....	55
Figura 26 – Diagrama de Winkler.....	60
Figura 27 – CPs Após Análise de Eflorescência.....	68
Figura 28 – <i>Box plot</i> Resistência Mecânica.....	70
Figura 29 – Dendogramas obtidos na análise de agrupamento para RM.....	71
Figura 30 – Dendogramas obtidos na análise de agrupamento para AA.....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formulações.....	38
Tabela 2 – Resultado da Análise Química da Argila e do BM.....	57
Tabela 3 – Resultados dos Ensaios de Caracterização das Matérias-Primas....	58
Tabela 4 – Distribuição Granulométrica.....	59
Tabela 5 – Umidade de Conformação e Contração Linear de Secagem.....	61
Tabela 6 – Resultado da Resistência Mecânica Média a Seco.....	62
Tabela 7 – Valores Recomendados de Resistência Mecânica a Seco para Diferentes Produtos.....	62
Tabela 8 – Perda ao Fogo e Contração Linear de Queima.....	63
Tabela 9 – Resultado Resistência Mecânica.....	64
Tabela 10 – Resultados Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente .....	66
Tabela 11 – Coeficientes de Correlação.....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Transformações Química e Física dos Corpos Cerâmicos durante o Processo de Queima.....	31
Quadro 2 – Ensaio de Caracterização das Matérias-Primas.....	32
Quadro 3 – Ensaio de Caracterização dos Produtos.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA – Absorção de Água  
ABC – Associação Brasileira de Cerâmica  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
BM – Bagaço de Malte  
CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia  
CLQ – Contração Linear de Queima  
CLS – Contração Linear de Secagem  
CRM – Companhia Rio-Grandense de Mineração  
SIOCERGS – Sindicato das Indústrias de Olaria e Cerâmica do Rio Grande do Sul  
NBR – Norma Brasileira  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental  
RUC – Resíduos Úmidos Cervejeiros  
FRX – Fluorescência de Raios-X  
LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos  
LL – Limite de Liquidez  
LP – Limite de Plasticidade  
IP – Índice de Plasticidade  
U – Umidade de Conformação  
RM – Resistência Mecânica  
PA – Porosidade Aparente  
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
MEA – Massa Específica Aparente  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
PF – Perda ao Fogo  
UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa  
URCAMP – Universidade da Região da Campanha  
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Argilas Cerâmicas.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Resíduos Sólidos.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Setor Cervejeiro.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 Matérias-Primas e o Processo de Fabricação de Cerveja.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5 Resíduos da Indústria Cervejeira.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6 Resíduo Úmido da Indústria Cervejeira.....</b>	<b>24</b>
<b>3.7 Incorporação de Resíduos em Cerâmica Vermelha.....</b>	<b>24</b>
<b>3.8 Resíduos Cervejeiros em Materiais Cerâmicos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.9 Processo Produção de Cerâmica Vermelha.....</b>	<b>28</b>
<b>3.10 Análise Multivariada para Materiais Cerâmicos.....</b>	<b>32</b>
<b>3.11 Ensaios de Caracterização das Matérias-Primas.....</b>	<b>32</b>
<b>3.12 Ensaios de Caracterização dos Produtos.....</b>	<b>33</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Coleta das Matérias-Primas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 Preparação das Matérias-Primas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3 Fabricação das Formulações.....</b>	<b>38</b>
<b>4.4 Caracterizações das Matérias-Primas.....</b>	<b>39</b>
4.4.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X.....	39
4.4.2 Densidade Aparente.....	39
4.4.3 Limites de Atterberg.....	40
4.4.4 Análise Granulométrica.....	43
<b>4.5 Fabricação dos Produtos por Extrusão.....</b>	<b>46</b>
<b>4.6 Secagem dos Produtos.....</b>	<b>46</b>
<b>4.7 Resistência Mecânica a Seco.....</b>	<b>49</b>
<b>4.8 Queima dos Produtos.....</b>	<b>50</b>
<b>4.9 Ensaios de Caracterização dos Produtos.....</b>	<b>52</b>

4.9.1 Resistência Mecânica.....	52
4.9.2 Absorção de Água.....	53
4.9.3 Eflorescência.....	54
<b>4.10 Análise Estatística e de Agrupamento.....</b>	<b>55</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>5.1 Resultados das Caracterizações das Matérias-Primas.....</b>	<b>57</b>
5.1.1 Fluorescência de Raios-X.....	57
5.1.2 Densidade Aparente.....	58
5.1.3 Limites de Atterberg.....	58
5.1.4 Análise Granulométrica.....	59
<b>5.2 Resultados dos Ensaios de Caracterização dos Produtos.....</b>	<b>61</b>
5.2.1 Umidade de Conformação e Contração Linear de Secagem.....	61
5.2.2 Resistência Mecânica a Seco.....	62
5.2.3 Perda do Fogo e Contração Linear de Queima.....	63
5.2.4 Resistência Mecânica pós Queima.....	64
5.2.5 Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente.....	66
5.2.3 Eflorescência.....	67
<b>5.3 Análise de Agrupamento.....</b>	<b>69</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>73</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos foram essenciais para o desenvolvimento das civilizações e com o crescimento populacional aumenta-se o seu consumo. Isso leva a uma exploração exagerada das jazidas de argila, sendo que esta atividade altera consideravelmente as características naturais do ambiente, causando problemas ambientais e levando a uma necessidade de se fazer um relatório de impacto do ambiente onde foi extraída a argila (BARBOSA; SANTOS; COSTA, 2016).

Segundo Callister (2012), os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos e formados por metais e ametais<sup>1</sup> através de ligações predominantemente iônica e algumas ligações covalentes. Esses materiais podem ser divididos em: materiais refratários, materiais de revestimento, isolantes térmicos, fritas e corantes, abrasivos, vidro, cimento e cal, cerâmicas avançadas, cerâmica branca e cerâmica vermelha (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, 2017).

A cerâmica vermelha engloba os materiais que são mais utilizados na construção civil como os blocos de vedação, telhas, tijolos maciços e vazados. O termo **vermelha** se deve ao fato de haver compostos ferrosos que conferem a coloração avermelhada aos produtos (BASTOS, 2017).

De acordo com os Anuários da Associação Brasileira de Cerâmica (ABC) (2018), a região Sul possui 24% da produção de cerâmica vermelha no Brasil, logo atrás da região Sudeste, que apresenta 42% do total; já o Rio Grande do Sul (RS) é o terceiro maior produtor de cerâmica vermelha do Brasil, contendo aproximadamente 1200 indústrias com uma produção mensal estimada em 356 mil milheiros (10,2 % da produção nacional), de acordo com o Sindicato das Indústrias de Olaria e Cerâmica do Rio Grande do Sul (SIOCERGS) (2018).

Segundo Silva (2017a), o setor da construção civil tem uma enorme capacidade de absorver resíduos em seus processos. Dessa forma, a adição de resíduos sólidos na cerâmica vermelha tem como finalidade diminuir os problemas ambientais causados pela má destinação dos mesmos, além de reduzir a extração de matéria-prima.

---

<sup>1</sup>Metais: possuem brilho, são dúcteis, maleáveis e são bons condutores de calor e eletricidade. Ametais: possuem as características inversas dos metais (CALLISTER, 2012).

Entre os resíduos mais abundantes da região da Campanha no RS, estão a casca de arroz e a cinza leve e pesada de carvão mineral. No entanto, ultimamente, a possibilidade de fabricação de cerveja vem atraindo muitos adeptos dentro do RS, devido ao processo de fabricação não ser complicado e que pode ser realizado em grandes, médias, pequenas e micro cervejarias e, inclusive, pode ser realizado artesanalmente, em casa. Esse processo gera diferentes resíduos, entre eles o bagaço do malte (BM), que é o principal resíduo gerado em uma indústria cervejeira (BONATO, 2016).

A motivação para a realização deste trabalho de conclusão de curso foi o crescente potencial de expansão de cervejarias artesanais e, diante disso, o aumento de resíduos gerados no processo de fabricação da cerveja. Entre esses o bagaço de malte, que é o resíduo mais gerado, tendo como objetivo geral a fabricação de corpos de prova cerâmicos extrudados com resíduo oriundo de uma cervejaria artesanal da região da Campanha – RS.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar produtos cerâmicos a base de argila *in natura* com diferentes percentuais de resíduo de bagaço de malte *in natura*, tendo por finalidade a aplicação na construção civil.

### **2.2 Objetivos Específicos**

I. Caracterizar as matérias-primas: argila cerâmica e resíduo de bagaço de malte em relação às propriedades químicas.

II. Avaliar o desempenho dos produtos cerâmicos fabricados com a adição de 0, 5, 10, 15 e 20% em volume na argila cerâmica.

III. Avaliar o desempenho dos produtos em relação às propriedades físicas e mecânicas.

IV. Realizar a análise de eflorescência dos corpos de prova.

V. Realizar análise estatística nos resultados de resistência mecânica e absorção de água para encontrar tendências e padrões.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão apresentados tópicos como a importância das matérias-primas que foram utilizadas neste trabalho, assim como o processo de produção da cerâmica vermelha tradicional e sua aplicação na indústria. Serão apresentadas as caracterizações físicas, química e mecânica que foram realizadas nos produtos cerâmicos, assim como a classificação no software de mineração de dados. E, por fim, os estudos encontrados na literatura sobre a classificação dos resíduos sólidos e reaproveitamentos em produtos cerâmicos, além de trabalhos que já utilizaram esse resíduo para outros fins.

#### 3.1 Argilas Cerâmicas

Conforme Askeland e Wright (2014), a argila é obtida a partir de uma decomposição de rochas feldspáticas e o seu elemento principal denomina-se silicato de alumina hidratado. A argila é a matéria-prima mais usada na produção de materiais cerâmicos, e esse uso se deve à facilidade de ser encontrada.

Uma característica importante para a moldagem da argila é a sua hidroplasticidade, ou seja, significa que quando a água é adicionada na massa argilosa ela se torna muito plástica e se obtém mais facilmente a forma desejada (CALLISTER, 2012). As argilas cerâmicas plásticas possuem a capacidade de conformação (SILVA, 2017b). Os constituintes plásticos são formados por grupos de minerais, como: caulinita, illita e montmorilonita (BARBA, 2002). Podem ser denominados como:

- **Caulinita:** é um argilomineral que se forma em solos através de aluminossilicatos e é encontrada em solos tropicais (JESUS *et al.*, 2013). Segundo Quintana (2000), produtos cerâmicos fabricados com argilas caulinitas vêm a ter, após a queima, uma coloração branca e um aumento da resistência mecânica;
- **Illita:** é um argilomineral composto de silicato de alumínio ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) com teor elevado de óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (BARBA, 2002);

- **Montmorilonita:** é um argilomineral constituído de silicato de alumínio e/ou magnésio hidratado com teores variados de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), cálcio ( $\text{CaO}$ ), magnésio ( $\text{MgO}$ ) e outros (BARBA, 2002).

A granulometria das argilas é uma de suas principais características, que depende de sua natureza mineralógica e tem influência nas propriedades dos materiais cerâmicos, sendo que o limite da fração de argila a partir do diâmetro dos grãos é inferior a 0,002 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995).

Os principais elementos que compõe a argila e a sua importância é descrita a seguir, conforme explicado por Biffi (2002):

- **Sílica ( $\text{SiO}_2$ ):** está presente em qualquer tipo de solo, sendo que quanto menor o percentual de sílica, maior a plasticidade do material;
- **Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ):** também está presente em qualquer tipo de solo e quanto maior a alumina, maior a presença de caulinita, o que confere um maior grau de plasticidade;
- **Óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ):** é considerada uma impureza colorante, indesejável para alguns materiais cerâmicos;
- **Óxido de magnésio e de cálcio ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ):** quanto maior a concentração desses compostos, menor a temperatura necessária para sinterização.

### 3.2 Resíduos Sólidos

Qualquer atividade humana, residencial, industrial ou agrícola gera resíduos que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos (SPERB, 2017). Segundo a NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), são considerados resíduos sólidos: “resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

A NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) classifica os resíduos sólidos de acordo com a sua periculosidade, que podem

apresentar risco à saúde pública e/ou riscos ao meio ambiente quando o resíduo é descartado de forma inadequada, sendo dividido em três classes:

- **Resíduos classe I – Perigosos:** são aqueles que apresentam periculosidade, como riscos à saúde, riscos ao meio ambiente, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;
- **Resíduos classe II – Não-inertes:** são aqueles que não se enquadram como resíduos perigosos ou inertes, contudo, podem possuir propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- **Resíduos classe III – Inertes:** são aqueles que quando submetidos a um contato com água destilada não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, cumprindo os padrões de turbidez, cor e aspecto.

As indústrias geram uma diversidade de resíduos sólidos que, muitas vezes não têm uma correta deposição (SPERB, 2017).

De acordo com Barros (2012), optar pela reciclagem de resíduos industriais é uma alternativa viável para que estes não sejam depositados no meio ambiente e que também estejam de acordo com as exigências estabelecidas pelo órgão ambiental FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental), minimizando os impactos gerados. Além disso, este órgão permite a utilização de resíduos agroindustriais no RS, através do Decreto Estadual nº 38.356/98, sobre a gestão de resíduos sólidos (SCHIRMER, 2014).

### 3.3 Setor Cervejeiro

De acordo com Bamforth (2009), a cerveja é a terceira bebida mais consumida no mundo. Segundo a Cervbrasil: Associação Brasileira da Indústria Cervejeira (2018), o setor cervejeiro no Brasil é responsável por 1,6% do PIB nacional e um faturamento de 107 bilhões anualmente, além de ser um dos setores que mais empregam no Brasil e está diretamente conectado com o desenvolvimento do país.

O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, atrás dos Estados Unidos e da China, com uma produção anual de 12,6 bilhões de litros (MARDEGAN,

2013). As três maiores cervejarias estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2018). No ranking por estados, a maior concentração de cervejarias e microcervejarias está em São Paulo e no Rio Grande do Sul (MARCUSO, 2015).

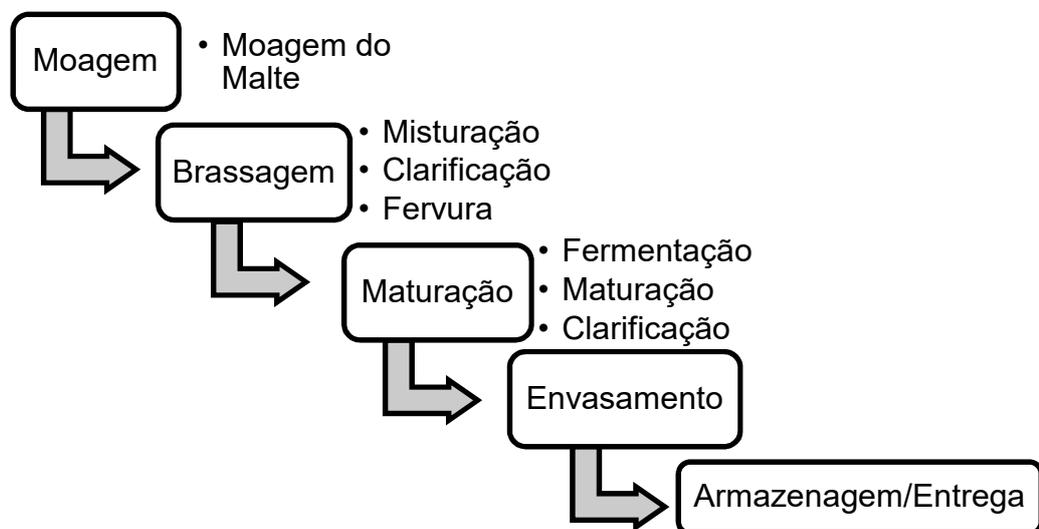
Conforme Martins, Pandolfi e Coimbra (2018), a primeira cervejaria de escala industrial surgiu entre 1870 e 1880, em Porto Alegre. O RS possui 144 fábricas consideradas microcervejarias, portanto 20% das fábricas brasileiras (MERLIN, 2017).

Segundo o Jornal Minuano (2017), a produção de cerveja artesanal na cidade de Bagé – RS vem aumentando a cada ano, sendo fabricados 1,5 mil litros por mês, despertando o interesse de mais investidores e aumentando o público na região.

### 3.4 Matérias-Primas e o Processo de Fabricação de Cerveja

As cervejas são diferenciadas conforme a matéria-prima utilizada, o tempo, a temperatura, a fermentação e a maturação. Sua classificação é de acordo com o tipo de processo de fermentação, que influencia diretamente nas propriedades sensoriais do produto final como o sabor, o aroma, a cor e a formação de espuma (PAIVA, 2011). A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de fabricação da cerveja, sendo que este ocorre de forma semelhante para os grandes fabricantes e para microcervejeiros.

Figura 1 – Fluxo do Processo Cervejeiro



Fonte: Adaptada de Bonato (2016)

A cevada é a principal matéria-prima no processo de produção. Ela influencia no sabor, na cor e espuma da cerveja, assim como no processo de fermentação (MARTINS; PANDOLFI; COIMBRA, 2018). O processo de fabricação do malte chama-se maltagem e se pode utilizar outros cereais como: o arroz, o trigo, o centeio, a aveia e o milho, mas a cevada maltada é a mais escolhida por apresentar casca com capacidade de formar um leito filtrante, além de possuir elevada quantidade de amido e de enzimas que degradam o amido em açúcares fermentáveis para as leveduras (LUFT, 2016).

A água é o material de maior concentração em uma indústria cervejeira, e a sua qualidade é imprescindível, porque ela constitui 90 a 96% do produto. O processo cervejeiro se inicia com a moagem do malte, que tem como objetivo abrir a casca e expor o amido do malte (uma farinha grosseira). No processo de brasagem, o amido é transformado em açúcar através da adição do malte em água em elevadas temperaturas, geralmente [75 °C] (OLAJIRE, 2012).

Após, todo o volume é filtrado em um filtro prensa para separar a parte insolúvel (bagaço do malte). O mosto que sobra é clarificado e transferido para a fervura, e o lúpulo é adicionado (OLAJIRE, 2012). Logo após a filtração, é obtido o resíduo que será utilizado neste trabalho, **o bagaço do malte**.

O lúpulo é uma planta aromática que confere à cerveja um aroma e amargor específico, além de proteger a cerveja contra contaminações microbiológicas (MARQUES, 2017).

A fase de maturação se inicia com a fermentação, que começa com o resfriamento do líquido após a fervura e adição do fermento (levedura). A maturação é responsável pela determinação final de características como sabor, cor e aroma (OLAJIRE, 2012).

A levedura é o fungo que produz etanol e dióxido de carbono a partir do açúcar, o que caracterizam o aroma e o gosto da cerveja (MARQUES, 2017). O envasamento e entrega são as fases finais do processo cervejeiro.

### **3.5 Resíduos da Indústria Cervejeira**

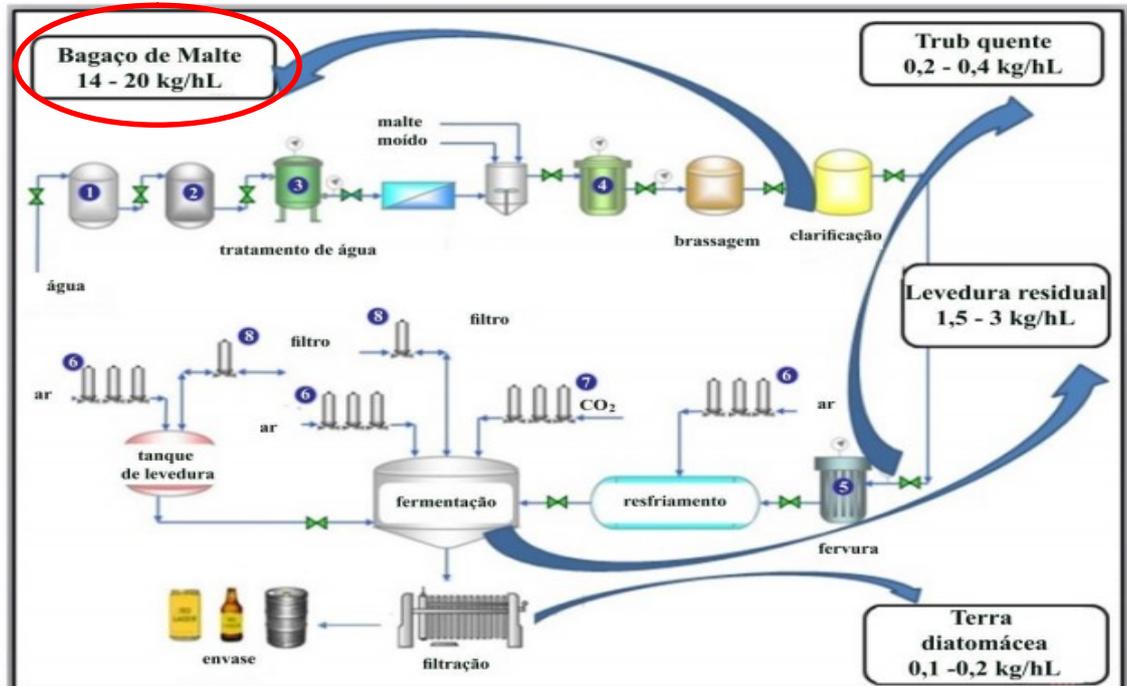
O crescimento do setor cervejeiro dentro do RS tem sido importante para a economia, pois, através de um *hobby*, gera-se um bom retorno financeiro para os cervejeiros. Porém, há outro aspecto que deve ser estudado, que são os impactos

ambientais causados a partir dos resíduos excedentes de todo o processo (SLAWITSCH *et al.*, 2014). A indústria cervejeira gera grandes quantidades de resíduos, sendo mais comuns e impactantes o bagaço de malte, o *trub*<sup>2</sup> e as leveduras (fermento) (BONATO, 2016).

