



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**UTILIZAÇÃO DA TORTA DO FILTRO DE BRANQUEAMENTO  
DE GORDURA ANIMAL COMO MATÉRIA-PRIMA  
PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS**

Pedro Henrique Jung

Lajeado, junho de 2012

Pedro Henrique Jung

**UTILIZAÇÃO DA TORTA DO FILTRO DE BRANQUEAMENTO  
DE GORDURA ANIMAL COMO MATÉRIA-PRIMA  
PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para aprovação na disciplina.

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Orientadora: Ms. Michely Zat

Lajeado, junho de 2012

PEDRO HENRIQUE JUNG

# UTILIZAÇÃO DA TORTA DO FILTRO DE BRANQUEAMENTO DE GORDURA ANIMAL COMO MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

Este trabalho foi julgado adequado para a aprovação na Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador:

Prof. Michely Zat - UNIVATES

Mestre pelo IPH/UFRGS - Porto Alegre, Brasil.

Banca Examinadora:

Prof. Michely Zat - UNIVATES

Mestre pelo IPH/UFRGS - Porto Alegre, Brasil.

Prof. Gustavo Reisdorfer - UNIVATES

Mestre pela UNIVATES - Lajeado, Brasil.

Prof. Odorico Konrad - UNIVATES

Doutor em Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade de Leoben -  
Áustria

Lajeado, Junho de 2012.



Dedico este trabalho ao meu pai e a minha mãe (*in memoriam*),  
a minha irmã pelo apoio e a minha namorada pela compreensão  
e auxílio nas dificuldades.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, professora Michely Zat, pelo comprometimento, sugestões, propostas e disponibilidade de tempo.

A empresa FONTANA S.A. pela oportunidade de aprendizagem e pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao Laboratório de Materiais Cerâmicos LACER - UFRGS, que viabilizou os testes práticos e ensaios necessários para o presente trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho propõe a utilização de um resíduo sólido industrial como matéria-prima alternativa para a fabricação de blocos cerâmicos. O resíduo escolhido para o estudo é gerado em indústrias de sabões e sabonetes, é conhecido como torta de filtro do branqueamento (TFB), originado de uma argila ativada ácida usada como adsorvente na clarificação de gorduras animais e é classificado como resíduo não perigoso classe IIA – Não inerte. As matérias-primas utilizadas foram caracterizadas quanto à composição química, mineralógica e granulométrica. Neste estudo, foram realizadas em laboratório formulações com 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em peso de resíduo, para obtenção dos corpos de prova conformados em prensa hidráulica uniaxial, os mesmos foram queimados em forno tipo mufla na temperatura de 950 °C. Foram analisadas as seguintes propriedades tecnológicas: retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente e ensaios de resistência mecânica com ruptura à flexão em quatro pontos. Os resultados obtidos permitem concluir que a adição de resíduo TFB na massa cerâmica afeta a qualidade dos produtos gerados. Houve um considerável aumento na retração linear de queima, absorção de água e na porosidade aparente, além de diminuir a resistência mecânica para todas as formulações estudadas. Contudo, o uso do resíduo em teores de 5% e 10% em peso são viáveis, por apresentarem todos os parâmetros tecnológicos físicos e mecânicos dentro do exigido em norma. Quanto ao aspecto ambiental, as amostras foram submetidas a ensaios de solubilização onde os resultados demonstraram que em todas as composições utilizadas houve uma inertização dos compostos que estão em excesso no resíduo bruto, classificando os corpos cerâmicos produzidos segundo a NBR 10.004 em não perigosos classe IIB - Inertes, possibilitando a incorporação sem acarretar perigo ao meio ambiente.

**Palavras chave:** Resíduo sólido industrial. Argila ativada ácida. Blocos cerâmicos. Corpos de prova.

## ABSTRACT

The present work proposes the use of industrial solid residue as alternative raw material for the manufacture of ceramic blocks. The residue chosen for the study is generated in industries of soaps and is known as filter cake of bleaching (TFB), originated from acid clay activated used as adsorbent in bleaching animal fats and is classified as hazardous residue Class IIA - not inert. The raw materials were characterized for chemical composition, mineralogical and particle size. In this study were performed laboratory formulations containing 0%, 5%, 10%, 15% and 20% by weight of residue to obtain the tests conformed specimens in uniaxial hydraulic press, burned in 950°C temperature in muffle type furnace. Were analyzed the following technological properties: linear shrinkage of firing, water absorption, apparent porosity and mechanical resistance with flexion at four points. The results obtained enable conclude that the addition of TFB residue in ceramic mass affects the quality of the products generated. There was a considerable increase in the linear shrinkage of firing, water absorption and apparent porosity, also reduction of mechanical strength for all formulations studied. However, the use of the residue content of 5% to 10% by weight are viable in all physical and mechanical parameters according the required norm. As to the environmental aspect, the samples were subjected to solubility tests where the results show that in all compositions used were inert compounds that are in excess in the residue unprocessed, classifying the ceramic bodies produced according to the NBR 10.004 in no hazardous residue Class IIB - Inert, enabling the incorporation without causing danger to the environment.

**Keywords:** Industrial solid residue. Acid clay activated. Ceramic blocks. Test Specimens.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da Caracterização e classificação de resíduos sólidos. ....	20
Figura 2 – Geração de resíduos sólidos industriais no Brasil (parcial) – Distribuição por estado. ....	23
Figura 3 – Evolução da quantidade de Resíduos Sólidos Industriais tratados de 2004 a 2007. ....	25
Figura 4 – O fluxograma descreve os processos de uma indústria de cerâmica vermelha.....	37
Figura 5 – Fluxograma do processo de branqueamento de óleos, utilizando argilas como agente clarificante. ....	55
Figura 6 – Visualização da torta do filtro do branqueamento. ....	61
Figura 7 – Fluxograma esquemático das etapas utilizadas experimentalmente. ....	64
Figura 8 – Vista da argila vermelha e do resíduo (TFB) utilizado no trabalho.....	65
Figura 9 – Etapa de homogeneização e umidificação das conformações com diferentes proporções.....	69
Figura 10 – Massa argilosa granulada, pronta para conformação .....	70
Figura 11– Prensa hidráulica uniaxial de simples efeito. ....	71
Figura 12 – Detalhe do molde em aço inox e da massa argilosa granulada, pronta para prensagem (A) e de um corpo de prova prensado (B).....	72
Figura 13 – Corpos de prova conformados e identificados quanto a formulação e ordem de produção. ....	73
Figura 14 – Medição do comprimento dos corpos de prova, utilizando paquímetro digital.....	74
Figura 15 – Corpos de prova, após sofrerem o processo de queima em mufla a temperatura de 950 °C.....	75

Figura 16 – Visualização de um corpo de prova, recém tirado da mufla. ....	76
Figura 17 – Corpos de prova sendo pesados em estado seco, com auxílio de balança analítica de precisão. ....	78
Figura 18 Corpos de prova imersos em água por 24 horas. ....	79
Figura 19 – Equipe do LACER, efetuando o teste de resistência nos corpos de prova. ....	81
Figura 20 – Equipamento de ensaio universal SHIMADZU, mede à resistência mecânica à flexão em quatro pontos. ....	81
Figura 21– Representação esquemática do teste de resistência à flexão em quatro pontos, disposição dos corpos cerâmicos nos testes. ....	82
Figura 22 – Corpo de prova disposto no equipamento, detalhe dos 4 pontos de apoio. ....	82
Figura 23 – Composição Química das amostras de matéria-prima analisadas .....	86
Figura 24 – Difratoograma dos minerais presente na amostra de argila analisada. ...	90
Figura 25 – Difratoograma dos minerais presente na amostra de resíduo TFB analisada. ....	91
Figura 26 – Difratoograma dos argilominerais presente na amostra de argila analisada. ....	92
Figura 27 – Difratoograma dos argilominerais presente na amostra de resíduo analisada. ....	93
Figura 28 – Gráfico da retração linear à queima. ....	95
Figura 29 – Gráfico da absorção de água dos corpos de prova. ....	96
Figura 30 – Gráfico da porosidade aparente para cada formulação. ....	98
Figura 31 – Gráfico da relação entre porosidade e os parâmetros físicos AA e RL. 99	
Figura 32 – Gráfico dos resultados para resistência mecânica em ruptura da tensão à flexão. ....	100
Figura 33 – Gráfico da relação entre resistência mecânica e porosidade das peças. ....	102
Figura 34 – Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de solubilização. ....	103

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de Resíduos Sólidos Industriais no Brasil. ....	23
Tabela 2 – Quantidade de resíduos sólidos industriais tratado X tecnologia utilizada .....	24
Tabela 3 – Quantidade de resíduos industriais tratados X classificação dos resíduos. ....	25
Tabela 4 – Total de resíduos industriais gerados no estado do RS.....	26
Tabela 5 – Destinação final de resíduos sólidos industriais perigosos em aterros industriais por setor. ....	27
Tabela 6 – Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas .....	31
Tabela 7 – Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação segundo ABNT NBR 15.270:2005 e Portaria Inmetro 016/2011. ....	47
Tabela 8 – Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação segundo Portaria 016/2011.....	48
Tabela 9 – Características dos blocos cerâmicos segundo ABNT NBR 15.270:2005. ....	48
Tabela 10 – Resistência a compressão mínima dos blocos cerâmicos segundo ABNT NBR 15.270:2005. ....	49
Tabela 11 – Composição química da argila ativada ácida.....	60
Tabela 12 – Composição do resíduo torta de filtro do branqueamento .....	61
Tabela 13 – Ensaio de solubilizado do resíduo sólido industrial.....	62
Tabela 14 – Ensaio de lixiviação do resíduo sólido industrial. ....	63
Tabela 15 – Formulações utilizadas nos ensaios .....	68
Tabela 16 – Análise composição química.....	85
Tabela 17 – Análise granulométrica por peneiramento da argila.....	88

Tabela 18 – Análise granulométrica por peneiramento do resíduo TFB.....	88
Tabela 19 – Resultado das frações presentes nas amostras. ....	88
Tabela 20 – Resultados das médias de retração linear para cada formulação. ....	94
Tabela 21 – Resultados das médias de absorção de água para cada formulação.	96
Tabela 22 – Resultados das médias da porosidade aparente para cada formulação. ....	97
Tabela 23 – Resultados das médias de resistência mecânica para cada formulação. ....	100
Tabela 24 – Resultados obtidos no ensaio de solubilização para cada formulação. ....	103

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC –	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE –	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANICER –	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
ASTM –	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CONAMA –	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNPM –	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX –	Difração de Raios-X
EMBRAPA –	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA –	Estados Unidos da América
FEPAM –	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FRX –	Fluorescência de Raios-X
kN –	Quilonewton
INMETRO –	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
LACER –	Laboratório de Materiais Cerâmicos
LFRV –	Lama do Filtro Rotativo à Vácuo
MME –	Ministério de Minas e Energia
MPa –	Mega Pascal
NBR –	Norma Brasileira
PF –	Perda ao Fogo

RS – Rio Grande do Sul

SP – São Paulo

TFB – Torta do Filtro de Branqueamento

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.1 Objetivo principal .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Resíduos sólidos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Resíduos sólidos industriais .....</b>	<b>21</b>
<b>2.1.3 Resíduos sólidos industriais no Rio Grande do Sul.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.4 Resíduos sólidos industriais no Vale do Taquari .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Cerâmica .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.1 Histórico.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2 Panorama do setor cerâmico .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.3 Matéria-prima das cerâmicas .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.4 Propriedade das argilas.....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.4.1 Plasticidade .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2.4.2 Granulometria.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.4.3 Porosidade.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.4.4 Resistência mecânica .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.4.5 Retração .....</b>	<b>36</b>

2.2.5	Fabricação da cerâmica vermelha.....	36
2.2.5.1	Extração de matéria-prima .....	38
2.2.5.2	Preparação da matéria-prima.....	38
2.2.5.3	Moldagem ou conformação.....	40
2.2.5.4	Secagem .....	41
2.2.5.5	Queima .....	42
2.2.6	Propriedades da cerâmica vermelha.....	44
2.2.7	Normas brasileiras para blocos cerâmicos .....	46
2.3	Reaproveitamento de resíduos industriais na indústria cerâmica .....	49
2.4	Resíduos sólidos em estudo: torta do filtro do branqueamento .....	53
2.4.1	Processo de branqueamento de óleos e gorduras .....	53
2.4.1.1	Materiais adsorventes.....	55
2.4.1.2	Carvão ativado.....	56
2.4.1.3	Argila ativada ácida.....	56
2.4.2	Resíduo sólido gerado pelo processo do branqueamento .....	57
2.4.3	Torta do filtro do branqueamento – FONTANA S.A.....	59
3	METODOLOGIA .....	64
3.1	Materiais.....	65
3.1.1	Torta do Filtro de Branqueamento (TFB) .....	65
3.1.2	Argila vermelha .....	66
3.2	Métodos.....	66
3.3	Caracterização da matéria-prima.....	66
3.3.1	Distribuição granulométrica.....	66
3.3.2	Umidade das matérias-primas .....	67
3.3.3	Composição química .....	67
3.3.4	Composição mineralógica.....	67
3.4	Preparação das matérias-primas.....	68
3.5	Formulações .....	68
3.6	Produção dos corpos de prova.....	70
3.7	Secagem e queima dos corpos de prova.....	73
3.8	Caracterização dos corpos de prova após a queima.....	76

3.8.1 Ensaio físico – análise de retração linear de queima .....	76
3.8.2 Ensaio físico – absorção de água e porosidade aparente. ....	77
3.8.3 Ensaio mecânico - teste de resistência mecânica .....	80
3.9 Aspecto ambiental .....	83
3.9.1 Ensaio de solubilização dos corpos de prova.....	83
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>85</b>
4.1 Composições químicas .....	85
4.2 Composição granulométrica.....	87
4.3 Composição mineralógica total e caracterização das argilas .....	89
4.4 Ensaio físico .....	94
4.4.1 Retração linear à queima.....	94
4.4.2 Absorção de água e Porosidade Aparente .....	96
4.5 Ensaio de resistência mecânica .....	99
4.6 Desempenho ambiental .....	102
4.6.1 Ensaio de Solubilização .....	102
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>105</b>
<b>6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional no último século e o constante desenvolvimento industrial, toneladas de resíduos são gerados e descartados erroneamente. A atividade industrial, sem dúvida, é o setor da sociedade que mais contribui para a contaminação do meio ambiente, geralmente utiliza energia para transformar insumos e matérias-primas em produtos finais acabados consumidos pela população, esta transformação na sua grande maioria gera materiais sem utilidade e sem valor agregado para a indústria, estes materiais são denominados de resíduos e podem ser altamente danosos ao meio ambiente, caso não exista uma correta disposição final destes os mesmos podem se tornar um grande problema para a indústria (FIGUEIREDO, 2008). As empresas se conscientizaram que para manter a competitividade no mercado elas devem dar maior atenção a questões ambientais, com isso a gestão ambiental e o gerenciamento de resíduos sólidos industriais passaram a ser o maior desafio a indústria (DONAIRE, 1995).

As indústrias, até pouco tempo atrás, trabalhavam com a visão de que, o resíduo industrial gerado era um mal necessário e inevitável, para os administradores a geração de resíduo indicava o crescimento da indústria. Entretanto com o passar do tempo percebe-se que os resíduos na verdade são desperdícios de matéria-prima e insumos. Valle (1995) afirma que, a partir da década de 90, as empresas perceberam que a poluição ambiental gerada em seus processos, não tinha consequência apenas no local gerado, mas também efeitos globais. Aliados a isso os altos custo de manuseio, transporte e descarte dos seus resíduos, reduz o ganho financeiro da empresa. As duas soluções mais adequadas

e eficazes para assegurar à qualidade do meio ambiente são o controle e minimização das fontes de geração e o correto destino dos resíduos gerados.

Entretanto, Valle (1995) afirma que historicamente a solução dos resíduos sólidos das empresas era destinar, eliminar ou afastar os poluentes de perto de sua área industrial e assim graças a essa distância, entendiam que estavam isentos das responsabilidades sobre os resíduos gerados. A conscientização quanto a certos impactos de determinados resíduos, o alto custo de descarte e a forte exigência das leis ambientais, fizeram com que as empresas em vez de simplesmente descartar em qualquer lugar os seus resíduos, tenham que buscar alternativas viáveis e corretas para minimizar, reaproveitar ou até eliminar a geração dos mesmos.

O Brasil segundo a pesquisa divulgada pela ABRELPE (2007) gera em torno de 86.484.064 toneladas por ano de resíduos sólidos industriais, sendo que, deste total 3.736.073 t/ano são de resíduos sólidos perigosos e 82.747.991 t/ano de resíduos sólidos industriais não perigosos. A alta geração dos resíduos perigosos, devido ao seu alto teor nocivo ao meio ambiente é fator preocupante mundialmente, principalmente quando se trata da destinação final destes resíduos. O gerenciamento dos resíduos tem grande importância neste contexto de preservação, pois diversas formas de gerenciar os materiais estão sendo implantadas. Atualmente, a tecnologia mais aplicada é a disposição final dos resíduos em aterros para resíduos industriais perigosos. Porém, as empresas estão dedicando ações e altos investimentos para implementar tecnologias limpas, que possam reduzir a utilização de recursos naturais, reduzir os desperdícios, realizar um tratamento ambientalmente correto, diminuindo a poluição ambiental e gerando economia no descarte ou tratamento dos resíduos industriais (PUREZA, 2004).

Recentemente foi instituída no Brasil a política nacional dos resíduos sólidos (Lei 12.305/2010) a qual delega que os resíduos sólidos gerados são de responsabilidade dos seus geradores e do poder público durante todo ciclo de vida dos produtos, ou seja, desde a etapa do desenvolvimento, obtenção de matérias-primas e insumos, passando pelo processo produtivo e de consumo, finalmente chegando à disposição final. Essa delegação de responsabilidade a quem gera o resíduo força um eficiente gerenciamento de resíduos sólidos industriais. As

indústrias devem buscar alternativas para reduzir ou tratar seus materiais poluentes, evitando possíveis problemas ambientais.

A pesquisa apresentada no Panorama pela ABRELPE (2005), afirma que no Brasil apenas 30% das empresas possuem gerenciamento de seus resíduos, já 60% das empresas pensam em ter gerenciamento em suas plantas. Uma informação interessante é que nesta pesquisa 39% das empresas mantinham parcerias com outras empresas, fornecendo seus resíduos como insumo, indicando que a tendência da gestão dos resíduos é a reciclagem ou reaproveitamento do mesmo como material alternativo na produção de novos produtos.

Segundo Figueiredo (2008) *apud* Navarro (2001), a introdução de resíduos perigosos em outra matriz industrial deve exigir grande estudo, no intuito de não ocorrer alterações nas questões ambientais e da qualidade dos produtos que estão recebendo essa matéria-prima alternativa. Entretanto, a incorporação ou utilização destes resíduos gera inúmeras vantagens como: a diminuição da extração de matéria-prima natural e da construção de aterros industriais, redução da poluição ambiental e também agrega valores aos materiais que atualmente geram apenas custos as indústrias melhorando a imagem da empresa perante o mercado consumidor.

O setor que melhor recebe resíduo industrial é o da construção civil, existem diversos estudos e utilizações de resíduos em materiais que abastecem as construções. Entre os materiais utilizados, os oriundos da indústria de cerâmica vermelha são os que obtêm melhores resultados de incorporação de resíduo. Devido a uma boa plasticidade<sup>1</sup> e uma grande variedade da composição das argilas usadas para a fabricação dos produtos cerâmicos, as indústrias cerâmicas conseguem absorver os resíduos sem alterar suas características tecnológicas. No caso das cerâmicas, Freire (2003) também afirma que a substituição da matéria-prima é um grande ganho econômico e ambiental, devido à redução da grande quantidade de matéria-prima natural extraída para a fabricação de cerâmicas.

---

<sup>1</sup> Plasticidade é a propriedade de um corpo se deformar quando recebe uma força, e de manter a forma obtida sem se romper após a força aplicada não existir mais (SANTOS, 1989).

Gouveia (2008) *apud* Segadães e Machado (2005) cita a importância da matriz cerâmica no reaproveitamento de resíduos sólidos industriais, principalmente porque o processo para fabricação dos seus produtos deve elevar os mesmos a queima em temperatura na ordem de 900 °C, possibilitando a completa incorporação entre argila/resíduo e havendo uma possível inertização dos componentes nocivos ao meio ambiente presentes no resíduo.

Segundo a MME (2010), em 2009 foram consumidas 180 milhões de toneladas de argilas, gerando uma produção de 76 bilhões de peças cerâmicas. É estimado para o ano de 2030 um consumo na faixa de 5,2 a 8,2 bilhões de toneladas de argilas. A indústria cerâmica possibilita uma ampla quantidade de reaproveitamento de resíduos industriais. Revelando-se uma excelente alternativa de desenvolvimento sustentável.

Entre as indústrias que geram resíduos industriais e que possuem necessidade de encontrar alternativa de reaproveitamento, estão as indústrias de processamento de óleos vegetais e animais, que necessitam normalmente efetuar o processo de clarificação dos seus produtos para posterior utilização e consumo. O processo de refinamento de óleos e gorduras geralmente utiliza adsorventes para a eliminação de cor, odor e impurezas indesejáveis, também são removidos materiais orgânicos, traços de metais, ácidos graxos livres e fosfatídeos e em alguns casos óleos insaturados. Os adsorventes mais utilizados são as argilas naturais ou argilas ativadas ácidas, ao final do processo ocorre a separação do óleo e do material usado para a clarificação, essa separação acaba gerando uma grande quantidade do resíduo sólido industrial. Estes resíduos normalmente são conhecidos como torta do filtro do branqueamento ou terra do branqueamento (LIMA, 2003 e SOUZA 2002).

Na pesquisa bibliográfica realizada não foram encontrados dados de quantidades da geração da torta do filtro de branqueamento, entretanto Foletto *et al.* (2003) estima que são gerados cerca de 600 mil toneladas ao ano deste resíduo, sendo o seu destino final aterros industriais. Os resíduos gerados normalmente são constituídos de argila contaminada com 30 a 40% matéria orgânica, traços de metais, impurezas e apresenta um pH ácido. Normalmente estes resíduos são

classificados como classe IIA – Não inerte, apresentando nos testes de solubilização resultados acima do permitido no anexo G da norma 10.004:2004 podendo causar contaminação ao meio ambiente e havendo necessidade de uma correta destinação a este resíduo.

Segundo Souza (2002) a grande quantidade gerada e o alto custo do manuseio, transporte e disposição final do resíduo, além da sua periculosidade ao meio ambiente, deixam em alerta e motivam o interesse das indústrias em reduzirem as quantidades de resíduos, buscando o reaproveitamento do mesmo em outros setores industriais ou até mesmo recuperando-o para sua reutilização no processo, diminuindo assim custos de descarte e auxiliando na preservação do meio ambiente e saúde pública.

Com o objetivo de encontrar uma alternativa para destinar o resíduo gerado na clarificação de óleos vegetais e animais corretamente e reduzir custos, o presente trabalho estuda a utilização da torta do filtro de branqueamento de gordura animal (sebo) da empresa de sabões e sabonetes Fontana S.A. como matéria-prima na produção de blocos cerâmicos. Foram realizadas diferentes misturas entre argila e o resíduo, e ensaios comparativos entre os blocos cerâmicos com apenas argila e os blocos com diferentes proporções de argila e resíduo. Os ensaios avaliaram as características físicas e mecânicas dos blocos e a inertização dos parâmetros que estavam acima do nível de solubilização permitido pelo anexo G da norma 10.004:2004 nos ensaios realizados na amostra do resíduo da torta do filtro do branqueamento da empresa Fontana S.A.

O restante do trabalho é dividido da seguinte forma: o Capítulo 2 trás á revisão de literatura sobre a geração de resíduos industriais e a indústria cerâmica; o Capítulo 3 descreve a metodologia que foi utilizada para a confecção dos corpos de prova e dos testes realizados; o Capítulo 4 trás os resultados e as discussões; no Capítulo 5 consta a conclusão do trabalho e por final o Capítulo 6 são expostas sugestões para trabalhos futuros.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo principal**

Avaliar a viabilidade da utilização da torta do filtro de branqueamento de gordura animal (sebo) como matéria-prima na produção de blocos cerâmicos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Efetuar a caracterização das matérias-primas;
- Realizar a produção de corpos de prova de blocos cerâmicos com diferentes quantidades de torta do filtro de branqueamento de gordura e argila vermelha;
- Realizar ensaios para obtenção de dados sobre resistência mecânica, absorção de água, porosidade aparente e retração linear à queima dos corpos de prova fabricados;
- Realizar ensaio de solubilização dos corpos de prova para verificar a inertização dos mesmos;
- Avaliar a melhor proporção de mistura entre o resíduo de torta do filtro de branqueamento e a argila vermelha.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos sólidos

O conceito de resíduos sólidos segundo a Norma brasileira 10.004/2004 (ABNT 10.004, 2004), é:

Os resíduos que se encontram nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT 10.004, 2004).

#### 2.1.1 Classificação dos resíduos sólidos

A alta taxa de crescimento populacional, unida com a forte industrialização no último século, no intuito de atender o consumo de produtos e serviços da população, acarretou em uma alta geração de resíduos sólidos industriais. Os rejeitos produzidos pela sociedade e indústrias estão acima da capacidade de absorção da natureza, provocando desequilíbrio entre ser humano e meio ambiente (KOSTE, 2003).

Segundo Rodrigues (2003), as empresas possuíam o pensamento de que o volume de resíduos gerados era sinônimo de crescimento, gerenciavam os poluentes como uma consequência inevitável da industrialização, e não delegavam

qualquer responsabilidade ambiental sobre o mesmo. Esty (2008) afirma que, a partir dos anos 70 cresce a preocupação da sociedade em relação à destinação e recuperação dos resíduos gerados pelas indústrias. Empresários percebem que reduzir, reutilizar e reciclar não apenas trazem diminuição dos problemas ambientais, como também podem gerar lucro, ocasionando reduções de custos na produção e ainda por muitas vezes desperdiçando materiais valiosos, que poderiam ser utilizados em outro processo.

