



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

FERNANDO ANTONIO DA SILVA FERNANDES

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DO BIODIESEL COMO MATÉRIA PRIMA NA
MASSA DE CERÂMICA VERMELHA: OBTENÇÃO,
CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E
ASPECTOS AMBIENTAIS**

**PALMAS – TO
2014**

FERNANDO ANTONIO DA SILVA FERNANDES

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DO BIODIESEL COMO MATÉRIA PRIMA NA
MASSA DE CERÂMICA VERMELHA: OBTENÇÃO,
CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E
ASPECTOS AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins
para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra.

**PALMAS – TO
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Palmas

F363a Fernandes, Fernando Antonio da Silva.
Adição de resíduo do biodiesel como matéria prima na massa de cerâmica vermelha: obtenção, caracterização das propriedades tecnológicas e aspectos ambientais. / Fernando Antonio da Silva Fernandes. - Palmas, 2014.
73 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, 2014.
Orientador: Dr. Juan Carlos Valdés Serra.

1. Resíduo de Biodiesel. 2. Cerâmica Vermelha. 3. Propriedades Mecânicas.
4. Ácido Graxo.

CDD 662.669

Bibliotecária: Emanuele Santos
CRB 2 - 1309

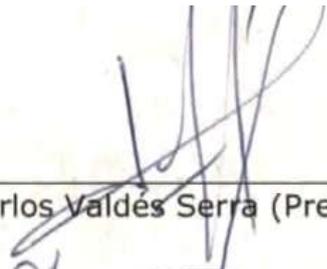
TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

FOLHA DE APROVAÇÃO

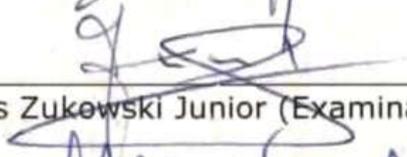
FERNANDO ANTONIO DA SILVA FERNANDES

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DO BIODIESEL COMO MATÉRIA PRIMA NA
MASSA DE CERÂMICA VERMELHA: OBTENÇÃO,
CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E
ASPECTOS AMBIENTAIS**

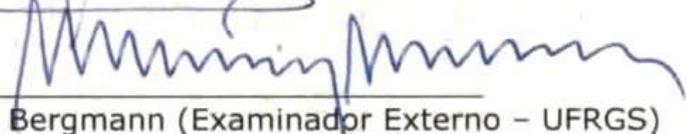
Data da defesa: 12/02/2014



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra (Presidente- UFT)



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Examinador Interno - UFT)



Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann (Examinador Externo - UFRGS)

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço,

A Deus, em primeiro lugar, por me propiciar uma vida com saúde e a possibilidade da realização deste trabalho e me fazer sempre acreditar que seria possível realizá-lo.

Aos amigos e professores Juan Carlos, Joel Zukowski, Carlos Bergmann pela orientação e conselhos, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Professor doutor Carlos Bergmann pelo apoio a mim e a este trabalho.

Ao Laboratório de Materiais Compósitos da Universidade Federal do Tocantins, pelo suporte despendido.

Ao Rômulo, proprietário da Cerâmica Tocantins - CERTO (Miracema do Tocantins/TO), por todo o apoio e suporte na hora mais difícil deste trabalho.

Ao Laboratório de materiais Cerâmicos da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

À Granol, pela ajuda e parceria.

Aos meus pais Raimunda Célia e Antonio do Vale, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e pelos valores a mim passados.

À minha amada Rosa, pela dedicação, paciência, compreensão, pelo amor a mim sempre demonstrado e pela felicidade que me propicia e me faz sempre acreditar nos meus sonhos.

As minhas filhas Krissia e Thamara, pela paciência e compreensão pelas noites onde não passeamos devido à dedicação neste trabalho de seu pai.

A todos os familiares e amigos, pelo exemplo de união, respeito, solidariedade e amor, pelo qual trilho meus caminhos.

Ontem passado.

Amanhã futuro.

Hoje agora.

Ontem foi.

Amanhã será.

Hoje é.

Ontem experiência adquirida.

Amanhã lutas novas.

Hoje, porém, é a nossa hora de fazer e de construir.

(Trecho do poema de Espírito Emmanuel,
psicografado por Chico Xavier)

RESUMO

O trabalho investigou adição de um resíduo resultante do processo de produção do biodiesel, na argila vermelha para obtenção de uma massa cerâmica com propriedades específicas para produção de peças cerâmicas para uso na construção civil. O resíduo utilizado foi o ácido graxo, gerado na etapa de tratamento da glicerina, o material foi cedido por uma indústria produtora de biodiesel na cidade de Porto Nacional/TO. A argila utilizada como matriz cerâmica foi retirada de uma jazida de lavra mineral de uma indústria localizada na cidade de Miracema do Tocantins/TO. O resíduo e argila foram caracterizados quanto a sua composição química, mineralógica e granulométrica. Para avaliar a influência da adição do óleo nas propriedades tecnológicas dos corpos cerâmicos produzidos, foram desenvolvidas quatro formulações com adição de óleo 0%, 0,5%, 1% e 1,5%. Os corpos de prova foram submetidos à temperatura de queima de 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C. A taxa de aquecimento foi de 150° C/h, com patamar de 6 horas. Após o processo de queima os corpos de provas cerâmicos foram caracterizados quanto a suas propriedades tecnológicas: absorção de água, porosidade aparente, retração linear e resistência mecânica à flexão a quatro pontos e compatibilidade ambiental, onde o ensaio de lixiviação preconizado pela NBR 10.005. Nenhuma das formulações ultrapassou o limite estabelecido, no ensaio de solubilização preconizado pela NBR 10.006, a exceção do alumínio, nenhum outro elemento ultrapassou o limite estabelecido pela NBR 10.004 que preconiza os limites para emissões gasosas, apesar de o Al estar acima do estabelecido, todas as formulações foram classificadas como Classe II A – Não Inerte. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho a adição do ácido graxo em material cerâmico é viável do ponto de vista tecnológico e ambiental, desde que respeitando os percentuais sugeridos e observando os parâmetros de processamento indicados (temperatura e patamar de queima) no estudo investigativo.