No entanto, esses resíduos não são valorizados como *commodity*, tornando-se um problema para as empresas. Por isso, há a necessidade de criação de novas técnicas de gestão para uso desses resíduos (BRASIL, 2018).

Os resíduos do processo cervejeiro podem ser relacionados a resíduos orgânicos, efluentes líquidos e resíduos sólidos. São responsáveis por aproximadamente 20 a cada 100L da água cervejeira utilizada no processo, principalmente, pelo elevado teor de umidade que os compõe, entre 80 e 90%, acarretando na geração de significativas quantidades de efluentes (MATHIAS; MELLO; SERVULO, 2015). Rodrigues (2016) mostra os três principais resíduos de uma indústria cervejeira derivado dos processos, ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da Geração de Resíduos em uma Indústria Cervejeira



Fonte: Adaptada de Rodrigues (2016)

<sup>2</sup> Existem dois tipos de *trub*: o quente e o frio. Ambos são formados pela coagulação de proteínas (em fase quente ou fase fria). É uma massa que é retirada da cerveja por decantação. Sua remoção garante um amargor aceitável para a cerveja, melhora a qualidade visual, bem como evita interferências prejudiciais à fermentação (BONATO, 2016).

Cordeiro, El-Aouar e Araújo (2013) explicam que o bagaço do malte é o resíduo que gera maior volume, de 14 a 20 litros para cada 100 litros de cerveja, além de representar 85% do total de resíduo da indústria cervejeira. Santos, Mello e Ervulo (2014), por sua vez, afirmam que o subproduto do malte é formado pela parte sólida obtida na etapa de filtração do mosto, antes da fervura.

O bagaço do malte é chamado também de Resíduos Úmidos de Cerveja (RUC) ou bagaço de cevada maltada e não pode ser estocado por longos períodos. Tem um curto tempo de validade pelo fato de ser um resíduo de deterioração rápida (BONATO, 2016). Esse resíduo apresenta benefícios para a saúde humana, pois tem uma composição parecida com outros alimentos de consumo humano, sendo utilizado em pães, bolos e biscoitos. Para alimentação animal, é benéfico porque apresenta alto teor de umidade, proteína, vitaminas, e minerais e fibra bruta, porém com sua rápida deterioração não pode ser estocado (FERREIRA, 2017).

O *trub* quente é o segundo resíduo sólido gerado em maior quantidade no processo e é resultante do cozimento do mosto. Em geral, formam-se entre 0,2 a 0,4kg de *trub* quente com até 90% de umidade para cada 100 L de cerveja produzido (MATHIAS; MELLO; SERVULO, 2014).

A levedura residual é responsável pela conversão do mosto em cerveja na etapa da fermentação e, quando é encerrada, ocorre a precipitação de leveduras, que devem ser removidas. Essas leveduras são reutilizadas em novos tanques de fermentação, mas há um limite desse reuso para manter a qualidade da bebida. O volume de produção da levedura residual é de 1,5 a 3 kg com até 90% de umidade para cada 100L de cerveja produzida (MATHIAS; MELLO; SERVULO, 2014).

Conforme Gupta, Ghannam e Gallagher (2010), a indústria cervejeira gera relativamente altos índices de resíduos. Portanto, deve focar na reciclagem desses resíduos gerados a partir dos processos de fabricação.

Para Olajire (2012), muitas indústrias cervejeiras revendem esses resíduos para o mercado secundário. Porém, essa revenda não as eximem da responsabilidade pelos impactos ambientais causados (BRAUN, 2010).

### **3.6 Resíduo Úmido da Indústria Cervejeira**

O resíduo úmido de cervejarias é constituído por restos de cascas e polpa dos grãos (SANTOS, 2017). Esses, quando encaminhados indevidamente para a natureza, podem trazer grandes impactos ambientais (BROCHIER; CARVALHO, 2009).

O bagaço de malte tem sido muito utilizado como ração animal, porém a elevada quantidade desse resíduo no Brasil, de dois milhões de toneladas ao ano, tem despertado a busca por novas alternativas de destinação (LUFT, 2016). Mathias, Mello e Servulo (2015) deixam claro que esse resíduo é de baixo custo e usá-lo, para a produção de tecnologias, é uma significativa vantagem.

Existem diversas pesquisas sobre aplicações desse resíduo, como o trabalho de Gonçalves (2015) que utiliza o bagaço do malte para produção de bio-óleo e carvão ativado ou, por exemplo, o trabalho de Dias (2018) que realiza a produção de metano a partir da biomassa residual. Há ainda o trabalho de Silva (2015a) que avalia o desempenho do bagaço de malte como bioissorvente para ser utilizado para a remoção de corantes. No entanto, geralmente, a destinação principal desse resíduo é para a bovinocultura, sendo usado como ração animal (RODRIGUES, 2016).

Mas, segundo o trabalho de Trujillo (2018), essa utilização de forma empírica pelos proprietários e o armazenamento inadequado do bagaço do malte têm sido associadas a diversos distúrbios em animais (bovinos e suínos), pois uma elevada quantidade de álcool presente no resíduo faz com que os animais tenham intoxicação por etanol.

### **3.7 Incorporação de Resíduos em Cerâmica Vermelha**

A utilização de recursos naturais não renováveis como a argila e a areia na produção de cerâmica vermelha pode chegar ao fim em função das políticas de proibição dos órgãos de fiscalização e ambientais. Sem essa produção as peças cerâmicas terão um elevado percentual de absorção de água e uma baixa resistência mecânica. Por esse motivo, a incorporação de resíduos sólidos tem se mostrado como uma alternativa viável para melhorar as propriedades tecnológicas das cerâmicas vermelhas para prolongar a quantidade dos minerais no meio

ambiente, além de dar um destino final ambientalmente correto para os resíduos (VIEIRA; MONTEIRO, 2009).

Na ótica de Vieira (2006), do ponto de vista ambiental, a incorporação de resíduos em cerâmica vermelha é uma solução correta, visto que alguns resíduos melhoram a qualidade do produto final (DIAS, 2011). De acordo com Costa (2018), diversos são os resíduos que podem ser incorporados em massa argilosa para produção de cerâmica vermelha, e os resultados sobre as propriedades tecnológicas têm se mostrado positivos.

Alguns estudos de incorporação de resíduos em cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul foram elaborados por: Stein *et al.* (2018), Sperb (2016), Mallmann (2017) e Brocker (2017). O objetivo de todos esses autores foi de avaliar o comportamento de algumas propriedades tecnológicas das cerâmicas com a incorporação de resíduos.

Stein *et al.* (2018) estudou a conformidade de blocos cerâmicos produzidos com resíduo de chamote e casca de arroz. Com isso chegou à conclusão de que as propriedades físico-mecânicas dos blocos, na qual realizou-se a verificação dimensional, absorção de água e resistência à compressão, utilizando o traço de 75% de argila, 15% de chamote e 10% de casca de arroz obtiveram-se resultados dentro dos limites preconizados pela NBR 15270 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Sperb (2016) estudou a viabilidade de adição de resíduo da indústria fumageira na confecção de blocos cerâmicos estruturais. Para tal pesquisa, utilizou teores percentuais de resíduos de 0, 10, 20 e 30%. Os blocos foram testados de forma a atenderem os requisitos de aceitação de blocos cerâmicos estruturais de acordo com a norma NBR 15270-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) para os testes de características geométricas, absorção de água e resistência à compressão. Os resultados deixaram evidente que a adição do resíduo diminuiu a resistência e aumentou a taxa de absorção de água dos blocos, sem comprometer as características geométricas. Os blocos com teor de adição de até 20% apresentaram todas as características mínimas de aceitação e os corpos de prova com o teor de 30% foram reprovados devido à absorção de água excessiva, apesar de ainda possuírem a resistência mínima requerida.

Mallmann (2017) estudou a avaliação do potencial de utilização do resíduo proveniente da atividade de mineração da região de Caçapava do Sul - RS como

matéria-prima cerâmica, sendo o resíduo bastante atrativo por apresentar baixa granulometria e baixa plasticidade. As características de queima foram determinadas por densidade, retração linear, absorção de água, porosidade, resistência à flexão e fusibilidade. Os resultados demonstraram que as análises de composição química, mineralógicas, propriedades mecânicas das formulações, que o resíduo pode ser utilizado como matéria-prima em produtos como grés, semi-grés, além de cerâmica vermelha.

O trabalho de Mallmann (2017) abordou a produção e avaliação em escala industrial de blocos cerâmicos contendo 2,5% de lodo de fosfatização, que é um resíduo sólido do tratamento de efluente gerado no processo de revestimento do aço via fosfatização, sendo classificado como um resíduo classe II A – não inerte.

Concluiu-se que os ensaios de caracterização geométrica, absorção de água apresentaram valores que estão de acordo com as prescrições da NBR 15270-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005). E que é possível afirmar que a adição de 2,5% de lodo de fosfatização garantiu uma resistência mecânica superior quando comparado com os blocos referência (sem adição de resíduo). No entanto, nenhum dos blocos atingiu os valores mínimos de resistência mecânica, exigidos pela NBR 15270-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

### **3.8 Resíduos Cervejeiros em Materiais Cerâmicos**

O bagaço de malte é classificado como resíduo não inerte Classe II e, de acordo com o trabalho de Palomino *et al.* (2016), a adição de 10% desse resíduo aumenta a porosidade do material e melhora as suas propriedades mecânicas, mas uma adição de até 6% não provoca mudanças na cor do material cerâmico.

Os benefícios dessa adição são: a redução do consumo de matérias-primas naturais e vantagem na redução de custos, assim como o produtor cervejeiro com a venda dos resíduos como insumos para a produção de outros materiais. Porém, ressalta-se que é preciso evitar a produção de tijolos com bagaço de malte em períodos de significativa umidade (RUSS; MÖRTEL; PITTROFF, 2005).

Já Farías *et al.* (2017) fabricou agregados leves usando resíduos de uma cervejaria da cidade de Jaén (Espanha) a partir de bagaço de malte, terra diatomácea e lodo da estação de águas residuais do processo. Os resíduos foram

secos a 90 °C por 24 horas e moídos em moinho de martelos e após em moinho de bolas e, por fim, peneirados. Foram realizadas as seguintes análises físicas e químicas dos três tipos de argila e dos resíduos: difratometria de raios-X, fluorescência de raios-X, teores totais de hidrogênio, nitrogênio, enxofre e análise termogravimétrica. Os resíduos foram adicionados na argila em um percentual de 15% e foram moldados por peletização para obtenção de materiais com baixa densidade. As amostras foram secas a 110 °C por 48 horas. Em seguida, foram pré-aquecidas no forno a 200 °C por 24 horas e o processo de sinterização se iniciou quando o forno atingiu temperaturas de 900, 950 ou 1000 °C as amostras foram introduzidas por 1 hora nestas temperaturas. Então, o forno foi desligado e as amostras esfriaram via convecção natural. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de utilizar resíduos da indústria cervejeira na produção de agregados à base de argila expandida e de utilizar esses agregados para fabricação de telhados verdes.

García *et al.* (2014) apresenta um estudo sobre a incorporação de lodo de uma estação de tratamento de águas residuais da indústria cervejeira para produzir agregados leves de argila expandida para uso na indústria da construção. Também estuda o efeito que a adição desse resíduo tem na porosidade dos materiais produzidos. A composição química das matérias-primas foi analisada a partir da fluorescência de raios-X e análise elementar, além de seu comportamento térmico avaliado (análise termogravimétrica e análise térmica diferencial). Para determinar o efeito da adição do resíduo, foi adicionado 15% na argila. O novo agregado possui baixa densidade aparente, devido à formação de uma estrutura celular interna, um invólucro externo poroso e um invólucro externo parcialmente vitrificado. À medida que os resíduos são adicionados, a absorção de água aumenta em valores de 17 a 26%, assim como a porosidade, resultando em uma relação linear entre o volume de poros e a porcentagem de lodo adicionado.

Russ, Mörtel e Pittroff (2005) utilizaram o bagaço de malte para proporcionar uma maior porosidade aos tijolos. Explicam também que por mais que esse resíduo seja voltado para a alimentação de bois, a demanda por carne bovina tem entrado em declínio, tornando-se necessária a busca por novas fontes de aplicação, como a adição em tijolos. A baixa quantidade de cinzas juntamente com a alta quantidade de material fibroso (lignina, hemicelulose e celulose) faz com que esse resíduo seja adequado para uso em materiais de construção.

Percebe-se que a utilização de resíduos da indústria cervejeira em materiais cerâmicos é pouco estudada e, conforme o que foi realizado até o momento, é possível utilizar esse resíduo para esse fim em baixas porcentagens, reduzindo o desperdício de recursos naturais e também minimizando os impactos ambientais causado por esses resíduos ao meio ambiente.

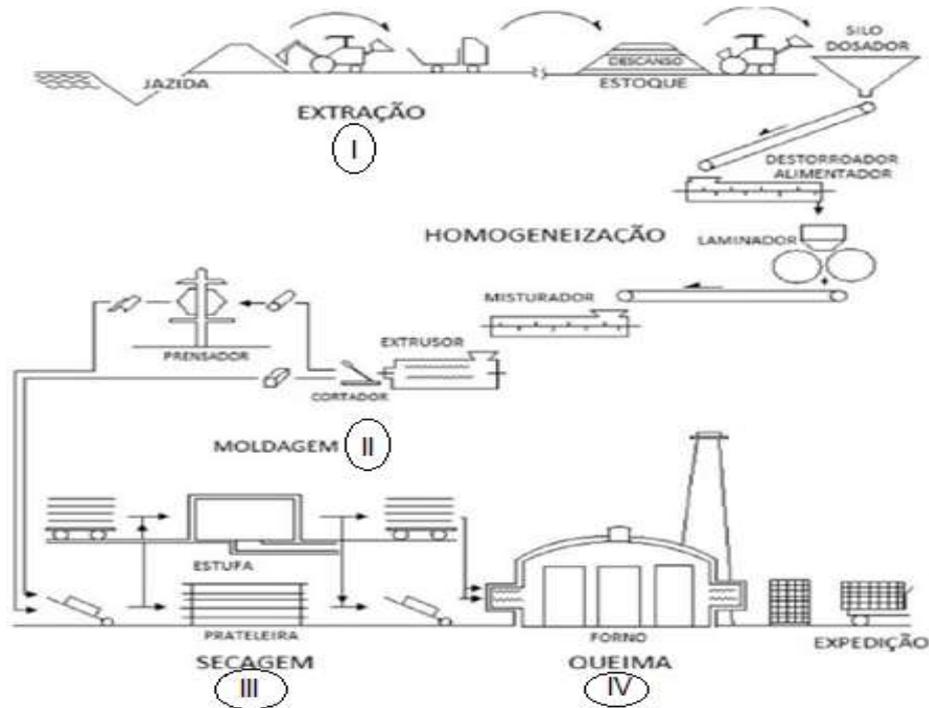
### **3.9 Processo de Produção de Cerâmica Vermelha**

O setor da cerâmica vermelha é o ramo industrial que produz materiais voltados para a construção civil, tais como: blocos de vedação, tijolos maciços e furados, telhas, argila expandida e tubos cerâmicos. Esse setor possui grande importância no cenário nacional, pois estima-se que o faturamento anual se aproxime de 18 bilhões de reais gerando cerca de 293 mil empregos diretos e 900 mil indiretos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA, 2017).

A fabricação de cerâmica vermelha envolve diversas etapas que podem incluir desde a exploração na jazida, tratamento prévio da matéria-prima, passando pela homogeneização, moldagem e secagem do material, até a sua queima. Nessa última etapa, ocorrem as reações que farão com que os produtos adquiram as propriedades desejadas em função do uso ou emprego a que se destinam (CATOLICO; CARVALHO; JARQUE, 2015).

A Figura 3 apresenta um fluxograma das principais etapas do processo de fabricação de cerâmica vermelha.

Figura 3 - Fluxograma do Processo Produtivo da Cerâmica Vermelha



Fonte: Adaptada de Ripoli Filho (1996)

- I. **Extração e homogeneização da argila** - Essa etapa envolve inicialmente a retirada da argila da jazida, que é moída, com o objetivo de reduzir a granulometria e aumentar a área superficial. Nessa etapa há também o controle de umidade, sendo que o material moído apresenta 5% do teor de umidade em base seca proveniente da água que acompanha as argilas a partir da extração (FEITOSA, 2015). E, por fim, é realizada a laminação, que tem por finalidade garantir que somente partículas menores (em torno de três milímetros) vão para a extrusora (RUOSO JÚNIOR *et al.*, 2014).
- II. **Conformação – extrusão** - A etapa do processo que dá forma à peça é denominada de conformação e a conformação de produtos de cerâmica vermelha é realizada via extrusão ou prensagem (MAIA, 2012). O método de conformação mais usado é o de extrusão, que é utilizado em cerâmicas confeccionadas com massas plásticas. Por esses métodos são conformadas peças de seção transversal regular,

tais como: blocos, telhas, tijolos vazados, lajes e lajotas (CATOLICO; CARVALHO; JARQUE, 2015). A extrusora é o equipamento em que são instalados os moldes que darão o formato da peça cerâmica, já a extrusão é o processo de conformação e sua aplicação permite qualquer tipo de matéria-prima com plasticidade natural ou adquirida pelo emprego de aditivos plastificantes (VIEIRA; MONTEIRO, 2009). Consiste na passagem forçada de uma massa cerâmica plástica por uma boquilha ou saída com determinado formato (RIBEIRO; FERREIRA; LABRINCHA, 2003). Na saída da extrusora, a massa moldada é expelida de forma contínua e seccionada no comprimento desejado. A partir de ajustes de pressão de ar e controle de umidade, o mecanismo de extrusão possibilita a obtenção de peças mais densas, delgadas e de maior resistência (CATOLICO; CARVALHO; JARQUE, 2015);

- III. **Secagem** - Segundo Vieira *et al.* (2003), essa etapa tem como objetivo principal eliminar toda a água proveniente da etapa de conformação, através da evaporação que acontece de forma lenta e gradual a fim de evitar rupturas e trincas (TUBINO; BORBA, 2006). A secagem deve ser bem realizada para garantir a qualidade dos produtos cerâmicos. Ela pode ocorrer em galpão ou estufa, sendo a primeira mais utilizada em olarias (COSTA, 2018). As peças cerâmicas são consideradas secas quando sua umidade atinge cerca de 1 a 2% (CATOLICO; CARVALHO; JARQUE, 2015);
- IV. **Queima e Sinterização** - É considerada a etapa mais importante de todo o processo de fabricação dos materiais cerâmicos, pois durante a queima ocorre a sinterização que determina as propriedades finais do produto, assim como é nessa etapa que ocorre o maior número de defeitos (CATOLICO; CARVALHO; JARQUE, 2015).

O Quadro 1 apresenta um resumo das transformações químicas e físicas que ocorrem durante o processo de queima dos corpos cerâmicos moldados.

Quadro 1 - Transformações Química e Física dos Corpos Cerâmicos durante o Processo de Queima

<b>Temperaturas</b>	<b>Transformações</b>
Até 200 °C	Eliminação da água residual
De 350 a 650 °C	Combustão das substâncias orgânicas e dissociação de sulfetos com liberação de CO <sub>2</sub> e SO <sub>2</sub>
De 600 a 800 °C	Eliminação da água de constituição <sup>3</sup>
De 800 a 950 °C	Decomposição dos carbonatos com liberação de CO <sub>2</sub>
De 900 e 1000 °C	Reações da sílica e da alumina com outros elementos, formação de silicoaluminatos complexos que conferem ao corpo cerâmico as propriedades físicas mecânicas características
Acima de 1000 °C	Amolecimento e fusão dos aluminossilicatos com formação de uma fase vítrea, conferindo aos corpos cerâmicos: dureza, compactação, impermeabilidade e resistência mecânica

Fonte: Adaptado de Pureza (2004)

A sinterização é um tratamento em que as partículas se ligam por difusão de átomos e ocorre a diminuição do volume. Ela deve ser realizada a temperaturas abaixo da sua temperatura de fusão para que o processo de difusão seja acelerado, sendo que, segundo Callister (2012), a temperatura de fusão da argila é entre 900 a 1400 °C. Essa temperatura faz com que as partículas se unam umas às outras e também que ocorram reações que são termicamente ativadas, mudando a microestrutura do material.

Dessa forma, não é só a temperatura o fator determinante do processo de sinterização, mas também o tamanho das partículas e a área de contato entre elas, e a densificação máxima do material é atingida quando há a mudança na forma dos grãos constituintes, onde há uma redução nas áreas das superfícies (CRUZ, 2010).

<sup>3</sup>Água de constituição: é aquela que faz parte da composição química de um mineral.

### 3.10 Análise Multivariada em Testes de Qualidade para Materiais Cerâmicos

Segundo Kendall (1969), a análise estatística multivariada se atenta em como as variáveis se relacionam entre si. Um dos métodos mais utilizados é a Análise de Agrupamento, que é usada para saber os índices de similaridade entre as amostras.

A pesquisa de Cunha, Roveri e Maestrelli (2016) tem como objetivo classificar as amostras de matéria-prima para fabricação de revestimentos cerâmicos para facilitar a identificação das mesmas através da comparação de análises de difração de raios-X.