Segundo Kinlaw (1998), no intuito de minimizar os impactos ao meio ambiente, nas últimas décadas as empresas começaram a praticar o gerenciamento dos seus resíduos. Este gerenciamento leva a manipulação e controle desde a geração até a disposição final dos resíduos, garantindo a utilização dos materiais recicláveis e o surgimento de tecnologias para tratamento ou redução de resíduos identificados como perigosos. As práticas ambientais tornam as empresas sustentáveis, e a conformidade com as legislações ambientais reduz gastos com multas e processos ambientais.

A ABNT editou normas de padronização, em nível nacional, para a correta classificação dos resíduos em função da sua composição. Após ser avaliado quanto a sua periculosidade ao meio ambiente e à saúde pública, seguindo as Normas ABNT NBR 10.004; 10.005; 10.006; 10.007, os resíduos são classificados em dois grupos: Resíduos Perigosos e Resíduos Não Perigosos.

Os conceitos sobre a periculosidade dos resíduos segundo o artigo 13 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305 de 02 de Outubro de 2010) são:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

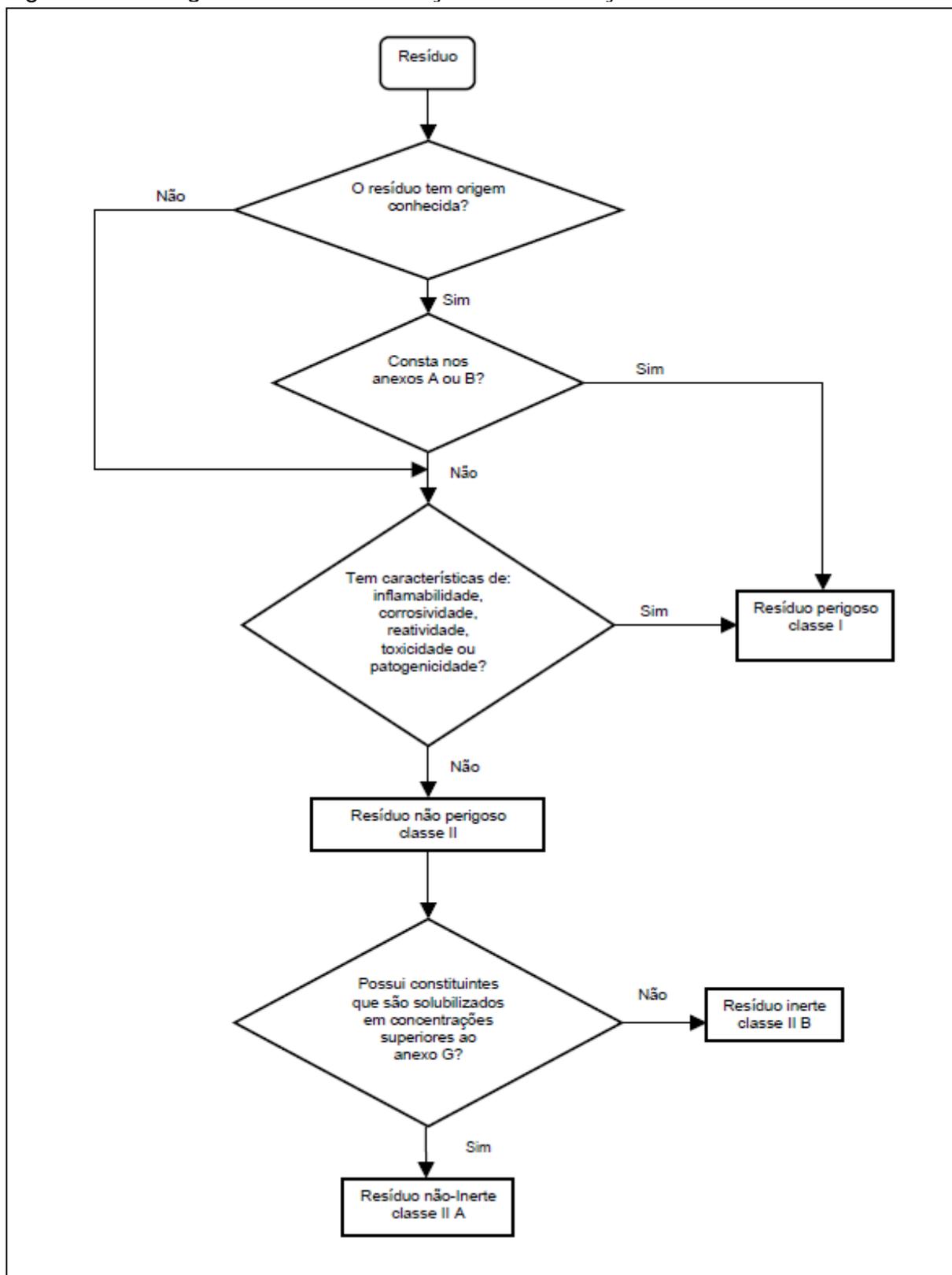
Os resíduos perigosos são conhecidos como classe I, já os resíduos não perigosos se subdividem em classe IIA – Não inerte e classe IIB – Inerte.

Para uma correta classificação os resíduos passam por diversas etapas, onde são analisados diversos parâmetros físicos, químicos e quanto a sua periculosidade. Na figura 1, é observado o fluxograma das etapas de caracterização dos resíduos. Analisando as etapas do fluxograma, primeiramente realiza-se a coleta de uma amostra representativa do resíduo seguindo a NBR 10.007:2004, após são realizadas análises e comparações com a lista de resíduos perigosos dos anexos A e B da NBR 10.004:2004, aos resíduos que estão localizados na lista ou apresentarem entre suas características uma das seguintes propriedades como: inflamabilidade, reatividade, corrosividade, toxicidade e patogenicidade serão classificados como resíduos perigosos classe I (ROSA, 2001 e ABNT NBR 10.004, 2004).

Quando não são localizados na lista de resíduos perigosos e não apresentam as propriedades de periculosidade citadas acima, os resíduos passam por ensaios de lixiviação e solubilização, conforme NBR 10.005:2004 e 10.006:2004 respectivamente, caso apresentem alguma substância com solubilização acima do nível máximo permitido para os parâmetros que constam no anexo G da norma 10.004:2004. Os resíduos não são considerados perigosos, porém, apresentam algumas substâncias em níveis elevados, as quais podem ocasionar risco ao meio ambiente. Sendo assim classificados como resíduos não-perigosos classe IIA - Não inerte (ABNT NBR 10.004, 2004).

Já os resíduos não perigosos Classe IIB, não apresentam nenhuma substância seja na lixiviação ou solubilização acima dos níveis de concentração aos padrões da qualidade das águas e sendo inofensivos ao meio ambiente, conhecidos como resíduos inertes.

Figura 1 – Fluxograma da Caracterização e classificação de resíduos sólidos.



Fonte: ABNT, NBR 10.004:2004.

A classificação das classes segundo a ABNT NBR 10.004:2004 é definida como:

**Classe I - Resíduos perigosos:** apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, podem apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Necessitando tratamento e disposição especiais.

**Classe IIA - Resíduos Não-inertes:** mesmo não apresentando periculosidade, não são inertes, por terem propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

**Classe IIB - Resíduos inertes:** não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água. Isto significa que a água permanecerá potável quando em contato com o resíduo. Estes resíduos se degradam ou decompõem lentamente quando dispostos em solo. São exemplos, os entulhos de demolição e areias retirados de escavações.

### 2.1.2 Resíduos sólidos industriais

A seguir são desenvolvidos alguns dados sobre quantidades e disposição final dos resíduos industriais, em nível nacional, estadual e regional.

Em termos de resíduos sólidos, foram elaboradas diversas legislações, a fim de controlar e fiscalizar o gerenciamento dos resíduos. Dentre estas a resolução CONAMA 312/02, dispõe do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos, que visa coletar informações sobre geração, características, armazenamento, transporte e disposição final dos resíduos.

O Brasil, segundo a pesquisa divulgada pela ABRELPE (2007), gera em torno de 86.484.064 t/ano de resíduos sólidos indústrias, sendo que deste total 3.736.073 t/ano são resíduos sólidos perigosos e 82.747.991 t/ano de resíduos sólidos industriais não perigosos.

Conforme se verifica na tabela 1 e na figura 2, não são todos os estados brasileiros que aparecem na pesquisa e os valores são referentes aos períodos de 2001 a 2005. Na tabela são divididos os estados que utilizaram dados do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Industriais, dos estados que se utilizaram outro meio de informação.

Entre os estados que mais produzem resíduos industriais perigosos no país, destaca-se o estado de Goiás com uma geração de 27,97% dos resíduos gerados, seguido de Minas Gerais (22,16%), Paraná (16,9%) e São Paulo (14,33%). Entretanto, para a geração de resíduos industriais não perigosos quem se destaca pela quantidade gerada é São Paulo com 31,52% sobre o total de resíduos não perigosos gerados. Em seguida com destaque estão Paraná, Minas Gerais e Goiás, com 18,25%, 17,46% e 15,29% respectivamente.

O Rio Grande do Sul gera em torno de 182.170 t/ano de resíduos sólidos industriais perigosos e 949.899,76 t/ano de resíduos sólidos industriais não perigosos, representando respectivamente 4,87% e 1,14% dos resíduos em relação ao total produzido no Brasil.

São Paulo é o estado que mais gera resíduos sólidos industriais, indiferentemente da classificação, apenas este estado representa 30,77% de todo resíduo gerado no país.

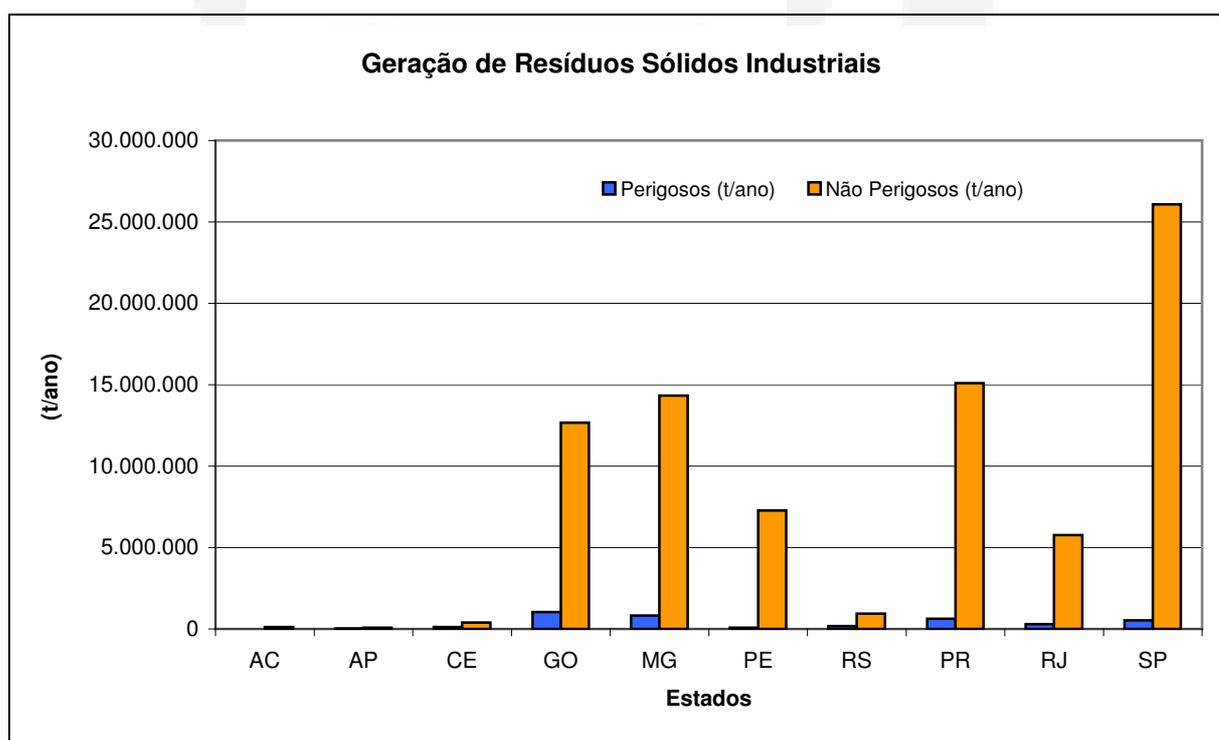
Tabela 1 – Geração de Resíduos Sólidos Industriais no Brasil.

UF	Perigosos (t/ano)	Não Perigosos (t/ano)	Total (t/ano)
AC*	5.500	112.765	118.256
AP*	14.341	73.211	87.552
CE*	115.238	393.831	509.069
GO*	1.044.947	12.657.362	13.702.273
MG*	828.183	14.337.011	15.165.194
PE*	81.583	7.267.930	7.349.513
RS*	182.170	946.899,76	1.129.070
Sub-Total	2.271.962	35.788.973,76	38.060.936
PR**	634.543	15.106.393	15.740.936
RJ**	293.953	5.768.562	6.062.515
SP**	535.615	26.084.062	26.619.677
Sub-Total	1.464.111	46.959.017	48.423.128
Total	3.736.073	82.747.991	86.484.064

\* Inventários Estaduais de R.S.I e \*\* Panorama das Estimativas de Resíduos Sólidos Industriais ABETRE/FGV).

Fonte: ABRELPE, Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2007.

Figura 2 – Geração de resíduos sólidos industriais no Brasil (parcial) – Distribuição por estado.



Fonte: ABRELPE, Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2007.

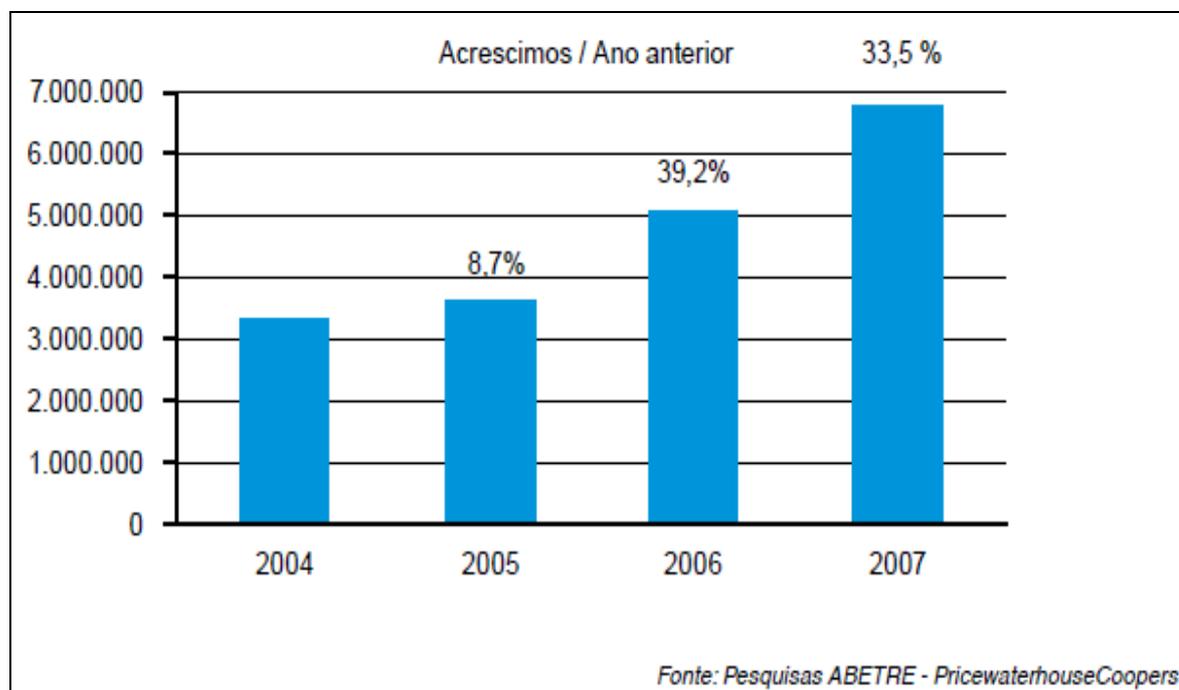
Na pesquisa do panorama dos resíduos sólidos industriais tratados no Brasil feito pela ABRELPE (2008), percebe-se através da tabela 2, o expressivo crescimento de geração de resíduos industriais, em contra partida percebe-se na figura 3 a evolução do gerenciamento dos resíduos. Em 2007 houve um aumento de 33,5% em relação a 2006 no tratamento dos resíduos sólidos gerados, na tabela 2 pode-se notar que em quatro anos a quantidade de resíduos tratados dobrou, em 2004 eram tratados 2.946.801 t/ano, este valor passou para 5.951.499 t/ano. Os percentuais de utilização de tratamentos para os resíduos industriais gerados no período de 2004 a 2007 são pouco variáveis, sendo que os tratamentos mais utilizados em 2007 para a disposição final dos resíduos industriais são: Aterro classe IIA com 61,42%, coprocessamento em fornos de cimento (16,48%), seguidos de aterro para resíduos classe IIB e classe I, com 9,73% e 4,23% respectivamente.

Tabela 2 – Quantidade de resíduos sólidos industriais tratado X tecnologia utilizada

Tecnologias	RSI Tratados							
	2004		2005		2006		2007	
	Quantidade (t/ano)	%						
Aterro para Classe II-A	1.733.086	58,81	1.605.381	50,14	2.985.521	66,97	3.655.372	61,42
Aterro para Classe II-B	488.595	16,58	505.793	15,8	342.617	7,69	579.247	9,73
Aterro para Classe I	119.644	4,06	235.466	7,35	170.776	3,83	251.646	4,23
Coprocessamento em Fornos de Cimento	492.000	16,7	690.000	21,55	790.000	17,72	981.000	16,48
Incineração	48.219	1,64	63.630	1,99	64.286	1,44	71.265	1,2
Outros tratamentos Térmicos	49.496	1,68	74.408	23,24	59.225	1,33	69.314	1,16
Tratamentos Biológicos	5.000	0,17	13.557	4,23	30.683	0,69	315.909	1,48
Outras Tecnologias	10.761	0,36	13.484	4,21	14.584	0,33	17.746	0,3
<b>Total</b>	<b>2.946.801</b>	<b>100</b>	<b>3.201.719</b>	<b>100</b>	<b>4.457.692</b>	<b>100</b>	<b>5.951.499</b>	<b>100</b>

Fonte: ABRELPE, 2008.

Figura 3 – Evolução da quantidade de Resíduos Sólidos Industriais tratados de 2004 a 2007.



Fonte: ABRELPE, 2008.

Na tabela 3, os volumes tratados são divididos em resíduos perigosos e não perigosos. Cerca de 74% dos resíduos tratados no Brasil são de origem não perigosa. A ampla maioria é proveniente de etapas dos processos industriais, e o restante de passivos ambientais.

Tabela 3 – Quantidade de resíduos industriais tratados X classificação dos resíduos.

Classificação	RSI Tratados							
	2004		2005		2006		2007	
	Quantidade (t/ano)	%						
Perigosos	648.959	22,02	985.261	30,77	1.009.953	22,66	1.545.360	25,97
Não Perigosos	2.297.842	79,98	2.216.458	69,29	3.447.739	77,34	4.406.139	74,03
Total	2.946.801	100	3.201.719	100	4.457.692	100	5.951.449	100

Fonte: ABRELPE, 2008.

### 2.1.3 Resíduos sólidos industriais no Rio Grande do Sul

Todos os resultados que correspondem ao estado do Rio Grande do Sul são originados pelo Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, etapa Rio Grande do Sul, realizado em 2002, pela FEPAM.

Segundo FEPAM (a) (2011), no inventário foram pesquisadas 1.707 indústrias dos mais diversos ramos, destas foram levantados quantidades de resíduos industriais perigosos gerados e a destinação dos mesmos. Pode-se analisar na tabela 4 e 5 os valores para cada setor industrial analisado.

Como já mencionado, o estado do RS gera em torno de 1.129.069,96 t/ano de resíduos, sendo deste total 16,13% resíduos classificados como perigosos – Classe I.

Entre os setores que mais geram resíduos perigosos no estado está o setor de couro com quase 66% dos resíduos gerados, percebe-se que a grande maioria dos resíduos tem como destino final os aterros industriais.

Porém, há um amplo crescimento no processo de reaproveitamento/reciclagem dos resíduos classe I. Quem se destaca neste sentido são os setores metalúrgicos, reaproveitando cerca 42,86% dos resíduos perigosos gerados (FEPAM (b), 2011).

Tabela 4 – Total de resíduos industriais gerados no estado do Rio Grande do Sul.

Setor Industrial	Número de Empresas	Resíduos Gerados (t/ano)	Resíduos Perigosos Gerados (t/ano)	
			(t/ano)	(%)
Metalúrgico	537	277.914,17	19.451,69	7
Químico	230	283.585,89	17.725,61	6,25
Mecânico	416	108.342,79	17.387,57	16,05
Couro	443	243.881,86	120.170,62	49,27
Transporte	30	23.721,31	4.547,45	19,17
Lavanderia Industrial	4	448,44	259,4	57,84
Papel e Celulose	7	187.240,41	1.726,82	0,92
Minerais não metálicos	23	983,81	48,62	4,94
Têxtil	17	2.951,28	852,42	28,88
<b>Total</b>	<b>1707</b>	<b>1.129.069,96</b>	<b>182.170,20</b>	<b>16,13</b>

Fonte: FEPAM (a), 2011.

Tabela 5 – Destinação final de resíduos sólidos industriais perigosos em aterros industriais por setor.

Setor Industrial	Número de Empresas	Resíduos Perigosos Gerados (t/ano)	Resíduos Destinação em Aterros Industriais	
			(t/ano)	(%)
Metalurgico	537	19.451,69	2.636,34	13,55
Químico	230	17.725,61	3.726,42	21,02
Mecânico	416	17.387,57	8.626,78	49,61
Couro	443	120.170,62	101.152,45	84,71
Transporte	30	4.547,45	125,87	2,77
Lavanderia Industrial	4	259,40	0	0
Papel e Celulose	7	1.726,82	0,17	0,01
Minerais não metálicos	23	48,62	3	6,17
Têxtil	17	852,42	760	89,16
Total	1.707	182.170,20	117.031,03	64,24

Fonte: FEPAM (a), 2011.

#### 2.1.4 Resíduos sólidos industriais no Vale do Taquari

São poucas as informações sobre a geração e destinação dos resíduos sólidos industriais gerados na região do Vale do Taquari, localizada na parte central do estado do Rio Grande do Sul.

Segundo a FEPAM (b) 2011, esta região gera cerca de 159.376 toneladas de resíduos industriais por ano. Destes 124.255 t/ano são resíduos não perigosos classe II e 35.121 t/ano são resíduos perigosos - classe I.

Segundo Andres (2001) os setores que mais se destacam e conseqüentemente mais geram resíduos na região do Vale do Taquari são os setores alimentícios, seguidos pelo setor de couro/calçadista, mecânico e químico. Entre as 54 empresas entrevistadas por este autor, cerca de 24% destas possuíam gestão ambiental sobre seus aspectos ambientais e gerenciamento dos seus resíduos.

## 2.2 Cerâmica

### 2.2.1 Histórico

Segundo Callister Jr (2008) o termo “cerâmica” vem da palavra grega “*keramikos*”, o que significa “matéria queimada”, devido que, para a fabricação destes produtos, a argila que é a matéria-prima utilizada, deve passar por vários processos como moldagem, secagem e queima, onde na última etapa são obtidas as propriedades desejadas as cerâmicas.

Segundo Bauer (2001) a fabricação de cerâmicas utiliza matéria-prima abundante na natureza e possui técnica de fabricação relativamente fácil, logo, tornou-se amplamente utilizada por varias civilizações nos mais diversos fins, desde potes de barro a moradias.

A indústria cerâmica teve seu início ainda no período neolítico, onde o homem pré-histórico com a necessidade de armazenar alimento produzia cestas utilizando argila que eram secas naturalmente, posteriormente percebeu que a argila endurecia com a aplicação de calor e então começou a produzir cerâmicas propriamente ditas (ISAIA, 2007).

Bauer (2001) afirma que o povo que melhor utilizava e dominava a fabricação de cerâmicas eram os romanos, no seu domínio ao mundo, estes expandiram o conhecimento sob utilização de tijolos em alvenaria por toda a humanidade. Entretanto, só havia a produção de cerâmicas vermelhas, as quais são assim denominadas devido à coloração que atingem no produto final, originada da matéria-prima utilizada. Só no século XVIII que a Inglaterra produziu cerâmica branca, a partir deste momento houve um grande crescimento do estudo e da tecnologia de produção destes materiais.

Segundo Saad (2009) *apud* Steil (2000), por volta de 1850 surgiram as primeiras máquinas para moldar tijolos, primeiramente movidas por força animal, e posteriormente utilizando máquinas a vapor, com isso a produção de cerâmica tornou-se mais rápida e de melhor qualidade. Já no Brasil as técnicas de fabricação

de tijolos e telhas foram introduzidas pelos imigrantes europeus, surgindo assim pequenas olarias em todo o país.

### **2.2.2 Panorama do setor cerâmico**

Atualmente, os materiais cerâmicos são amplamente usados pela indústria na construção civil. Segundo Isaia (2007) a classificação mais tradicional das cerâmicas é em relação à cor que apresentam após a queima, podendo ser cerâmicas vermelhas e brancas. Cada cerâmica apresenta diferentes composições, temperatura de queima e propriedades específicas.

**Cerâmicas vermelhas:** utilizam argilas que possuem alta quantidade de compostos fundentes, sendo pouco refratária, a sua queima pode ser realizada em torno de 950 °C a 1100 °C e possui cor avermelhada devido a grande presença de óxidos de ferro em sua composição. Os principais materiais fabricados por essa indústria são: tijolos, blocos, telhas, tubos e argilas expandidas.

**Cerâmicas Brancas:** a temperatura de queima varia de 1100 °C a 1300 °C, composta de uma mistura de mais que um tipo de argila, com baixo teor de fundentes, sendo semi-refratárias. Os produtos finais que possuem a coloração branca são: azulejos, peças sanitárias, placas cerâmicas e porcelanas.

E ainda existem as cerâmicas que apresentam grande resistência térmica, a corrosividade e a agentes químicos, são as chamadas cerâmicas refratárias, constituídas de argilas aluminosas, não possuem quase componentes fundentes, para sua fabricação é necessária uma queima a temperatura acima de 1500 °C.