### 3.11 Ensaio de Caracterização das Matérias-Primas

Segundo Nunes (2016), os ensaios de caracterização das matérias-primas (argila e resíduo) são de extrema importância, pois, a partir desses ensaios preliminares, pode-se avaliar as características dos materiais, além de também conhecer a sua aplicabilidade.

No Quadro 2, a seguir, apresentam-se as características dos principais ensaios de caracterização, assim como seus respectivos autores.

Quadro 2 – Ensaio de Caracterização das Matérias-Primas

(continua)

Ensaio	Características	Referências
Fluorescência Química de Raios – X (FRX)	É uma análise quantitativa onde é determinado os elementos químicos das amostras.	Costa (2017)
Densidade Aparente	A densidade do solo é definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros.	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997)
Análise Granulométrica	É uma importante ferramenta nos estudos de caracterização tecnológica e no controle de qualidade de um produto a partir do tamanho das partículas que compõem as matérias-primas.	Oliveira, Silva e Alves (2017)

Quadro 2 – Ensaio de Caracterização das Matérias-Primas

(conclusão)

Limites de Atterberg	<p>Delimitam o intervalo de consistência do solo, denominado por: Limite de Liquidez (LL): é o teor de umidade na transição do estado plástico para o estado líquido.</p> <p>Limite de Plasticidade (LP): é o teor de umidade em que o solo começa a se fraturar.</p> <p>Índice de Plasticidade (IP): é a diferença entre LL e LP, sendo que quanto maior o IP, mais plástico será o solo.</p> <p>Limite de Contração (LC): indica a tendência de ocorrer fissuras durante a etapa de secagem.</p>	Sartori (2015) e Castro (2017)
----------------------	--	--------------------------------

Fonte: Autora (2018)

### 3.12 Ensaio de Caracterização dos Produtos

De acordo com Nunes (2016), os principais testes realizados em produtos cerâmicos são: ensaio físico de absorção de água e o ensaio mecânico de resistência mecânica. No entanto, para a realização desses ensaios, são necessários a realização de outros como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Ensaio de Caracterização dos Produtos

(continua)

Ensaio	Características	Referências
Umidade de Conformação (U)	Está relacionada à água que é adicionada à argila, para dar características de plasticidade e facilitar a moldagem das peças.	Ferreira (2018)
Contração Linear (CLS e CLQ)	A retração linear é o processo em que durante o processo de secagem e sinterização ocorre uma variação na porosidade e logo uma diminuição do comprimento do corpo cerâmico, devido à perda de umidade.	Oliveira (2015)

Quadro 3 – Ensaio de Caracterização dos Produtos

(conclusão)

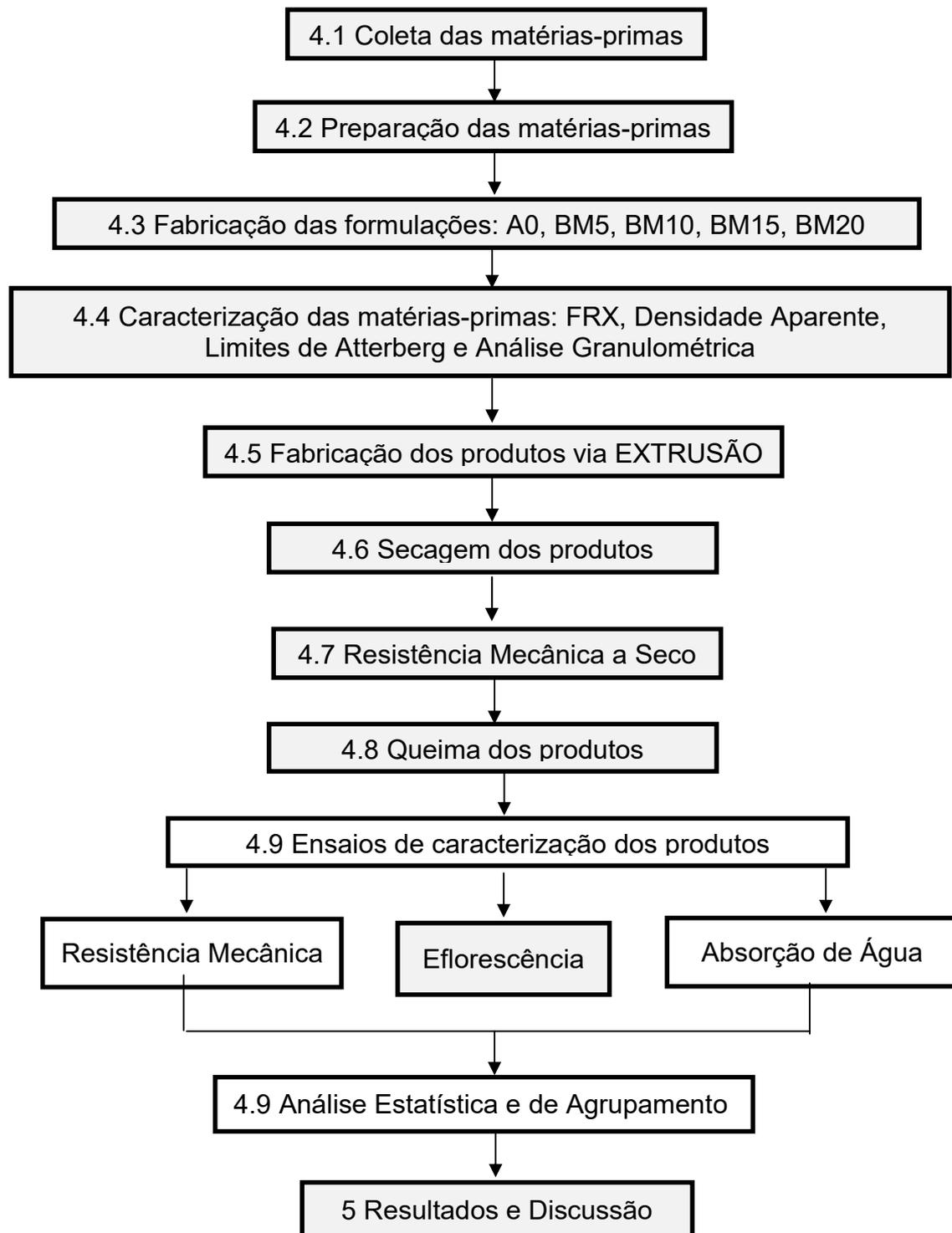
Resistência Mecânica a seco e após queima (RM)	Consiste na aplicação de uma força no centro do corpo cerâmico, que está centralizado no apoio, existindo assim três pontos de carga. Dessa forma, mostra o quanto de carga é necessária para o corpo se romper.	Callister (2007)
Absorção de Água (AA)	Caracteriza-se por uma propriedade da peça cerâmica que está diretamente relacionada à porosidade do material, sendo que quanto mais poroso maior a AA.	Silva (2015b)
Porosidade Aparente (PA)	Fornece o provável percentual do volume de poros abertos, após a sinterização do corpo cerâmico, em relação ao seu volume total. Utiliza-se o princípio de Arquimedes (deslocamento de um fluido por um corpo imerso) para o cálculo.	Menezes, Varela e Varela (2016)
Massa Específica Aparente (MEA)	É a densidade do material cerâmico, incluindo as porosidades, fases e defeitos do retículo. Utiliza-se para sua medição a imersão em líquidos.	Kniess <i>et al.</i> (2012)
Perda ao Fogo (PF)	É a quantidade de massa que se perdeu após o material cerâmico passar pela etapa de sinterização.	Fundação de Ciência e Tecnologia, C-028 (1995)
Eflorescência	É uma patologia frequente em produtos cerâmicos e se manifesta devido à presença de sais na superfície do produto que se deslocam até a sua superfície.	Ferreira e Bergmann (2011)

Fonte: Autora (2018)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir, na Figura 4, é ilustrado o fluxograma geral da metodologia para o desenvolvimento deste trabalho.

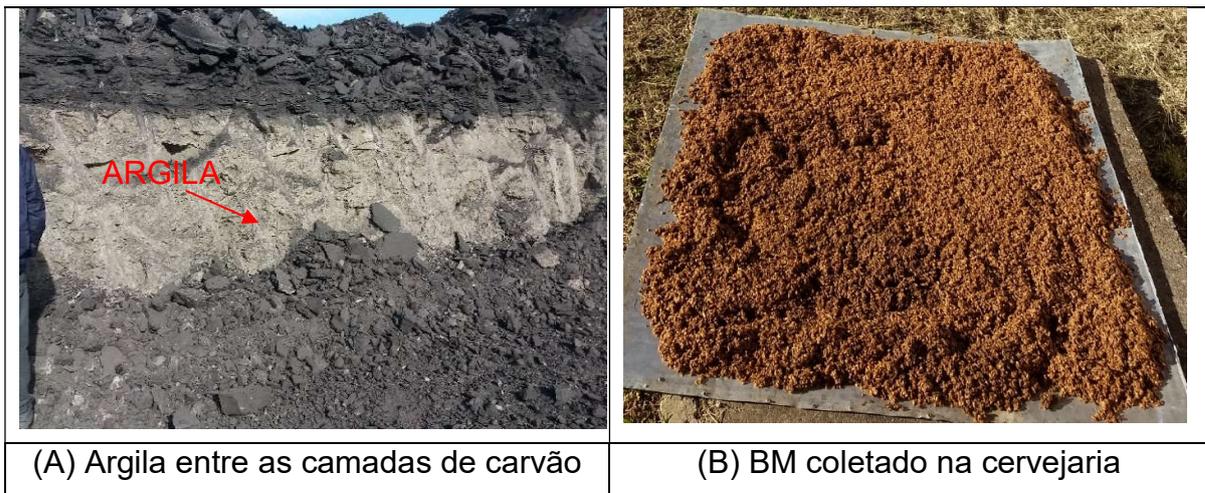
Figura 4 – Fluxograma Geral da Metodologia



#### 4.1 Coleta das Matérias-Primas

A argila (Figura 5(A)), utilizada neste estudo, foi coletada em uma indústria de mineração localizada na cidade de Candiota-RS. Já o bagaço de malte (BM) (Figura 5(B)), provém de uma cervejaria artesanal, situada no município de Bagé-RS. Foram coletados aproximadamente 20kg de argila e 60kg de BM úmido.

Figura 5 – Coleta das Matérias-Primas

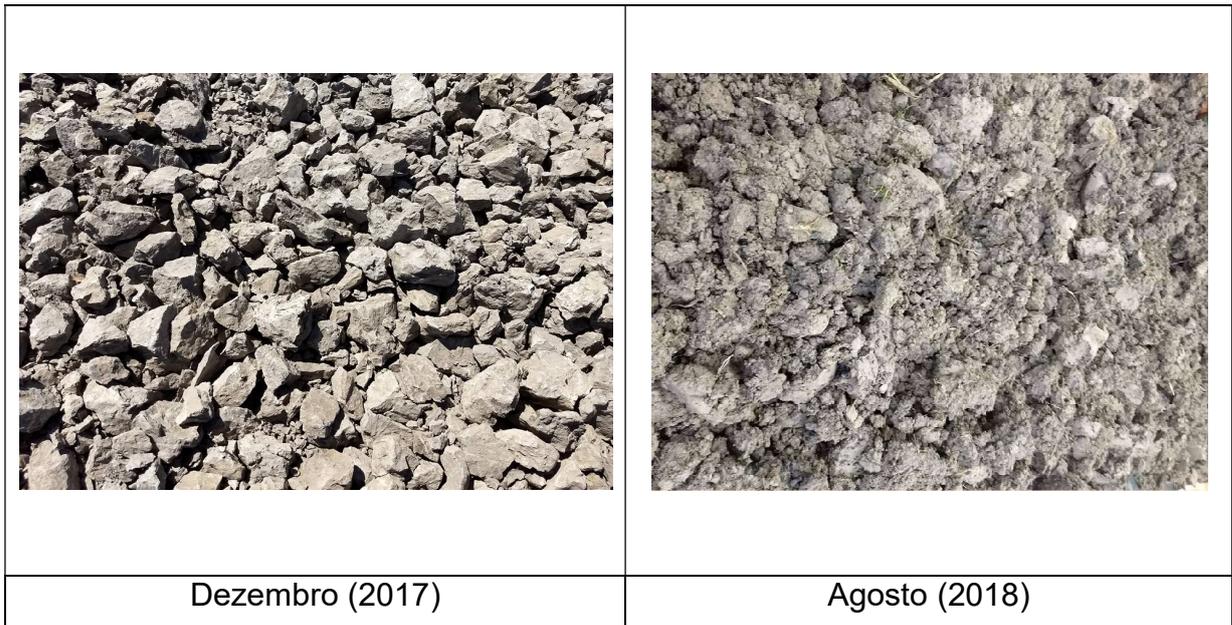


Fonte: Autora (2018)

#### 4.2 Preparação das Matérias-Primas

Primeiramente, a argila passou pelo processo de sazonalidade, que é uma etapa de longa duração que visa reduzir a quantidade de materiais orgânicos e sais indesejados e com o intuito de promover uma maior homogeneidade da argila. Este processo durou 8 meses, de dezembro de 2017 a agosto de 2018. A argila foi alocada na UNIPAMPA, em um local onde houvesse sol e chuva, para que ocorresse a lixiviação natural de materiais orgânicos e sais indesejados (Figura 6).

Figura 6 – Sazonamento da Argila



Fonte: Autora (2018)

Após o período de sazonalidade, a argila foi levada até o laboratório de Materiais da URCAMP, onde foi destorroada (Figura 7 (A)) para homogeneizá-la e ensacada (Figura 7 (B)). Em seguida, foi levada para ser moída em um moinho de martelos da marca KS-MM (Figura 7 (C)) com o objetivo de reduzir a sua granulometria. Optou-se por não realizar o quartearamento, pois a argila já estava bem homogeneizada.

Figura 7 – Pré-tratamento da Argila

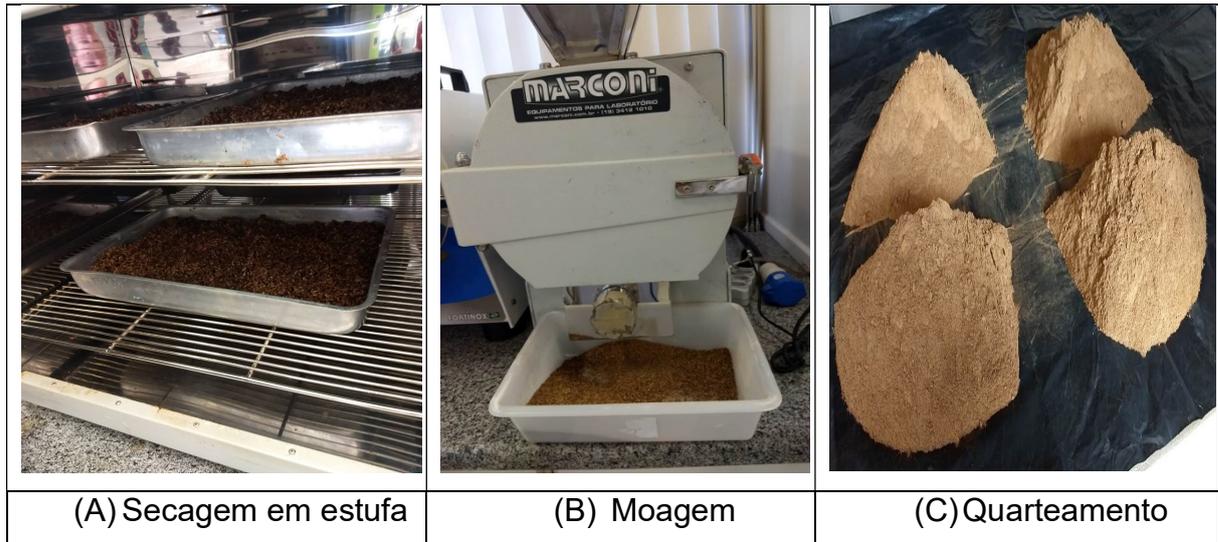


Fonte: Autora (2018)

Após, foi realizado o pré-tratamento do resíduo e, inicialmente, o bagaço de malte foi seco em estufa elétrica Marca Nova Ética por 8 horas a  $105 \pm 5$  °C (Figura 8

(A)). Posteriormente, o BM foi moído em um moinho de facas da Marca Marconi, em uma granulometria de 20 mesh (abertura de 0,84mm) (Figura 8 (B)). E, por fim, o BM foi quarteadado (Figura 8 (C)) para homogeneizar toda a amostra, deixando-a representativa.

Figura 8 – Pré-tratamento do Resíduo



Fonte: Autora (2018)

### 4.3 Fabricação das Formulações

A Tabela 1 apresenta a nomenclatura das formulações elaboradas.

Tabela 1 – Formulações

Formulações	Argila <i>in natura</i> (%)	BM (V%)	BM (M%)
A0	100	0	0
BM5	95	5	2,5
BM10	90	10	5
BM15	85	15	7,5
BM20	80	20	10

Fonte: Autora (2018)

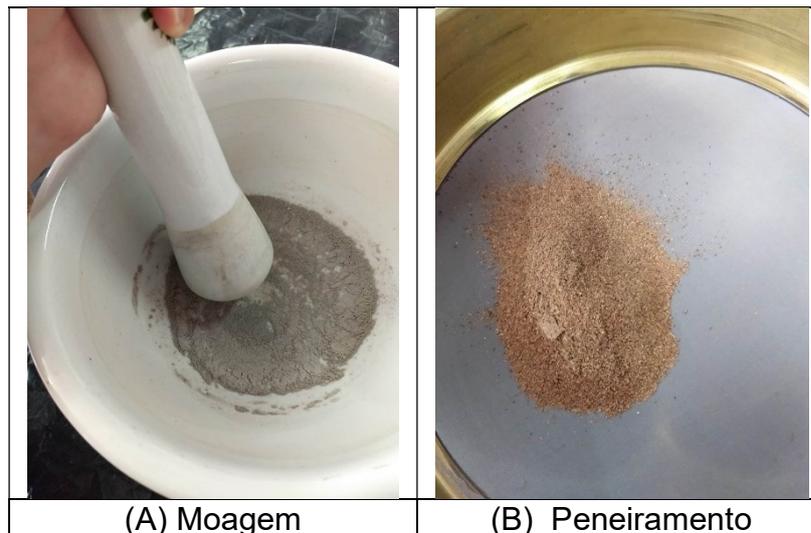
## 4.4 Caracterização das Matérias-Primas

### 4.4.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios – X

Para a obtenção dos dados de FRX por Energia Dispersiva, as matérias-primas foram preparadas e após enviadas para o Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais do Instituto SENAI, em Tecnologia Cerâmica, na cidade Criciúma – SC.

A preparação ocorreu pela pesagem de 10 g de cada uma das matérias-primas. Após, ambas foram moídas em gral com pistilo (Figura 9 (A)) e, em seguida, foram peneiradas em uma peneira de 200 mesh (abertura de 0,074mm) (Figura 9 (B)). Ao final dessas etapas, foram enviadas para a análise.

Figura 9 – Preparação das Matérias-Primas para Realização da FRX



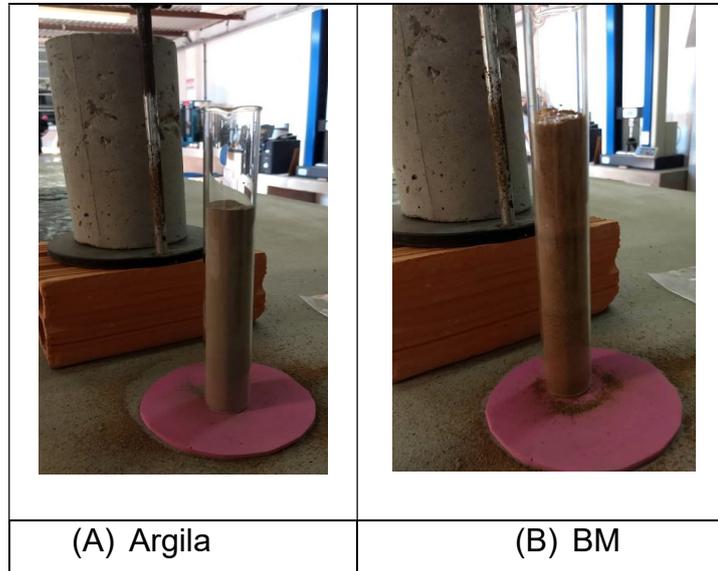
Fonte: Autora (2018)

### 4.4.2 Densidade Aparente

O ensaio de densidade aparente foi realizado para ambas as matérias-primas: para a argila (Figura 10 (A)) e para o BM (Figura 10 (B)), e seguiu os padrões do Manual de Métodos de Análise de Solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997), sendo utilizado o Método da Proveta. Inicialmente pesou-se uma proveta de 100 mL e colocou-se três amostras de 35 mL, de cada vez, contidos em béquer de 50 mL, deixando cair de uma só vez e, em seguida, compactou-se o

solo batendo a proveta 10 vezes sobre o lençol de borracha de 5 mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10 cm.

Figura 10 – Ensaio de Densidade Aparente



Fonte: Autora (2018)

Pesou-se a proveta com a amostra e calculou-se a densidade aparente, conforme a equação 1 (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997).

$$Densidade\ Aparente\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{peso\ da\ amostra\ seca}{volume\ da\ proveta} \quad (1)$$

O peso da amostra seca é dividido pelo volume da proveta (100 mL).