O presente trabalho estuda apenas o processo da cerâmica vermelha que segundo o anuário de transformação de materiais não metálicos divulgado pelo MME (2010), o Brasil produziu em 2009 cerca de 76 bilhões de peças cerâmicas, sendo que 75% destes materiais eram tijolos e blocos e os 25% restante correspondem a produção de telhas cerâmicas, com estes dados o Brasil está inserido mundialmente como um dos maiores produtores de cerâmica, atrás apenas da China e Índia. Segundo a Associação Nacional de Indústrias Cerâmicas

(ANICER), o Brasil tem entorno de 7.400 indústrias de cerâmica vermelha, que geram cerca de 293 mil empregos diretos, estimando um faturamento anual de R\$ 9 bilhões em 2010.

### 2.2.3 Matéria-prima das cerâmicas

A matéria-prima utilizada para a produção de materiais cerâmicos é a argila, que é um material terroso natural, abundante na natureza, proveniente da decomposição de rochas ígneas<sup>2</sup>, sob a ação de intempéries, este material possui uma baixa granulometria (partículas com diâmetros inferiores a 2  $\mu\text{m}$ ). Sua principal característica é apresentar plasticidade quando entra em contato com água (PETRUCCI, 1973).

Existem diversos tipos de feldspatos<sup>3</sup> e rochas ígneas, que ao serem degradados formam partículas cristalinas extremamente pequenas, chamadas de argilominerais, conforme afirma Bauer (2001) os argilominerais são os principais constituintes das argilas, portanto, como são encontrados diversas composições destes, existem diversas composições de argilas na natureza, O autor afirma que não é possível encontrar duas jazidas idênticas, mas, é possível encontrar em uma mesma jazida a presença de mais que um tipo de argila.

O depósito natural das argilas é chamado de barreira, retira-se a camada superficial do solo com alta concentração de matéria orgânica e encontra-se a matéria-prima ideal para a indústria cerâmica. As argilas podem ser consideradas sedimentares, quando se formam longe da sua rocha original, e podem ser residuais quando se encontram no seu local de origem. Segundo Biolo (2005), este tipo de matéria-prima também pode ser classificado como gordas e magras. Argilas gordas possuem alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais, já as argilas magras são ricas em quartzo e menos plásticas, podendo agir como redutores de plasticidade.

<sup>2</sup> São rochas originadas pelo resfriamento e consolidação do magma, geralmente são constituídas de vários minerais cristalizados, se constitui em ser uma rocha dura (POPP, 2007).

<sup>3</sup> É um mineral abundante na crosta terrestre, constituinte mais importante das rochas ígneas, formado basicamente por silicato de potássio e alumínio (POPP, 2007).

Como já mencionado anteriormente, os argilominerais são os principais constituintes das argilas, além destes, a argila apresenta outros minerais existentes, sendo os mais encontrados: o quartzo, a mica, os feldspatos e compostos de ferro. Os argilominerais segundo Pureza (2004) são os responsáveis por algumas propriedades importantes das argilas, como: plasticidade, viscosidade, resistência mecânica. Segundo Isaia (2007), entre os grupos de argilominerais, os mais utilizados pela indústria cerâmica vermelha são: a caulinita, a illita e as montmorilonita ou esmectita. A caulinita por apresentar elevada resistência aos produtos cerâmicos e cor branca após a queima é mais utilizada em cerâmicas refratárias, a illita é muito utilizada na cerâmica vermelha, proporciona um bom desempenho na secagem e facilita a moldagem, além de conter ferro em sua estrutura, que ajuda na coloração vermelha dos produtos finais e a montmorilonita tem facilidade de absorver água aumentando as propriedades plásticas e coloidais da massa argilosa, geralmente são utilizadas em teores menores que 3% por apresentarem problemas na extrusão e secagem, causando trincas e expansão durante a queima.

Na tabela 6 estão os principais constituintes dos argilominerais e as suas respectivas propriedades quando presentes nas cerâmicas.

Tabela 6 – Propriedades dos principais elementos constituintes das argilas

Elementos	Principais propriedades
Alumina	Propicia estabilidade dimensional em temperaturas elevadas
Carbonato e Sulfato de cálcio e magnésio	Resultam em expansão volumétrica; agem como fundentes.
Matéria Orgânica	Resultam em retração, fissuras durante os processos de sazonalidade e queima e diferenças de coloração em mesmo componente cerâmico.
Sílica Livre	Diminui a retração durante os processos de sazonalidade e queima; reduz a plasticidade da argila.
Silicatos e Fosfatos	São fundentes, alguns aumentam a resistência mecânica.
Sais Solúveis	Propiciam o aparecimento de eflorescência nos componentes cerâmicos

Fonte: ISAIA, 2007.

## 2.2.4 Propriedade das argilas

A argila é a matéria-prima principal na fabricação dos diversos materiais cerâmicos, para serem utilizadas amplamente na indústria cerâmica, devem apresentar algumas propriedades essenciais para a produção destes materiais. A propriedade mais importante da argila é a plasticidade, deve-se também destacar a capacidade de absorção e cessão de água e o seu comportamento ao calor. As cerâmicas produzidas pelo processamento térmico das argilas devem possuir propriedades como: resistência mecânica, peso, absorção de água e durabilidade (BAUER, 2001).

A qualidade do produto final é diretamente dependente da qualidade das argilas extraídas, então Isaia (2007) afirma que, quando os depósitos de argila não possuem um alto grau de pureza (não têm grandes quantidade de argilominerais), é necessária a mistura de duas ou mais argilas para que a massa adquira propriedades necessárias para a correta produção das peças cerâmicas desejadas.

A seguir são descritas as principais propriedades das argilas em seu estado natural e em estado seco após terem sofrido tratamento térmico.

### 2.2.4.1 Plasticidade

Plasticidade é a propriedade de um corpo se deformar quando recebe uma força e de manter a forma obtida sem se romper após a força aplicada não existir mais. Para a fabricação de tijolos é essencial que a argila seja plástica, caso não haveria a possibilidade de realizar a moldagem destes materiais cerâmicos. Santos (1989) ainda afirma que, a plasticidade é a interação das partículas do argilominerais com partículas de água que possuem ação lubrificante, portanto as argilas desenvolvem plasticidade quando possuem água suficiente para cobrir a superfície dos argilominerais, esta água absorvida é conhecida como “água rígida”.

Segundo Bauer (2001) ao acrescentar água em uma argila a mesma deverá formar uma massa plástica que pode ser facilmente deformada e conformada nos moldes desejados. Pouca ou muita quantidade de água não dará a plasticidade

ideal para a argila ser transformada em cerâmica, podendo ocasionar defeitos nas peças produzidas. Esses defeitos segundo Isaia (2007) podem ser originados por elevadas retrações na etapa de secagem e queima (devido ao excesso de água), formando fissuras e deformações, ou ainda uma perda de resistência e o aumento da permeabilidade de água, devido ao aumento da porosidade da cerâmica. E ainda Bauer (2001) afirma que, a quantidade de água para a correta plasticidade da argila, pode variar de 10% a 50% dependendo da estrutura química e mineralógica da mesma, o ponto ideal de plasticidade pode ser encontrado, adicionando água na argila e a mesma não se desagregar e nem ficar pegajosa no contato com a mão.

Quanto mais pura a argila e menor sua granulometria, maior será a sua plasticidade, caso a argila possua muitos minerais indesejáveis, deve-se introduzir substâncias como: ácido oléico, húmus, hidróxido de sódio, tanino, entre outros, que ajudam a aumentar a plasticidade. Porém, caso a argila tenha a inclusão de ar a sua plasticidade tende a diminuir, outro fator que diminui a plasticidade é a temperatura, pois retira a água existente nas argilas, sendo que, argilas secas não são materiais plásticos (PETRUCCI, 1973).

A plasticidade normalmente é avaliada pelo índice de Atterberg, o qual calcula o limite de plasticidade e limite de liquidez, sendo o limite de plasticidade o mínimo teor de água necessário em relação a argila seca, para que seja possível uma conformação. Para descobrir o limite de plasticidade se segue a norma NBR 7180 (ABNT 1984), deve-se moldar cilindro de argila, sem que o mesmo se fragmente sobre uma placa de vidro, as dimensões dos cilindros devem ser de 3 mm de diâmetro e 100 a 150 mm de comprimento. O teor de umidade do cilindro corresponde ao limite de plasticidade. O Limite de liquidez é determinado pelo aparelho de Casagrande. A diferença entre os dois limites é o índice de plasticidade ou Atterberg (ISAIA, 2007).

#### **2.2.4.2 Granulometria**

A composição granulométrica corresponde ao tamanho das partículas presentes na matéria-prima utilizada pela indústria de cerâmica vermelha, procura-

se utilizar partículas mais finas possíveis, geralmente a matéria-prima utilizada possui partículas entre 50 nm e 1 cm, sendo que a fração argilosa, que é o que mais favorece as propriedades desejadas possui granulometria inferior a 2  $\mu\text{m}$  (ISAIA, 2007).

Segundo Santos (1989), a granulometria é um fator importante, a dimensão das partículas das argilas estão diretamente ligadas na obtenção das propriedades essenciais das cerâmicas, quanto menor a partícula, maior será a plasticidade, portanto, melhor será a moldagem das peças, além disto, propriedades como resistência à flexão, retração na secagem e diminuição nos defeitos das peças, são influenciados pela granulometria que se utiliza na fabricação das cerâmicas vermelhas.

As indústrias podem definir a granulometria da argila, através do método de peneiramento, o qual passa a argila por peneiras e seleciona-se as diferentes granulometria, porém, este método é sem grande precisão. O método mais exato é o de difração a laser, e o de determinação de velocidade de sedimentação por absorção de raios-X.

#### **2.2.4.3 Porosidade**

A porosidade é uma forma de se medir e analisar o processo de queima e o grau de vitrificação da cerâmica vermelha. Durante o processo de fabricação, a argila é compactada ou conformada após passar pelo processo de preparação, sendo geralmente acrescentado água em sua estrutura. Nas peças moldadas existem espaços vazios, formando poros entre as partículas da argila, quando as peças passam pelo tratamento térmico, esses espaços desaparecem na sua grande maioria, porém, frequentemente ficam pequenos poros residuais, os quais têm influencia negativa na resistência mecânica e na propriedade elástica dos materiais cerâmicos (CALLISTER JR, 2008). Além destas propriedades, Isaia (2007) afirma que a permeabilidade, condutibilidade térmica e elétrica, a corrosão das peças, também são afetadas negativamente pela porosidade e distribuição dos poros.

Petrucci (1973) cita alguns métodos para diminuir e aumentar a porosidade dos materiais cerâmicos, segundo o autor é possível aumentar a porosidade: adicionando na argila materiais que desaparecem na queima (serragem ou matérias carbonosas); adicionando materiais porosos; e criando uma fase gasosa que seja estável durante a secagem e a queima da massa argilosa. Já caso seja necessário diminuir a porosidade da argila deve-se: efetuar via fundentes e calor, assim preenchendo os poros com uma massa vítrea; e adicionando eletrólitos à argila, tais como álcalis, hidróxidos de cálcio, ou ácidos.

#### **2.2.4.4 Resistência mecânica**

As principais propriedades das argilas são a sua plasticidade em contato a água e a resistência quando sofrem tratamento térmico, sendo assim, a argila seca apresenta resistência mecânica, a qual pode ser medida pelas grandezas: a) tensão a ruptura à flexão; b) tensão de ruptura à compressão; e c) tensão de ruptura a tração (SANTOS, 1989).

Segundo Santos (1989) a distribuição granulométrica, a composição mineralógica e a adição de água na argila influenciam as grandezas das rupturas, sendo que, a tensão de ruptura à flexão é mais importante tecnologicamente, cada argila possui composição diferente, conseqüentemente possui característica de tensão a ruptura, sendo que para a fabricação de cerâmicas vermelhas a tensão da argila está na faixa entre 7 a 70 kgf/cm<sup>2</sup>. O autor afirma que, quanto menor o diâmetro da argila, maior será a tensão de ruptura a flexão, sendo que, a argila de melhor eficiência é a ilita que possui granulometria abaixo de 2 µm. A argila esmectita, que também é utilizada para cerâmica vermelha, devido a sua alta retração e formação de trincas nas peças possui tensão de flexão menor.

É através do teste de tensão a ruptura de flexão que se tem uma ideia de como será a propriedade mecânica dos corpos produzidos a partir de determinada argila, o teste é feito em corpos de prova padrões, conformados e secos, determinando-se pela quebra dos corpos em testes de flexão com dois, três ou quatro pontos de apoio a tensão da argila (ISAIA, 2007). Para blocos cerâmicos

queimados na temperatura de 950 °C, Santos (1989) indica que os resultados para teste de resistência de tensão a ruptura por flexão deve ser acima de 5,5 MPa, obtendo-se assim peças com resistência mecânica satisfatórias ao uso na construção civil.

#### **2.2.4.5 Retração**

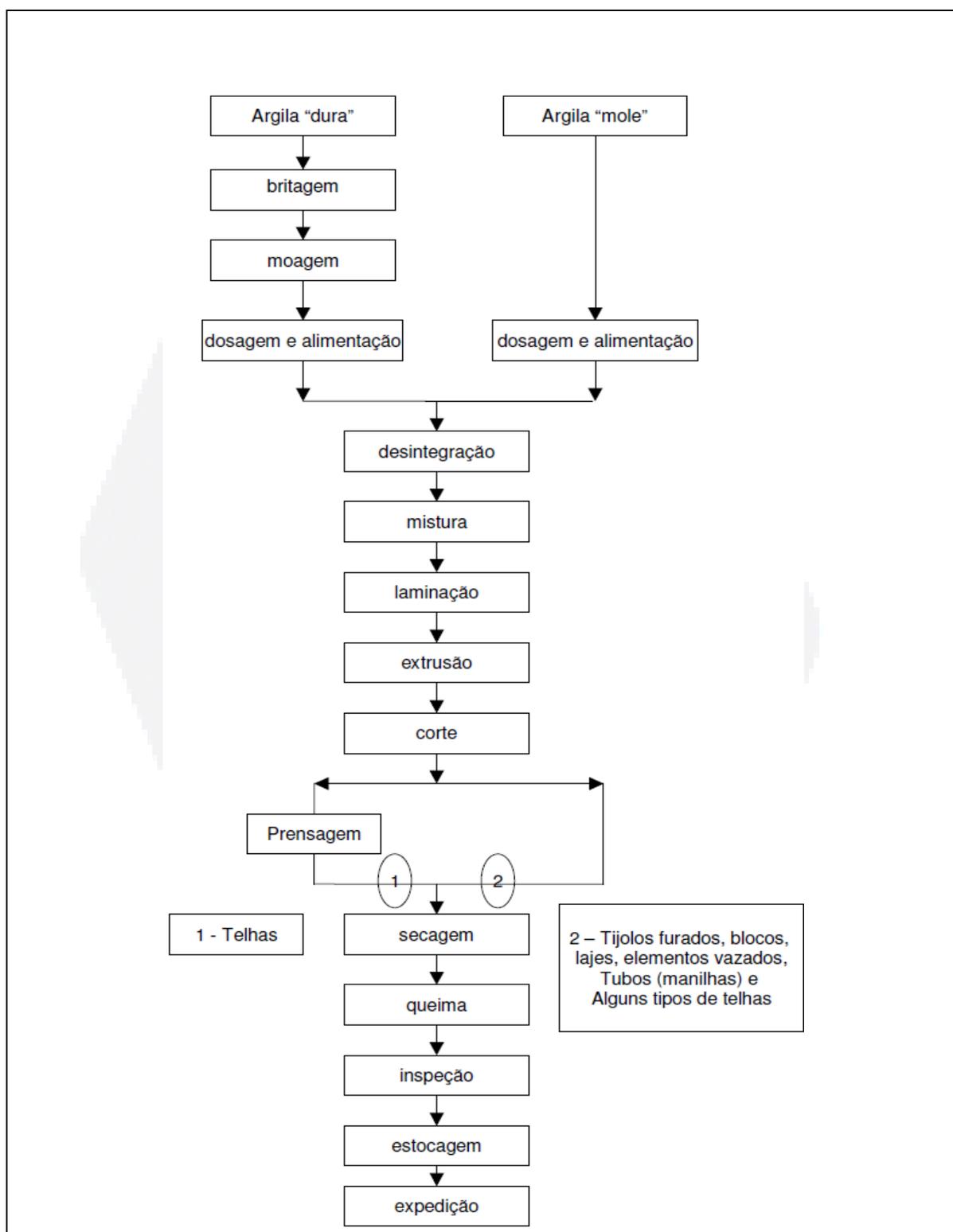
A retração é a diminuição das peças cerâmicas após a secagem e a queima, devido à evaporação da água presente nos poros, que devido a espaços vazios as peças se retraem, podendo formar deformações nas peças e até levar a sua fratura. Deve-se conhecer a retração para padronizar as dimensões dos produtos fabricados, essa determinação ocorre pela simples medida das peças em seu estado cru, após a secagem e após a sua queima. A retração aumenta à medida que as argilas plásticas possuem granulometria muito fina, e a quantidade de água está em excesso na peça (GOUVEIA 2008 *apud* KAZMIRRCZAK 2007).

#### **2.2.5 Fabricação da cerâmica vermelha**

As cerâmicas vermelhas na maioria das regiões do Brasil são fabricadas por indústrias de pequeno a médio porte, de forma artesanal, esses processos ultrapassados necessitam de grande quantidade de mão-de-obra, e produzem materiais cerâmicos que não se tornam competitivos se comparados aos países da Europa, devido a falta de padrão de qualidade e da baixa escala de produção. Entretanto, mesmo com todas as dificuldades o Brasil é o terceiro maior produtor de cerâmica no mundo, com uma produção em 2009 de cerca de 76 bilhões de peças cerâmicas, correspondendo 57 bilhões a tijolos/blocos e 19 bilhões a telhas (MME, 2010).

Conforme se pode visualizar na figura 4, a fabricação de cerâmicas vermelhas seguem diversas etapas, porém de uma maneira geral as etapas mais importantes são: a extração e preparo de matéria-prima; moldagem (conformação); secagem; queima.

Figura 4 – O fluxograma descreve os processos de uma indústria de cerâmica vermelha.



Fonte: ABC, 2011.

### **2.2.5.1 Extração de matéria-prima**

O primeiro passo, para a definição da jazida de extração, é identificar a composição da argila que se encontra neste local, conforme já comentado as jazidas podem possuir mais que um tipo de argila, e conter alto teor de impureza, tornando-se inviável para a fabricação de determinada cerâmica. O estudo inicial deve identificar os argilominerais, a granulometria e o volume de matéria-prima existente, outro fator que deve ser considerado, é à distância e o custo de transporte desta argila até a indústria cerâmica (PETRUCCI, 1973). Atualmente o fator ambiental afeta na escolha da jazida, não é possível a extração de argila em qualquer lugar, pois na maioria das regiões há a necessidade de licença para esta extração, havendo controle e monitoramento da jazida e a obrigatoriedade na regeneração do local, com vegetação e reposição de solo fértil (BIOLO, 2005).

A matéria-prima é encontrada nos mais diversos locais da crosta terrestre, sendo comumente encontrada próxima a rios e várzeas, a argila é extraída a céu aberto, com auxílio de retro escavadeiras. Geralmente é retirada a parte superficial do local, por conter alto teor de impureza e matéria orgânica, o que afetaria o processo de queima (ISAIA, 2007).

### **2.2.5.2 Preparação da matéria-prima**

Após a extração da matéria-prima, a argila deve passar por um processo de tratamento e preparação, para que a mesma adquira granulometria, composição e umidade desejada, além de ser realizada a eliminação das impurezas presentes.

Para o tratamento Petrucci (1973) afirma que, os processos mais utilizados nas indústrias de cerâmicas vermelhas são o de depuração, divisão, homogeneização e obtenção de plasticidade. No processo de depuração são eliminadas as impurezas presentes, tais como grãos duros, rochas, galhos e sais insolúveis. Já na divisão é realizada a moagem ou trituração das argilas e materiais desengordurantes. A homogeneização e a plasticidade são obtidas com a mistura de diferentes argilas e materiais desengordurantes, com a adição de água que ajuda na formação da pasta argilosa, facilitando o processo de conformação e moldagem.

Na maioria das indústrias cerâmicas a argila recém extraída é transportada até a indústria e depositada em montes, a céu aberto, para que sofra ação dos agentes climáticos, as argilas ficam às vezes por longo período em descanso sofrendo com as intempéries, para posterior utilização, esse processo é conhecido como sazonalidade e possibilita a alteração das características da argila, aumenta a reatividade e plasticidade, elimina os sais solúveis e proporciona uma maior homogeneização (ISAIA, 2007).

É comum haver a mistura de duas ou mais argilas para atingir uma composição mais equilibrada dos componentes minerais na matéria-prima, a homogeneização das argilas pode acontecer manualmente ou utilizando retro escavadeiras, porém é comum utilizar para essa mistura, dois rolos laminadores, que trituram as argilas e possíveis grãos de pedras calcárias, pedregulhos e impurezas, seguido de peneiramento, produzindo faixas de partículas granulométricas ideais (CALLISTER JR, 2008).

Essa etapa do processo é essencial na preparação da argila, porque, é neste momento que ocorre a adição de água para a massa adquirir a plasticidade desejada, tornando possível a moldagem ou conformação de materiais cerâmicos. Entretanto, a quantidade de água a ser adicionada deve seguir o limite de plasticidade, pois o excesso pode ocasionar defeitos nas peças, devido ao excesso de retração e um elevado custo para a secagem e queima (PETRUCCI, 1973 e ISAIA, 2007).

Segundo Bauer (2001), na preparação de matérias-primas é que se deve haver a correção de possíveis defeitos da argila, nesta etapa são acrescentados aditivos que evitam ou favorecem algumas propriedades da argila. Por exemplo, quando a argila é muito pura, tem retração excessiva devido à baixa granulometria, então, é comum adicionar areia, ou produtos defeituosos (moídos), aumentando a granulometria e diminuindo a retração. Portanto, percebe-se que a etapa da preparação da matéria-prima é essencial para obter a qualidade do produto final.

Para que a massa cerâmica esteja em excelentes condições para a produção, deve-se haver uma adequada composição química e mineralógica, e a

relação entre materiais plásticos e não plásticos estejam adequadas, obtendo uma excelente plasticidade, ocasionando deste jeito produtos acabados com as características desejadas (PUREZA 2004 *apud* VICENZI 1999).

### 2.2.5.3 Moldagem ou conformação

A moldagem ou conformação é o processo de dar forma desejada a uma massa argilosa. A escolha da técnica de conformação deve ser em relação ao produto desejado e a umidade presente na matéria-prima, sendo que, a extrusão e a prensagem são as duas técnicas mais utilizadas na produção de materiais cerâmicos. Geralmente a extrusão é utilizada na fabricação de tijolos e blocos e a prensagem é utilizada na fabricação de telhas e azulejos (BAUER, 2001).

O método de extrusão é o mais utilizado pelas indústrias de cerâmica vermelha, o equipamento utilizado é conhecido como maromba à vácuo, a argila para ser conformada por este método deve possuir um elevado teor de umidade, cerca de 20% a 30%, o vácuo é necessário para retirar o ar existente nos poros da massa argilosa, essa massa é forçada a passar continuamente sob pressão por um bocal que possui o molde desejado, a massa moldada crua sai continuamente da maromba, a mesma é cortada por uma guilhotina de arames, nas dimensões desejadas para a peça cerâmica (ISAIA, 2007).

Quanto ao método de conformação por prensagem, a argila não necessita ter alto teor de umidade, sendo em torno de 7% de água na massa argilosa, a definição deste método, é a compactação de pós com pequena quantidade de água, em uma matriz na forma do produto desejado. Este método gera produtos de ótima qualidade, devido à ausência de bolhas de ar e baixa quantidade de água existente entre os poros da massa, proporcionando uma maior compactibilidade das peças produzidas e uma melhor resistência mecânica. Além destas vantagens, o método de prensagem gera uma alta produtividade, com produtos com excelente precisão dimensional (PUREZA, 2004 *apud* LENGGER 1998).

#### 2.2.5.4 Secagem

Como visto anteriormente, acrescenta-se água a massa argilosa, para a mesma adquirir plasticidade e viabilizar a sua conformação, as peças moldadas e que não sofreram a extração de umidade, são denominadas de cruas, porém, dependendo do método de conformação, as argilas moldadas podem apresentar altas quantidades de água no interior de sua estrutura, sendo necessária à eliminação desta água antes da sua queima, caso isso não ocorra, na etapa de cozimento haverá tensões internas, e conseqüentemente fissuras e trincas nas peças (ISAIA, 2007).

A secagem tem como principal finalidade, a eliminação da água presente nas peças conformadas, esta etapa deve acontecer de forma controlada e lenta, se o processo de secagem for muito rápido, a água da superfície é evaporada, porém, a água que está entre as partículas no interior da peça continua existindo, ocasionando deformações na etapa de queima (ISAIA, 2007).

Com a evaporação da umidade, ocorre o efeito de retração, diminuindo as dimensões das peças, este efeito pode ocasionar defeitos nas peças, de acordo com Petrucci (1973) quanto maior for a quantidade de água utilizada para a conformação das peças, maior será a retração na secagem e queima, assim, produtos fabricados por extrusão terão uma maior retração, do que os produtos feitos sob prensagem.

A secagem pode ser realizada por dois processos: secagem natural e secagem artificial. Podendo a indústria de cerâmica escolher apenas um dos processos, porém, a grande maioria das indústrias utiliza os dois processos simultaneamente.

Na secagem natural as peças moldadas são colocadas em prateleiras, em local coberto e sofrem ação de agentes atmosféricos (ar ambiente, luz solar) para a retirada da umidade das peças, até alcançar o teor de umidade utilizado para a fabricação, que é inferior a 1%, o tempo de permanência das peças nesses locais pode variar de 10 a 30 dias, dependendo das condições climáticas. Já para a

secagem artificial, são utilizados equipamentos que forçam a secagem dos materiais em um menor tempo, porém sempre priorizando uma secagem uniforme em todas as peças, o tempo da secagem por este processo é inferior a três dias. Para este tipo de secagem geralmente as peças ficam em estufas que utilizam o calor residual do forno (40 °C a 150 °C), o processo pode ser contínuo utilizando secador de túnel, ou por batelada (ISAIA, 2007).

#### **2.2.5.5 Queima**

Após a secagem, as peças cerâmicas devem ser cozidas, segundo Bauer (2001) o cozimento ou queima é a etapa mais importante na fabricação de materiais cerâmicos. A argila moldada crua sofre aquecimento, gerando alterações físico-químicas irreversíveis, nesta etapa é que as cerâmicas obtêm as suas propriedades específicas, tais como: resistência mecânica, durabilidade, absorção a água e cor.

Na queima ocorre uma redução nos poros entre as partículas, combinada com uma contração dos blocos, ocasionando assim uma alta união entre essas partículas e gerando a resistência desejada. Já a cor vermelha, característica das cerâmicas vermelhas, é obtida na oxidação do óxido de ferro presente na composição da argila (GOUVEIA 2008 *apud* VAN VLACK 1984).

Entretanto, de acordo com Isaia (2007), não é apenas o monitoramento da temperatura que deve ser considerado nesta etapa, a velocidade de queima, a uniformidade de calor em todo o forno atingindo todas as peças igualmente, a velocidade de resfriamento e o tempo total de queima na temperatura máxima são parâmetros que devem ser controlados para que se obtenha a correta formação dos produtos.

Quanto mais lenta for a queima, menor será a chance de ocorrer defeitos nas peças, porém, maior será o consumo de energia. Se a queima for efetuada de forma rápida, poderá haver uma má formação das peças, afetando a qualidade do produto (PETRUCCI, 1973).

De acordo com Isaia (2007), o processo de aquecimento e queima age da seguinte forma sobre a massa argilosa:

- Na temperatura de 150 °C há a evaporação completa da água livre;
- De 150 °C até 600 °C é retirada a água adsorvida nos poros da argila;
- Após a retirada da água, há a decomposição da matéria orgânica e reações químicas de oxidação, que acontecem na faixa de temperatura entre 600 °C a 800 °C;
- E a última fase é a vitrificação que ocorre da temperatura de 800 °C a 1100 °C.

A queima passa por vários processos até a sua vitrificação, que consiste na formação de um vidro líquido e que pelo processo de capilaridade preenche os poros da massa cerâmica, essa fase fundida ao ser resfriada forma uma matriz vítrea, que transforma as argilas em corpos densos e resistentes. A propriedade de resistência, durabilidade e massa específica, estão ligadas diretamente a formação da fase vítrea, sendo que, quanto maior for a temperatura, maior é a vitrificação (CALLISTR JR, 2008). Na indústria cerâmica vermelha a etapa de queima na maioria dos casos utiliza temperaturas em torno de 900 °C, obtendo produtos porosos e de boa qualidade.

O processo de queima das cerâmicas vermelhas acontece em fornos, que podem ser fornos contínuos, ou em fornos intermitentes.

Os fornos intermitentes são geralmente utilizados em cerâmicas de menor porte, e é queimado um lote de tijolos de cada vez, nestes fornos o calor pode passar pelas peças de forma ascendente ou descendente, os gases entram na câmara de queima, atravessam as peças e são captados por grelhas ou dutos que conduzem os gases até a sua liberação via chaminé. Este tipo de forno apresenta alguns inconvenientes, como: elevado consumo de combustível; baixo rendimento energético; distribuição não uniforme do calor, alta demanda de mão-de-obra,

desgaste da estrutura devido à grande variação calor/frio. Já como vantagem é de fácil construção e baixo investimento (BAUER, 2001).

Os fornos mais utilizados no Brasil são do tipo contínuo, ou seja, quando não há interrupção no processo de queima, entre os fornos contínuos os mais utilizados estão o forno do tipo Hoffmann e o forno de túnel.

O forno do tipo túnel é o mais utilizado nas indústrias de cerâmica vermelha de grande porte, o processo de queima apresenta uma alta qualidade e um melhor rendimento energético, se comparado demais. A cerâmica fica em cima de carrinhos que percorrem o forno em forma de túnel, de forma lenta e gradual, à medida que há o deslocamento a temperatura vai aumentando, a cerâmica passa pelo pré-aquecimento, após chega à zona de fogo onde ocorre a queima e lentamente passa pela zona de resfriamento (ISAIA, 2007).

### **2.2.6 Propriedades da cerâmica vermelha**

Conforme já comentado, ao ser queimada a argila sofre mudanças irreversíveis em sua estrutura físico-química, gerando algumas propriedades específicas das cerâmicas produzidas, as propriedades formadas atendem as necessidades do setor de construção civil, onde a maior parte da cerâmica vermelha (tijolos, blocos e telhas) é utilizada (ISAIA, 2007).

Segundo Saad (2009) *apud* Kiiper (2004), apesar de haver diversos materiais ofertados a construção civil, apresentando diversas propriedades superiores aos produtos cerâmicos, mas apenas tijolos, blocos e telhas desempenham na mesma peça, todos os parâmetros satisfatórios exigidos para as construções.

Entre os materiais das cerâmicas vermelhas utilizadas na engenharia, cada produto possui propriedades específicas, entre as propriedades importantes, deve-se destacar: a resistência mecânica, resistência a altas temperaturas e ambientes severos, a baixa permeabilidade a água, baixa condutividade elétrica e alta durabilidade (CALLISTER JR, 2008).

A seguir são descritas algumas propriedades encontradas nos materiais cerâmicos em geral.

Quando se fala em construção civil, independente se for para a produção de edifícios, casas ou pontes, entre as propriedades que os materiais devam possuir, a mais lembrada e exigida, é possuir alta resistência mecânica. Para se verificar essa propriedade nos materiais cerâmicos, podem ser aplicados diversos ensaios, sendo que os mais utilizados são o de resistência a tração e a compressão (ISAIA, 2007).

Segundo Callister Jr (2008), as propriedades mecânicas das cerâmicas são muito inferiores as dos metais, assim diminuem a aplicabilidade da mesma, geralmente as cerâmicas apresentam muito mais resistência à compressão, do que a forças de tração, porém, tijolos e blocos são capazes de suportar todo o peso, carga e tensão que uma estrutura de uma obra oferece, sendo amplamente utilizados sem prejuízo algum a segurança.

Outro fator que os materiais cerâmicos apresentam é a baixa condutividade térmica, Isaia (2007) afirma que, devido às ligações químicas fortes existentes na estrutura dos materiais cerâmicos, os mesmos se tornam estáveis a altas temperaturas, ataques químicos, se tornando um importante material de isolamento térmico nas construções.

Os materiais cerâmicos são considerados isolantes térmicos, devido a constituir um sistema de regulação de calor, onde o vapor úmido é acumulado em seus poros, e é liberado posteriormente de forma lenta, proporcionando sempre ambientes em condições agradáveis. Esta propriedade de transporte de umidade e de baixa absorção de água das peças cerâmicas torna este tipo de material o ideal para construção de paredes e pisos (SAAD, 2009).

Isaia (2007) *apud* Padilha (1997) afirma que, os materiais cerâmicos possuem uma baixa dilatação térmica, devido a possuir ligações fortes, enquanto existem materiais que sofrem variações em sua estrutura pela ação da temperatura, podendo comprometer a estrutura construída ou a utilização em lugares de extrema temperatura.

Segundo Callister Jr (2008), os materiais cerâmicos possuem alta dureza, devido a vitrificação entre os poros, são relativamente resistentes a deterioração e deformação, na ação de temperaturas altas, agentes químicos fortes e exposição a tensões. Segundo o autor, tanto tijolos e blocos são compostos já corroídos na etapa da queima das argilas, os elementos metálicos e não metálicos se estabilizam, assim sendo, os materiais cerâmicos são imunes à corrosão. Esta propriedade de alguns materiais os torna essencial na utilização de determinada necessidade.

O mesmo autor ainda afirma que, os materiais cerâmicos não sofrem oxidação, pois seus íons já sofreram esta reação na etapa de secagem e queima, devido a isso, apresenta baixa condutividade elétrica.

### **2.2.7 Normas brasileiras para blocos cerâmicos**

A indústria de cerâmica vermelha produz uma grande variedade de produtos, apesar da fabricação não seguir um padrão de qualidade, existe normas a qual estabelece um padrão de comercialização para tijolos, blocos e telhas, entretanto, a seguir serão expostas apenas as propriedades exigidas para a comercialização de blocos cerâmicos, que é o objetivo do presente estudo.

Os blocos cerâmicos possuem diversas formas e possuem furos paralelos em uma das suas faces, a forma dimensional e metrológica dos blocos cerâmicos são controladas pelo INMETRO, seguindo a Portaria 016/2011, a qual, estabelece as condições de comercialização dos componentes cerâmicos para alvenaria. Esta portaria classifica blocos cerâmicos em blocos de vedação e blocos estruturais.

O bloco utilizado na alvenaria de vedação tem a função de suportar o peso da alvenaria que faz parte, já os blocos utilizados na alvenaria estrutural de suportar as cargas já previstas e existentes na estrutura da alvenaria. Uma diferença entre as duas categorias de blocos, é que, nos blocos de vedação os furos podem estar no sentido vertical ou horizontal, porém, nos blocos estruturais os furos das peças sempre são no sentido vertical (ISAIA, 2007).

Além da portaria, os blocos cerâmicos possuem normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, as normas NBR 15.270 de 2005 foram elaboradas pelo comitê de brasileiro de construção civil, sendo dividida em três partes, onde as normas ABNT NBR 15.270-1 e ABNT NBR 15.270-2 definem os termos e fixam os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis para a utilização de blocos de vedação e estruturais em obras de alvenaria, respectivamente. E a norma ABNT NBR 15.270-3, estabelece o método de ensaio para a determinação das características geométricas, da massa seca e índice de absorção de água e da resistência a compressão dos blocos.

Nas tabelas 7, 8, 9, e 10, são representados os limites exigidos segundo a norma NBR 15.270 (ABNT 2005) e a Portaria Inmetro 016/2011, para a comercialização dos blocos cerâmicos nas obras de construção civil. Sendo que, na tabela 7 e 8 estão as principais dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação e estruturais respectivamente, a tabela 9 trás as características físicas exigidas para blocos cerâmicos, entre elas a absorção de água, e finalmente na tabela 10 estão os valores mínimos da propriedade mecânica de resistência à compressão, que os blocos devem apresentar.

Tabela 7 – Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação segundo ABNT NBR 15.270:2005 e Portaria Inmetro 016/2011.

Dimensões nominais do bloco com função de vedação			
Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento do bloco principal (cm)	Comprimento do 1/2 bloco (cm)
9	9	19 ou 24	9 ou 11,5
	14	19 ou 24 ou 29	9 ou 11,5 ou 14
	19	19 ou 24 ou 29 ou 39	9 ou 11,5 ou 14 ou 19
11,5	11,5	24	11,5
	14	24	11,5
	19	19 ou 24 ou 29	9 ou 11,5 ou 14 ou 19
14	19	19 ou 24 ou 29 ou 39	9 ou 11,5 ou 14 ou 19
19	19	19 ou 24 ou 29 ou 39	9 ou 11,5 ou 14 ou 19
24	24	24 ou 29 ou 39	11,5 ou 14 ou 19

Fonte: ABNT NBR 15.270:2005 e INMETRO, 2011.

Tabela 8 – Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação segundo Portaria 016/2011.

Dimensões nominais dos blocos com função estrutural					
Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)			
		Comprimento do bloco	Comprimento do 1/2 bloco	Amarração L	Amarração T
11,5	11,5	24	11,5		36,5
	19	24	11,5		
		29	14	26,5	41,5
14	19	39	19	31,5	51,5
		29	14		44
19	19	39	19	34	54
		29	14	34	49
		39	19		59

Fonte: INMETRO, 2011.

Tabela 9 – Características dos blocos cerâmicos segundo ABNT NBR 15.270:2005.

Características do bloco	Especificação da norma NBR 15.270 (ABNT 2005)
Medidas das faces	Tolerância dimensional de $\pm 5$ mm
Espessura dos septos e paredes externas dos blocos de vedação	septos: espessura $\geq 6$ mm paredes externas: espessura $\geq 7$ mm
Espessura dos septos e paredes externas dos blocos estruturais de paredes vazadas	septos: espessura $\geq 7$ mm paredes externas: espessura $\geq 8$ mm
Espessura dos septos e paredes externas dos blocos estruturais de paredes maciças	septos: espessura $\geq 8$ mm paredes externas: espessura $\geq 20$ mm
Espessura das paredes externas dos blocos estruturais perfurados	espessura $\geq 8$ mm
Desvio em relação ao esquadro	desvio $\leq 3$ mm
Planeza das faces	flecha $\leq 3$ mm
Índice de absorção de água	entre 8% e 22%

Fonte: ABNT NBR 15.270:2005

Tabela 10 – Resistência a compressão mínima dos blocos cerâmicos segundo ABNT NBR 15.270:2005.

Tipo de bloco cerâmico	Resistência à compressão (MPa)
Blocos de vedação utilizados com furos na horizontal	≥ 1,5
Blocos de vedação utilizados com furos na vertical	≥ 3,0
Blocos estruturais	≥ 3,0

Fonte: ABNT NBR 15.270:2005.

### 2.3 Reaproveitamento de resíduos industriais na indústria cerâmica

A indústria é a maior responsável pela geração dos resíduos sólidos. Devido a grande exigência e controle das leis ambientais quanto à disposição final destes materiais poluentes e o alto custo de descarte e tratamento dos resíduos, as empresas buscam alternativas para gerenciar melhor os seus resíduos sólidos gerados. A gestão ambiental busca o desenvolvimento sustentável através do reaproveitamento e reciclagem de seus materiais descartados, neste sentido a melhor alternativa é a utilização dos resíduos na produção de novos materiais (KINLAW, 1998).

Segundo Silva (2010) a indústria cerâmica aparece como a mais viável e de melhor resultado para utilização de resíduos industriais. Esse reaproveitamento de resíduos em outros setores permite além do destino ambientalmente correto, ganhos econômicos com materiais anteriormente inúteis.

A seguir serão citados alguns trabalhos realizados no intuito de estudar a viabilidade da incorporação de diversos tipos de resíduos em cerâmicas.

Silva (2010) estudou a incorporação de uma argila contaminada com hidrocarbonetos, gerada por uma indústria petroquímica de rerrefino de óleos minerais, como matéria-prima na produção de cerâmica vermelha. Foram adicionados teores de 3%, 5%, 10% e 15% em massa de resíduo, os corpos de prova foram sintetizados a temperaturas de 1000 °C, 1050 °C, 1100 °C e 1150 °C. Os resultados foram satisfatórios, as cerâmicas vermelhas com resíduos obtiveram melhores desempenhos em suas propriedades tecnológicas, se enquadrando na

norma para produtos tradicionais. Na questão ambiental não houve grandes concentrações de poluentes nas emissões gasosas e após ensaios de lixiviação e solubilização, a sintetização das composições na temperatura de 1150 °C foram classificados como resíduos inertes. Os resultados indicam a possibilidade de utilização deste resíduo na indústria de cerâmica vermelha.

Figueiredo (2008) incorporou resíduo da manufatura de dióxido de titânio, conhecido como lama de filtros rotativos a vácuo (LFRV), em matriz cerâmica. Houve a caracterização da argila e do resíduo quanto a sua composição química e mineralógica, a incorporação dos resíduos realizou-se em composições de 5%, 10%, 15% e 20% em argila comercial. Os resultados obtidos nos corpos de prova foram bastante satisfatórios, viabilizando a utilização deste resíduo até o valor de 20%, não havendo comprometimento em nenhuma propriedade cerâmica. Em geral os blocos cerâmicos com adição de LFRV apresentaram maior resistência que as cerâmicas em geral, a adição em 15% foi a que apresentou melhores resultados.

Silva (2006) utilizou um resíduo de siderúrgica, conhecido como pó de aciaria elétrica na fabricação de materiais cerâmicos argilosos. Os resultados dos materiais cerâmicos formados pela mistura deste resíduo e argila foram satisfatórios, obtendo-se ganhos no desempenho nas propriedades físicas e mecânicas, tornando essa matéria-prima alternativa viável na produção de telhas e tijolos maciços na construção civil.

Gouveia (2008) adicionou chamote (peças cerâmicas com defeitos) proveniente de indústria cerâmica vermelha, para fabricação de blocos de vedação. A adição de 10% apresentou os melhores resultados em praticamente todas as propriedades cerâmicas analisadas, inclusive para valores de resistência mecânica, mostrando-se a adição preferível para a incorporação.

Rosa (2001) estudou a reutilização da escória de aço inoxidável em materiais cerâmicos, analisando a mobilidade do cromo e os riscos que pode causar em seu ciclo de vida. Os resultados mostraram que a quantidade máxima de escória a ser utilizada deve ser em relação à geração de cromo hexavalente no processo de

material cerâmico, pois o cromo nesta forma é lixiviável, aumentando o contaminante na amostra.

Ribeiro (2010) demonstra que é possível introduzir resíduos sólidos inorgânicos (dregs e grits) gerados na produção de celulose, em materiais cerâmicos tradicionais. Os resultados obtidos mostraram a viabilidade na incorporação deste resíduo em cerca de 10% em massa, promovendo melhorias nas propriedades de resistência dos componentes cerâmicos.

Pureza (2004) avaliou o desempenho de três resíduos diferentes, sendo que todos possuíam baixa granulometria, os resíduos analisados foram: pó de aciaria (resíduos siderúrgicos de produção de aço); resíduos de atomizador de uma indústria de revestimento cerâmico e resíduo do polimento de grês porcelanato. As formulações foram feitas na relação argila/resíduo 5:1, sendo submetidas a queima em mufla, com temperaturas de 800 °C, 900 °C, 950 °C, 1000 °C e 1100 °C. Os resultados dos testes físicos e mecânicos mostraram a viabilidade do uso de todos os resíduos estudados, sendo que o pó de atomizador apresentou o melhor incremento de resistência mecânica.

Biolo (2005) mostrou que a reciclagem do resíduo sólido de fundição – areia verde é perfeitamente possível para a fabricação de produtos cerâmicos para a construção civil. Foram produzidos corpos de provas com a adição de 0%, 5%, 10% e 20%. Sendo submetidos a testes físicos, mecânicos e de periculosidade. A adição de 10% que apresentou os melhores resultados mecânicos, permitindo sua comercialização.

Medeiros *et al.* (2010) incorporou cinzas de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massas cerâmicas. Os blocos foram produzidos por prensagem e queimados em mufla em diferentes temperaturas. Como principal resultado, foi a viabilidade de utilização dos resíduos nas composições de até 25% em temperaturas de 800 °C, 900 °C e 1000 °C.

Andrade (2005) teve resultados satisfatórios no estudo de avaliação do impacto ambiental na utilização de lodo de estação de tratamento de água de

Cubatão (SP), com argilas para a fabricação de blocos cerâmicos, a mistura feita de 7% em peso de lodo, não alterou as características de resistência, as dimensões e a absorção a água dos blocos. Os resultados mostram que os impactos ambientais são pouco significativos na utilização do resíduo. Conclui-se que o lodo de estação de tratamento de água pode ser incorporado como matéria-prima de indústria cerâmica em termos de composição mineralógica, granulometria e plasticidade.

Balaton *et al.* (2002) pesquisaram a incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas cerâmicas. Estes resíduos são conhecidos como lama galvânica é classificados como resíduo perigoso classe I. Foi avaliada a mistura de 2% e 5% em relação aos corpos de provas padrões de argila vermelha. As adições com 5% não são consideradas adequadas ao uso, devido aos sais solúveis presentes na lama formando eflorescência, diminuindo a resistência e aumentando a absorção. Já as composições com 2% mostraram-se satisfatórias, não houve alterações nas características físicas e mecânicas, ocorrendo a inertização dos metais presentes na lama galvânica.

Vieira (2006) incorporou resíduo oleoso gerado pelo setor petroquímico, para produzir cerâmica argilosa. Foram feitas adições de 0%, 1%, 3%, 5% e 10% em peso, produzidos corpos de prova com prensa uniaxial para queima à 900 °C, as propriedades físicas e mecânicas analisadas foram: densidade aparente, absorção em água, retração linear e tensão a ruptura à flexão em 3 pontos. Os resultados indicaram que a incorporação deste resíduo melhorou a qualidade da cerâmica, por reduzir a porosidade.

Menezes *et al.* (2007) demonstraram que é possível adicionar concentrações de até 50% de resíduos de granito e caulim, a massas argilosas. Foram adicionadas diversas proporções a argila, sempre havendo a mistura dos dois resíduos na mesma combinação. Desta forma evidenciou-se que pode acrescentar dois resíduos na mesma produção de cerâmicas, com resultados satisfatórios quanto à resistência mecânica e absorção a água.

Kaminata *et al.* (2008) estudou a incorporação de resíduos têxtil de lavanderias industriais, em massas cerâmicas. Após a adição na proporção de 10%

de resíduo, secagem e queima em mufla e queima em forno de indústria cerâmica. Os resultados mostraram-se insatisfatórios para a mistura que houve queima na mufla, apresentando valores abaixo do limite de resistência exigida. No entanto, para amostras queimadas no forno industrial, os valores estiveram acima dos encontrados para a amostra com apenas argila, dentro do exigido pela norma, viabilizando o destino final deste resíduo.

Moreira (2005) estudou o reaproveitamento de resíduos de rochas ornamentais da região noroeste fluminense, como matéria-prima para cerâmica vermelha. Os resultados mostraram que a mistura de 20% em peso apresentou aumento promissor nas propriedades físicas e químicas (retração linear, absorção em água e resistência a mecânica), podendo ser usado em telhas, tijolos e blocos cerâmicos. Observou-se um forte incremento na resistência a ruptura à medida que a temperatura de queima era aumentada.

Percebe-se que em todos os estudos mencionados acima, os resultados de incorporação foram satisfatórios, com algumas restrições de quantidades e temperaturas, no entanto, os resíduos incorporados sempre melhoraram ou mantiveram as propriedades físicas e químicas dos materiais cerâmicos dentro dos padrões exigidos. Demonstrando assim, a viabilidade da utilização de matérias-primas alternativas na indústria cerâmica.

## **2.4 Resíduos sólidos em estudo: torta do filtro do branqueamento**

O presente estudo visa à utilização de um resíduo sólido originado do refino de óleo e gorduras, pelo processo de branqueamento, utilizando adsorventes para a eliminação de impurezas. Este processo gera uma grande quantidade de resíduo sólido industrial, o qual é descartado em aterros industriais.

### **2.4.1 Processo de branqueamento de óleos e gorduras**

Segundo Perreira (2007), óleos e gorduras podem ser de origem animal e vegetal, possuem inúmeras aplicações, tais como: lubrificantes; tintas; higiene e

limpeza; cosmético; farmacêutico; combustíveis (biodiesel) e em processos industriais. Entretanto, dois terços da produção de óleos vegetais são demandados ao setor alimentício, a grande maioria dos óleos utilizados pelos seres humanos passa pelo processo de refinação, melhorando a sua aparência, cor e sabor (EMBRAPA, 2001).

Segundo Lima (2003) o processo de branqueamento é a operação essencial no refino dos óleos e gorduras, devido à remoção de componentes como: substâncias coloidais, proteínas, fosfatídeos; ácidos graxos livres; polímeros; corantes (clorofila, xantofila); hidrocarbonetos; álcoois; aldeídos, cetonas e alguns ésteres; e substâncias inorgânicas (sais de cálcio e outros metais, silicatos e fosfatos) e umidade, gerando óleos quase incolores.

Segundo Leal (2006), branqueamento é o nome dado a qualquer processo tecnológico que visa remover ou clarear a cor natural de certos materiais, em geral orgânicos, como fibra têxtil, polpa de algodão, celulose, óleos e gorduras vegetais e animais.

As gorduras, em especial, o sebo bovino proveniente de graxarias, contêm alto nível de impurezas, pigmentos, traços de metais, e substâncias que prejudicam a estabilidade do produto. Os principais pigmentos encontrados em gordura bovina são: clorofilas; fosfatídeos; flavinas; carotenóides. Essas substâncias que originam a alta tonalidade de cor amarela e vermelha ao sebo bovino e óleos em geral, havendo a necessidade de aplicar um processo de clarificação para se obter óleos e gorduras com a máxima eficiência, ou seja, com baixo índice de cor, odor e sabor. Para o tratamento destas gorduras o processo mais aplicado é o branqueamento (LIMA 2003).

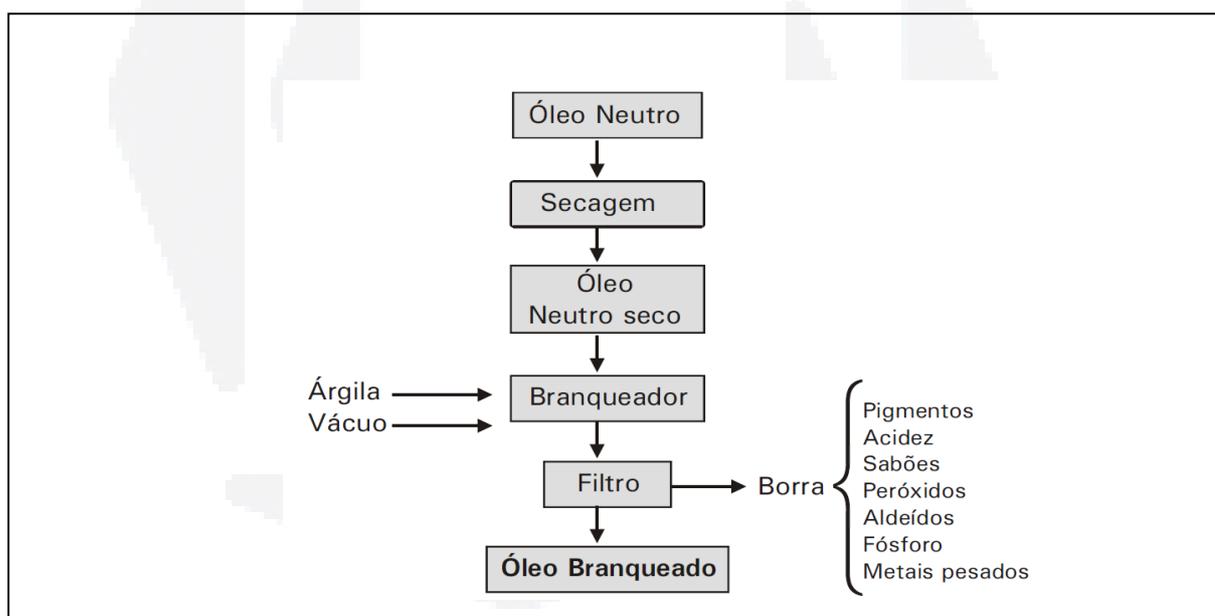
Segundo Leal (2006), o branqueamento pode ocorrer de duas formas: o primeiro é o branqueamento químico, onde é adicionado juntamente com a gordura ou óleo um agente branqueador, estes agentes branqueadores reagem com a gordura, podendo ocorrer reações de redução e oxidação; a segunda forma de branqueamento de óleos e gorduras é a mais utilizada nas indústrias, ocorre a remoção da cor por adsorção. A adsorção tem papel fundamental em separações

de fases de algumas substâncias, em que, a destilação convencional não se mostra eficiente (ALVES 2005 *apud* RUTHVEN 1984). Adsorção é o fenômeno de moléculas em estado líquido que se acumularem em uma superfície sólida, entretanto, sem haver mudança química nas moléculas.