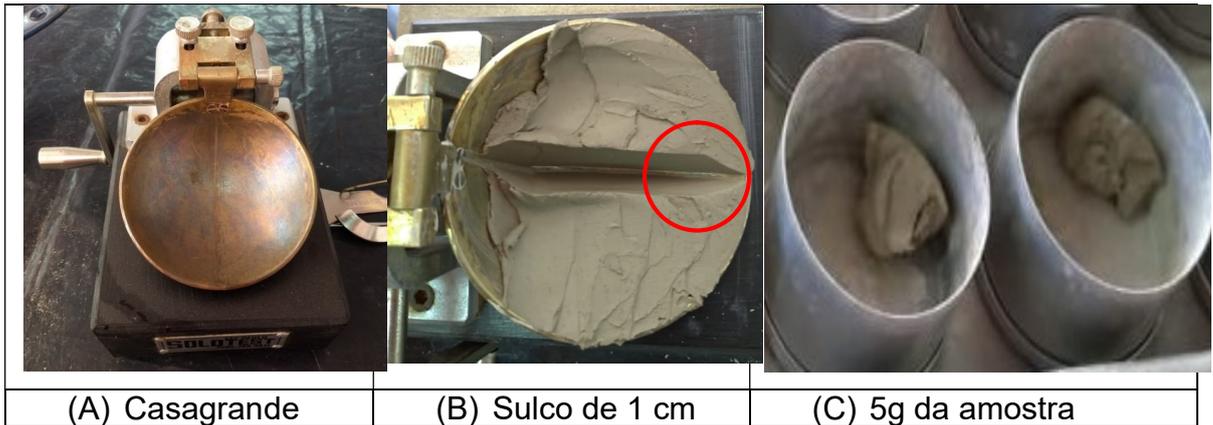
#### 4.4.3 Limites de Atterberg

Os ensaios descritos a seguir foram realizados inicialmente para a argila e, posteriormente, para as formulações.

- **Limite de Liquidez:** para a realização desse ensaio, utilizou-se a NBR 6459 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1984a), no qual, com o auxílio do aparelho Casagrande (Figura 11 (A)), foram dados golpes (1/s) até fechar o sulco de 1 cm (Figura 11(B)). Foi retirada uma porção de 5 g

dessa amostra, preenchida na cápsula metálica (Figura 11 (C)) (previamente pesada em balança analítica) e, em seguida, pesada com a amostra. A cápsula foi levada à estufa na temperatura de 105°C por 24 horas e, após, pesada novamente.

Figura 11 – Limite de Liquidez



Fonte: Autora (2019)

- Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade:** para o LP, foi empregada a norma NBR 7180 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1984b), em que inicialmente moldou-se um cilindro de argila com diâmetro aproximado de 3mm (Figura 12 (A)) até o ponto onde não é mais possível moldá-lo sem fissurar. A argila foi armazenada na cápsula metálica (Figura 12 (B)), pesada sem e com amostra, levada à estufa em uma temperatura de 105 °C durante 24 horas e, logo após, pesou-se novamente.

Figura 12 – Limite de Plasticidade



Fonte: Autora (2019)

Para determinar o IP da argila, aplicou-se a Equação 2 (FIORI, 2014):

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

onde IP é o índice de plasticidade, LL é o limite de liquidez e LP é o limite de plasticidade.

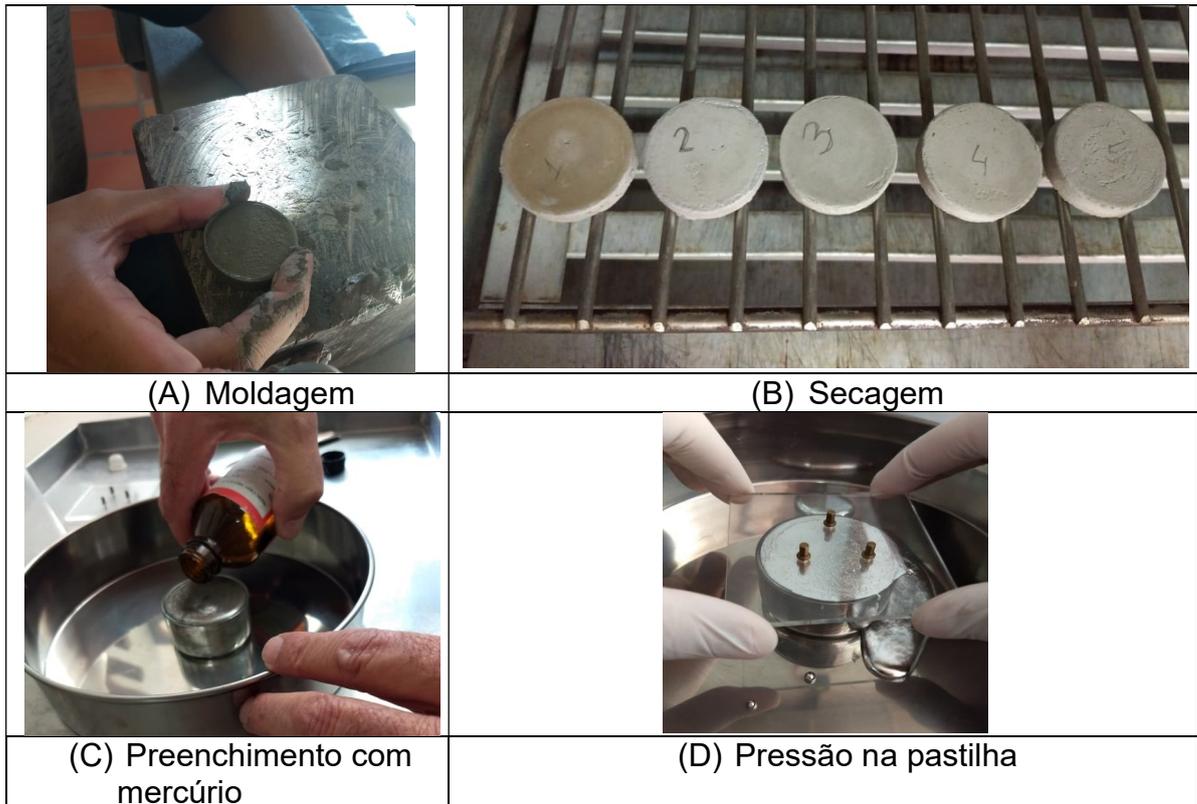
Nessa etapa é realizado ensaio da Umidade média ( $U_m$ ), em que 50g da amostra é coletada e inserida na cápsula metálica, que é pesada, após, seca e levada para a estufa a 105 °C, durante 24h. Após é pesada novamente e, a partir da Equação 3, da NBR 7180 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1984b), é calculada a  $U_m$  do solo.

$$U_m(\%) = \frac{M1-M0}{M0-M} * 100 \quad (3)$$

onde M1 é a massa do solo úmido, M0 massa do solo seco e M massa da cápsula metálica.

- **Limite de Contração:** esse ensaio seguiu as normas da NBR 7183 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1982). Aproximadamente 20 g de amostra do primeiro ensaio de LL foi retirada do aparelho Casagrande e preencheu-se um molde com essa amostra (Figura 13 (A)), que foi compactada até parar de sair bolhas de ar. Essa amostra permaneceu no molde até sair completamente sozinha. Foi realizada a secagem em estufa da pastilha (Figura 13 (B)) de modo gradual, iniciando com 40 °C e finalizando no dia seguinte a 105 °C. Uma cápsula de vidro foi preenchida com mercúrio vivo (Figura 13 (C)). A pastilha então foi colocada em cima do mercúrio, e uma placa de vidro foi pressionada contra a face superior do cilindro (Figura 13 (D)). Isso fez com que transbordasse o mercúrio e evitasse a formação de bolhas. Esse volume de mercúrio que saiu da cápsula de vidro foi inserido em uma proveta de 25 mL. Posteriormente, leu-se o volume de mercúrio transbordado.

Figura 13 – Limite de Contração



Fonte: Autora (2019)

#### 4.4.4 Análise Granulométrica

Para a realização desse ensaio, utilizou-se a NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1984c), em que foram pesados 70 g da amostra e após foi transferida para um béquer de 250 mL e mais adição de 125 mL da solução de hexametáfosfato de sódio. O conteúdo do béquer é agitado com o auxílio de um bastão de vidro, o qual permaneceu em repouso por um período de 24 horas. Transcorrido esse tempo, o conteúdo do béquer foi transferido para o copo de dispersão e iniciou-se o processo de agitação durante 15 minutos (Figura 14 (A)).

Logo após, o conteúdo do béquer foi transferido para uma proveta de 1000 mL e esta foi preenchida com água destilada até completar o volume correspondente (Figura 14 (B)). Em seguida, agitou-se a proveta por aproximadamente 1 minuto e depois iniciou-se a cronometragem da etapa de sedimentação. Foi imerso o densímetro na dispersão e efetuadas as leituras dos tempos de sedimentação (Figura 14 (C)) no decorrer de 24 horas. Logo, após cada

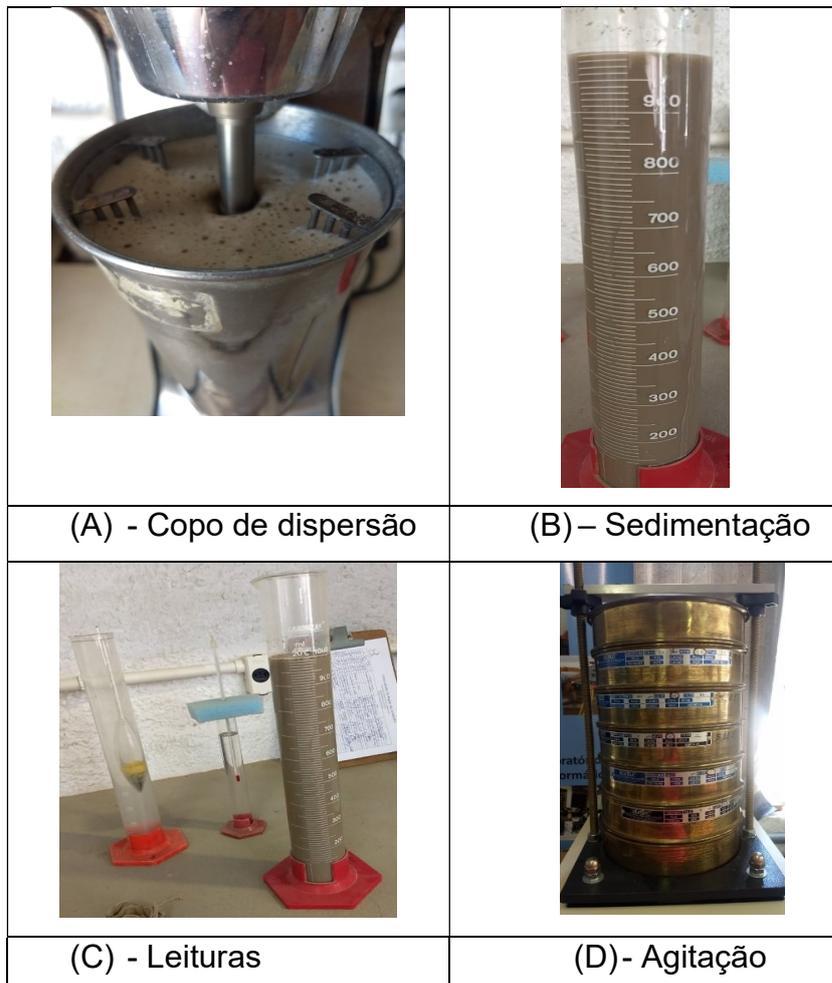
leitura do densímetro na dispersão, retirou-se o densímetro para colocá-lo numa proveta com água destilada.

A leitura das temperaturas da dispersão foi realizada com um termômetro com resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , depois de cada leitura do densímetro. Após a última leitura, a amostra da proveta foi vertida na peneira de 200 mesh, lavando-a com água para que toda a amostra fosse desagregada.

A amostra foi despejada em uma forma de alumínio e foi seca em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  até estar completamente seca. Após verteu-se o conteúdo da forma nas peneiras correspondentes a 4, 10, 16, 30, 40, 60 e 100 mesh. Essas foram agitadas (Figura 14 (D)) e o que ficou retido em cada uma, pesado.

De acordo com a massa retida em cada uma delas, foi possível saber a quantidade de silte, areia e argila presente em todas as formulações. Com esses dados, também foi possível realizar o diagrama de Winkler.

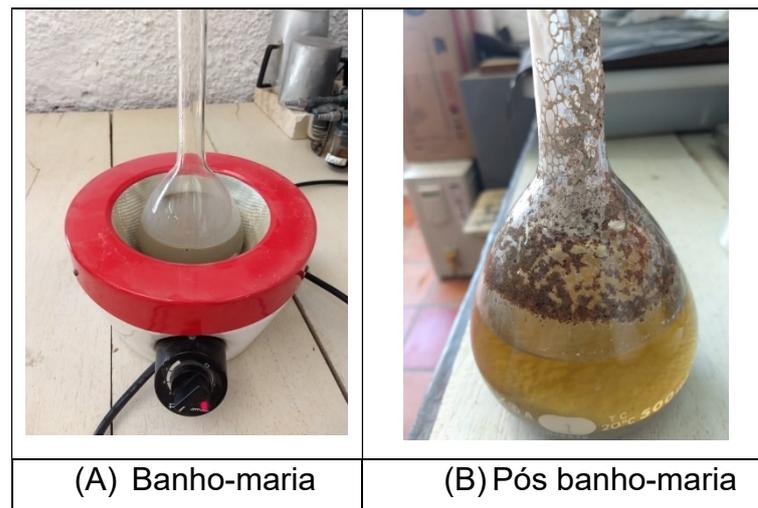
Figura 14 – Análise Granulométrica



Fonte: Autora (2019)

No ensaio de granulometria, também é realizado o ensaio para determinar a massa específica (MP) do solo, em que 40g de amostra foi coletado em um béquer e adicionado 200 mL de água destilada. O conteúdo foi misturado com o auxílio de um bastão de vidro e deixado em repouso por 24 h. Após esse tempo, o conteúdo foi transferido para um copo de dispersão que ficou em agitação durante 15 min. Posteriormente, foi transferido para um balão volumétrico e iniciou-se o aquecimento em banho-maria durante 30 min (Figura 15 (A e B)). Em seguida, esperou-se esfriar e preencheu-se o balão com água deionizada até o menisco, mediu-se a temperatura da amostra e pesou-se o balão volumétrico. É utilizada a equação 4da NBR 7181 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS, 1984c) para cálculo da MP.

Figura 15 – Massa específica



Fonte: Autora (2019)

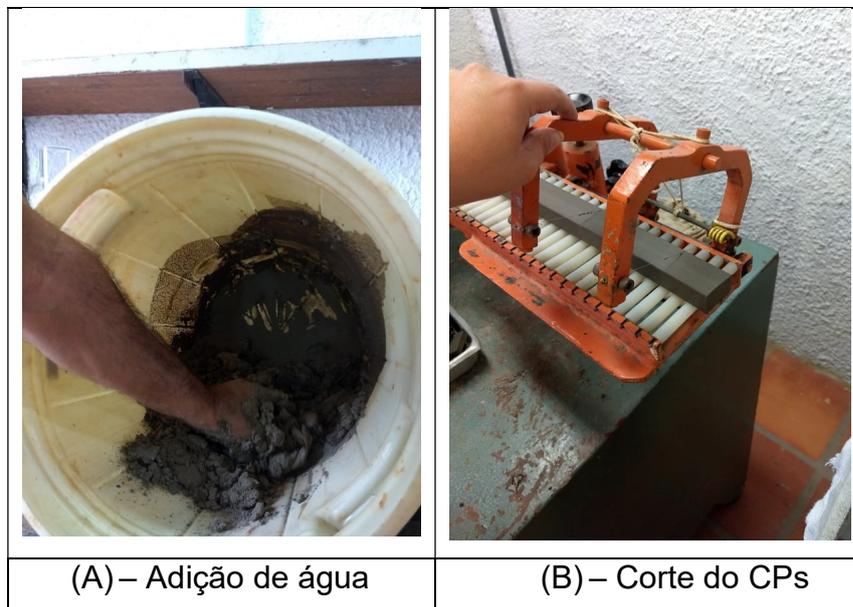
$$MP = \frac{M1 * 100 / (100 + h)}{M1 * \frac{100}{100 + h} + M3 - M2} * MP_{H2O} \quad (4)$$

Onde, M1 é a massa do solo úmido, M2 é a massa do balão+H<sub>2</sub>O+solo, M3 é a massa do balão+H<sub>2</sub>O, h é a umidade do solo e MPH<sub>2</sub>O é a massa específica da água na temperatura da amostra no balão volumétrico.

#### 4.5 Fabricação dos Produtos por Extrusão

A fabricação dos produtos ocorreu via extrusão a vácuo. Nessa etapa, adicionou-se água às amostras até atingir um percentual de 28% de umidade, para a formação de uma massa plástica (Figura 15 (A)). Foram moldados 50 corpos de prova cerâmicos por formulação em dimensões de 10x3x2cm. A moldagem dos corpos de prova ocorreu em uma extrusora de bancada a vácuo, marca Verdés, do Laboratório de Engenharia Civil, da URCAMP (Figura 16 (B)).

Figura 16 – Moldagem



Fonte: Autora (2019)

#### 4.6 Secagem dos Produtos

Após a etapa de moldagem via extrusão dos corpos de prova, iniciou-se a sua secagem. Foi colocado um pano de algodão úmido abaixo e acima dos CPs para que ocorresse uma perda de água lenta, evitando que se formassem barriga e trincas. Esse processo foi constituído por dois tipos de secagem, visando à eliminação da maior parte da água interna dos corpos de prova. São eles:

- **secagem natural:** quando os corpos de prova permanecem em temperatura ambiente durante duas semanas (Figura 17).

Figura 17 – Secagem Natural



Fonte: Autora (2019)

Durante essa secagem, percebeu-se a presença de mofo nos CPs com maiores adições de resíduo (BM15 e BM20), como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Presença de mofo nos CPs



Fonte: Autora (2019)

- **secagem artificial:** em estufa elétrica, Marca Nova Ética, durante 3 dias com uma rampa de aquecimento que se iniciou em 40 °C e teve um aumento gradual até 110±5 °C (Figura 19).

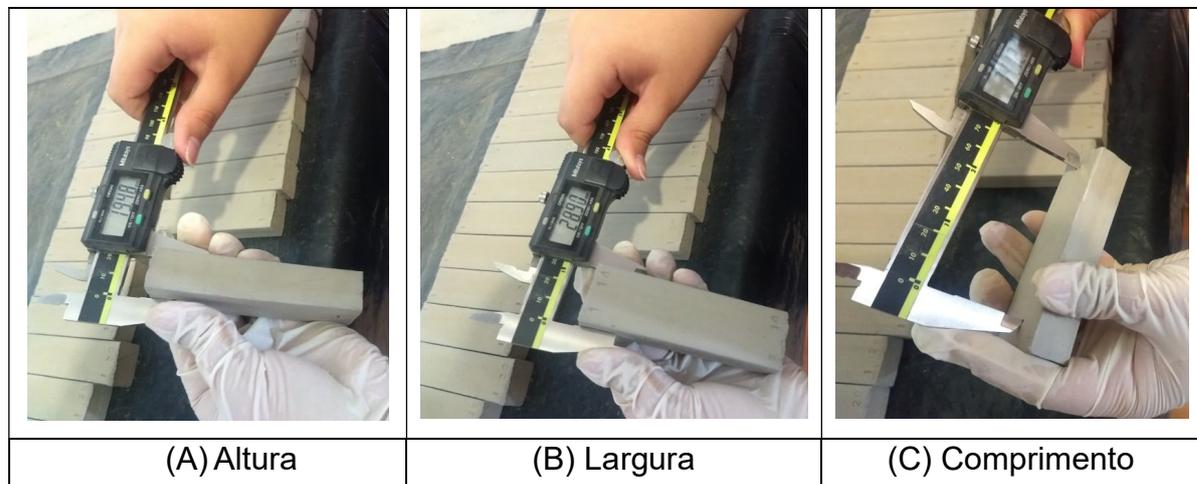
Figura 19 – Secagem Artificial



Fonte: Autora (2019)

Para o monitoramento dos corpos de prova, foram realizadas pesagens em uma balança semi-analítica marca Marte e modelo AS5500 e medições com auxílio de um paquímetro digital após os CPs completarem seu ciclo correspondente em estufa. A medição da contração dos corpos extrudados foi realizada no local de marcação, através de dois pontos distantes na face plana da base de 8 cm. Essa marcação foi realizada logo que os corpos saírem da extrusora (Figura 20).

Figura 20 – Medições Pós-Secagem



Fonte: Autora (2019)

A coleta desses dados serviu para o controle do ciclo de secagem, a fim de determinar a umidade de conformação e a contração linear. A determinação desses parâmetros foi realizada segundo o padrão normativo da Fundação de Ciência e Tecnologia, C -20 e C-21 (1995).

A umidade de conformação e a espessura do corpo cerâmico estão diretamente relacionadas às perdas de massa e taxas de secagem do produto (ISERHARD, 2009). A umidade de conformação, dessa forma, vem quantificar a porcentagem da perda de água durante a etapa de secagem, conforme a Equação 5:

$$U (\%) = \frac{P_0 - P_s}{P_0} * 100 \quad (5)$$

Onde U é a umidade de conformação,  $P_0$  a massa úmida do corpo de prova após a conformação e  $P_s$  a massa do corpo de prova seco à 110 °C (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995a).