O material adsorvente entra em contato por agitação com os óleos e gorduras, devido a sua porosidade e superfície de contato, retiram as impurezas, os corantes, e metais (LIMA, 2003).

Na figura 5 pode-se observar um fluxograma de um processo de branqueamento.

Figura 5 – Fluxograma do processo de branqueamento de óleos, utilizando argilas como agente clarificante.



Fonte: EMBRAPA, 2001.

#### 2.4.1.1 Materiais adsorventes

Apesar de haver outras formas de clarificação de óleos e gorduras, no Brasil a mais utilizada é o uso recorrente de substâncias adsorventes (LIMA, 2003). Segundo Lopes (2008), a escolha do adsorvente adequado ao processo de separação que se deseja, é o primeiro passo para que se tenha uma adsorção eficiente. Para que se tenha uma boa adsorção deve-se analisar sua composição e

estrutura mineralógica, a sua porosidade, superfície de contato, área superficial e sua afinidade ou não a água (ALVES 2005 *apud* DECHOW 1989).

Atualmente, os materiais adsorventes mais utilizados segundo Lopes (2008) são: argilas clarificantes naturais ou ativadas, carvão ativado e sílicas sintéticas.

#### **2.4.1.2 Carvão ativado**

O carvão ativado é usado pela sociedade há séculos, desde purificação de água até em usos na medicina. A ativação de um carvão altera a estrutura do material, aumentando consideravelmente sua porosidade, área superficial e capacidade de adsorção. Sendo o carvão ativado apolar, tende a ser hidrofóbico e possuir atração por compostos orgânicos, sendo utilizado no clareamento de diversos produtos (ALVES 2005).

Segundo Lopes (2008) o carvão ativado é bem mais eficiente que uma argila ativada, principalmente no branqueamento de sebo, banha e óleos (coco e palmiste). Entretanto, este material adsorvente não é usualmente utilizado, além de reter uma quantidade maior de óleo, que os outros adsorventes, o carvão apresenta um alto custo, em relação às argilas ativadas. É frequente a utilização de carvão ativo juntamente com a argila ativada, obtendo-se resultados muito satisfatório, podendo essa mistura chegar a até 10% em massa.

#### **2.4.1.3 Argila ativada ácida**

As argilas bentonitas são consideradas argilas especiais, possuem vários argilominerais do grupo das esmectita, sendo que entre estes a montmorilonita é o argilomineral predominante, muitos autores consideram bentonitas as montmorilonita. As bentonitas são originadas pelas alterações *in situ* das cinzas vulcânicas ácidas que apresentam 50% de SiO<sub>2</sub>, divide-se esse tipo de argila em dois tipos, as que incham e as que não incham. As bentonitas que incham possuem em sua estrutura o sódio como cátion trocável, o qual proporciona a propriedade da argila se expandir em até 20 vezes quando em contato com a água, já as bentonitas que não incham possuem mesma composição que a citada acima, exceto os cátions

trocáveis que neste caso são o cálcio e o magnésio. Entretanto, ao sofrer um tratamento com ácidos fortes inorgânicos, as bentonitas cálcicas (não incham) adquirem propriedades descorantes, sendo usadas como adsorventes em processos de descoloramento ou branqueamento de óleos minerais, vegetais e animais (SANTOS, 1989).

Neto (2009) afirma que no Brasil existem apenas argilas bentonitas cálcicas e segundo o DNPM o Brasil produz cerca de 2% de bentonitas, em relação a produção mundial, no uso industrial ao sofrerem ativação ácida, as bentonitas sofrem mudanças em suas estruturas, tornando-as mais porosas, com maior área superficial e de boa estabilidade térmica, além destes ganhos Coelho (2007) afirma que, a ativação ácida deve dissolver impurezas presentes nas argilas, efetuar a troca dos cálcios por cátions de  $H_3O^+$  (hidroxônio), e alterar a estrutura cristalina da montmorilonita.

Segundo o mesmo autor a argila ativada ácida, também pode ser produzida a partir de argila esmectita, apesar da esmectita não ser originada de cinzas vulcânicas ácidas, e não possuir um alto grau de montmorilonita, ao passar por reações com água contendo sódio ou cálcio, apresentam propriedades tecnológicas equivalentes as bentonitas sódicas e cálcicas respectivamente, e da mesma forma que as bentonitas, as montmorilonita da esmectita cálcica para apresentar propriedades descorantes, deve sofrer tratamento de ácidos fortes.

#### **2.4.2 Resíduo sólido gerado pelo processo do branqueamento**

Como pode ser visto na figura 5 o processo de branqueamento tem como última etapa, a filtração da mistura constituída pelo adsorvente e pelo produto a ser branqueado. A filtração é feita normalmente com filtro prensa de placa, separando o óleo branqueado, do resíduo gerado pelo processo, geralmente chamado de “bolo” ou “torta” de filtro de branqueamento, também conhecido como “terra do branqueamento” (EMBRAPA, 2001).

Geralmente, a torta da filtragem possui cerca de 30% a 40% de matéria orgânica, pH ácido, presença de metais, além de substâncias oxidantes como os

peróxidos, que foram adsorvidos do produto branqueado. São estimadas 600 mil toneladas por ano de argilas ativadas contaminadas pelo refino de óleo vegetal. O resíduo sólido proveniente dos filtros constitui um grave problema ambiental, não havendo disposição final adequada ao mesmo, o resíduo geralmente é destinado a aterros industriais. A torta do filtro do branqueamento como é usualmente conhecida apresenta forte odor e cor amarela (FOLETTO *et al.* 2003).

Segundo Lima (2003), a torta do filtro do branqueamento, pode ocasionar a contaminação do solo e da água, caso ocorra precipitação, o percolado pode afetar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Apesar de possuir grande carga orgânica, a sua queima em caldeiras é descartada, devido a sua acidez, que ocasionaria corrosão. Inicialmente é descartada a utilização em cerâmicas, à argila quando ativada apresenta baixa plasticidade.

Alguns trabalhos já foram realizados com a finalidade da recuperação e utilização desta argila ativada contaminada.

Foletto *et al.* (2003), utilizando uma argila contaminada do refino do óleo de soja, extraiu o óleo residual com um solvente (hexano), e efetuou-se a ativação da argila com ácido e em diferentes temperaturas. Os resultados obtidos nos testes de branqueamento não foram satisfatórios na maioria das ativações, apenas a amostra que demonstrou clarear o óleo de soja, superando a argila comercializada, foi a argila ativada termicamente a 500 °C. Já LIMA (2003), aplicou a dessorção/extração do óleo residual presente na argila utilizando e comparando solventes eluentes (etanol, hexano, éter de petróleo), sendo o etanol o solvente de melhor desempenho. O trabalho apresentou resultados satisfatórios em relação à remoção do óleo presente.

Souza (2002) visou recuperar a argila utilizada no processo de branqueamento de óleo de soja, primeiramente utilizou três solventes orgânicos para a extração do óleo residual via método Soxhlet, posteriormente fez a ativação da argila termicamente com temperaturas variando de 400 °C a 600 °C. Os resultados encontrados foram satisfatórios para as argilas ativadas até a temperatura de 550 °C se mostraram iguais a argilas comercializadas.

Entretanto, na pesquisa realizada não foram encontradas possíveis utilizações deste resíduo gerado no refino de óleos e gorduras. A regeneração ou reutilização de resíduos industriais é, sem dúvida, a solução ambiental mais atraente, tanto aos geradores, como aos órgãos de fiscalização ambiental (SOUZA, 2002). A gestão ambiental destes materiais geram importantes ganhos econômicos e ambientais a sociedade. O gerenciamento deste resíduo sólido industrial trás uma redução na compra de argila, na minimização nos impactos de extração e no maior aproveitamento da matéria-prima, conseqüentemente haveria um importante ganho ambiental, devido à redução de resíduo industrial perigoso em contato com o meio ambiente (FOLETTTO *et al.* 2003).

#### **2.4.3 Torta do filtro do branqueamento – FONTANA S.A.**

O presente trabalho aborda o estudo da torta do filtro de branqueamento da empresa FONTANA S.A., indústria de sabões e sabonetes. A seguir são detalhadas mais informações sobre o resíduo sólido industrial da respectiva geradora.

Segundo Mussnich (2005) a principal matéria-prima para a fabricação de sabões em barra e sabonetes são os óleos e gorduras animais, em especial o sebo bovino. Esta matéria-prima é proveniente de graxarias sem pré-tratamento, sendo produtos de baixa qualidade. Quando se produz em grande escala, o sebo deve ser refinado e branqueado. O branqueamento mais usado pelas indústrias de sabões é utilizando materiais adsorventes, como já visto anteriormente, este método gera um resíduo sólido industrial, denominado de “torta do filtro de branqueamento”.

O material adsorvente utilizado para o processo de branqueamento de sebo pela empresa Fontana S.A., é a argila ativada ácida da marca Pure Flo Supreme Pro-Active, da empresa Oil-Dri de Chicago – EUA. Segundo a Aboissa (2011), a argila ativada ácida possui propriedades físicas específicas, como: pH na faixa de 2.5 a 3.5; densidade 576 – 768 g/L; umidade de 14 a 17% e partículas menores que 45 microns. A matéria-prima para a fabricação do produto é composta por argilominerais do grupo da esmectita, os argilominerais predominantes nesta argila são a Atapulgita/Montmorilonita. Na tabela 11 é apresentada a composição química,

em óxidos da substância adsorvente. Argilas desta família, além de obter excelente desempenho na remoção de clorofila, cor e fosfolipídios, têm como principal característica a excelente remoção de metais dos produtos branqueados, podendo explicar as quantidades expressivas de metais na torta do filtro de branqueamento.

Tabela 11 – Composição química da argila ativada ácida

Composição química, em óxidos da argila ativada ácida.	
COMPOSTO	% em massa
SiO <sub>2</sub>	70.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.7
CaO	2.2
MgO	6.0
K <sub>2</sub> O	1.2
SO <sub>3</sub>	0.1

Fonte: ABOISSA, 2011.

Na empresa Fontana S.A. a geração mensal deste resíduo sólido industrial, a torta do filtro de branqueamento, é de 30 toneladas ao mês, ou seja, aproximadamente 360 toneladas por ano, o resíduo que é descartado em aterros industriais pode ser visualizado na figura 6. Na tabela 12 pode-se observar a composição do respectivo resíduo, a torta do filtro de branqueamento apresenta as características citadas por Foletto *et al.* (2003), pH ácido, presença de metais adsorvidos do sebo, fenóis e presença de óleos e graxas.

Os dados fornecidos pela geradora são do ensaio realizado no ano de 2002, para a caracterização e a classificação deste resíduo sólido industrial, os ensaios seguiram a norma ABNT NBR 10.004:87, sendo que a mesma já está na revisão 10.004:2004. Nas tabelas são expostos os limites máximos em relação à norma que foram efetuados os ensaios e em relação à norma atual, no intuito de demonstrar que a classificação do mesmo não se alterou com a revisão.

Figura 6 – Visualização da torta do filtro do branqueamento.



Tabela 12 – Composição do resíduo torta de filtro do branqueamento

Certificado de Ensaio nº 96.445/02		
Determinação	Unidades	Resultados
pH (Solução a 5%)	-	4
Fenóis	mg/kg C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0,2
Óleos e Graxas	mg/kg	22,2
Cianetos	mg/kg CN	N.D.
Sulfetos	mg/kg H <sub>2</sub> S	N.D.
Arsênio	mg/kg As	0,21
Bário	mg/kg Ba	218
Chumbo	mg/kg Pb	27
Cromo Hexavalente	mg/kg Cr <sup>6</sup>	2
Cromo Total	mg/kg Cr <sup>6</sup>	4,6
Cádmio	mg/kg Cd	N.D.
Mercúrio	mg/kg Hg	N.D.
Prata	mg/kg Ag	N.D.
Selênio	mg/kg Se	N.D.
Vanádio	mg/kg V	N.D.
Umidade a 105 °C	% H <sub>2</sub> O	18,2
Cinzas	%	4,4

De acordo com dados fornecidos pela empresa, o resíduo caracteriza-se em classe IIA – Não inerte, por apresentar no extrato do ensaio de solubilização, parâmetros acima dos limites máximos aceitáveis pelo anexo G da norma NBR 10.004 estabelecidos para resíduos inertes. Como pode ser visto na tabela 13 os parâmetros acima do limite máximo são respectivamente: surfactantes, sulfatos, alumínio, chumbo, cádmio, ferro e manganês. Portanto, o resíduo efetivamente, não pode ser considerado inerte.

Tabela 13 – Ensaio de solubilizado do resíduo sólido industrial

Ensaio de Solubilização				
Determinação	Unidades	Resultados	Máximos segundo NBR 10.004/87	Máximos segundo NBR 10.004/04
Fenóis	mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	N.D.	0,001	0,01
Surfactantes	mg/l ABS	0,6	0,2	0,5
Cianetos	mg/l CN	N.D.	0,1	0,07
Cloretos	mg/l Cl	41	250	250
Fluoretos	mg/l F	0,65	1,5	1,5
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub>	1.690,00	400	250
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub>	1,04	10	10
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	1.250,00	500	
Alumínio	mg/l Al	4,1	0,2	0,2
Arsênio	mg/l As	N.D.	0,05	0,01
Bário	mg/l Ba	0,07	1	0,7
Chumbo	mg/l Pb	0,16	0,05	0,01
Cobre	mg/l Cu	0,02	1	2
Cromo	mg/l Cr	0,02	0,05	0,05
Cádmio	mg/l Cd	0,01	0,005	0,005
Ferro	mg/l Fe	4,3	0,3	0,3
Manganês	mg/l Mn	1	0,1	0,1
Mercúrio	mg/l Hg	N.D.	0,001	0,001
Prata	mg/l Ag	0,02	0,05	0,05
Selênio	mg/l Se	N.D.	0,01	0,01
Sódio	mg/l Na	64	200	200
Zinco	mg/l Zn	0,78	5	5

Conforme pode ser visto na tabela 14, a torta de filtro de branqueamento não apresentou características de toxicidade, quando submetido ao ensaio de lixiviação, nenhum dos parâmetros esteve acima dos valores máximos exigidos no anexo F da norma ABNT NBR 10.004.

Tabela 14 – Ensaio de lixiviação do resíduo sólido industrial.

Ensaio de Lixiviação				
Determinação	Unidades	Resultados	Máximos segundo NBR 10.004/87	Máximos segundo NBR 10.004/04
Fluoretos	mg/l F	0,5	150	150
Arsênio	mg/l As	N.D.	5	1
Bário	mg/l Ba	0,04	100	70
Chumbo	mg/l Pb	0,08	5	1
Cromo	mg/l Cr	N.D.	5	5
Cádmio	mg/l Cd	N.D.	0,5	0,5
Mercúrio	mg/l Hg	N.D.	0,1	0,1
Prata	mg/l Ag	N.D.	5	5
Selênio	mg/l Se	N.D.	1	1

Segundo o laudo de classificação de resíduo sólido industrial realizado por laboratório de análises credenciado pelo órgão ambiental competente, seguindo a classificação da ABNT NBR 10.004 – CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, o resíduo, torta do filtro do branqueamento ficou caracterizado como: Resíduo classe II A – Não inerte.

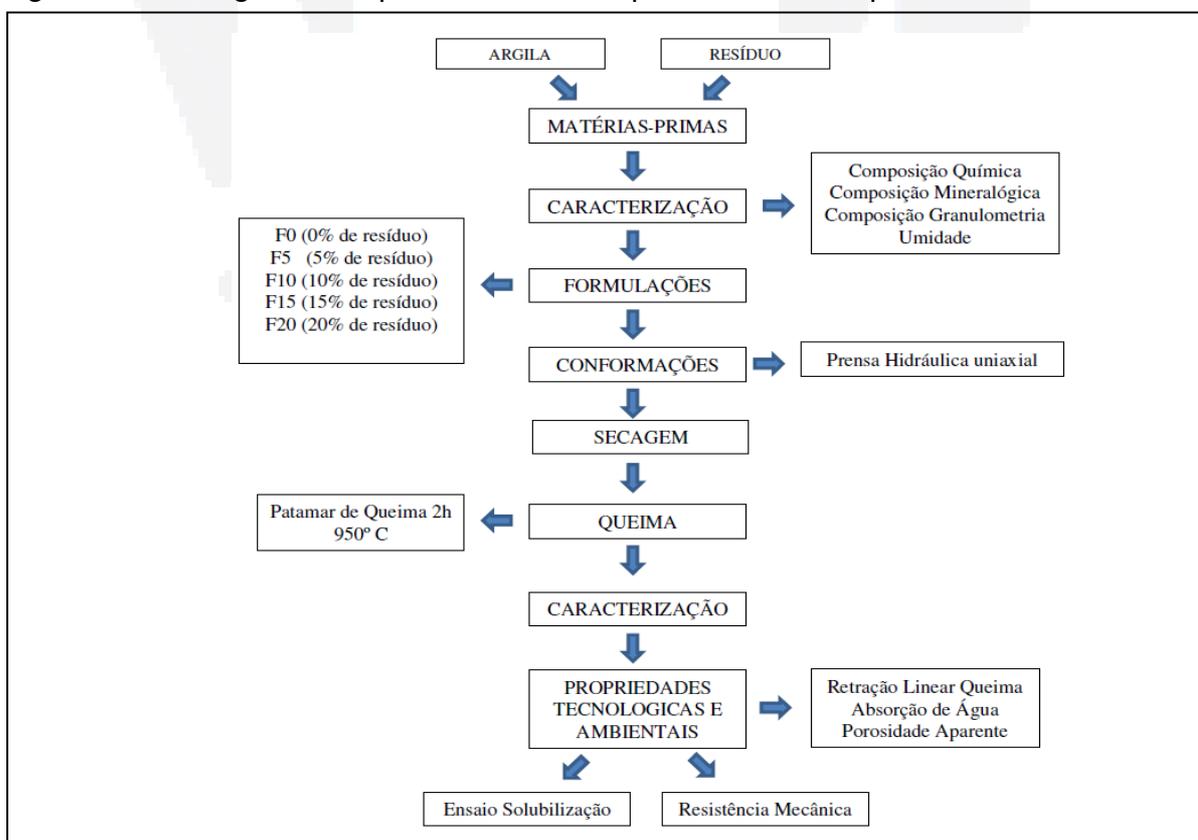
- Não é inflamável;
- Não é corrosivo;
- Não apresenta características de reatividade;
- Não apresenta resto de embalagens e não é produto fora de especificação ou resíduo de derramamento;
- Não apresenta características de toxicidade quando submetido ao ensaio de lixiviação;
- Apresentam, no extrato de solubilização, parâmetros acima dos limites estabelecimentos para resíduo inerte.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são detalhados as matérias-primas utilizadas e os procedimentos adotados para a realização da parte experimental do trabalho.

A figura 7 apresenta o fluxograma onde constam as etapas para o desenvolvimento deste trabalho. O fluxograma contempla as etapas de caracterização de matérias-primas, formulação, conformação, secagem, queima e caracterização dos produtos finais.

Figura 7 – Fluxograma esquemático das etapas utilizadas experimentalmente.



### 3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho, foi utilizada como matéria-prima uma argila vermelha e um resíduo industrial denominado de Torta do Filtro de Branqueamento (TFB). A figura 8 apresenta os materiais utilizados para a realização dos corpos de prova e dos testes.

Figura 8 – Vista da argila vermelha e do resíduo (TFB) utilizado no trabalho



#### 3.1.1 Torta do Filtro de Branqueamento (TFB)

O resíduo industrial utilizado no experimento é proveniente da indústria de sabões e sabonetes FONTANA S.A., localizada no município de Encantado - Rio Grande do Sul.

O resíduo é normalmente conhecido como Torta do Filtro de Branqueamento (TFB), gerado pelo processo de branqueamento de sebo, onde ocorre a clarificação das gorduras animais, utilizando argilas ativadas ácidas para adsorver impurezas.

A coleta do resíduo foi efetuada conforme a norma ABNT NBR 10.007, diretamente no monte de resíduo TFB armazenado após a etapa de prensagem da argila ativada, onde a mesma está saturada com gorduras e impurezas.

### **3.1.2 Argila vermelha**

A argila utilizada no experimento foi coletada no depósito de argila vermelha utilizada para a produção de blocos cerâmicos da Cerâmica Maganin, localizada na localidade de Jacarezinho, no município de Encantado – Rio Grande do Sul.

## **3.2 Métodos**

Para atingir o objetivo do trabalho, adotaram-se métodos de caracterização individual das matérias-primas, sendo analisada a composição química, mineralógica e granulométrica e a umidade das matérias-primas utilizadas no processo.

O trabalho foi realizado utilizando diferentes formulações (misturas). O método de conformação de corpos de prova foi por prensagem, houve a queima dos mesmos, e em seguida foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas dos produtos obtidos. Por fim efetuou-se a verificação da inertização ambiental do resíduo na cerâmica.

## **3.3 Caracterização da matéria-prima**

A coleta das matérias-primas seguiu a norma de amostragem de resíduo – ABNT NBR 10.007. Efetuou-se a secagem natural da argila e do resíduo (TFB) por 48 horas. Posteriormente foram coletadas 500 gramas de cada matéria-prima e enviada para a análise da composição química, mineralógica e granulométrica das amostras.

### **3.3.1 Distribuição granulométrica**

A distribuição granulométrica dos materiais foi medida pelo Laboratório de Sedimentologia da UFRGS, utilizando o método de peneiramento que tem como base à análise de sedimentos grossos e finos. Para a análise dos sedimentos grossos utilizou-se um jogo de peneiras com aberturas em 1 milímetro, seguindo o

método de Wentwort (1922) e Krumbein (1934). Já os sedimentos finos foram analisados utilizando método de decantação (pipetagem), seguindo a lei de Stokes – 1851.

### **3.3.2 Umidade das matérias-primas**

A umidade foi determinada utilizando um determinador de umidade, equipamento da marca Sartourio e modelo MA30, na empresa FONTANA S.A. As amostras de argila e de resíduo foram coletadas e adicionadas no equipamento, o qual tem uma balança acoplada, onde foram calculados os percentuais de umidade presente nas amostras enviadas aos testes.

### **3.3.3 Composição química**

A caracterização química das amostras foi realizada pelo Laboratório de Materiais Cerâmicos LACER – UFRGS. Através da análise de fluorescência em raios-X (FRX), utilizando equipamento da marca Shimadzu, modelo XRF 1800.

### **3.3.4 Composição mineralógica**

A composição mineralógica da argila e do resíduo foi determinada no Instituto de Geociência da UFRGS, pelo Laboratório de Difractometria de raios-X, utilizando o método do pó e o método orientado em equipamento de difração de raios-X (DRX) da marca BRUKER-AXS-SIEMENS, Modelo D5000, ano 1992.

O objetivo desta análise é medir os principais constituintes mineralógicos presentes nas amostras, identificando as fases cristalinas e as propriedades estruturais encontradas.

Segundo Figueiredo (2008), a DRX é a melhor técnica para analisar materiais *in natura*, pois a mesma não apresenta contato direto do analista e não é destrutiva ao material, podendo ser usada em qualquer material composto, como é o caso de um resíduo industrial.

### 3.4 Preparação das matérias-primas

Após a coleta e secagem natural e artificial das matérias-primas realizou-se a moagem das mesmas, onde cada matéria-prima permaneceu por 6 horas em moinho de bolas. Efetuou-se o peneiramento de cada matéria-prima para obtenção de amostras mais homogêneas, para isso foi utilizada peneira, com abertura de 16 mesh (1,19 mm de abertura).

A maioria das indústrias tradicionais não utiliza o processo de peneiramento, porém, optou-se em usar a peneira 16 mesh, por não possuir uma abertura muito fina, restando assim apenas os materiais mais grosseiros, aproximando estes materiais ao máximo da realidade de uma indústria e tornando as matérias-primas mais homogêneas (GOUVEIA, 2008).

Segundo Menezes *et al.* (2002) para se obter um produto final com boas propriedades físicas e mecânicas, deve-se controlar o efeito da temperatura e o processo de mistura das matérias-primas na fabricação dos produtos cerâmicos. Na indústria cerâmica é normal a utilização de massas argilosas bem heterogêneas entre si, por apresentarem essa grande variedade de composições, sendo aceitável a incorporação de grandes quantidades de materiais residuais de vários tipos. Devido a esta característica o presente trabalho estudou a adição de até 20% em peso do resíduo TFB em argila vermelha.

### 3.5 Formulações

Após a preparação das matérias-primas, foram realizadas as formulações seguindo os percentuais indicados na tabela 15.

Tabela 15 – Formulações utilizadas nos ensaios

Formulação	Resíduo (%)	Argila (%)
F0	0	100
F5	5	95
F10	10	90
F15	15	85
F20	20	80

O F na tabela 15 corresponde à formulação, já o número ao lado de F indica a quantidade de resíduo TFB em peso presente na massa argilosa. A formulação F0 encontrada na tabela refere-se à amostra padrão do experimento, ou seja, sem resíduo presente em sua formulação.

As amostras de resíduo foram misturadas em peso, com a argila. Sendo que as dosagens de resíduo foram aumentando de 5% em 5%, até o percentual de 20% de resíduo, misturados na massa argilosa.

Foram acrescentados 10% de água em peso, para umidificar as formulações no intuito de adquirirem plasticidade para uma boa conformação na prensagem. A homogeneização foi feita manualmente, com auxílio de uma colher, conforme se pode visualizar na figura 09.