Na Equação 6, a seguir, encontra-se o cálculo da contração linear de secagem:

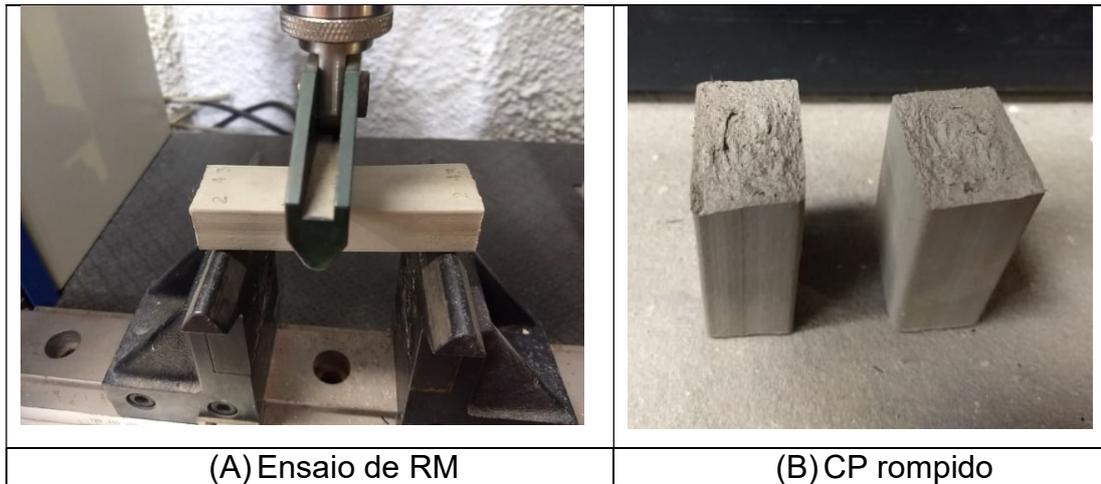
$$CLS (\%) = \frac{L_0 - L_s}{L_0} * 100 \quad (6)$$

Onde CLS é a contração linear de secagem,  $L_0$  o comprimento inicial do corpo de prova após a conformação e  $L_s$  o comprimento do corpo de prova seco à 110 °C (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995b).

#### **4.7 Resistência Mecânica a Seco**

A resistência mecânica a seco seguiu a norma da Fundação de Ciência e Tecnologia– C-025 (1995f), em que 20 CPs de cada formulação foram colocados na máquina de resistência universal da marca EMIC, que está localizada no Laboratório de Materiais da URCAMP. A carga aplicada foi de 20KN no ponto médio dos corpos de prova (Figura 21 (A) e (B)).

Figura 21 – Resistência Mecânica a Seco



Fonte: Autora (2019)

Na Equação 7, encontra-se o cálculo da resistência mecânica em MPa:

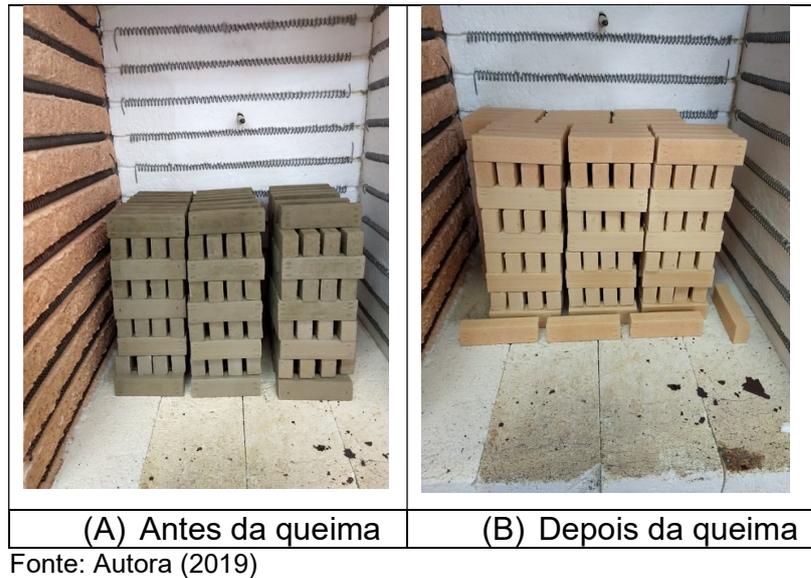
$$TRF = \frac{3PL}{2a^2b} (7)$$

Onde: TRF é a tensão de resistência à flexão em MPa, P é a carga em N, L é a distância dos apoios em que o CP é colocado, *a* é a altura do CP e *b*, a largura (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995f).

#### 4.8 Queima dos Produtos

A queima dos corpos de prova ocorreu nas temperaturas de 900 °C e 1000 °C, em um forno elétrico da marca Sanches. A Figura 22 mostra os CPs antes (a) e depois (b) da queima.

Figura 22 – CPs antes e pós-queima



Na Equação 8, encontra-se o cálculo da contração linear de queima:

$$CLQ (\%) = \frac{L_s - L_q}{L_s} * 100 \quad (8)$$

Onde CLQ é a contração linear de queima,  $L_s$  o comprimento do corpo de prova seco à 110 °C e  $L_q$  o comprimento do corpo de prova após queima (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995g).

A determinação da perda ao fogo é fundamentada na pesagem dos corpos de prova cerâmicos. Essa pesagem foi realizada após a etapa de queima. Essa análise quantifica em porcentagem a perda em massa dos corpos de prova cerâmicos, como expressa a Equação 9:

$$PF (\%) = \frac{P_s - P_q}{P_s} * 100 \quad (9)$$

Onde PF é a perda ao fogo, a massa do corpo de prova seco ( $P_s$ ) à 110°C e a massa do corpo de prova após a queima ( $P_q$ ) (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995i).

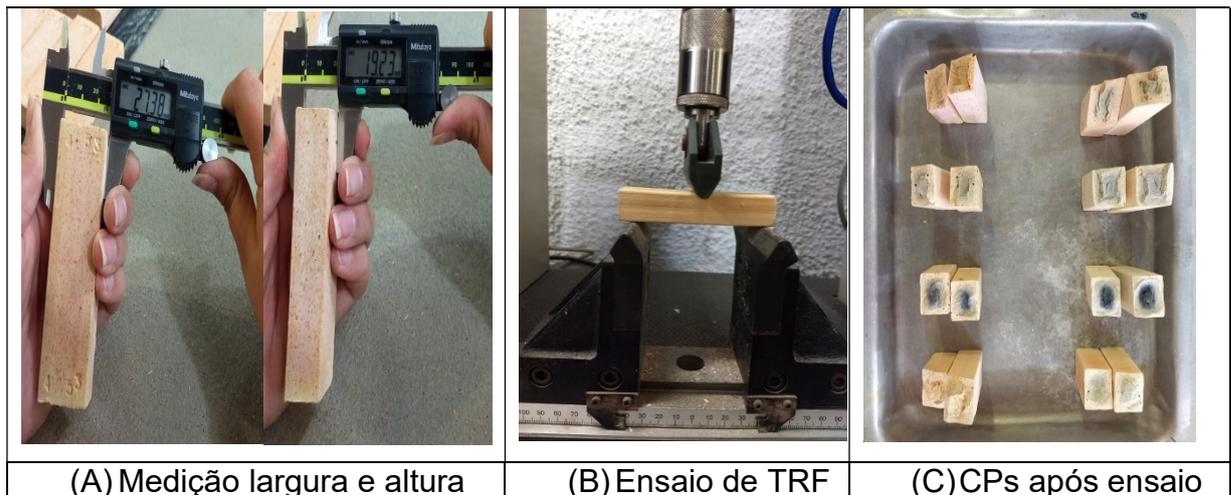
## 4.9 Ensaios de Caracterização dos Produtos

Os ensaios de caracterização foram realizados nos produtos após o processo de queima. Esses são apresentados a seguir.

### 4.9.1 Resistência Mecânica após Queima

Para esse ensaio, utilizou-se a norma da Fundação de Ciência e Tecnologia (1995h), de tensão de ruptura à flexão em três pontos (TRF). A máquina utilizada foi a mesma do ensaio de TRF a seco. A Figura 23 mostra as etapas do ensaio de TRF, em que (A) mostra a medição da altura e largura, (B), o ensaio e (C) o CP após ensaio.

Figura 23 – Etapas do Ensaio de Tensão de Resistência à Flexão



Fonte: Autora (2019)

A resistência mecânica é dada em MPa e calculada a partir da Equação 10.

$$Tr (MPa) = \frac{3PL}{2a^2b} \quad (10)$$

Onde, Tr é a tensão de ruptura em MPa, P é a carga atingida no momento da ruptura, L é a distância entre os apoios da máquina, a é a altura do corpo de prova e b é a largura (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995h).

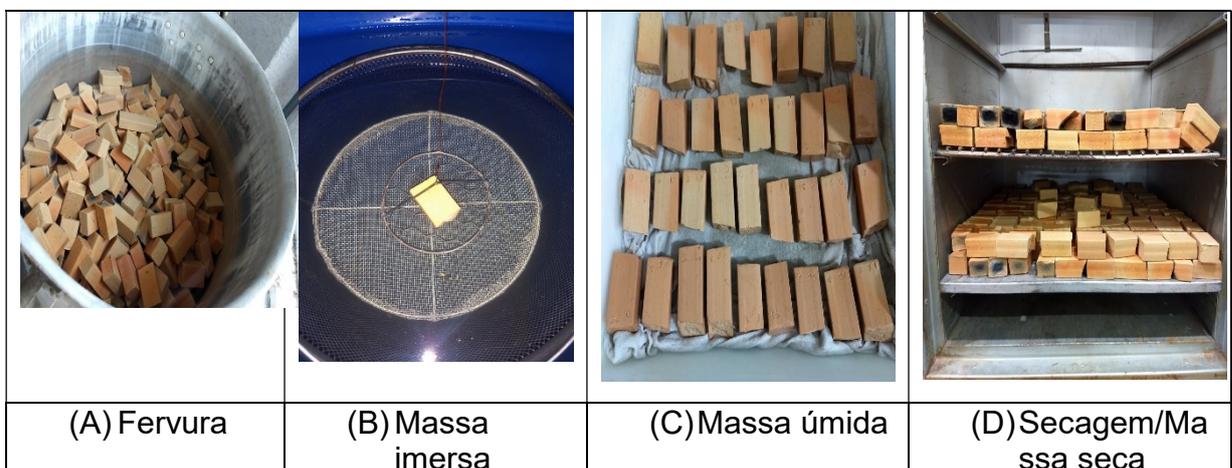
Os resultados de resistência foram submetidos à análise de variância a fim de se verificar se as diferentes formulações testadas afetaram significativamente

( $p < 0,5$ ) nos parâmetros dos índices de resistência. Logo após, aplicou-se o teste de comparações de médias Dunnett, com o intuito de verificar se as médias obtidas nas diferentes formulações foram estatisticamente diferentes da formulação controle (A0).

#### 4.9.2 Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente

A análise de AA, PA e MEA foram realizadas seguindo as normas da Fundação de Ciência e Tecnologia, C – 022, 023 e 024 (1995), respectivamente. O ensaio ocorreu da seguinte forma: uma das metades dos corpos de prova, após o ensaio de tensão de ruptura à flexão, foi imersa em um recipiente (panela) com água e fervidos durante 2 horas. Esperou-se esfriar até temperatura ambiente, ainda imerso em água (Figura 24 (A)). Então a massa de cada corpo de prova imerso em água foi determinada com o auxílio de uma balança hidrostática (Figura 24 (B)), efetuando a pesagem com a amostra suspensa por um fio de arame fino, preso na parte inferior da balança (antes da pesagem a balança foi calibrada já com o fio metálico imerso em água). Após corpos foram enrolados em um pano limpo e úmido, para retirar o excesso de água superficial (Figura 24 (C)), e então pesados, em uma balança eletrônica Marca Marte, Modelo AS5500, separadamente para obtenção da massa do material saturado (úmida) de água. Realizada essa etapa, os corpos foram colocados em estufa à 110°C por 24 horas (Figura 24 (D)) e, quando retirados, foram pesados e a massa seca foi determinada.

Figura 24 – Etapas do ensaio de Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente



Fonte: Autora (2019)

A absorção de água, a porosidade aparente e a massa específica aparente podem ser calculadas de acordo com as Equações: 11, 12 e 13, respectivamente:

$$AA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u} (11)$$

Onde, AA é a absorção de água, Mu é a massa do corpo de prova saturada de água e Ms é a massa do corpo de prova seco (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995c).

$$PA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} * 100 \quad (12)$$

Onde PA é a porosidade aparente, Mu é a massa do corpo de prova saturada de água, Ms é a massa do corpo de prova seco e Mi é a massa dos corpos de prova imerso e saturado de água (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995d).

$$MEA \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{M_s}{M_u - M_i} * \rho_a (13)$$

Onde MEA é a massa específica aparente, Ms é a massa do corpo de prova seco, Mu é a massa do corpo de prova saturada de água, Mi é a massa dos corpos de prova imerso e saturado de água e  $\rho_a$  é a massa específica da água (FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1995e).

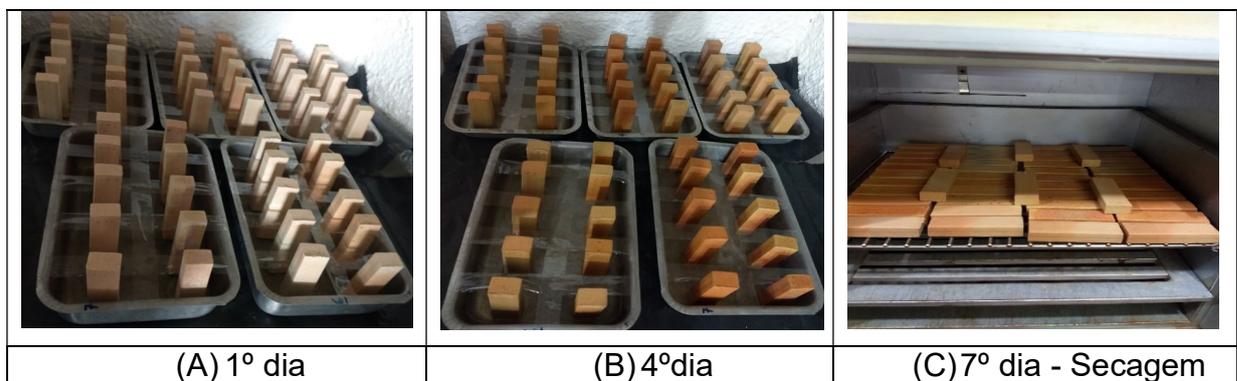
Os resultados de absorção de água foram submetidos à análise de variância, a fim de verificar se as diferentes formulações testadas afetaram significativamente ( $p < 0,5$ ) nos parâmetros dos índices de absorção. Logo após, aplicou-se o teste de comparações de médias Dunnett, com o intuito de verificar se as médias obtidas nas diferentes formulações foram estatisticamente diferentes da formulação controle (A0).

#### 4.9.3 Eflorescência

O ensaio de eflorescência foi realizado a partir da norma C67 da American Society for Testing and Materials (2003). Primeiramente, separaram-se 5 corpos de prova de cada formulação, 5 formas de alumínio, 6 litros de água deionizada, um

prendedor para medição e fita durex larga (é utilizada para separar os CPs). Os CPs foram cobertos com água deionizada a uma altura de 2,54 cm. Os corpos de prova descansaram no recipiente por 7 dias e, então, foram retirados e colocados na estufa a 110 °C para secagem durante 24 horas. Ao final desse período, permanecerem por mais 4 horas em descanso, para a sua temperatura se igualar a temperatura do ambiente. Posteriormente, analisou-se se houve ou não formação de eflorescência. A Figura 25 ilustra o processo descrito.

Figura 25 – Ensaio de Eflorescência



Fonte: Autora (2019)

#### 4.10 Análise Estatística e de Agrupamento

A análise estatística foi realizada a partir do teste Dunnett, que é paramétrico, e foi utilizado para comparar a amostra padrão A0 com as demais formulações (RUMSEY, 2019). Foi realizado para as principais caracterizações do produto, sendo elas: a resistência mecânica após queima e a absorção de água. A equação 14 foi utilizada para achar a Diferença Mínima Significante (DMS).

$$DMS = d * \sqrt{\frac{2 * QMR}{r}} \quad (14)$$

Onde:

d = é um valor dado na tabela de valores críticos para o teste Dunnett. Para este trabalho foi utilizado o valor 2,54;

QMR = é o quadrado médio do resíduo da análise de variância, o qual foi realizada utilizando o *software* Excel;

r = é o número de repetições, sendo ele 40.

O tratamento estatístico dos dados de resistência mecânica e da absorção de água foi realizado e fundamentado na técnica de Análise de Agrupamento, onde foi utilizada duas métricas: euclidiana para RM e correlação para AA, em que a primeira mede a similaridade das amostras para agrupar e a segunda mede a distância entre as amostras para agrupar. As métricas são diferentes, mas que chegam ao mesmo objetivo, pois cada agrupamento desses ficou expresso em função das características de AA e RM (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

O uso dessa técnica é interessante para verificar como as amostras com resíduo se relacionam com a amostra controle A0, ou seja, o quanto são semelhantes de acordo com as variáveis RM e AA.

Dessa forma, utilizou-se o *software* livre PAST® para a realização da análise de Agrupamento, seguindo os passos a seguir:

- criação da tabela de dados de RM e AA para ambas as temperaturas de queima, sendo que cada linha são as variáveis e cada coluna os dados a serem comparados;
- criação do *boxplot* para RM, cuja a função é fornecer informações sobre as características da resistências mecânicas de cada formulação em ambas as temperaturas, principalmente em relação aos *outliers* (medidas que estão muito fora da média);
- criação do dendograma para RM e AA, cuja a função é analisar os níveis de distância de cada formulação, ou seja, mostra a relação das amostras agrupadas. No dendograma estão dispostas linhas de acordo com os níveis de similaridade que agrupam as formulações. A partir dos dendogramas, também é possível obter o coeficiente de correlação, esse pode ser dito como uma medida de similaridade, portanto, quanto maior for essa maior é a semelhança entre as formulações.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultados das Caracterizações das Matérias-Primas

#### 5.1.1 Fluorescência de Raios – X

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise química da argila e do resíduo BM obtida por FRX.

Tabela 2 - Resultados da análise química da argila e do BM

Compostos	Argila (% em peso)	BM (% em peso)
SiO <sub>2</sub>	65,75	1,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,96	0,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,40	0,07
K <sub>2</sub> O	1,95	0,16
TiO <sub>2</sub>	0,80	<0,05
MgO	0,73	0,26
CaO	0,43	0,15
Na <sub>2</sub> O	0,12	<0,05
MnO	<0,05	<0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,05	1,65
Perda ao fogo	7,41	95,33

Fonte: Autora (2018)

A partir da análise de FRX da argila, percebe-se que há uma maior quantidade de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, característico de argila do tipo caulinita. As composições encontradas desses três elementos são semelhantes ao do trabalho de Tahri (2016), que classifica a argila em caulinita.

Com essa análise química, é possível saber se há a necessidade de se realizar uma análise de eflorescência no produto e, devido à presença dos óxidos K<sub>2</sub>O, MgO e CaO, percebe-se que a presença de sais é elevada, havendo a necessidade de se realizar a análise eflorescência dos corpos de prova.

A análise química do resíduo BM mostra uma baixa porcentagem de SiO<sub>2</sub> quando comparada com a da argila. É importante destacar o alto valor de perda ao

fogo do bagaço de malte que, segundo Kummer *et al.* (2007), esse elevado percentual significa que esse material possui grande quantidade de hidróxidos e componentes voláteis de matéria orgânica.

### 5.1.2 Densidade Aparente

A partir do ensaio de densidade aparente, encontraram-se os seguintes valores de densidade: 1,3065 g/cm<sup>3</sup> para a argila e 0,6544 g/cm<sup>3</sup> para o resíduo.

Esse resultado demonstra que a densidade da argila é o dobro do resíduo e, com essa enorme diferença, a adição do resíduo na argila é mais viável em relação ao seu volume do que em relação à massa. Esse valor de densidade da argila de Candiota – RS representa uma transição do limite de solo argiloso para um solo arenoso, segundo Cooper e Mazza (2017).

### 5.1.3 Limites de Atterberg

A Tabela 3 mostra os resultados obtidos dos Limites de Atterberg, o Índice de Plasticidade, da Massa Específica e da Umidade Média de todas as formulações investigadas.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de caracterização das matérias-primas

<b>Limites</b>	<b>A0</b>	<b>BM5</b>	<b>BM10</b>	<b>BM15</b>	<b>BM20</b>
<b>LL (%)</b>	44,7	47,1	50,8	53,1	54,1
<b>LP (%)</b>	19,6	24,8	26,9	28,4	29,7
<b>IP (%)</b>	25,1	30,4	23,9	25,7	23,4
<b>LC (%)</b>	16,5	16,7	18,8	21,3	23,8
<b>U<sub>m</sub> (%)</b>	7,18±0,021	7,06±0,061	6,33±0,032	7,59±0,021	6,95±0,024
<b>ME (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,60	2,56	2,47	2,54	2,48

Fonte: Autora (2019)

A partir da Tabela 3, percebe-se que os Limites de Atterberg (LL, LP e LC) aumentaram conforme a quantidade de resíduo adicionado na argila. Esse perfil de crescimento também foi encontrado no trabalho de Nunes (2016), sendo que,

segundo Andrade, Al-Qureshi e Hotza (2010), a adição de matéria orgânica tende a aumentar a plasticidade das massas argilosas.

A importância de se avaliar a plasticidade dessas amostras é que com o aumento do LP se torna mais difícil a secagem das peças cerâmicas. No entanto, uma alta plasticidade melhora a resistência mecânica da peça (RODRIGUES *et al.*, 2019).

Todas as formulações são consideradas de alta plasticidade por possuírem um IP maior do que 15% (CAPUTO, 2011). A umidade média e a massa específica não diferiram muito da amostra A0.

#### 5.1.4 Análise Granulométrica

A Tabela 4 apresenta o resultado obtido da distribuição granulométrica de cada uma das formulações. Essa distribuição granulométrica é dividida em areia, silte e argila com suas respectivas granulometrias.

Tabela 4 – Distribuição Granulométrica

(%)	A0	BM5	BM10	BM15	BM20
<b>Areia (&gt;20mm)</b>	5,2	6,4	7	10,6	11,9
<b>Silte (2&gt;%&lt;20mm)</b>	51,5	50,3	52,2	47,8	48,6
<b>Argila (&lt;2mm)</b>	43,3	43,3	40,8	41,6	39,5

Fonte: Autora (2019)

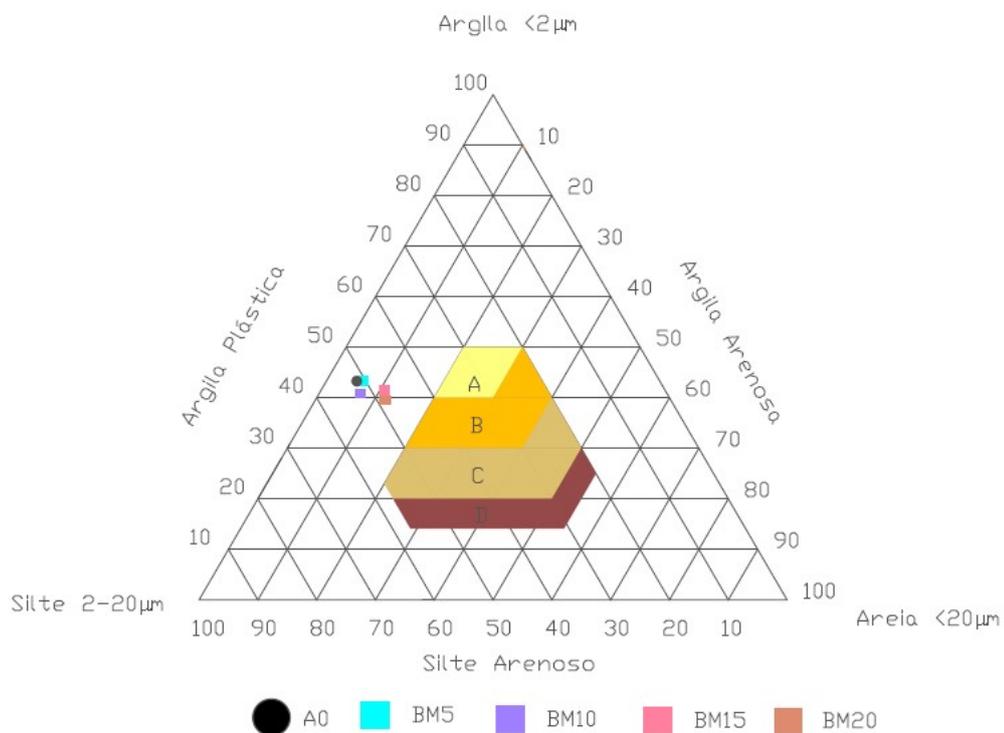
A partir da Tabela 4, percebe-se que a porcentagem de areia aumentou conforme o volume de resíduo também aumentava nas formulações, ao contrário da argila que teve a sua porcentagem diminuída conforme o aumento de BM. No trabalho de Ribeiro e Souza (2018), também foram encontrados teores de areia inversamente proporcionais aos teores de argila.

Figueiredo (2018) explica que pós finos apresentam forte tendência à aglomeração e que quanto menor o tamanho de partícula maior é a sua área superficial. Isso facilita a etapa de queima, pois partículas com tamanho elevado podem correr o risco de fissurar no forno. Diante disso, a análise granulométrica está dentro dessa regra, pois a porcentagem de areia é muito menor do que a de silte e argila.

A Figura 26 mostra o Diagrama de Winkler das formulações. Segundo Nunes (2016), esse é usado para classificar as massas cerâmicas de forma tecnológica. Esse diagrama foi construído conforme a Tabela 4 e tem uma escala em percentual, que é relacionada a cada fração de material com suas respectivas granulometrias: fina com percentual de minerais argilosos ( $<2\ \mu\text{m}$ ), a fração silte (2 a  $20\ \mu\text{m}$ ) e areia ( $> 20\ \mu\text{m}$ ).

Outras informações contidas no diagrama destacam que a região “A” é indicada para fabricação de produtos de difícil conformação e que necessitam de uma massa com alta plasticidade; a região “B” é apropriada para fabricação de telhas; a região “C” é própria para fabricação de tijolos furados (blocos de vedação e estruturais); e a região “D” é apropriada para a fabricação de tijolos maciços. Essas quatro regiões mencionadas compreendem as faixas granulométricas adequadas para compor cada massa. A representação foi realizada no *software* DraftSight®.

Figura 26 – Diagrama de Winkler



Fonte: Autora (2019)

A partir da Figura 26, observa-se que nenhuma das formulações se enquadrou dentro das regiões, mas ficaram próximas das regiões A e B. A Região A pertence a produtos de difícil conformação e, de acordo com Friber, Galhardo e

Guimarães (2015), produtos dessa região são de melhor qualidade, porém deve haver um controle tecnológico mais rigoroso, principalmente em relação à temperatura de queima. A Região B, por sua vez, pertence à fabricação de telhas. Percebe-se também que, conforme adiciona-se BM, mais próximo da região B as formulações ficam.

## 5.2 Resultados dos Ensaio de Caracterização dos Produtos

### 5.2.1 Umidade de Conformação e Contração Linear de Secagem

A Tabela 5 apresenta o resultado da U (%) e da CLS (%) para as formulações e seus respectivos desvio-padrão.

Tabela 5 – Umidade de Conformação e Contração Linear de Secagem

(%)	A0	BM5	BM10	BM15	BM20
<b>CLS</b>	22,86±0,16	23,38±0,2	22,87±0,17	24,52±0,33	27,01±0,24
<b>U</b>	7,64±0,18	6,94±0,22	5,55±0,17	5,17±0,26	5,22±0,22

Fonte: Autora (2019)

A média dos valores encontrados para CLS variou entre 22,86±0,16% a 27,01±0,24%, sendo que o maior valor de CLS é da formulação BM20 e o menor da A0, já para a U o maior valor é da A0 e o menor da BM20.

A U e a CLS estão relacionadas com o comportamento da argila durante sua secagem. A CLS constitui um problema importante na indústria da cerâmica vermelha, por apresentarem diferenças de contração nos corpos cerâmicos, levam a suas rupturas (OLIVEIRA, 2010).

Segundo Zaccaron (2016), os valores de U não devem exceder 8%, pois podem ocorrer problemas de deformação, facilitando o aparecimento de fissuras no produto na etapa de queima. A partir disso, a U dos CPs de todas as formulações se encontram bem abaixo de 8%, e a adição de resíduo ajudou a diminuir a contração na secagem.

### 5.2.2 Resistência Mecânica a Seco

A Tabela 6 mostra os valores da resistência mecânica a seco média dos CPs e seus respectivos desvios padrões médios, realizada nos corpos de prova após a etapa de secagem artificial.

Tabela 6 – Resultado da Resistência Mecânica média a seco

<b>Formulação</b>	<b>RM a seco (MPa)</b>
A0	5,72±0,82
BM5	5,93±1,38
BM10	9,33±2,08
BM15	7,73±1,99
BM20	7,48±1,28

Fonte: Autora (2019)

A partir da Tabela 6, percebe-se que as resistências foram elevadas e que, com a adição de bagaço de malte, as resistências foram maiores do que a argila *in natura*. E a formulação que apresentou maior resistência foi a BM10. Pode-se dizer então que a adição do bagaço de malte foi benéfica para o aumento da resistência mecânica a seco. No trabalho de Finkler (2018), os valores de resistência mecânica a seco aumentaram com a adição da casca de acácia negra. O trabalho de Quintana (2000) mostra os valores recomendados pelo Instituto de Pesquisas Técnicas (2019) para a RM a seco, que é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores recomendados de RM a seco para diferentes produtos

<b>Produtos</b>	<b>Tijolos Maciços</b>	<b>Blocos de Vedação</b>	<b>Telhas</b>
<b>TRF (MPa)</b>	1,5	2,5	3

Fonte: Instituto de Pesquisas Técnicas (2019)

Observa-se na Tabela 7 que todas as formulações estão dentro do recomendado pela norma do Instituto de Pesquisas Técnicas (2019) para todos os produtos.

### 5.2.3 Perda ao Fogo e Contração Linear de Queima

A Tabela 8 apresenta os resultados de PF e CLQ para ambas as temperaturas de queima.

Tabela 8 – Perda ao fogo e Contração Linear de Queima

<b>T = 900°C</b>					
<b>(%)</b>	<b>A0</b>	<b>BM5</b>	<b>BM10</b>	<b>BM15</b>	<b>BM20</b>
<b>PF</b>	7,66±0,25	8,93±0,11	10,88±0,26	12,84±0,26	14,40±0,15
<b>CLQ</b>	0,09±0,27	0,76±0,26	1,22±0,25	1,71±0,3	1,56±0,44
<b>T = 1000°C</b>					
<b>PF</b>	7,63±0,12	9,11±0,3	11,12±0,16	13,44±0,24	14,63±0,3
<b>CLQ</b>	1,25±0,29	2,16±0,42	2,66±0,51	3,49±0,45	3,63±0,5

Fonte: Autora (2019)

Percebe-se, para ambas as temperaturas de queima, que a PF aumenta conforme aumenta-se a quantidade de resíduo na argila, assim como a CLQ, sendo que quanto maior a contração, maior a possibilidade de haver trincas nas peças cerâmicas. No entanto, de acordo com Zaccaron (2014), a cerâmica vermelha possui um valor de variação de contração de queima ótimo menor do que 1,5% com a situação aceitável até 3%. Dessa forma, todas as formulações na temperatura de queima de 900 °C se enquadram dentro da variação aceitável. No que concerne à temperatura de queima de 1000 °C, apenas as formulações A0, BM5 e BM10 se enquadram. Com relação às formulações BM15 e BM20, essas obtiveram uma CLQ superior a 3%.

A perda ao fogo ocorre devido a fatores como: a perda de água de constituição da caulinita e principalmente, neste trabalho, da matéria orgânica eliminada (FERNANDES, 2012). Diante disso, é possível explicar o fato do seu aumento conforme é adicionada matéria orgânica à argila.

Percebe-se também, a partir da Tabela 8, que tanto a PF quanto a CLQ aumentaram quando a temperatura de queima foi mais elevada. Isso ocorre devido a uma tendência à diminuição da expansão térmica total (MARINO; BOSCHI, 1998).

### 5.2.4 Resistência Mecânica Pós Queima

A Tabela 9 apresenta o resultado da resistência mecânica média dos produtos em ambas as temperaturas de queima.

Tabela 9 – Resultado Resistência Mecânica Média Pós Queima<sup>4</sup>

	T(°C)	A0	BM5	BM10	BM15	BM20
<b>TRF</b>	900	14,63±6,51	24,21*±6,41	22,36*±6,13	14,16*±5,23	12,35*±3,71
<b>(MPa)</b>	1000	29,86±5,16	27,47*±7,23	19,76*±8,85	17,14±4,53	16,15±2,65

Fonte: Autora (2019)

Os valores encontrados de resistência para a temperatura de queima de 900 °C variaram de 12,359±3,71 MPa para a formulação BM20 até 24,21±6,41 MPa para a formulação BM5. Já para a queima a 1000 °C variaram de 16,15±2,65 MPa para a formulação BM20 até 29,86±5,16 MPa para a formulação A0. Além de que os valores de resistências foram significativamente maiores na temperatura de queima mais elevada.

De acordo com Pinheiro e Holanda (2010), o aumento da temperatura de queima faz com que as propriedades mecânicas melhorem. Isso se deve ao fechamento dos poros abertos no interior das peças cerâmicas. Esses poros abertos se devem à desidroxilação da caulinita (formação da metacaulinita amorfa) e posterior transformação para fases cerâmicas de alta temperatura (formação da mulita). Em 950 °C ocorre fraca sinterização e, acima dessa temperatura, a porosidade aberta pode se fechar de forma mais significativa.

Conforme Callister (2012), o principal fator que afeta a resistência mecânica de um material cerâmico é a porosidade, pois os poros atuam como concentradores de tensão.

Verifica-se que há uma grande variabilidade dos desvios-padrões, além de serem valores elevados, essa variação está relacionada a muitos fatores, como: patamares de queima, fissuras, trincas, inchamento e formação de coração negro que foram encontrados principalmente na formulação BM10 (NUNES, 2016).

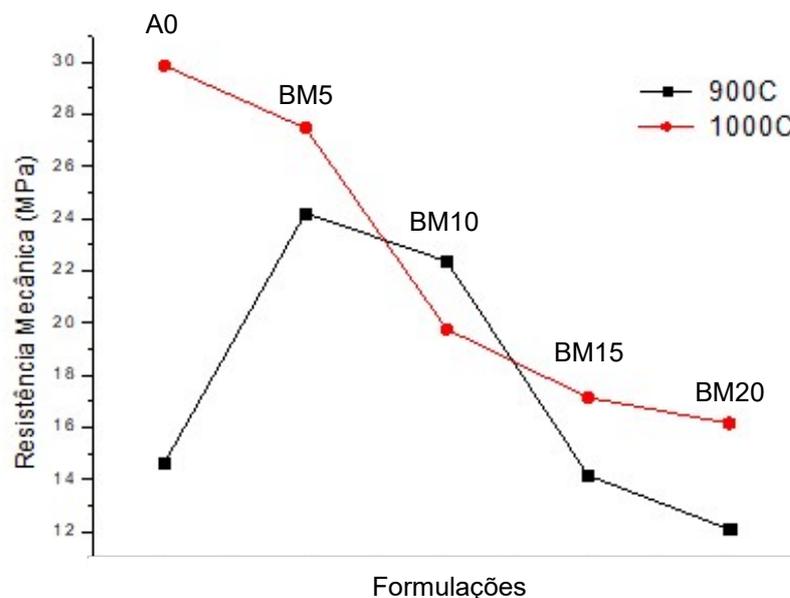
<sup>4</sup> \*Diferem da amostra controle (A0).

Na Tabela 9, observa-se que, à medida que se adicionou o resíduo, menor foram as resistências, com exceção da formulação BM5 que apresentou os maiores valores de resistência em ambas as temperaturas de queima e foi a única formulação que não apresentou coração negro.

Percebe-se que o teste de Dunnett foi uma análise estatística eficiente para comparar os valores de resistência mecânica, mostrando que com 95% de confiabilidade os diferentes percentuais de BM adicionados aos corpos de prova cerâmicos influenciaram na sua resistência, havendo uma diferença significativa na RM para todas as formulações na temperatura de queima de 900 °C e na temperatura de 1000 °C para as formulações BM5 e BM10.

O Gráfico1 mostra os valores encontrados na Tabela 9.

Gráfico 1 – Resultado da Resistência Mecânica



Fonte: Autora (2019)

A partir do Gráfico 1, percebe-se que a resistência da formulação BM5 foi a maior para ambas as temperaturas de queima, e que a BM20 foi a menor.

Segundo a NBR 15310 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), que estipula uma resistência mínima de 1 MPa para telhas, pode-se afirmar que todas as formulações para as duas temperaturas de queimas estão dentro das faixas recomendadas para telhas cerâmicas. Já para a NBR 15270 – 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), a resistência

mínima é de 1,5 MPa para blocos e tijolos. Portanto, todas as formulações estão dentro dessa norma.

Os valores limites recomendados pelo Instituto de Pesquisas Técnicas (2019), de cerâmica vermelha, para tijolos maciços, é 2 MPa. Para blocos cerâmicos, é 5,5 MPa. E para telhas, é 6,5 MPa. Novamente para essa norma todas as formulações se enquadram dentro do mínimo recomendado.

#### 5.2.5 Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente

A Tabela 10 mostra o resultado dos ensaios de Absorção de Água, Porosidade Aparente e Massa Específica Aparente.

Tabela 10 – Resultados AA, PA e MEA<sup>5</sup>

	T (°C)	A0	BM5	BM10	BM15	BM20
<b>AA (%)</b>	900	14,69±0,41	15,33*±3,64	16,06*±0,79	19,79*±1,04	23,66±2,84
	1000	12,3±2,07	11,75*±1,12	13,18*±1,26	16,62*±1,28	19,41±1,43
<b>PA (%)</b>	900	27,44±0,6	27,42±3,68	27,95±1,22	32,14±1,33	35,86±2,97
	1000	24,04±3,48	22,43±1,82	24,08±1,89	28,25±2,14	29,63±5,38
<b>MEA (g/cm³)</b>	900	1,87±0,02	1,81±0,12	1,74±0,01	1,63±0,02	1,52±0,07
	1000	1,96±0,04	1,91±0,03	1,83±0,03	1,71±0,08	1,52±0,25

Fonte: Autora (2019)

A Tabela 10 revela que as formulações da temperatura de queima de 1000 °C tiveram valores menores de AA e PA e maiores de MEA. De acordo com Nunes (2016), esses resultados se devem à densificação do corpo cerâmico, fazendo com que apresente uma menor porosidade e conseqüentemente absorva menos água. E essa é a razão pelo qual a AA é inversamente proporcional a RM.

À medida que o resíduo foi adicionado, em ambas as temperaturas, maior foi o valor de AA, o qual já era esperado, pois mais poroso fica o produto, o que pode ser observado pela PA. Quanto a MEA, esta deve ser inversamente proporcional a AA e PA.

<sup>5</sup> \*Diferem da amostra controle (A0).

A norma NBR 15310 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) recomenda um valor máximo de AA de 20%. Dentro desse parâmetro, todas as formulações, para ambas as temperaturas, enquadram-se, com exceção da formulação BM20 a 900°C. Já para a norma NBR 15270 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), esta recomenda uma AA entre 8 e 25%, em que todas as formulações se enquadram.

A partir do teste Dunnet, percebe-se que a análise estatística foi eficiente para comparar os valores de AA, podendo-se afirmar com 95% de confiabilidade há uma diferença significativa na AA das formulações BM5, BM10 e BM15 para ambas as temperaturas de queima, mostrando que os diferentes percentuais de BM, adicionados aos corpos de prova cerâmicos, influenciaram em sua absorção.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Técnicas (2019), a PA de materiais cerâmicos de argila vermelha deve estar entre 17% e 35%, e todas as formulações se encaixam dentro dos valores limites da norma.

A MEA é importante, pois indica o grau de empacotamento das partículas. No trabalho de Sant'ana e Gadioli (2018), ocorreu uma diminuição no valor da massa específica à medida que a porcentagem de resíduo aumentou, assim como neste trabalho. Esse resultado mostra que o resíduo influenciou no grau de empacotamento da massa cerâmica. O valor máximo, definido pela norma NBR 15270 - 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), para MEA, é de 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Por isso todas as amostras se encontram abaixo do valor permitido.

### 5.2.3 Eflorescência

A Figura 27 apresenta os corpos de prova, após teste de eflorescência, e mostra em cada uma das temperaturas as formulações que apresentaram ou não essa patologia.

Figura 27 – CPs após Análise de Eflorescência

(continua)

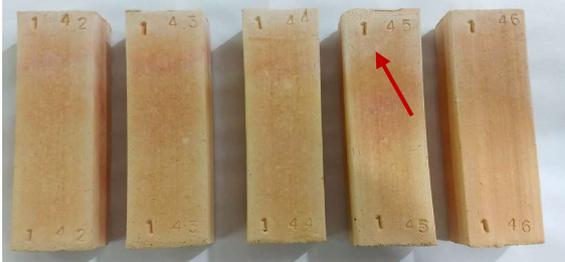
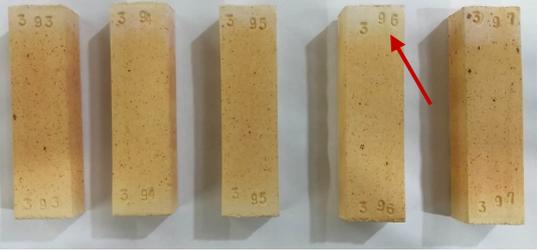
Temperatura de queima: 900 °C	Temperatura de queima: 1000 °C
	
A0 - Apresentou	A0 - Apresentou
	
BM5 - Apresentou	BM5 – Não apresentou
	
BM10 – Não Apresentou	BM10 – Não Apresentou

Figura 27 – CPs após Análise de Eflorescência

(conclusão)

	
BM15 – Não Apresentou	BM15 – Apresentou
	
BM20 – Não Apresentou	BM20 – Não Apresentou

Fonte: Autora (2019)

A partir da Figura 27, percebe-se que a presença da eflorescência foi quase que imperceptível na maioria das formulações. Nos corpos de prova A0, para ambas as temperaturas, a eflorescência se manifestou em maior quantidade.