Figura 9 – Etapa de homogeneização e umidificação das conformações com diferentes proporções.



Com todas as formulações homogeneizadas, efetuou-se à etapa de peneiramento, no intuito de se obter uma massa argilosa granulada, assemelhando-se com o processo de atomização que ocorre nas indústrias (PUREZA 2004). A peneira utilizada possuía uma malha de 100 mesh (com abertura de 0,149mm). A figura 10 demonstra a massa argilosa granulada, após o peneiramento.

Figura 10 – Massa argilosa granulada, pronta para conformação



### 3.6 Produção dos corpos de prova

Após a preparação das formulações com diferentes proporções de matérias-primas, foi efetuada a conformação dos corpos de prova. Foram produzidos 20 corpos de prova para cada formulação indicada na tabela 15, totalizando a produção de 100 corpos de prova no final do experimento.

Os corpos de prova foram conformados no Laboratório de Materiais Cerâmicos LACER – UFRGS. Conforme pode-se visualizar na figura 11 e 12, utilizou-se uma prensa hidráulica uniaxial, de simples efeito, construída pelo próprio LACER, onde os corpos de prova foram conformados em molde de aço inoxidável, com as dimensões de 60 mm x 20 mm e espessura média de 5 mm.

A pressão utilizada pela prensa hidráulica foi de 20 MPa, esta pressão segundo Pureza (2004) é a aplicada em indústrias de cerâmicas de revestimento, que comercializam produtos gerados pelo método de prensagem, sendo a ideal para a conformação de testes deste tipo.

Figura 11– Prensa hidráulica uniaxial de simples efeito.



Figura 12 – Detalhe do molde em aço inox e da massa argilosa granulada, pronta para prensagem (A) e de um corpo de prova prensado (B).



Após os corpos de prova prensados, os mesmos foram identificados quanto a sua formulação e sua sequência de produção. Em alguns casos com auxílio de estilete, foram retiradas as rebarbas existentes nos corpos de prova produzidos.

Figura 13 – Corpos de prova conformados e identificados quanto a formulação e ordem de produção.



### 3.7 Secagem e queima dos corpos de prova

Após a conformação de todos os corpos de prova, os mesmos foram submetidos à secagem, com a finalidade de eliminar a quantidade de água em excesso contida em cada amostra. Aplicou-se a secagem natural e artificial, ou seja, os mesmos ficaram em temperatura ambiente, ao ar livre por 24 horas e posteriormente foram colocados em estufa na temperatura de 110 °C por mais 24 horas, eliminando assim, a água em excesso nos corpos cerâmicos.

Após a etapa de secagem foi realizada a medição dos corpos de prova para posterior cálculo de retração linear a queima, com auxílio de um paquímetro digital

da marca Mitutoyo. Todas as medições foram efetuadas na parte dos corpos de prova onde havia o número e a identificação do mesmo, evitando possíveis distorções, conforme se visualiza na figura 14.

Figura 14 – Medição do comprimento dos corpos de prova, utilizando paquímetro digital.



Os corpos cerâmicos produzidos a partir da prensagem devem ser queimados para adquirirem as propriedades físicas e mecânicas desejadas aos materiais cerâmicos. E uma posterior análise da eficiência dos corpos produzidos.

A queima foi efetuada em um forno elétrico, tipo mufla da marca Elektro, do modelo Linn Elektro Therm. Os corpos de prova foram submetidos a uma temperatura de queima de 950 °C, com uma taxa de aquecimento de 150 °C por hora, até alcançar a temperatura desejada, sendo que, os corpos ficaram no processo de queima com a temperatura desejada por 2 horas. A temperatura escolhida se deve a ser igual à utilizada na olaria onde foram coletas as amostras

de argila, e conforme cita Rosa (2001) é a temperatura mais usual a produtos de cerâmicas vermelhas.

Na figura 15 e 16, é possível visualizar os corpos de prova após a queima na mufla.

Figura 15 – Corpos de prova, após sofrerem o processo de queima em mufla a temperatura de 950 °C.



Figura 16 – Visualização de um corpo de prova, recém tirado da mufla.



### **3.8 Caracterização dos corpos de prova após a queima**

Após a etapa da queima no intuito de verificar a viabilidade da utilização do resíduo TFB em massa argilosa para produção de blocos cerâmicos, os corpos de prova passaram por ensaios físicos (retração linear, absorção de água e porosidade aparente) e mecânicos seguindo a norma ABNT NBR 15270-3. O ensaio de inertização foi visualizado pelos testes de solubilização, seguindo a norma 10.006/2004.

Os ensaios foram realizados nos 20 corpos de prova produzidos para cada formulação, sendo que o resultado final de cada ensaio é baseado na média dos valores obtidos.

#### **3.8.1 Ensaio físico – análise de retração linear de queima**

O ensaio de retração linear foi realizado com auxílio de um paquímetro digital da marca Mitutoyo, a medição dos comprimentos dos corpos de prova foram efetuadas após a etapa da secagem e queima dos materiais cerâmicos produzidos.

Utilizando a variação do comprimento das amostras, foi estabelecida a retração linear ocorrida nos corpos de prova. A análise de retração foi realizada nos 20 corpos de prova de cada formulação, sendo que, o resultado é obtido em percentual, conforme a equação (1):

$$\%RL = \left( \frac{C_i - C_q}{C_i} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

RL: Retração linear

Cq: comprimento do corpo de prova final

Ci: comprimento do corpo de prova inicial

### 3.8.2 Ensaio físico – absorção de água e porosidade aparente.

Para encontrar a absorção de água e a porosidade aparente dos corpos de prova cerâmicos, foi adotado o procedimento baseado na norma ABNT NBR 15270-3, onde é determinado o peso seco (Ps) e úmido (Pu) de cada amostra para determinar a absorção de água das formulações, posteriormente foi determinado o peso imerso (Pi) de cada amostra para determinação da porosidade aparente das formulações.

O ensaio foi realizado no laboratório da empresa Fontana S.A. Conforme figura 17, foi utilizada uma balança analítica de precisão da marca Adventurer Ohaus, modelo AR 2140, para a pesagem dos corpos de prova das diferentes formulações em estado seco e úmido.

Figura 17 – Corpos de prova sendo pesados em estado seco, com auxílio de balança analítica de precisão.



Para a pesagem das amostras úmidas os corpos de prova como pode ser visualizado na figura 18, foram imersos em recipiente plástico da marca Tritec com água por 24 horas, após a retirada dos corpos de prova da água com o auxílio de um pano úmido e limpo, foi retirado o excesso de água e realizado a pesagem dos mesmos na balança analítica de precisão.

Figura 18 – Corpos de prova imersos em água por 24 horas.



Para que fosse realizada a pesagem do peso imerso dos corpos de prova, após os mesmos permanecerem 24 horas imersos em água, cada amostra foi colocada em uma espécie de cesta de metal submersa dentro de um béquer de água de 1 litro, com isso foi possível determinar o peso do corpo estando ele imerso na água.

A diferença de peso dos corpos de prova proporcionou o percentual de água absorvida e de porosidade aparente de cada amostra, conforme cálculo utilizando a equação (2) e (3) respectivamente.

$$(\%)AA = \left( \frac{P_u - P_s}{P_s} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (2)}$$

$$(\%)Pap = \left( \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

AA = Absorção de água

Pap = Porosidade aparente

Pu = peso úmido do CP (g)

Ps = peso seco do CP (g)

Pi = peso imerso do CP (g)

### **3.8.3 Ensaio mecânico - teste de resistência mecânica**

A resistência mecânica dos corpos de prova conformados foi determinada utilizando a metodologia baseada na norma ASTM C – 133/97, os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais Cerâmicos LACER – UFRGS, por técnico habilitado.

Conforme figura 19 e 20 foi utilizado equipamento de ensaio universal SHIMADZU, modelo Autograph AG-X, com célula de carga de 50 kN, porém, para o equipamento determinar a resistência mecânica à flexão em quatro pontos das amostras, efetuou-se a medição com paquímetro digital da marca Mitutoyo da base dos corpos de prova (b) e a altura dos corpos de prova (d) de cada formulação e os dados foram adicionados ao software do equipamento.

Segundo autores como Bertuol (2003), Silva (2006) e Pureza (2004), o teste de flexão a quatro pontos é o mais utilizado em materiais cerâmicos porque a probabilidade de maior falha presente no material se encontra na área dos materiais onde estes recebem a carga mais elevada.

Figura 19 – Equipe do LACER, efetuando o teste de resistência nos corpos de prova.



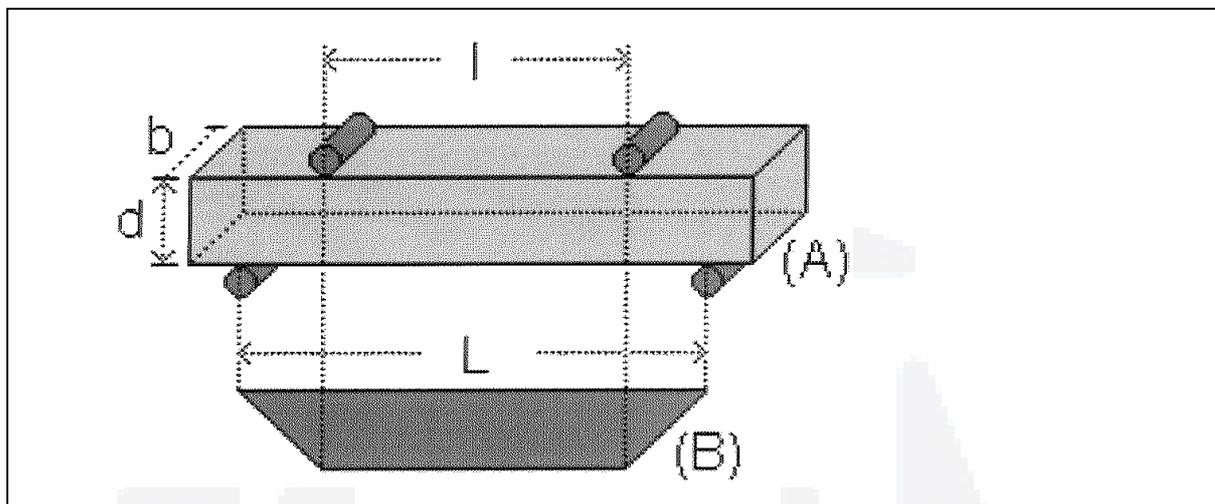
Figura 20 – Equipamento de ensaio universal SHIMADZU, mede à resistência mecânica à flexão em quatro pontos.



A figura 21 expõe uma representação esquemática das disposições dos corpos cerâmicos para a realização do ensaio de resistência. E na figura 22 se

visualiza o corpo de prova disposto no equipamento SHIMADZU, para a realização do ensaio de resistência.

Figura 21– Representação esquemática do teste de resistência à flexão em quatro pontos, disposição dos corpos cerâmicos nos testes.



Fonte: SILVA, 2010.

Figura 22 – Corpo de prova disposto no equipamento, detalhe dos 4 pontos de apoio.



A resistência mecânica foi calculada por software específico do equipamento, utilizando a equação (4):

$$\sigma = \left( \frac{3}{2} \right) \left( \frac{P * (L - I)}{b * d^2} \right) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$\sigma$  = tensão máxima de ruptura (Mpa)

P = carga máxima aplicada (N)

b = base do corpo de prova (mm)

d = altura do corpo de prova (mm)

i = distância entre os apoios superiores (mm)

L = distância entre os apoios inferiores (mm)

### **3.9 Aspecto ambiental**

#### **3.9.1 Ensaio de solubilização dos corpos de prova**

Este ensaio teve como objetivo verificar se o processo de queima dos materiais cerâmicos teve a capacidade de inertizar o resíduo que originalmente é classificado pela norma ABNT NBR 10004 como não inerte.

Os 20 corpos de prova de cada formulação foram acondicionados separadamente em sacos plásticos e encaminhados a laboratório de análise ambiental licenciado junto ao órgão competente estadual (FEPAM).

O ensaio de solubilização das cinco diferentes formulações foi realizado pelo Laboratório ALAC, com matriz em Garibaldi – Rio Grande do Sul, a metodologia utilizada foi baseada na ABNT NBR 10.006 – Ensaio de Solubilização de resíduos.

A análise da segurança e viabilidade ambiental da inertização do resíduo TFB em matriz cerâmica foi realizada através da comparação dos resultados dos parâmetros analisados com a concentração máxima permitida para estes parâmetros em extrato solubilizado de resíduos, definido pelo anexo G da norma ABNT NBR 10.004:2004.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Composições químicas

Os resultados das análises químicas das matérias-primas são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 – Análise composição química

COMPOSTOS	MATÉRIAS-PRIMAS	
	ARGILA (%)	TFB (%)
SiO <sub>2</sub>	49,7081	31,5411
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,6959	9,7117
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,1318	3,4004
TiO <sub>2</sub>	2,6291	0,9503
K <sub>2</sub> O	0,4925	0,0253
MnO	0,2703	0,0940
MgO	0,2251	0,2656
CaO	0,2219	0,1205
ZrO <sub>2</sub>	0,1539	0,0679
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0609	-
SO <sub>3</sub>	0,0600	-
ZnO	0,0468	0,0392
CuO	0,0389	-
SrO	0,0388	0,0326
Rb <sub>2</sub> O	0,0377	0,0364
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0158	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,0625
Perda de Fogo (CO <sub>2</sub> )	11,1725	53,6526
Umidade	25,4200	9,7400

A partir dos dados apresentados, observou-se que a amostra de argila analisada praticamente se constitui de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), com percentuais de 49,71%; 19,69% e 15,13% respectivamente.

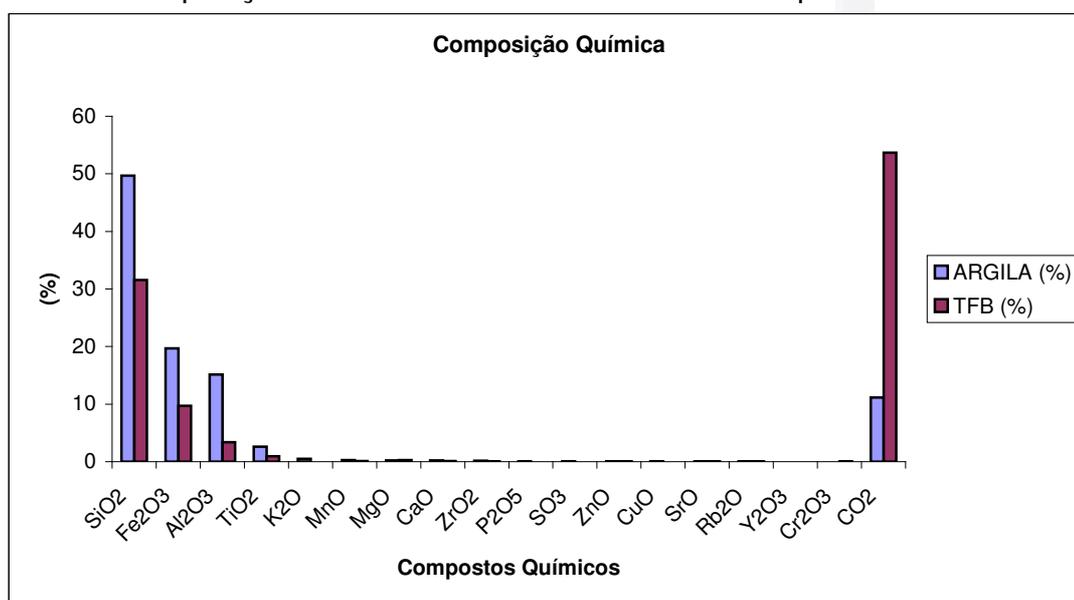
A sílica corresponde a praticamente 50% da composição da amostra de argila estudada, segundo Isaia (2007), argilas que apresentam grande quantidade de sílica, têm grande tendência de apresentarem produtos cerâmicos com baixa retração linear de queima e redução na plasticidade da massa argilosa.

O alto teor de ferro presente na amostra analisada deverá garantir a coloração vermelha no final do processo de queima, pois conforme afirma Gouveia (2008) teores de óxido de ferro acima de 5% indicam que os produtos cerâmicos produzidos terão coloração vermelha.

Segundo Ribeiro (2010), argilas que apresentam altos percentuais de sílica e alumina, se enquadram predominantemente na família caulinítica. Na argila utilizada, estes dois compostos juntos representam 64,84%, a predominância do argilomineral caulinita na argila foi verificada na análise da mineralogia, no item 4.3.

A amostra utilizada de argila e do resíduo TFB possui uma composição química semelhante, essa similaridade se visualiza na figura 23.

Figura 23 – Composição Química das amostras de matéria-prima analisadas



A amostra de resíduo TFB apresenta menor percentual do que a argila em sílica, óxido de ferro e alumina, contendo percentuais de 31,54%, 9,71% e 3,40% respectivamente. O único resultado em que o resíduo apresentou uma maior porcentagem em relação à argila foi o de perda ao fogo.

Na composição química do resíduo TFB, a perda ao fogo (PF) representa um percentual de CO<sub>2</sub> de 53,65%, esse valor se deve ao alto teor de matéria orgânica existente no resíduo, devido à adsorção de gorduras na etapa de branqueamento.

Quanto aos teores de óxidos que tem função fundente, tanto os alcalinos (K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O) e alcalinos terrosos (CaO e MgO), estão em pouca concentração nas amostras estudadas. Essa baixa composição, conforme afirma Gouveia (2008), pode dificultar a formação da fase vítrea na queima dos corpos cerâmicos, muitas vezes exigindo uma maior temperatura de queima.

Em relação à umidade medida nas amostras coletadas, percebe-se que a argila possui uma maior quantidade de água em relação ao resíduo, até pelo resíduo ter sido processado em altas temperaturas e por possuir gorduras presentes.

#### **4.2 Composição granulométrica**

Os resultados da composição granulométrica realizada no Laboratório de Sedimentologia da UFRGS, para a amostra de argila e resíduo, são apresentados na tabela 17, 18 e 19.

Tabela 17 – Análise granulométrica por peneiramento da argila

ARGILA				
Escala (PHI)	Escala (mm)	Material (g)	Freq. Simples (%)	Freq. Acumulada (%)
16	-4	0	0	0
8	-3	0	0	0
4	-2	0	0	0
2	-1	0	0	0
1	0	0	0	0
0,2	1	0,3681	0,501	0,501
0,25	2	6,9512	9,46	9,961
0,125	3	9,8372	13,388	23,3486
0,062	4	5,1206	6,969	30,3173
0,0039	8	34,1528	46,479	76,7964
0,0002	12	17,0499	23,204	100

PHI: escala logarítmica definida por  $(D - D_0)2^{-\phi}$

Tabela 18 – Análise granulométrica por peneiramento do resíduo TFB

RESÍDUO TFB				
Escala (PHI)	Escala (mm)	Material (g)	Fr. Simples (%)	Freq. Acum (%)
16	-4	0	0	0
8	-3	0	0	0
4	-2	0	0	0
2	-1	0	0	0
1	0	0	0	0
0,2	1	0	0	0
0,25	2	0	0	0
0,125	3	0	0	0
0,062	4	0	0	0
0,0039	8	0,0004	0,001	0
0,0002	12	39,5449	99,999	100

Tabela 19 – Resultado das frações presentes nas amostras.

Frações	Argila (%)	Resíduo TFB (%)
Pedregulhos	0	0
Areia	30,3173	0
Silte	46,4792	0,0009
Argila	23,2036	99,9991

A amostra de argila é composta de sedimentos grossos e finos, nos testes realizados esta amostra apresentou granulação silte - arenosa, com uma ampla faixa de diâmetros de suas partículas, apresentando o percentual em peso da fração areia, silte e argila, de 30,32%, 46,48% e 23,20% respectivamente. Estas faixas de

composição indicadas validam a utilização da amostra analisada, pois estão em acordo com o que indica Santos (1989), onde a massa argilosa para a fabricação de blocos cerâmicos deve variar sua composição em 15,00% a 45,00% para a fração argila e 15,00% a 30,00% para fração areia.

Para a amostra do resíduo, segundo o resultado da análise este se constitui por sedimentos muito finos, altamente argilosos, apresentando 99,99% em peso na fração fina, confirmando o esperado, pelo motivo deste resíduo ser originado a partir da utilização de uma argila esmectita no processo de branqueamento.

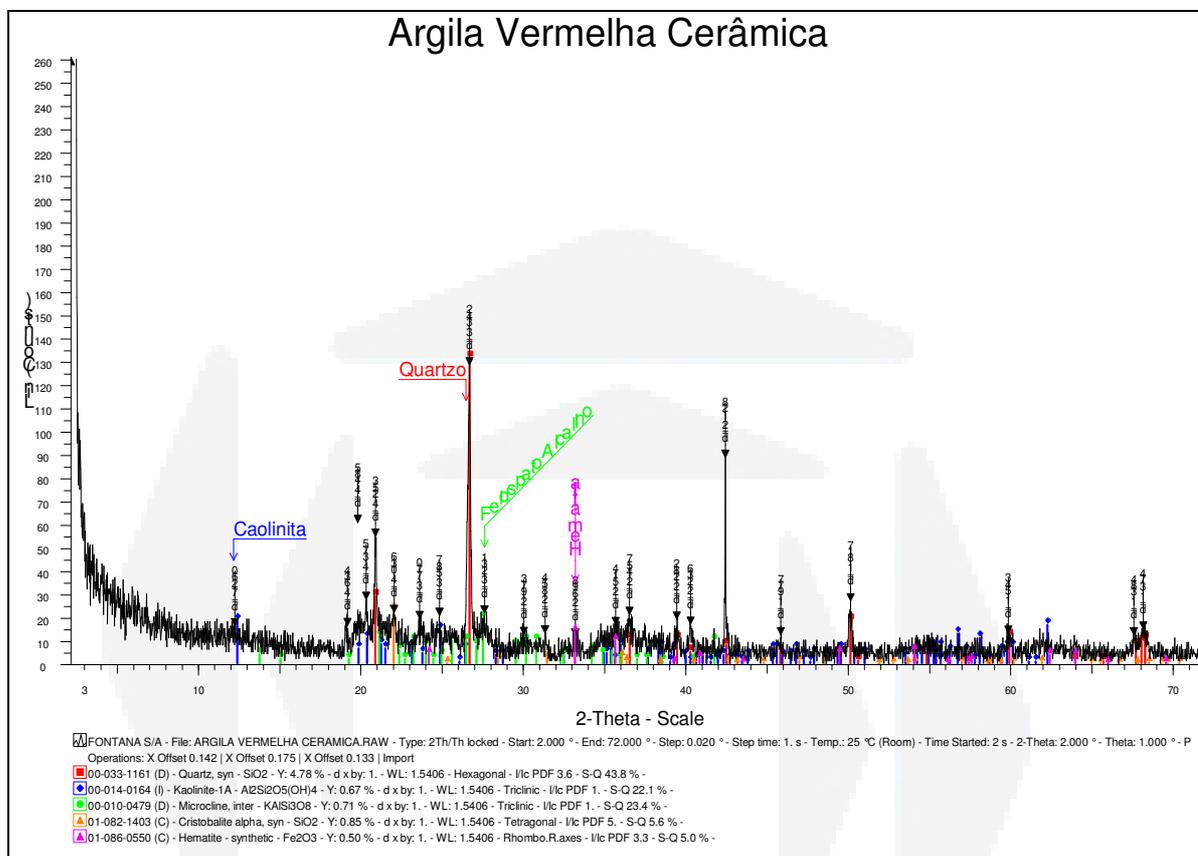
O resíduo, por possuir partículas com diâmetros muito pequenos, apresenta-se como uma amostra super argilosa, podendo assim ajudar na conformação e propriedades físicas e mecânicas dos materiais cerâmicos, segundo Silva (2006), resíduos com baixa granulometria proporcionam vantagens por eliminar a etapa de moagem e ganhos em energia elétrica.

#### **4.3 Composição mineralógica total e caracterização das argilas**

Através da difração de raios-X, pelo método do pó, foi possível identificar algumas fases cristalinas constituintes dos materiais estudados.

Para a argila os resultados obtidos para mineralogia total, estão apresentados na figura 24, onde é possível identificar na composição a presença das fases de quartzo, feldspato alcalino, caulinita e hematita.

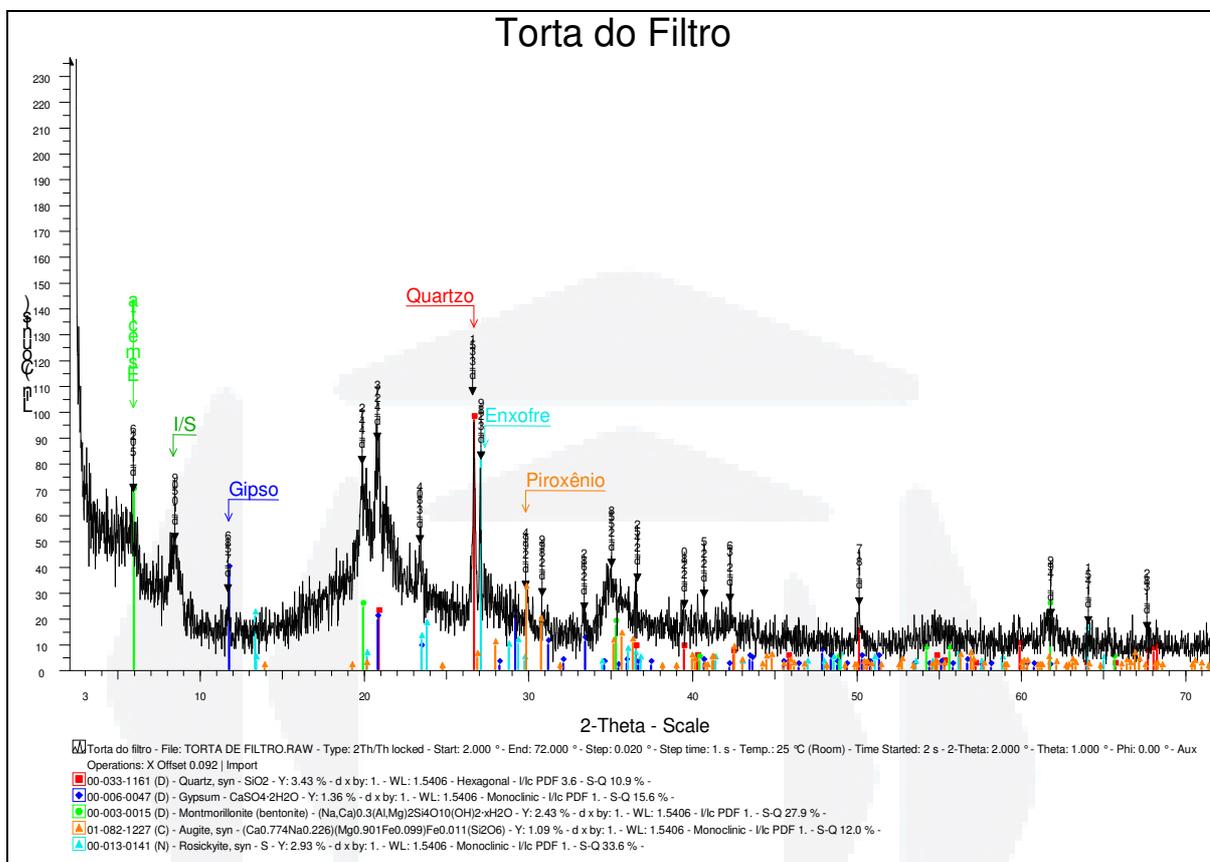
Figura 24 – Difratoograma dos minerais presentes na amostra de argila analisada.