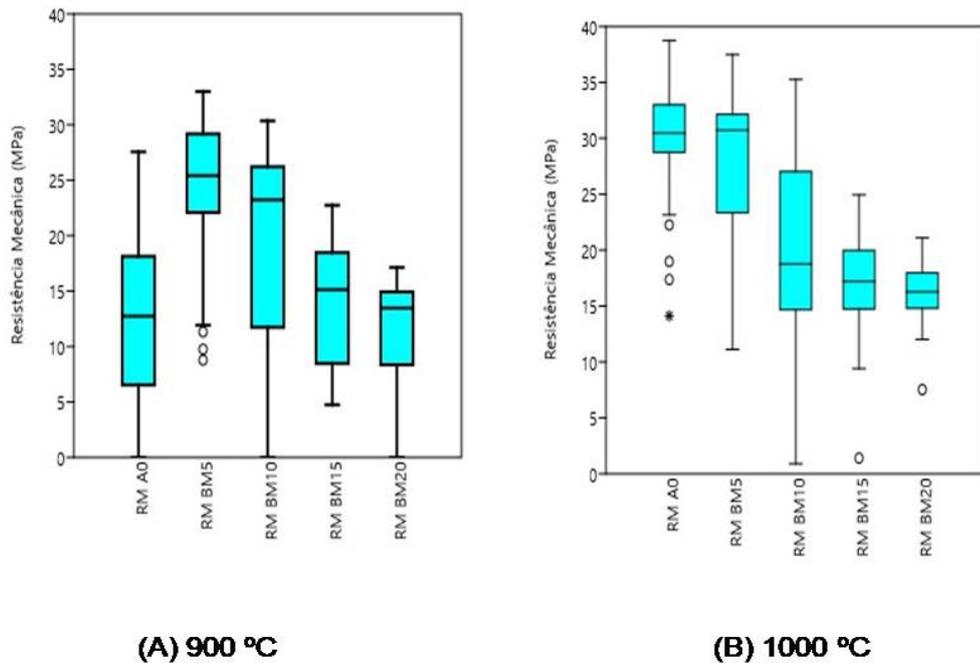
Já para os CPs com adição de resíduo, na temperatura de queima de 900 °C apenas a formulação BM5 apresentou essa patologia. Para a temperatura de queima de 1000 °C, apenas a formulação BM15 apresentou eflorescência. Nessas formulações com BM a eflorescência apareceu de maneira pontual e apenas em algumas das amostras. As formulações restantes não apresentaram essa patologia.

Pode-se dizer que o sazonalamento realizado na argila ajudou na lixiviação dos sais solúveis, devido à pouca quantidade de eflorescência apresentada. Além de que, conforme foi adicionado o resíduo, a patologia não se fez presente.

### 5.3 Análise de Agrupamento

A Figura 28 mostra o *boxplot* da RM de ambas as temperaturas, realizado no software de PCA.

Figura 28 – *Box plot* Resistência Mecânica

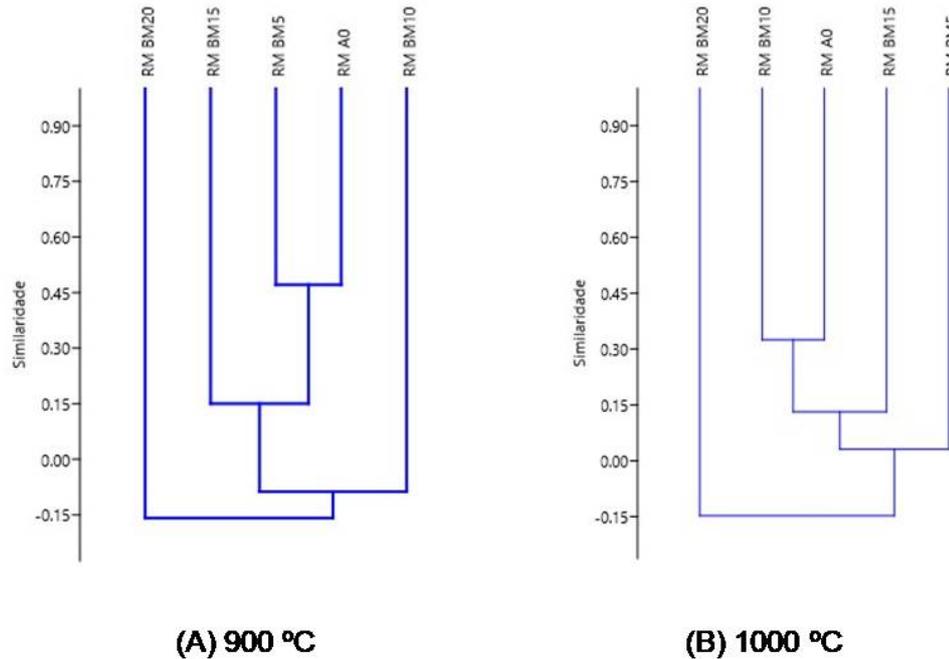


Fonte: Autora (2019)

A partir da Figura 28, percebe-se que houve alguns pontos fora do *box plot*, para ambas as temperaturas de queima nas Formulações RM5 da temperatura de 900 °C e nas formulações RMA0, RM15 e RM20. Isso pode estar associado aos valores elevados de desvio-padrão encontrados para todas as formulações.

A Figura 29 mostra os dendogramas de RM para ambas as temperaturas de queima.

Figura 29 – Dendogramas Obtidos na Análise de Agrupamento para RM



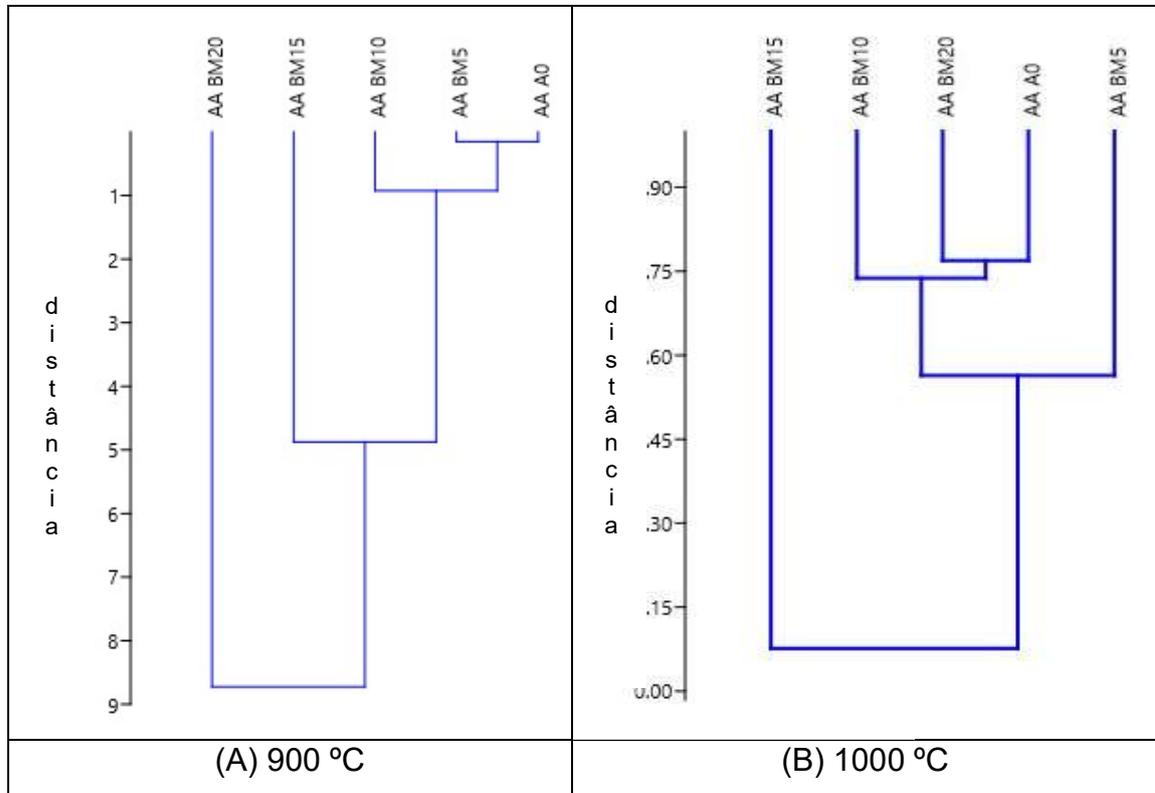
Fonte: Autora (2019)

A partir da Figura 29 percebe-se que para a temperatura de 900 °C a formulação que mais se aproxima da amostra A0 é a BM5, e a que mais se distâcia é a BM20, o que já era esperado, pois a formulação BM5 é a que contém uma menor quantidade de resíduo, e a de BM20 uma maior. Já 1000 °C a formulação que mais se aproxima do padrão A0 é a BM10, e as que menos se aproximam são as BM5 e BM20.

Essas alterações de similaridade apresentadas na temperatura de 1000 °C podem ter relações com os conceitos apresentados no Quadro 1 onde se verifica que nessas temperaturas as reações da sílica e da alumina com outros elementos, formação de silicoaluminatos complexos que conferem ao corpo cerâmico as propriedades físicas mecânicas características ao mesmo tempo ocorre nessa mesma faixa de temperatura uma fusão dos aluminosilicatos com formação de uma fase vítrea, conferindo aos corpos cerâmico: dureza, compactação, impermeabilidade e resistência mecânica conforme Pureza (2004).

A Figura 30 mostra os dendogramas de AA para ambas as temperaturas de queima.

Figura 30 – Dendogramas Obtidos na Análise de Agrupamento para AA



Fonte: Autora (2019)

A partir da Figura 30 (A) percebe-se que as amostras que mais se aproximam, em relação a AA são BM5 e BM10, já a Figura 30 (B) mostra um resultado completamente oposto, onde a formulação que mais se aproxima do padrão é a BM20.

A Tabela 11 apresenta os coeficientes de correlação, para todas as formulações em ambas as temperaturas de queima, da RM e AA.

Tabela 11 – Coeficientes de correlação

		Coeficiente de Correlação
900 °C	RM	0,86
	AA	0,92
1000 °C	RM	0,93
	AA	0,96

Fonte: Autora (2019)

A partir da Tabela 11, percebe-se que há uma ótima similaridade entre as formulações, principalmente na temperatura de queima de 1000 °C, onde os coeficientes, para ambas as análises, foram maiores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de fluorescência de raios-x mostrou que a argila é do tipo caulinita, além de que, a partir dos elementos encontrados, houve a necessidade de se realizar a análise de efluorescência nos produtos. A análise química do BM revelou um alto valor de perda ao fogo, o que significa que há uma grande quantidade de hidróxidos e componentes voláteis de matéria orgânica.

A análise de densidade aparente indicou que a densidade da argila é o dobro da densidade do resíduo. Por isso, neste trabalho utilizou-se a adição em volume do resíduo na massa argilosa.

Os limites de Atterberg (LL, LP e LC) aumentaram conforme se adicionou resíduo na argila, sendo que todas as formulações foram consideradas de alta plasticidade.

A distribuição granulométrica das formulações com bagaço de malte mostrou que possuem frações de silte predominando sobre a fração argila e areia. O Diagrama de Winkler enquadrou as formulações mais próximas da região A e B, ideais para fabricação de produtos de difícil conformação e telhas, respectivamente.

A U e a CLS ficaram dentro dos padrões para todas as formulações, sendo que a adição do resíduo ajudou a diminuir a contração de secagem.

A RM a seco mostrou que a adição de BM aumentou a resistência mecânica dos corpos de prova, principalmente para a adição de 10%, em que atingiu uma resistência de  $9,33 \pm 2,08$  MPa. Todas as formulações estão dentro do recomendado pela norma do Instituto de Pesquisas Técnicas (2019).

A PF e CLQ aumentaram quando se adicionou o resíduo e quando a temperatura de queima foi mais elevada. Isso ocorre devido a uma tendência à diminuição da expansão térmica total. A PF e a CLQ ficaram dentro dos padrões para todas as formulações.

As resistências mecânicas dos produtos cerâmicos obtiveram melhores resultados com o aumento gradativo da temperatura de queima de 900 para 1000 °C. Em ambas as temperaturas, a formulação BM5 apresentou a RM mais elevada entre todas as formulações. No entanto, todas as formulações apresentaram resistência elevadas e conseqüentemente índices dentro das normas para a fabricação de blocos cerâmicos e telhas.

A AA, PA e MEA também se enquadraram dentro da norma vigente, sendo que já se era esperado um aumento de RM conforme adicionou-se o resíduo, pois mais poroso fica o material cerâmico.

A análise de fluorescência foi efetiva para avaliar a interferência da presença dos óxidos  $K_2O$ ,  $MgO$  e  $CaO$ , sendo que a sua presença foi mais evidente na formulação A0. Nas formulações BM5 (900 °C) e BM15 (1000 °C) a presença dessa patologia foi quase que imperceptível, e nas demais formulações não se manifestou. O sazonalamento realizado no início no trabalho foi de grande auxílio para evitar maior dispersão dessa patologia.

A análise de Dunnett foi eficiente para comparar a amostra padrão A0 com as demais formulações, mostrando que a grande parte delas difere da amostra controle.

Os coeficientes de similaridade obtidos na análise de agrupamento mostraram que há uma boa semelhança entre as formulações com a amostra padrão A0, indicando a possibilidade de uso desse resíduo para ser adicionado na argila, principalmente para um patamar de queima de 1000 °C.

É importante mencionar que, após a queima dos produtos cerâmicos, foi detectado um defeito de queima, o coração negro, que foi mais evidente na formulação BM10 de ambas as temperaturas de queima. O aumento da temperatura de sinterização desses produtos influenciou na concentração de coração negro, sendo que na temperatura de 1000 °C foi encontrado as menores concentrações dessa patologia.

Por fim, os produtos cerâmicos mostraram-se adequados para a fabricação de tijolos maciços, blocos cerâmicos e telhas. Todas as formulações podem ser aplicadas na fabricação desses materiais de construção civil, pois se enquadraram dentro de todas as normas desse ramo.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, é possível fazer as seguintes sugestões de temas para futuras investigações:

- analisar o efeito na mudança de estrutura dos poros associada ao aumento da temperatura de queima;
- verificar outras argilas com diferentes composições mineralógicas;
- aprofundar as análises estatísticas com outras variações devido à complexidade dos fenômenos envolvidos;
- realizar outros tipos de análises como por exemplo: lixiviação e solubilização das amostras;
- avaliar a influência de outros percentuais de BM na argila *in natura*.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C67**: standard test method for sampling and testing brick and structural clay tile. Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials, 2003.

ANDRADE, F. A., AL-QURESHI, H. A., HOTZA, D. Measuring and modeling the plasticity of clays. **Materias Research**, ano 13, n. 3, p 395-399, Sep., 2010.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/262629286\\_Measuring\\_and\\_Modeling\\_the\\_Plasticity\\_of\\_Clays](https://www.researchgate.net/publication/262629286_Measuring_and_Modeling_the_Plasticity_of_Clays). Acesso em: 4 abr. 2019.

ASKELAND, D. R.; WRIGHT, W. J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Cerâmica**. Disponível em: <https://abceram.org.br/>. Acesso em: 5 ago. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 1984a. 6 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180**: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: ABNT, 1984b. 3 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: ABNT, 1984c. 13 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7183**: Solo – Limite de Contração. Associação Brasileira de Normas e Técnicas, Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 15310**: Componentes cerâmicos – Blocos e Tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos – Telhas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR-6502**: Solos e rochas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Cerâmica**. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>. Acesso em: 7 ago. 2018.

BAMFORTH, C. **Beer: tap into the art and science of brewing**. New York: Oxford University Press, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=V3Sr4bbTH5oC&oi=fnd&pg=PT17&dq=BAMFORTH,+Charles.+Beer:+tap+into+the+art+and+science+of+brewing.+Oxford+University+Press,+2009.&ots=Jl6Vxqk0Ca&sig=tG1MjsLorPwk9lyMUn4bhTc4gM8#v=onepage&q=BAMFORTH%20Charles.%20Beer%3A%20tap%20into%20the%20art%20and%20science%20of%20brewing.%20Oxford%20University%20Press%2C%202009.&f=false>. Acesso em: 3 set. 2018.

BARBA, J. A. **Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas**. Cestellón: Instituto de Tecnología Cerámica, 2002.

BARBOSA, A. Q.; SANTOS, C. D. B.; COSTA, D. M. Análise geral dos processos de fabricação de materiais cerâmicos para o setor da construção civil. **Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas**, v. 2, n. 2, p. 19-26, 2016. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/exatas/article/view/3510/1881>. Acesso em: 14 ago. 2018.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 374 p. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/56342232/gerenciamento-de-risco-ambiental-109>. Acesso em 24 out. 2018.

BASTOS, G. S. **Análise do processo de pós extrusão de uma empresa produtora de cerâmica vermelha localizada no município de Sangão**. Orientador: Wagner Blauth. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5612/1/GEORGIA%20DOS%20SANTOS%20BASTOS.pdf>. Acesso em: 23 set. 2018.

BIFFI, G. **O grês porcelanato** - manual de fabricação e técnica de emprego. São Paulo: Faenza Editrice do Brasil Ltda, 2002.

BONATO, S. V. **Método para gestão de resíduos na cadeia cervejeira do Rio Grande do Sul**. 2016. 103f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150585/001008182.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 set. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Gestão de resíduos orgânicos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-org%C3%A2nicos.html>. Acesso em: 14 de ago. 2018.

BRAUN, D. **Lei de reciclagem pressiona mudança de hábitos de empresas e consumidores**. 6 out. 2010. Disponível em: [http://www.stancebrasil.com.br/noticias.asp?cod\\_site=0&id\\_noticia=41&keyword=Lei\\_de\\_reciclagem\\_pressiona\\_mudan%C3%A7a\\_de\\_h%C3%A1bitos\\_de\\_empresas\\_e\\_consumidores](http://www.stancebrasil.com.br/noticias.asp?cod_site=0&id_noticia=41&keyword=Lei_de_reciclagem_pressiona_mudan%C3%A7a_de_h%C3%A1bitos_de_empresas_e_consumidores). Acesso em: 16 ago. 2018.

BROCHIER, M. A; CARVALHO, S. Efeito de diferentes proporções de resíduo úmido de cervejaria sobre as características da carcaça de cordeiros terminados em confinamento. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.1, Belo Horizonte, p.190-195, fev. 2009. Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-09352009000100027&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352009000100027&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 19 ago. 2018.

BROCKER, D. M. *et al.* Produção e avaliação em escala industrial de blocos cerâmicos contendo 2, 5% de lodo de fosfatização. *In*: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 8º, 2017, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Instituto Venturi, 2017. Disponível em:

<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/332/238>. Acesso em: 12 ago. 2018.

CALLISTER, J. W. D. **Ciência e tecnologia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC., 2012.

CAPUTO, H. R., **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6. ed., v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2011. Disponível em:

<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2019.

CASTRO, F. O. **Caracterização e determinação de parâmetros de resistência e deformabilidade do solo da UFFS Campus Cerro Largo/RS**. Orientador: Márcio Antônio Vendruscolo. 2017. 176 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2017. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1736/1/CASTRO.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2018.

CATOLICO, A. C. C.; CARVALHO, L. C. G.; JARQUE, N. A. Aproveitamento de resíduos do saneamento básico na fabricação de cerâmica vermelha. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 9, p. 79-96, 2015.

Disponível em:

[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1173/1196](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1173/1196). Acesso em: 21 ago. 2018.

CERVBRASIL: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA. **Dados do setor cervejeiro nacional**. 2018. Disponível em:

[http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/dados-do-setor/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/). Acesso em: 14 ago. 2018.

COOPER, M.; MAZZA, J. A. **Aula teórica 3 - densidade do solo e densidade de partículas**. 43 slides. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/300387/mod\\_resource/content/0/Aula%20Te%C3%B3rica%203%20Densidade%20do%20Solo%20e%20Densidade%20de%20Part%C3%ADcula.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/300387/mod_resource/content/0/Aula%20Te%C3%B3rica%203%20Densidade%20do%20Solo%20e%20Densidade%20de%20Part%C3%ADcula.pdf). Acesso em: 10 nov. 2018.

CORDEIRO, L. G.; EL-AOUAR, Â. A.; ARAÚJO, C. V. B. de. Energetic characterization of malt bagasse by calorimetry and thermal analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**v. 112, issue 2, p.713-717, May 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-012-2630-x>. Acesso em: 23 set. 2018.

COSTA, M. M. R. **Caracterização do solo do planalto ocidental paulista por espectroscopia de fluorescência de raios X**. 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Jaboticabal, 2017. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151690/costa\\_mmr\\_me\\_jabo\\_pa\\_r.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151690/costa_mmr_me_jabo_pa_r.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 24 out. 2019.

COSTA, R. L. S. *et al.* **Influência da incorporação da lama de alto forno em massa cerâmica para a produção de telhas**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2018. Disponível em: [http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/10909/1/tese\\_12772\\_Dlisserta%C3%A7%C3%A3o%20Isadora%20Andrade%20Bastos%20-%20sem%20quadro%20de%20refer%C3%AAs-cv-converted.pdf](http://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/10909/1/tese_12772_Dlisserta%C3%A7%C3%A3o%20Isadora%20Andrade%20Bastos%20-%20sem%20quadro%20de%20refer%C3%AAs-cv-converted.pdf). Acesso em: 13 set. 2019.