Estes resultados confirmam a análise da composição química desta argila, onde grande parte da amostra é composta por SiO<sub>2</sub> (quartzo), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hematita), além de confirmar a predominância da argila caulinitica (evidenciada pela quantidade de sílica e alumina presentes nos compostos químicos).

Já para o resíduo TFB conforme figura 25, foram encontrados picos no difratograma para os seguintes minerais: Quartzo, Esmeclita, Gipso, Piroxênio e Enxofre.

Figura 25 – Difratoograma dos minerais presente na amostra de resíduo TFB analisada.



Na amostra analisada, há uma predominância de quartzo e o argilomineral esmectita, resultado já esperado, devido à composição química da amostra ter apresentado altos teores de sílica e devido ao resíduo ser originado de uma argila clarificante da família esmectita, utilizada para adsorção de impurezas.

O enxofre presente na amostra possivelmente se deve a presença de compostos sulfurados<sup>4</sup> na composição do resíduo. Esses compostos estão presentes devido a grande presença de ácido sulfúrico que é utilizado para a ativação da argila clarificante, e ainda pela presença de sulfatos como o Gipso que segundo os estudos realizados por Campos *et al.* (2008) ao sofrerem aquecimento se desidratam se reduzindo a enxofre.

<sup>4</sup> Compostos sulfurados ou tio-compostos são compostos orgânicos que possuem um ou mais átomos do elemento enxofre em sua composição (FONSECA, 1992).

É evidenciada a presença de traços de piroxênio, que são silicatos normalmente presentes nas rochas ígneas e metamórficas, sendo de origem da própria constituição da argila clarificante utilizada.

Além das fases cristalinas, foi realizada análise de lâmina orientada, a qual identifica os argilominerais presentes em cada amostra, os resultados obtidos são visualizados nas figuras 26 e 27.

Figura 26 – Difratograma dos argilominerais presente na amostra de argila analisada.

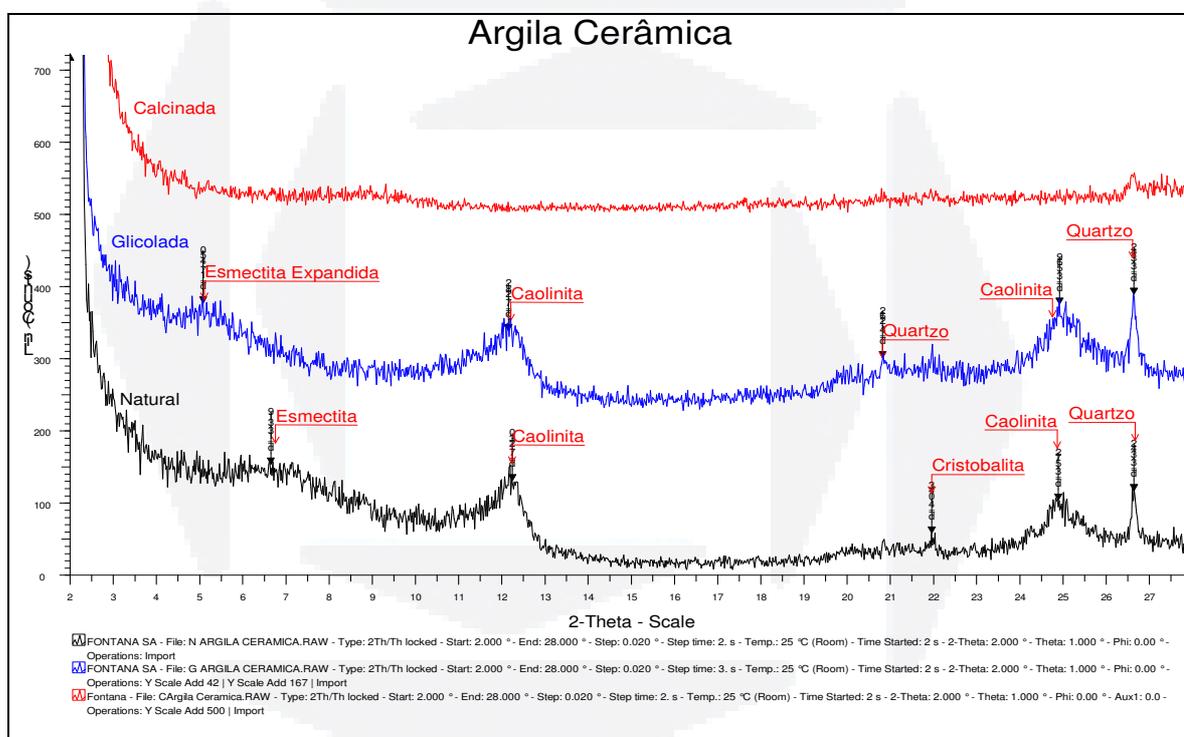
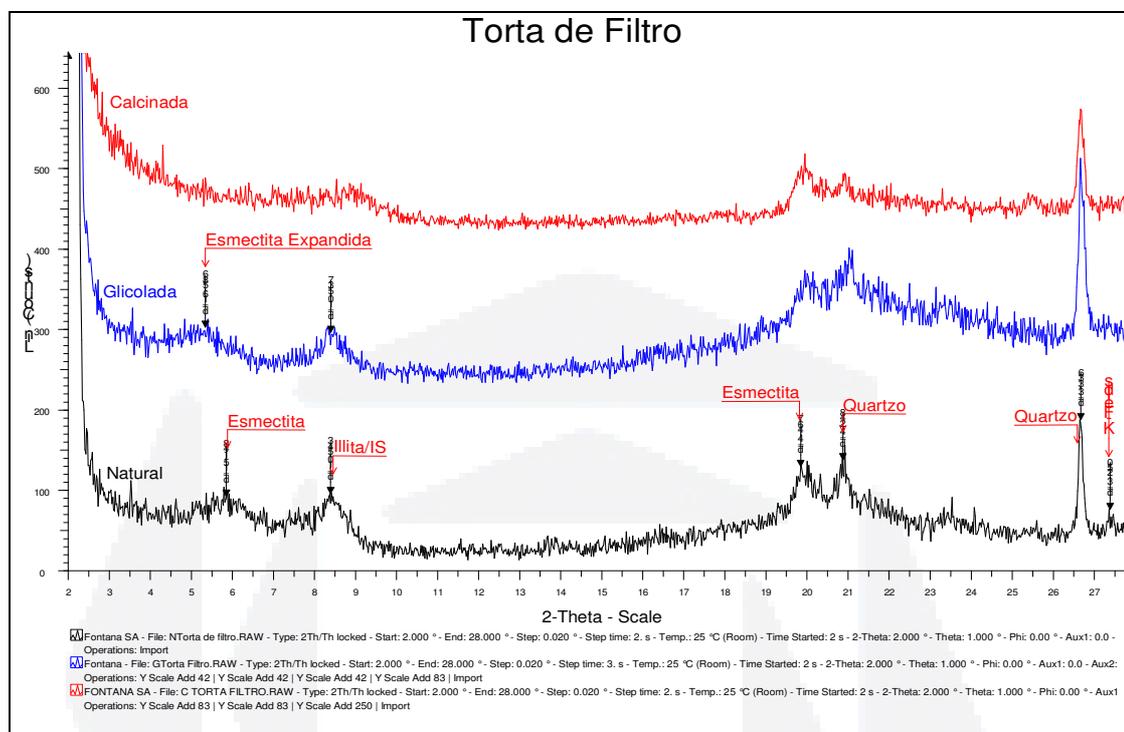


Figura 27 – Difratograma dos argilominerais presente na amostra de resíduo analisada.



Foram realizadas análises com as amostras em três níveis, com a amostra natural, glicolada e calcinada, esses três tipos de amostras conforme indica Campos *et al.* (2008) em seus estudos são efetuadas para analisar o aparecimento de algum argilomineral importante ou de difícil identificação, sendo que na amostra glicolada foram encontrados argilominerais expansivos, já na amostra calcinada se verifica a alteração dos argilominerais no aquecimento, podendo perder suas estruturas características.

Os resultados obtidos confirmam o já comentado acima, onde indicam que a argila é basicamente composta pelo argilomineral caulinita e o resíduo é formado essencialmente por argilominerais da família esmectita.

No gráfico 27, percebe-se que na análise glicolada, há uma expansão da esmectita, confirmando o que Isaia (2007) afirma, que esse tipo de argila tem facilidade em se expandir em contato com a água, podendo causar interferências na fabricação de objetos cerâmicos, devido a aumentar a absorção de água e causar fissuras após a queima.

## 4.4 Ensaio físico

A seguir são apresentados os resultados obtidos para os ensaios físicos realizados nas cinco diferentes formulações estudadas, entre os testes realizados, estão: retração linear à queima, absorção de água e porosidade aparente.

### 4.4.1 Retração linear à queima

Os valores das retrações lineares obtidas são apresentados na tabela 20 e na figura 28, sendo que os resultados são uma média dos vinte corpos de prova conformados para cada formulação.

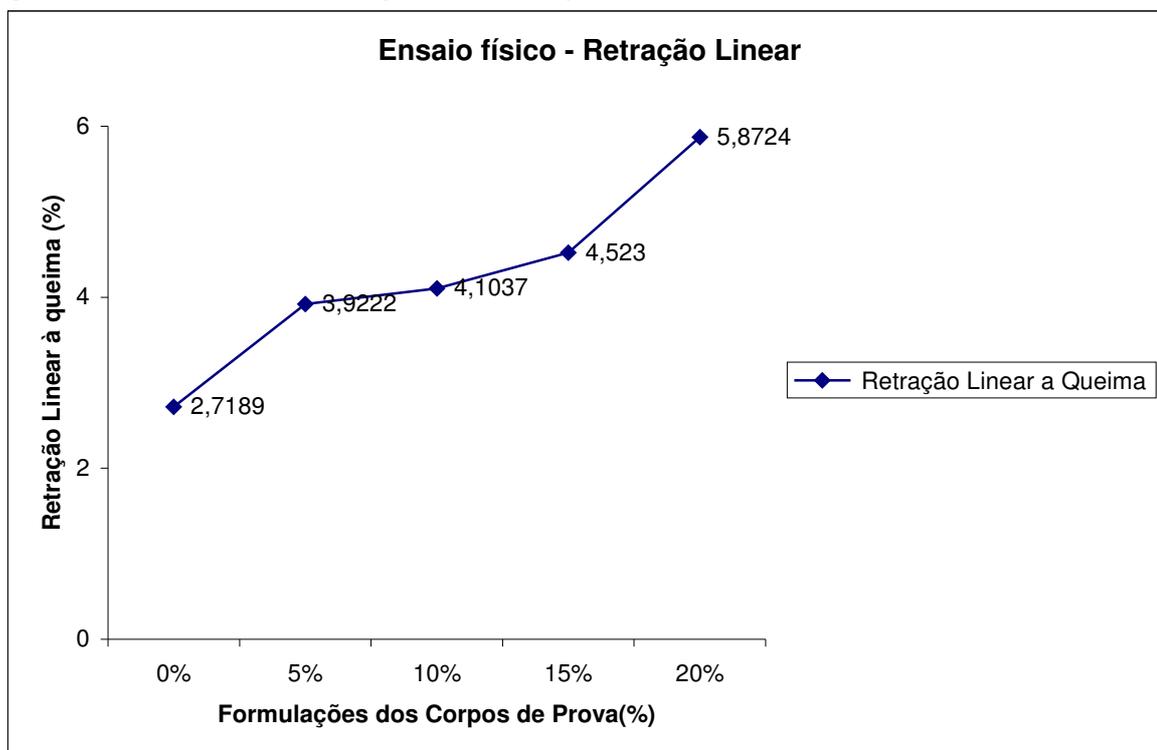
Tabela 20 – Resultados das médias de retração linear para cada formulação.

Formulações	0%	5%	10%	15%	20%
Retração Linear (%)	2,7189	3,9222	4,1037	4,523	5,8724
Desvio Padrão (%)	0,2932	0,2762	0,7734	0,1573	0,3414

Esse parâmetro não é exigido para a comercialização dos materiais cerâmicos, porém, o conhecimento da retração linear ajuda na padronização das dimensões das peças e no controle da qualidade dos corpos cerâmicos.

Na figura 28 observa-se que a retração linear aumenta consideravelmente conforme o aumento da quantidade de resíduo adicionado. Um dos parâmetros que causam esse efeito é a grande quantidade de matéria orgânica existente no resíduo, conforme é apresentado na tabela 6, onde Isaia (2007) afirma que, a matéria orgânica presente na massa argilosa causa aumento de retração, fissuras e diferença de coloração dos componentes cerâmicos.

Figura 28 – Gráfico da retração linear à queima.



Na etapa da queima os compostos orgânicos são degradados em gases gerando espaços na massa cerâmica, ocasionando espaços vazios internos e com isso, uma diminuição de tamanho das peças.

Além disso, a granulometria fina do resíduo, e um excesso de água na etapa de conformação podem ter ocasionado esse aumento da retração linear.

Percebe-se na tabela 20 e na figura 28 que há uma forte tendência do resíduo favorecer a retração linear, sendo que todas as formulações aumentaram suas propriedades de retração em relação ao padrão (0%).

Em nível industrial os objetos cerâmicos produzidos diminuiriam de tamanho consideravelmente após a queima, dificultando uma padronização das dimensões e podendo sofrer com fissuras ou até fraturas das peças produzidas devido à alta retração linear.

#### 4.4.2 Absorção de água e Porosidade Aparente

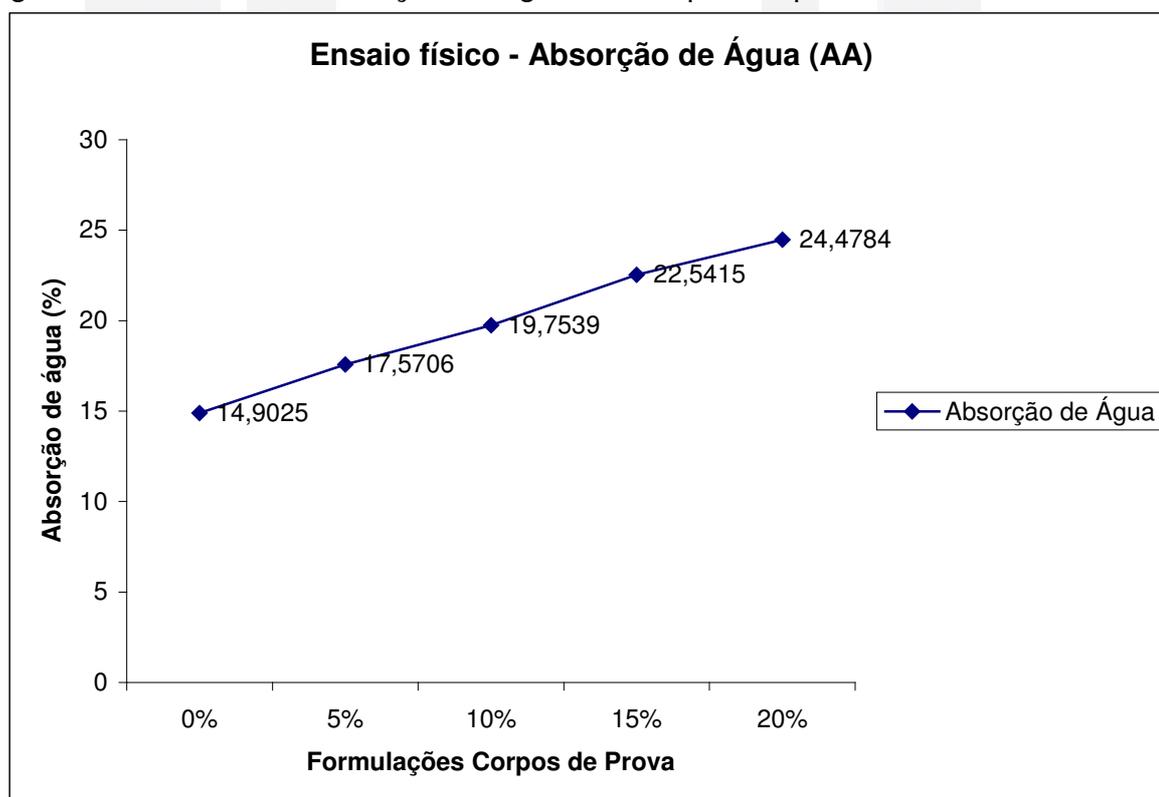
Na tabela 21 são apresentadas as médias dos resultados dos testes de absorção de água dos corpos de prova produzidos para as formulações de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

Tabela 21 – Resultados das médias de absorção de água para cada formulação.

Formulações	0%	5%	10%	15%	20%
Absorção de Água (%)	14,9025	17,5706	19,7539	22,5415	24,4784
Desvio Padrão (%)	0,7231	0,3928	1,4094	0,3210	0,2739

Os resultados obtidos seguem uma tendência de crescimento de absorção de água em relação ao aumento da quantidade de resíduo adicionado na massa argilosa utilizada, visualiza-se essa tendência na figura 29.

Figura 29 – Gráfico da absorção de água dos corpos de prova.



Segundo a NBR 15.270 de 2005, os blocos cerâmicos devem apresentar absorção de água entre 8% e 22% para estarem em conformidade para a sua comercialização. Em relação aos resultados obtidos apenas as formulações de 0%,

5% e 10% estão condicionadas a serem utilizadas para a produção dos corpos cerâmicos.

As formulações de 15% e 20% estão em desacordo com a norma, tendo uma absorção de água acima de 22%, esta alta absorção pode estar associada à degradação de matéria orgânica presente segundo revisão bibliográfica em até 40% no resíduo.

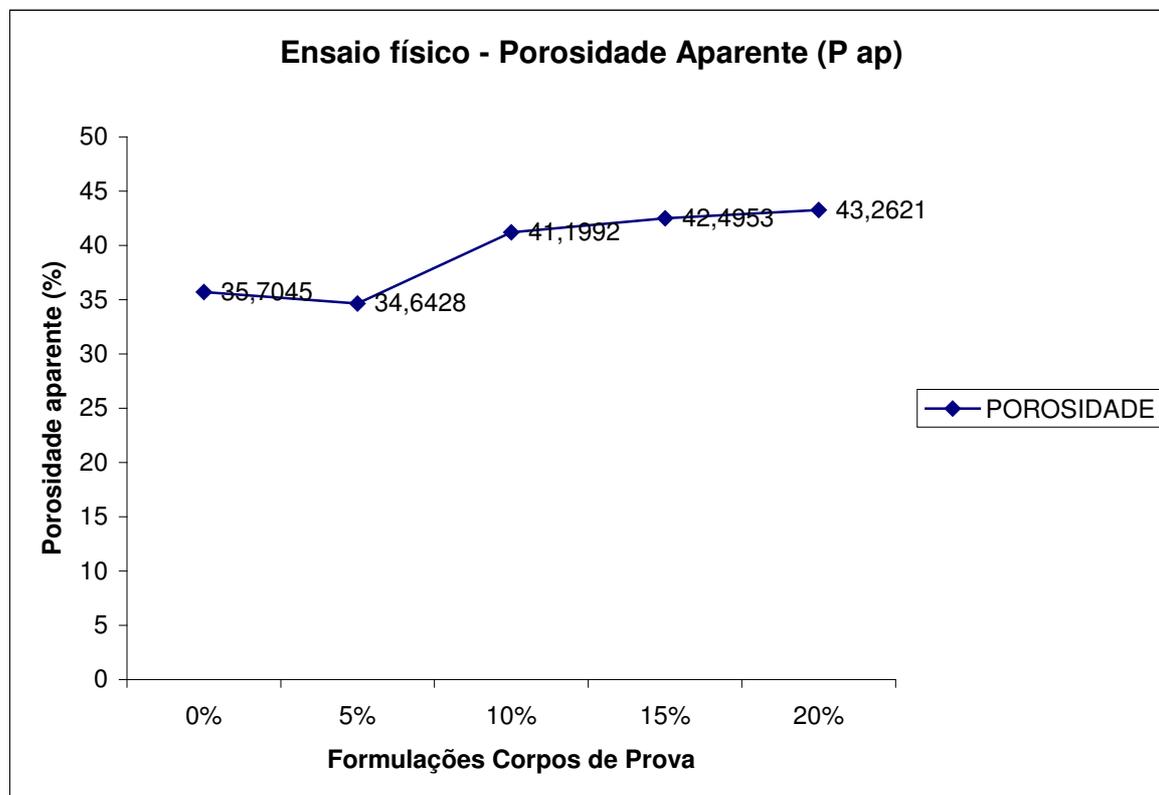
A argila clarificante é um material poroso, o qual se encontra com seus poros saturados de gordura. Após o processo de queima, a matéria orgânica é degradada e os poros da argila esmectita ficam livres, aumentando a porosidade da massa argilosa e conforme comentado anteriormente em contato com a água a esmectita se expande aumentando a absorção de água.

A média da porosidade aparente encontrada nos corpos de prova para cada formulação é apresentada na tabela 22, e observa-se na figura 30, à medida que se adiciona mais resíduo na massa argilosa, há um grande aumento da porosidade nos corpos de prova. Esse aumento se deve aos poros livres existentes após a volatilização da matéria orgânica e a uma baixa vitrificação das peças. A alta porosidade segundo autores como Petrucci (1973), Isaia (2007) e Santos (1989) proporciona alterações físicas e mecânicas nos corpos cerâmicos: quanto maior a porosidade, maior será a absorção de água e menor será a resistência mecânica.

Tabela 22 – Resultados das médias da porosidade aparente para cada formulação.

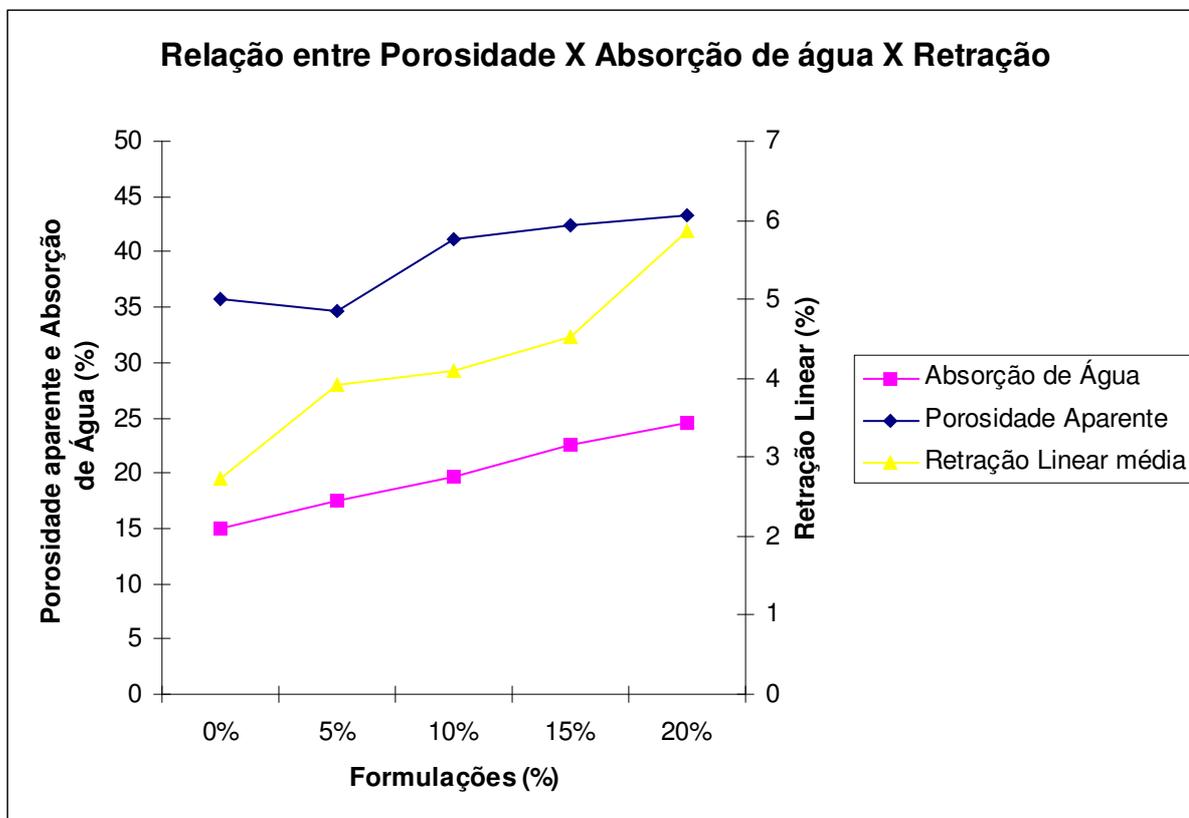
Formulações	0%	5%	10%	15%	20%
Porosidade Aparente (%)	35,7045	34,6428	41,1992	42,4953	43,2621
Desvio padrão (%)	4,5975	5,9723	3,5178	4,3011	3,6270

Figura 30 – Gráfico da porosidade aparente para cada formulação.