CRUZ, C. J. A. C. **Comportamento e durabilidade de telhas cerâmicas em ambiente marítimo**. 2010. 398 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Aveiro, 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15564069.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

CUNHA, R. A.; ROVERI, C. D.; MAESTRELLI, S. C. Matérias-primas da região de rio claro-sp para fabricação de revestimentos cerâmicos: características tecnológicas e modelamento geológico-tecnológico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. **Anais** [...]. Natal: Metallum, 2016. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-043.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

DIAS, C. A. C. M. **Reciclagem de lama de alto forno em cerâmica vermelha**. 2011. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade do Norte Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/tese-completa-corrigida.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2018.

DIAS, H. R. A. **Avaliação da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de hidrolisado hemicelulósico gerado pelo pré-tratamento por auto-hidrólise do bagaço do malte**. Orientador: Bruno Eduardo Lobo Baêta. 2018. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1088/1/MONOGRAFIA\\_AvaliaçãoProduçãoBiogás.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1088/1/MONOGRAFIA_AvaliaçãoProduçãoBiogás.pdf). Acesso em: 4 nov. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com excel, SPSS e stata**. São Paulo: Elsevier, 2017.

FARÍAS, R. *et al.* Effects of wastes from the brewing industry in lightweight aggregates manufactured with clay for green roofs. **Materials**, v. 10, n. 5, p. 527, 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1944/10/5/527>. Acesso em: 2 set. 2019.

FEITOSA, A. O. **Influências das variáveis de processamento na cor e nas propriedades tecnológicas de cerâmicas estruturais**. 2015. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, João Pessoa, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8415>. Acesso em: 21 out. 2018.

FERNANDES, P. *et al.* O estudo da diminuição da rugosidade da superfície de telhas cerâmicas. **Cerâmica Industrial**, v. 17, n. 5-6, p. 42-46, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2014.029>. Acesso em: 3 maio 2019.

FERREIRA, C. C.; BERGMANN, C. P. Formação da eflorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Ca<sup>2+</sup>. **Cerâmica**, São Paulo, v. 57, n. 343, p. 356-363, jul./set. 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/72900/000791786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2018.

FERREIRA, M. S. B. *et al.* **Elaboração de biscoito integral empregando resíduo da indústria cervejeira na formulação**. Orientador: Pedro Luiz Manique Barreto. 2017. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <http://150.162.242.35/bitstream/handle/123456789/182765/-%20TCC%20Marina%20Silva%20Barcelos%20Ferreira%20-%20.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 22 set. 2018.

FERREIRA, R. G. *et al.* Análise do processo difusivo em compostos cerâmicos com adição de resíduos. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 1, p. 42-48, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/jcec/article/view/2459/1031>. Acesso em: 10 set. 2018.

FIGUEIREDO, J. M. R. *et al.* Influence of composition and processing variables of clay-based formulations-use in refractory materials. **Cerâmica**, v. 64, n. 369, p. 10-19, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132018000100010&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132018000100010&script=sci_arttext&lng=pt). Acesso em: 6 abr. 2019.

FINKLER, M. *et al.* Surfactant additive from renewable source for reduction of energy consumption in the extrusion of red ceramic masses. **Cerâmica**, v. 64, n. 371, p. 373-380, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132018000300373&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132018000300373&script=sci_arttext). Acesso em: 19 abr. 2019.

FIORI, A. P. **Memorial descritivo**. 2014. 53 p. Memorial Descritivo (Progressão em nível de professor titular) - Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: [https://www.ufpr.br/portalufpr/wp-content/uploads/2015/05/alberto\\_pio\\_fiori.pdf](https://www.ufpr.br/portalufpr/wp-content/uploads/2015/05/alberto_pio_fiori.pdf). Acesso em: 19 out. 2018.

FRIBER, M. A.; GALHARDO, D. C.; GUIMARÃES, A. C. R. Avaliação da perda de massa após fervura do agregado calcinado de resíduo de mineração. *In*: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 44./ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 18./EXPOPAVIMENTAÇÃO, 4., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Sinicesp, 2015. Disponível em: [http://sinicesp.org.br/44rapv/trabalhos/TrabalhoFinal\\_142.pdf](http://sinicesp.org.br/44rapv/trabalhos/TrabalhoFinal_142.pdf). Acesso em: 4 abr. 2019.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. M-CIENTEC **C-020**: Argilas - Determinação da umidade de conformação. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995a.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-021**: Argilas - Determinação da contração linear de secagem. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995b.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-022**: Materiais cerâmicos - Determinação da absorção de água após queima. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995c.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-023**: Argilas – Determinação da porosidade aparente após queima. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995d.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-024**: Argilas – Determinação da massa específica aparente após queima. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995e.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-025**: Argilas – Determinação da resistência mecânica a seco. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995f.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-026**: Materiais cerâmicos – Determinação da contração linear de queima. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995g.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC **C-027**: Materiais cerâmicos – Determinação da resistência mecânica pós-queima. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995h.

\_\_\_\_\_. M-CIENTEC. **C-028**: Materiais cerâmicos - Determinação da perda ao fogo. Porto Alegre: M-CIENTEC, 1995i.

GARCÍA, C. M. *et al.* Porosity of expanded clay manufactured with addition of sludge from the brewing industry. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, v. 5, n. 4, p. 341-347, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40095-014-0112-6>. Acesso em: 21 out. 2018.

GONÇALVES, G. C. *et al.* Estudo da pirólise do bagaço de malte para a obtenção de bio-óleo e carvão. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 8228-8236, 2015. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1113-20927-174593.pdf>. Acesso em: 11 set. 2018.

GUPTA, M., GHANNAM, N. A., GALLAGHER, E. Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.9, p.318-328, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1541-4337.2010.00112.x>. Acesso em: 13 set. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TÉCNICAS. **Ensaio de argila visando a utilização em cerâmica vermelha**. São Paulo: IPT, 1985.

JESUS, T. B. *et al.* Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos como suporte para análise de contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA). **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n.1, p. 49-62, 2013. Disponível em: <https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/339/pdf>. Acesso em: 19 out. 2018.

JORNAL MINUANO. **O sonho da cerveja própria**. 30 nov. 2017 Disponível em: <http://www.jornalminuano.com.br/noticia/2017/11/30/o-sonho-da-cerveja-propria>. Acesso em: 21 out. 2018.

KNIESS, C. T. *et al.* Obtenção de modelos de regressão para a otimização das propriedades de materiais cerâmicos obtidos com a adição de resíduo industrial. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2015, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ABEPRO, 2012. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012\\_tn\\_sto\\_165\\_962\\_19760.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_sto_165_962_19760.pdf). Acesso em: 04 nov. 2018.

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. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2007/12843.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

LUFT, L. **Hidrólise enzimática de bagaço de malte usando tecnologias alternativas visando à obtenção de açúcares fermentescíveis**. 2016.135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8810/LUFT%2c%20LUCIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 3 out. 2018.

MAIA, F. S. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do polo cerâmico de campos dos Goytacazes**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Diserta%C3%A7%C3%A3o-Fernanda-dos-Santos-Maia.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

MALLMANN, J. G. Avaliação do potencial de utilização do resíduo proveniente da atividade de mineração como matéria-prima cerâmica. *In*: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, 29., 2017, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: LUME UFRGS, 2017. Disponível em: [https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/176674/Resumo\\_53943.pdf?sequence=1](https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/176674/Resumo_53943.pdf?sequence=1). Acesso em: 9 set. 2018.

MARINO, L. F. B.; BOSCHI, A. O. A expansão térmica de materiais cerâmicos. Parte III: efeitos da adição de calcita. **Cerâmica Industrial**, v. 3, n. 1-2, p. 17-21, 1998. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Anselmo\\_Boschi/publication/266440012\\_A\\_Expansao\\_Termica\\_de\\_Materiais\\_Ceramicos\\_Parte\\_III\\_Efeitos\\_da\\_Adicao\\_de\\_Calcita/links/559124b708ae47a3490f0374.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anselmo_Boschi/publication/266440012_A_Expansao_Termica_de_Materiais_Ceramicos_Parte_III_Efeitos_da_Adicao_de_Calcita/links/559124b708ae47a3490f0374.pdf). Acesso em: 6 maio 2019.

MARCUSSO, E. F. **As microcervejarias no Brasil atual: sustentabilidade e territorialidade**. 2015. 171 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) - Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, Sorocaba, 2015. Disponível em: <http://www.ppgsga.ufscar.br/alunos/banco-de-dissertacoes/2015/eduardo-marcusso-versao-final.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

MARDEGAN, S. F. *et al.* Stable carbon isotopic composition of Brazilian beers – a comparison between large and small scale breweries. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 29, p. 52-57, 2013. Disponível em: [https://www.academia.edu/4460091/Mardegan\\_et\\_al\\_2012\\_Beer\\_isotopes](https://www.academia.edu/4460091/Mardegan_et_al_2012_Beer_isotopes). Acesso em: 9 ago. 2018.

MARQUES, L. D. C. **Desenvolvimento de uma ferramenta para análise da eficiência global de um equipamento numa instalação de fabrico de cerveja.** 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Lisboa, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/7967/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 7 out. 2018.

MARTINS, L. F.; PANDOLFI, M. A.; COIMBRA, C. C. Análise dos indicadores do mercado cervejeiro brasileiro. **SIMTEC**, v. 4, n. 1, p. 13, 2018. Disponível em: <http://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/261>. Acesso em: 14 out. 2018.

MATHIAS, T. R. S.; MELLO, P. P. M. de; SERVULO, E. F. C. Caracterização de resíduos cervejeiros. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 3805-3812, 2015. Disponível em: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/caracterizacao-de-resduos-cervejeiros-17098>. Acesso em: 12 set. 2018.

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. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60., 2016, Águas de Lindoia. **Anais [...].** Águas de Lindoia: Metallum, 2016. Disponível em: <http://metallum.com.br/60cbc/anais/PDF/13-042TT.pdf>. Acesso em: 2 out. 2018.

MERLIN, G. **Com 144 microcervejarias, RS é o estado com mais empresas que produzem cervejas artesanais no Brasil.** 1 dez. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/com-144-microcervejarias-rs-e-o-estado-com-mais-empresas-que-produzem-cervejas-artesanais-no-brasil.ghtml>. Acesso em: 14 ago. 2018.

NUNES, F. M. **Produção e caracterização da cerâmica vermelha com a adição de resíduos oriundos da lavagem da lã de ovinos.** 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pampa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Bagé, 2016.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-21, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612001369>. Acesso em: 21 set. 2018.

OLIVEIRA, A. G. F. **Estudo da influência da adição de níquel em alumina pela rota da metalurgia do pó.** 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Natal, 2015. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21025/1/EstudoInflu%c3%aanciaAdicao\\_Oliveira\\_2015.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21025/1/EstudoInflu%c3%aanciaAdicao_Oliveira_2015.pdf). Acesso em: 17 ago. 2018.

OLIVEIRA, B. F. *et al.* **Secagem de materiais cerâmicos**. Orientador: José Nilson França de Holanda. 2010. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/33645084/Secagem-dos-Materiais-Ceramicos>. Acesso em: 6 abr. 2019.

OLIVEIRA, M.; SILVA, L. A.; ALVES, L. P. Importância do uso da técnica adequada de análise granulométrica para caracterização do minério fosfático fino. **Educação & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://seer.dppg.cefetmg.br/index.php/revista-et/article/view/798/806>. Acesso em: 29 set. 2018.

PAIVA, G. M. **Estudo do processamento e mercado de cervejas especiais no Brasil**. 2011. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Tecnologia em Alimentos) – Faculdade de Tecnologia Termomecânica, São Bernardo do Campo, 2011.

PALOMINO, M. T. C. *et al.* Production of ceramic material using wastes from brewing industry. **Key Engineering Materials**, v. 663, p. 94-104, 2016. Disponível em: <https://www.scientific.net/KEM.663.94>. Acesso em: 13 out. 2018.

PUREZA, J. C. C. **Utilização de resíduos industriais de baixa granulometria em massas cerâmicas de argila vermelha: aspectos tecnológicos e ambientais**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/4150>. Acesso em: 19 set. 2018.

QUINTANA, L. M. H. **Avaliação de matérias-primas e produtos cerâmicos da região de Bagé (RS)**. 2000. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2000.

RIBEIRO, M. J.; FERREIRA, A. A. L.; LABRINCHA, J. A. Aspectos fundamentais sobre a extrusão de massas de cerâmicas vermelhas. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.8, n.1, p.37-42, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Antonio\\_Ferreira11/publication/232274088\\_Aspectos\\_Fundamentais\\_Sobre\\_a\\_Extrusao\\_de\\_Massas\\_de\\_Ceramicas\\_Vermelhas/links/09e41507fdbc3a05c2000000/Aspectos-Fundamentais-Sobre-a-Extrusao-de-Massas-de-Ceramicas-Vermelhas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Ferreira11/publication/232274088_Aspectos_Fundamentais_Sobre_a_Extrusao_de_Massas_de_Ceramicas_Vermelhas/links/09e41507fdbc3a05c2000000/Aspectos-Fundamentais-Sobre-a-Extrusao-de-Massas-de-Ceramicas-Vermelhas.pdf). Acesso em: 21 out. 2018.

RIBEIRO, K. D.; SOUZA, L. K. Limites de atterberg e sua correlação com a granulometria e matéria orgânica dos solos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 2, p. 185-196, 2018. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/663/373>. Acesso em: 6 de abr. 2019.

RIPOLI FILHO, F. R. A utilização do rejeito industrial cerâmico - chamote - como fator de qualidade na fabricação de elementos cerâmicos: um estudo experimental. **Cerâmica**, v. 43, n. 281-282, p. 132-138, 1996. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/ce/v43n281-282/4841.pdf>. Acesso em: 8 set. 2018. il.

RODRIGUES, C. V. S. **Propriedades ópticas de C-DOTS produzidos a partir de resíduos da indústria cervejeira**. 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Brasília, 2016. Disponível em: [http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21794/1/2016\\_CarimeVit%c3%b3riadaSilvaRodrigues.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/21794/1/2016_CarimeVit%c3%b3riadaSilvaRodrigues.pdf). Acesso em: 10 set. 2018.

RODRIGUES, L. R. *et al.* Kraft process waste (dregs) as alternative raw material for red ceramic. **Cerâmica**, v. 65, n. 373, p. 162-169, 2019. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132019000100162&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132019000100162&script=sci_arttext). Acesso em: 6 abr. 2019.

RUMSEY, D. **Estatística II para leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2013. Disponível em: [http://www.altabooks.com.br/index.php?dispatch=attachments.getfile&attachment\\_id=1719](http://www.altabooks.com.br/index.php?dispatch=attachments.getfile&attachment_id=1719). Acesso em: 16 jun. 2019.

RUOSO JÚNIOR, H. *et al.* Segurança do trabalho em indústria de cerâmica. **Engenharia Ambiental**, v.11, n. 1, p,147-159, 2014. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=3008&article=966&mode=pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

RUSS, W., MÖRTEL, H., PITTROFF, R. M. Application of spent grains to increase porosity in bricks. **Construction and Building Materials**, v. 19, n. 19-2, p. 117-126, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061804001187>. Acesso em: 5 out. 2018.

SANT'ANA, M. A. K.; GADIOLI, M. C. B. **Estudo da viabilidade técnica da utilização de resíduos de rochas em massas cerâmicas**. Rio de Janeiro: Série Tecnologia Ambiental, 2018. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2225/1/STA-104.pdf>. Acesso em: 31 maio 2019.

SANTOS, M. T. R.; MELLO, P. P. M.; ERVULO, E. F. C. **Journal of Brewing and Distilling**, v. 5, p. 1-9, 2014. Disponível em: [http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1405623821\\_Mathias%20et%20al.pdf](http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1405623821_Mathias%20et%20al.pdf). Acesso em 13 out. 2018.

SANTOS, N. C. **Estudo comparativo da composição centesimal da matéria-prima e do bagaço do malte oriundo da mosturação de cerveja de tribo artesanal**. Orientadora: Eliane Rolim Florentino. 2017. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química Industrial) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/PDF%20-%20Newton%20Carlos%20Santos.pdf>. Acesso em 19 out. 2018.

SARTORI, G. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. Orientadora: Eliana Fernandes dos Santos. 2015. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6672/1/CM\\_COECI\\_2015\\_2\\_13.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6672/1/CM_COECI_2015_2_13.pdf). Acesso em: 13 set. 2018.

SILVA, A. L. B. **Produção de concreto utilizando cinzas das indústrias de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo**. 2017a. 84 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Mossoró, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/tede/807/1/AllysonLBS DISSERT.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2018.

SILVA, B. C. *et al.* Análise de interferentes na remoção do corante amarelo reativo utilizando bagaço de malte como bioissorvente. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2015a, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: Bluncher, 2015. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeqic2015/267-33094-263937.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2018.

SILVA, B. P. *et al.* **Estudo da utilização de cinza de casca de arroz e efluente de biogás na plasticidade de materiais cerâmicos**. 2017b. 32 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Toledo, 2017. Disponível em: [http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3117/2/Bruna\\_P\\_Silva\\_2017.pdf](http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3117/2/Bruna_P_Silva_2017.pdf). Acesso em: 24 out. 2018.

SILVA, M. N. P. *et al.* Revestimentos cerâmicos e suas aplicabilidades. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 2, n. 3, p. 87-97, 2015b. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/2138/1263>. Acesso em 9 out. 2018.

SCHIRMER, G. K. **Ecotoxicologia de resíduo da agroindústria do tabaco em oligoquetas**. 2014. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/108930>. Acesso em: 4 set. 2018.

STEIN, I. *et al.* Estudo da conformidade de blocos cerâmicos produzidos com resíduos de chamote e casca de arroz. *In*: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE. 1., 2018, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Conresol2018/VII-029.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2018.

SPERB, H. H. **Estudo de viabilidade técnica de adição de resíduo da indústria fumageira na confecção de blocos cerâmicos estruturais**. Orientador: Rafael Mascolo. 2016. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2016. Disponível em: <https://m.univates.br/bdu/bitstream/10737/14111/1/2016HenriqueHickmannSperb.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2018.

TAHRI, W. *et al.* Hydration products of geopolymeric mortars based on Tunisian clay for repair of concrete structures. **Matéria**, v. 21, n. 1, p. 213-226, 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762016000100020&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762016000100020&script=sci_arttext). Acesso em: 21 nov. 2018.

TRUJILLO, J. G. *et al.* Ethanol poisoning in cattle fed with malted barley waste with brewer's yeast. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 382-386, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-736X2018000300382&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-736X2018000300382&script=sci_arttext). Acesso em: 23 out. 2018.

TUBINO, L. C. B.; BORBA, P. **Dossiê técnico: etapas do processo cerâmico a sua influência no produto final- massa, extrusão, secagem e queima**. SENAI-RS / Centro de Educação Profissional SENAI Nilo Bettanin, 2006. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NDI>. Acesso em: 13 out. 2018.

VIEIRA, C. M. F. *et al.* Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic. *In: Materials Science and Engineering*, v. 427, p. 142-147, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509306004710>. Acesso em: 9 set. 2018.

VIEIRA, C. M. F.; FEITOSA, H. S.; MONTEIRO, S. N. Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da curva de Bigot - **Cerâmica Industrial**, v. 8, p.42-46, 2003. Disponível em: [http://brasenic.com.br/bigot/bigot\\_3.pdf](http://brasenic.com.br/bigot/bigot_3.pdf). Acesso em: 13 ago. 2018.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. **Revista Matéria**, v. 14, n. 3, p. 881-905, 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1517-70762009000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s1517-70762009000300002&script=sci_arttext). Acesso em: 23 set. 2018.

ZACCARON, A. *et al.* Incorporação de chamote na massa de cerâmica vermelha como valorização do resíduo. **Cerâmica Industrial**, v. 19, n. 3, p. 33-39, 2014. Disponível em: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39651948/01\\_Ceramica\\_Industrial\\_Incorporacao\\_de\\_Chamote\\_na\\_Massa\\_de\\_Ceramica\\_Vermelha\\_como\\_Valorizacao\\_do\\_Residuo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1556908735&Signature=MhkYK9%2BtFpPpbKfu7s9cQP5Hxhs%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIncorporacao\\_de\\_Chamote\\_na\\_Massa\\_de\\_Cera.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/39651948/01_Ceramica_Industrial_Incorporacao_de_Chamote_na_Massa_de_Ceramica_Vermelha_como_Valorizacao_do_Residuo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1556908735&Signature=MhkYK9%2BtFpPpbKfu7s9cQP5Hxhs%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIncorporacao_de_Chamote_na_Massa_de_Cera.pdf). Acesso em: 3 maio 2019.

ZACCARON, A. *et al.* Utilização de vidro de garrafas para redução da absorção de água em produtos de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 20, p. 35-39, 2016. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/profile/Alexandre\\_Zaccaron3/publication/312667637\\_Utilizacao\\_de\\_Vidro\\_de\\_Garrafas\\_para\\_Reducacao\\_da\\_Absorcao\\_de\\_Agua\\_em\\_Produtos\\_de\\_Ceramica\\_Vermelha/links/58908b4a45851573234066db/Utilizacao-de-Vidro-de-Garrafas-para-Reducao-da-Absorcao-de-Agua-em-Produtos-de-Ceramica-Vermelha.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alexandre_Zaccaron3/publication/312667637_Utilizacao_de_Vidro_de_Garrafas_para_Reducacao_da_Absorcao_de_Agua_em_Produtos_de_Ceramica_Vermelha/links/58908b4a45851573234066db/Utilizacao-de-Vidro-de-Garrafas-para-Reducao-da-Absorcao-de-Agua-em-Produtos-de-Ceramica-Vermelha.pdf). Acesso em: 3 maio 2019.