Na figura 31, são apresentadas as curvas de tendência da retração linear, da absorção de água e da porosidade aparente encontrada, onde verifica-se que os dois parâmetros físicos têm razão direta com o crescimento da porosidade, sendo que o aumento da porosidade influi em um aumento de retração e absorção de água.

Figura 31 – Gráfico da relação entre porosidade e os parâmetros físicos AA e RL.



Para uma possível melhora da porosidade das peças, deve-se aumentar a temperatura de queima, auxiliando assim a fase de vitrificação. A grande quantidade de sílica conseguirá se fundir formando uma fase líquida, preenchendo os poros vazios e proporcionando uma densificação dos corpos cerâmicos produzidos. Silva (2010), Isaia (2007) e Gouveia (2008) relataram em seus estudos essa tendência da porosidade diminuir à medida que se eleva a temperatura, devido a maior sinterização por via fase vítrea líquida.

#### 4.5 Ensaio de resistência mecânica

Os resultados de resistência mecânica de cada formulação que foram determinados pelos testes de resistência à flexão em quatro pontos, através do equipamento Shimadzu são apresentados na tabela 23.

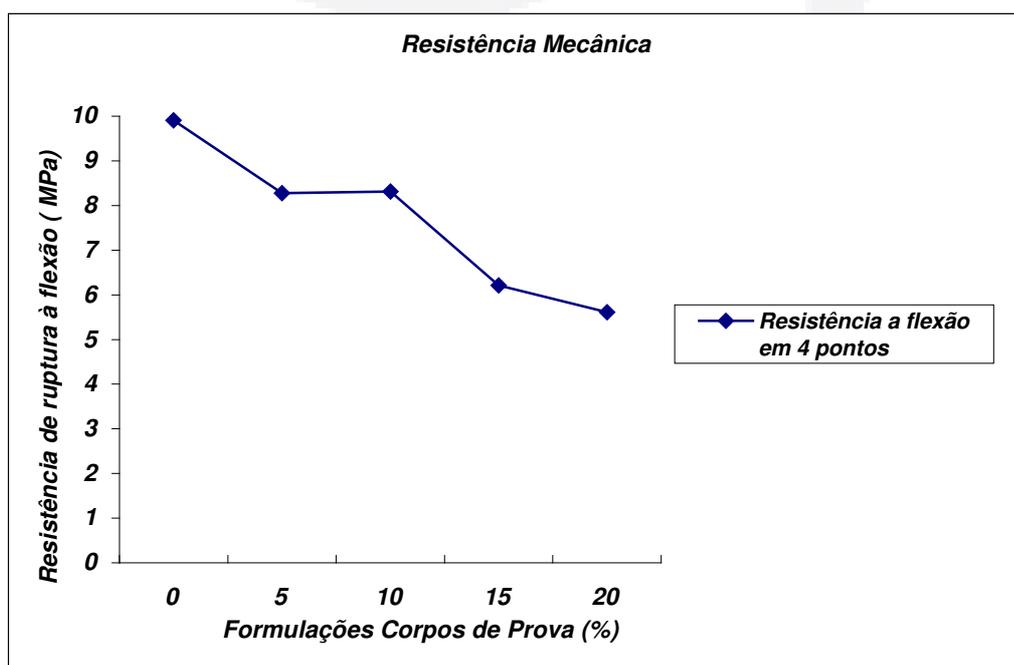
Tabela 23 – Resultados das médias de resistência mecânica para cada formulação.

<b>RESISTÊNCIA À FLEXÃO EM QUATRO PONTOS</b>		
<b>Formulações (% em peso)</b>	<b>Resultado Obtido MPa (Mega Pascal)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>
0	9,91	0,91929
5	8,28	0,72649
10	8,31	1,60106
15	6,21	0,94038
20	5,61	1,69468

Segundo a NBR 15270 – 1 de 2005, o valor mínimo de resistência mecânica em testes de compressão que um bloco cerâmico deve possuir para possibilitar sua utilização corresponde a 1,5 MPa para blocos usados com furo na horizontal e de no mínimo 3 MPa para blocos usados com furos na vertical. Já em relação à resistência à flexão, é estipulado por autores como Isaia (2007) e Santos (1989) o valor mínimo de 5,5 MPa. Analisando a tabela 23, pode-se verificar que os valores encontrados para todas as formulações estão acima do mínimo exigido e estipulado pela norma e pelos autores.

Percebe-se através da figura 32, que a adição de resíduo afeta o comportamento mecânico, pois ocorre um decréscimo de resistência mecânica nos corpos cerâmicos à medida que se aumenta a quantidade de resíduo adicionado.

Figura 32 – Gráfico dos resultados para resistência mecânica em ruptura da tensão à flexão.



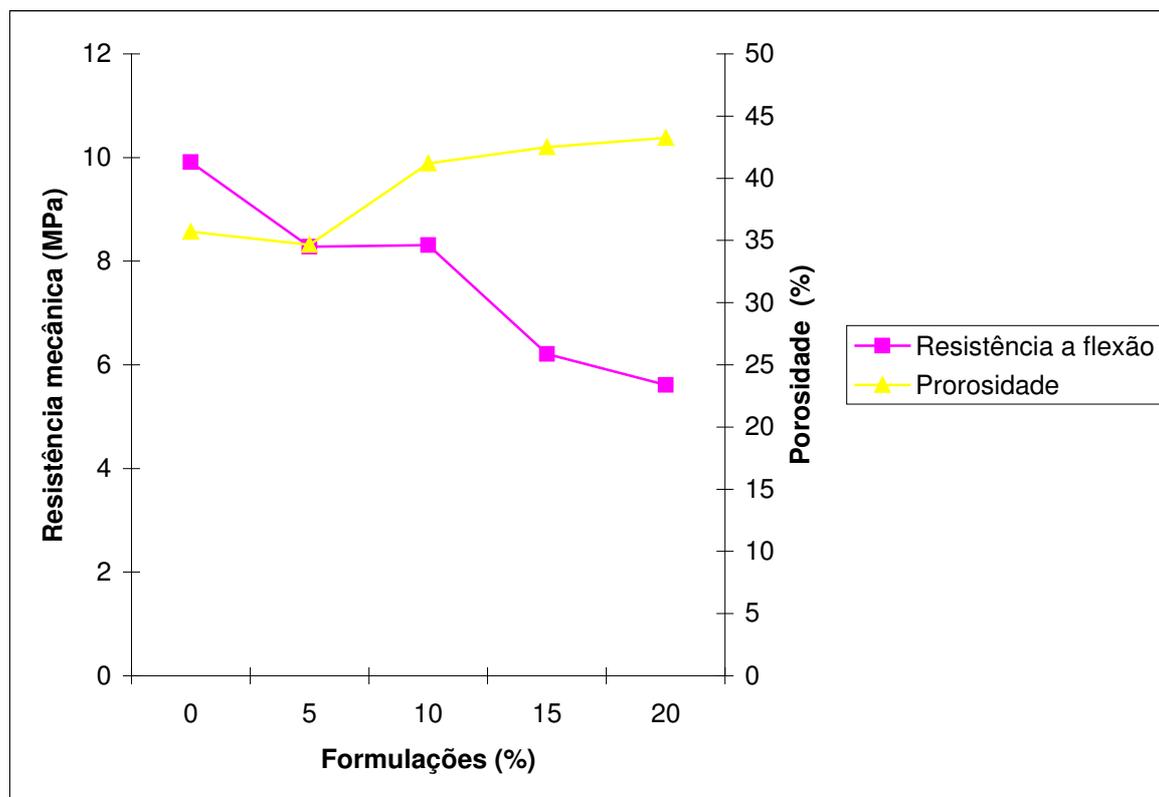
Em nenhuma formulação houve um acréscimo de resistência em relação ao padrão feito apenas de argila. Os percentuais de 5% e 10% apresentaram valores semelhantes, tendo a formulação com 10% um acréscimo em relação à formulação de 5%. Já para as adições de 15% e 20% os valores decaíram consideravelmente, havendo uma perda de resistência em relação ao padrão de 37,34% e 43,39% respectivamente.

Os resultados da resistência mecânica encontrada em relação à adição de resíduo na massa argilosa, conforme já comentado anteriormente, podem estar associados à alta porosidade que o resíduo confere aos corpos cerâmicos. Os resultados encontrados por Ramos (2009) confirmam que a volatilização de matéria orgânica gera poros e o parâmetro mais afetado é a resistência, devido a formação de fissuras e trincas.

Com os resultados encontrados nota-se que a vitrificação foi satisfatória nas conformações efetuadas, porém percebe-se que a adição de resíduos dificulta a fase vítrea de se formar na temperatura utilizada, afetando assim na qualidade do produto.

A figura 33 trás a relação do comportamento da resistência em relação à porosidade, onde se comprova que à medida que a porosidade aumenta nos corpos cerâmicos, a sua resistência mecânica diminui.

Figura 33 – Gráfico da relação entre resistência mecânica e porosidade das peças.



#### 4.6 Desempenho ambiental

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de solubilização, lembrando que os parâmetros analisados são os que estavam com valores acima do limite permitido na análise do resíduo torta do filtro de branqueamento bruto, classificando-o em classe IIA - Não inerte.

Com os resultados é possível analisar a viabilidade e segurança ambiental da incorporação desse resíduo na matriz cerâmica e se houve ou não uma inertização dos parâmetros.

##### 4.6.1 Ensaios de Solubilização

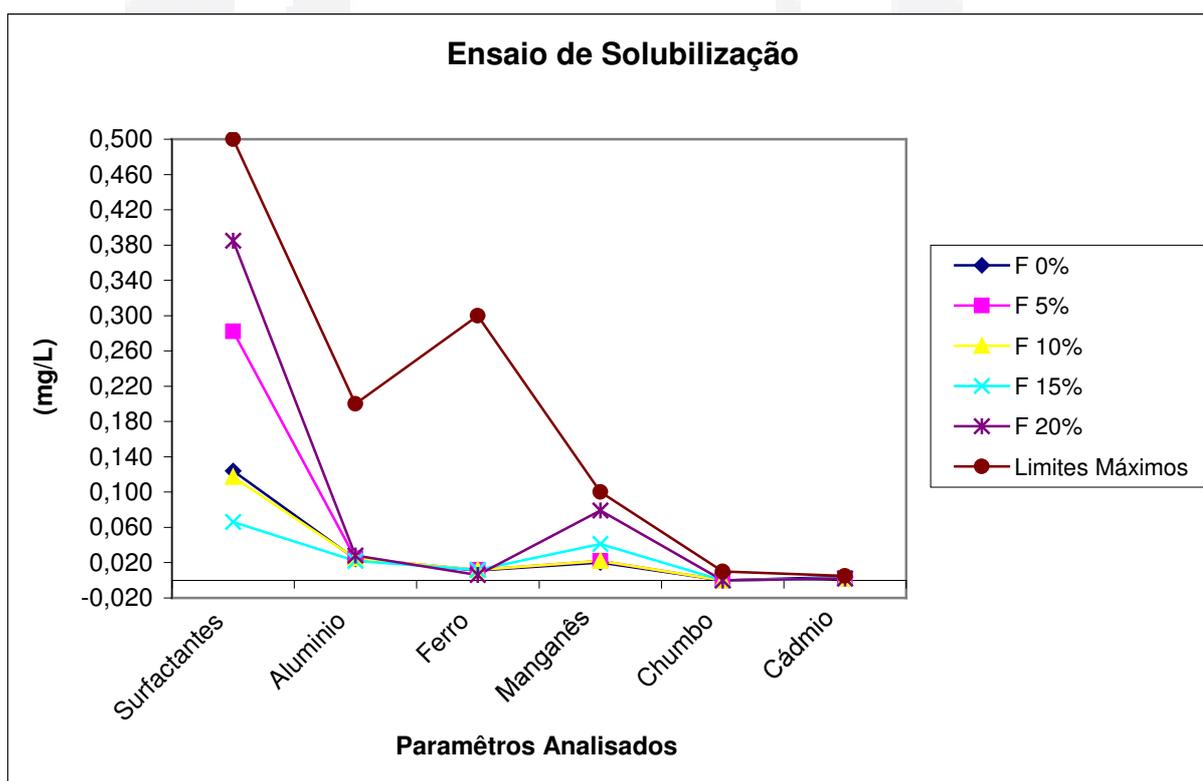
Os resultados dos ensaios de solubilização das diferentes formulações são apresentados na tabela 24 e na figura 34.

Tabela 24 – Resultados obtidos no ensaio de solubilização para cada formulação.

Parâmetros	Unidades	Conformação					Anexo G da NBR ABNT 10.004:2004
		0%	5%	10%	15%	20%	
Surfactantes	mg/L	0,124	0,282	0,117	0,266	0,385	0,5
Alumínio	mg/L	0,024	0,025	0,025	0,022	0,028	0,2
Ferro	mg/L	0,011	0,012	0,012	0,012	0,006	0,3
Manganês	mg/L	0,02	0,022	0,022	0,041	0,079	0,1
Chumbo	mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01
Cádmio	mg/L	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005
Sulfato	mg/L	21,9	16,3	20,4	46,3	46,2	250

N.D. Não Detectado

Figura 34 – Gráfico dos resultados obtidos no ensaio de solubilização.



Visualiza-se na figura 34 que os resultados dos parâmetros analisados para todas as formulações não excederam o limite máximo permitido do anexo G da NBR 10.004, comprovando uma inertização dos parâmetros analisados. Segundo a NBR

10.004:2004 com os resultados obtidos os corpos cerâmicos produzidos são classificados como resíduos não perigosos, classe IIB - Inerte, viabilizando a possibilidade de utilização do resíduo na indústria de cerâmica vermelha, sem que as peças tragam contaminações ao meio ambiente.

Os resultados de cada parâmetro em relação às formulações se apresentaram muito similares, porém, houve um acréscimo de solubilizado nas conformações de 15% e 20%, mas sem exceder o limite exigido na NBR 10.004.

A semelhança dos resultados encontrados é um indício que a queima na temperatura utilizada e solidificação das peças formadas foram eficientes na inertização e imobilização dos compostos analisados, indiferente da quantidade adicionada de resíduo.

## 5 CONCLUSÃO

Após a análise e a interpretação dos resultados dos ensaios das diferentes formulações aplicadas neste estudo, permite-se concluir que é possível a incorporação de resíduo TFB na mistura com argilas para a fabricação de blocos cerâmicos.

Constatou-se, segundo os estudos, que as porcentagens que demonstraram a possibilidade de utilização são de 5% e 10% em peso de resíduo na massa cerâmica. Apesar de não haver um acréscimo nas propriedades tecnológicas dos corpos de prova produzidos em comparação ao padrão, se obteve resultados dentro do que é exigido para a fabricação de blocos cerâmicos.

A utilização do resíduo TFB altera a composição da massa argilosa, à medida que há o aumento da adição de resíduo, há um aumentando da porosidade dos corpos cerâmicos produzidos, como consequência, gera um aumento de retração linear e absorção de água e uma considerável diminuição da resistência mecânica. Esse aumento da porosidade está ligado a quantidade de gordura presente no resíduo, que no processo de queima volatiliza e forma espaços livres nas peças queimadas.

Possivelmente não houve uma boa vitrificação nas peças produzidas, necessitando-se um aumento de temperatura para que haja uma maior formação da fase líquida vítrea e um maior preenchimento dos poros, aumentando assim a qualidade das propriedades tecnológicas dos blocos a serem produzidos.

Com relação à viabilidade ambiental, houve uma inertização de todos os parâmetros que estavam acima do limite estabelecido pelo anexo G da NBR 10.004 no resíduo bruto.

Assim, todas as formulações dos corpos cerâmicos produzidos na temperatura de 950 °C foram classificadas como inertes, viabilizando a incorporação do resíduo da torta do filtro do branqueamento na indústria de cerâmica vermelha para fabricação de blocos cerâmicos, sem que exista perigo de contaminação ao meio ambiente e tornando-se uma excelente alternativa para a destinação deste resíduo.

## 6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A partir da realização do trabalho, é possível fazer as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

Efetuar testes em diferentes temperaturas e avaliar o comportamento das propriedades tecnológicas dos corpos de prova produzidos;

Avaliar o comportamento das propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova com as mesmas misturas, porém utilizando conformação por extrusão (maromba);

Produzir em escala industrial, lotes de blocos cerâmicos com as formulações de 5% e 10% e analisar suas propriedades tecnológicas;

Avaliar a ação das intempéries em blocos cerâmicos produzidos;

Avaliar as emissões atmosféricas dos gases gerados na queima, e avaliar a liberação de enxofre.

## REFERÊNCIAS

- ABC. **Associação Brasileira de Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/site/index.php?area=45>>. Acesso em: 12 out. 2011.
- ABOISSA: **Óleos vegetais**. Disponível em: <<http://www.aboissa.com.br/informativos/espec/pi/pdf/ProActiveP.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2011.
- ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2005. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_2005.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2005.php)>. Acesso em: 02 set. 2011.
- ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2007. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_2007.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2007.php)>. Acesso em: 02 set. 2011.
- ABRELPE. Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2008. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_2008.php](http://www.abrelpe.org.br/panorama_2008.php)>. Acesso em: 02 set. 2011.
- ALVES, Ricardo Wissmann. **Extração de corantes de Urucum por processo adsortivos utilizando argilas comerciais e *colloidal Gas Aphrons***. Tese submetida ao programa de pós graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Fevereiro de 2005.
- ANDRADE, Patrícia de Souza. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estação de tratamento de águas em indústrias de cerâmica vermelha**: Estudo de caso. Dissertação de mestrado para obtenção de título em Mestre em Engenharia Civil, pela Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2005.
- ANDRES, Luiz Fernando. **A gestão ambiental em indústrias do Vale do Taquari**: Vantagens com o uso das técnicas de produção mais limpa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004:** Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10005:** Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10006:** Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10007:** Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1:** Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2:** Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-3:** Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BALATON, Vitor T; GONÇALVES, Paulo S; FERRER, Luciana M. Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas de cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica Industrial**. V.7. p. 42-45, Novembro/Dezembro, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/ceramica.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**. vol 2. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.

BERTUOL, Daniel Assumpção. **Caracterização e utilização do resíduo sólido gerado no acabamento de peças de Zamac como matéria-prima para obtenção de materiais cerâmicos**. Dissertação para obtenção de título de mestre em Engenharia pela UFRGS, porto Alegre, 2003.

BIOLO, Simone Maríndia. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia pela UFRGS, Porto Alegre, 2005.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Disponível: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 10 set. 2011.

CALLISTER Jr, WILLIAN. D. **Ciência e engenharia de materiais** — uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC editora, 2008.

CAMPOS, Patrícia Mauricio; LACERDA, Marilusa P. C; PAPA, Raíssa de A; GUIMARÃES, Edi M; NETO, Samuel F. da C. **Difratometria de raio-X aplicada na identificação de gibbsita e caulinita em latossolos do distrito federal**. IX Simpósio Nacional do Cerrado. Brasília, DF, 2008.

COELHO, Antonio Carlos V; SANTOS, Pêrsio de Souza. Argilas especiais: argila quimicamente modificada – uma revisão. **Revista Química Nova**. vol 30, nº 5, 1282 a 1294 p. São Paulo, 2007.

DONAIRE, Denis. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Editora Atlas S.A. 1. ed. 134 p., 1995.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologia para produção do óleo de soja**: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. Londrina, Paraná, 2001.

ESTY, Daniel C. **O verde que vale ouro**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2008.

FEPAM (a). **Inventário nacional de resíduos sólidos industriais** – etapa Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/rsi.asp>>. Acesso em: 05 set. 2011

FEPAM (b). **Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais no estado do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/rsi.asp>>. Acesso em: 05 set. 2011

FIGUEIREDO, Samia Cordeiro. **Estudo exploratório de incorporação da lama de filtros rotativos a vácuo (LFRV), gerada na *millennium inorganic chemicals*, em uma matriz energética**. Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo, pela Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

FOLETTTO, Edson Luiz; ALVES, Carlos C. Almeida; PORTO, Luismar Marques. **Regeneração e reutilização de uma argila comercial utilizada na clarificação de óleo vegetal**. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2003.

FONSECA, Martha Reis de Marques da. **Química**: química orgânica. São Paulo, Editora FTD S. A, 1992.

FREIRE, Wesley Jorge. **Tecnologias e materiais de construção**. São Paulo: Editora Unicamp, 27-51p., 2003.

GOUVEIA, Fernanda Pereira. **Efeito da incorporação de chamote (resíduo cerâmico queimado) em massas cerâmicas para a fabricação de blocos de vedação para o Distrito Federal –DF**. Um estudo experimental. Dissertação de mestrado em estruturas e construção civil – Universidade de Brasília, 2008.

INMETRO. Instituto nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial. **Portaria Nº 016 de cinco de janeiro de 2011**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001665.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2011.

ISAIA, Geraldo C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Vol 1. 1. Ed. São Paulo, 1699 p., 2007.

KAMINATA, Oswaldo Teruo; TAVARES, Célia R. G.; BENATTI, Cláudia T; RAMOS, Fabricia M. da Silva; Capelasso, Marina. Incorporação de resíduo têxtil de lavanderias industriais na fabricação de blocos cerâmicos de vedação. **Revista Cerâmica Indústria**. V 13. 39-42 p., 2008. Disponível em: <<http://ceramicaindustrial.org.br/search.php?date=0&f=2&search=ap>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

KINLAW, Denis C. **Empresa competitiva & ecológica** – Estratégia e Ferramentas para uma administração consciente, responsável e lucrativa. São Paulo: Editora Makron Books, 239 p., 1998.

KOSTE, Monia Regina. **Um estudo de produção mais limpa de uma indústria de cola de origem animal**. Monografia apresentada para obtenção do título de Bacharel em Administração, do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2003.

LEAL, Denise de Oliveira. **Branqueamento químico in situ de gorduras para fabricação em barra**. Dissertação para obtenção de título em mestre de processos industriais, Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2006.

LIMA, Nélia da Silva. **Recuperação de rejeitos da clarificação de óleo vegetais por dessorção/extração**. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Abril de 2003.

LOPES, Keila da Silva. **Avaliação da etapa de clarificação do óleo de soja através de planejamento composto central e investigação do potencial de melhoria energética no processamento da soja**. Dissertação no curso de Engenharia de Processos Térmicos e Químicos, na Universidade Federal do Paraná. Curitiba –PR, 2008.

MEDEIROS, E. N. M de; SPOSTO, R.M; NEVES, G. de; MENEZES, R. R. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. Utilização da técnica de planejamento. **Revista Cerâmica**. V. 56, 399-404 p. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v56n340/v56n340a14.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

MENEZES, R. R; ALMEIDA, R. R de; SANTANA, L. N. L; NEVES, G.A; LIRA, H. L; FERREIRA, H. C. Análise de co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. **Revista Cerâmica Indústria**. V. 53, 192-199 p. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132007000200014&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132007000200014&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 15 jul 2011.

MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, HEBER C. O estudo da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 6, n.2, p. 303-313, Campina Grande, PB, 2002. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Anuário 2010 - Setor de transformação de não metálicos**. Disponível em: <[www.mme.gov.br/sgm/galerias/.../Anuários/2\\_ANUARIO\\_2010.pdf](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/.../Anuários/2_ANUARIO_2010.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2011.

MOREIRA, J. K. S; MANHÃES, J. P. V. T; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduos de rocha ornamental proveniente do noroeste fluminense em cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica Industrial**. V 51. 180-186 p. 2005.

MUSSNICH, Thiago. **Branqueamento de sebo por adsorção**: avaliação de 3 argilas ativadas da empresa Sud Chemie do Brasil LTDA. Monografia do curso de Química Industrial, pelo Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2005.

NETO, Érico Teixeira. e NETO, Ângela A. Teixeira. Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado. **Revista Química Nova**. V. 10, nº 00. São Paulo, 2009.

PERREIRA, Alessandra Félix da Costa. **Determinação simultânea de acidez, índice de refração e viscosidade em óleos vegetais usando espectrometria NIR, calibração multivariada e seleção de variáveis**. Dissertação de mestrado em Química. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB. 2007.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Materiais de construção**. 11. ed. São Paulo: Editora Globo, 1973.

POPP, José Henrique. **Geologia geral**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC., 2007.

PUREZA, Júlio César Cestari. **Utilização de resíduo industrial de baixa granulometria em massa cerâmica de argila vermelha**: aspectos tecnológicos e ambientais. Dissertação para obtenção de título de Mestre em Engenharia, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

RAMOS, F. M. S; KAMINATA, O. T; TAVARES, C. R. G; BENATTI, C. T; CAPELLASSO, M; INNOCENTI, B, D. Avaliação da técnica de solidificação/estabilização no tratamento de resíduo têxtil – produção de blocos cerâmicos de vedação. **Revista Cerâmica Industrial**. V 55. 408-414 p. 2009

RIBEIRO, Alcídio Pinheiro. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. Tese apresentada a escola politécnica de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 2010.

RODRIGUES, Tirzáh. **Administração de resíduos**: estudo de caso em um supermercado do Vale do Taquari. Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação Especialização em Bases Ecológicas para Gestão Ambiental, do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2003.

ROSA, Maura Alves da. **Caracterização da incorporação da escória de aço inoxidável em materiais cerâmicos quanto a imobilização de cromo**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SAAD, Danielle de Souza. **Aplicação de técnica estatística multivariada em dados de cerâmica vermelha produzida na região central do Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado apresentada ao curso de Pós –Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SANTOS, Pérsio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. V. 1. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989.

SILVA, Miria Cooper da. **Reciclagem de pó de aciaria elétrica como matéria-prima na fabricação de materiais cerâmicos argilosos**: controle das emissões atmosféricas de zinco. Tese de Doutorado - UFRGS, Porto Alegre, 2006.

SILVA, Paula Luciana Pezerra da. **Obtenção e caracterização de cerâmica vermelha utilizando na matéria-prima resíduo argiloso do rerrefino de óleos minerais**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia pela Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOUZA, Carlos Darlan Duarte de. **Regeneração térmica de argilas comerciais para utilização na clarificação de óleo de soja**. Dissertação para obtenção de título em mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2002.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade ambiental** – desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. 1. ed. São Paulo: Editora Pioneira, 137 p., 1995.

VIEIRA, C. M. F; MONTEIRO, S. N. Cerâmica argilosa incorporada com Resíduos oleosos provenientes do setor petrolífero. **Revista Matéria**. v. 11, n. 3, p. 217 – 222, 2006. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10804>>. Acesso em: 02 set. 2011.