Palavras-chave: Resíduo de Biodiesel, Cerâmica Vermelha, Propriedades Mecânicas, Ácido Graxo.

ABSTRACT

The study investigated the addition of a residue from biodiesel production, the red clay for obtaining a ceramic body with specified for production of ceramic pieces for use in construction process properties. The residue was used fatty acid generated in the treatment of glycerin step the material was donated by an industry producing biodiesel in the city of Porto Nacional / TO. The clay used as ceramic matrix was drawn from a reservoir of mineral mining from an industry located in Miracema / TO. The residue and clay are characterized for their chemical, mineralogical composition and particle size. The influence of the addition of oil to the technological properties of the ceramic bodies produced four formulations were developed with the addition of oil 0%, 0.5% , 1% and 1.5%. The specimens were subjected to firing temperature of 700° C, 800°C, 900°C and 1000°C. The heating rate was 150°C/h, with the level of 6 hours. After the process of burning the bodies of ceramic tests were characterized for their technological properties : water absorption , apparent porosity , linear shrinkage and flexural strength four points and environmental compatibility , where the leaching test recommended by the NBR 10.005; no formulations exceeded the limit set in the test advocated by solubilization NBR 10.006, except aluminum , no other element has exceeded the limit set by NBR 10.004 which establishes the limits for gases emissions, although the Al being set up , all formulations were classified as Class II A - Not Inert . According to the results obtained in this study the addition of the fatty acid in ceramic material is feasible from a technological and environmental perspective, since the suggested percentage respecting and observing the processing parameters indicated (level of temperature and burning) in the investigative study.

Key-words: Waste Biodiesel, Red Ceramics, Mechanical Properties, Fatty Acid.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Absorção de água e resistência mecânica conforme as normas técnicas	07
Tabela 02 - Composição química e os valores encontrados no ácido graxo.	31
Tabela 03 - Fluorescência de raios X da argila.....	32
Tabela 04 - Análise granulométrica por difração a <i>laser</i> da argila após moagem.	34
Tabela 05 – Formulações de argila e óleo (% em peso).....	35
Tabela 06 – Corpos cerâmicos queimados em diferentes temperaturas	41
Tabela 07 – Resultados dos ensaios de lixiviação das formulações queimadas na temperatura de 1000°C	45
Tabela 08 – Resultados dos ensaios de solubilização das formulações queimadas na temperatura de 1000°C	45
Tabela 09 – Resultados da água de lavagem das formulações da queima na temperatura de 1000°C	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxograma sintetizado da cadeia produtiva da cerâmica vermelha.	09
Figura 02 – Equipamento para extrusão.	12
Figura 03 - Mesa de corte das peças extrusadas.	13
Figura 04 - Túneis para secagem forçada.....	14
Figura 05 - Panorama do biodiesel.	19
Figura 06 - Principais oleaginosas para produção de biodiesel.	20
Figura 07 – Percentual das Matérias Primas Utilizadas na Produção do Biodiesel.	21
Figura 08 - Distribuição de ácidos graxos de alguns óleos e gorduras.....	22
Figura 09 - Processo de produção de biodiesel.	23
Figura 10 - Aplicações genéricas da glicerina a nível industrial.....	24
Figura 11 - Esquema reacional da desidratação da glicerina para formação da acroleína e do acetol.....	25
Figura 12 - As três fases formadas na hidrólise ácida da glicerina: ácidos graxos (superior), glicerina com pureza de 80% (intermediária) e sais de ácido fosfórico (inferior).	26
Figura 13 – Fluxograma das etapas de preparação e caracterização das matérias-primas usadas neste trabalho.....	28
Figura 14 – Amostra de ácido graxo para caracterização.....	30
Figura 15 – Difração de raios X da argila.....	33
Figura 16 – Granulometria a laser da argila.....	34
Figura 17 – Fluxograma adotado para produção dos corpos-de-prova.....	35
Figura 18 – Representação esquemática da disposição do corpo-de-prova para ensaio de resistência mecânica à flexão a quatro pontos (A) e diagrama de distribuição de solicitações, momento fletor (B).	38
Figura 19 – Equipamento utilizado para emissões atmosféricas geradas durante a queima de formulações cerâmicas.	40
Figura 20 – Absorção de água das formulações em diferentes temperaturas de queima.....	42
Figura 21 – Porosidade Aparente das formulações em diferentes temperaturas de queima ...	42
Figura 22 – Retração linear das formulações em diferentes temperaturas de queima.....	43
Figura 23 – Resistência mecânica das formulações em diferentes temperaturas de queima...	44

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

°C – Graus Celsius

σ – Tensões Normais

τ – Tensões Tangenciais

μm – Micrômetros

AA – Absorção de Água

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA – Análise de Variância

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASTM – American Society for Testing and Materials

B. – Base do corpo de prova

C – Comprimento do corpo de prova

CO₂ – Dióxido de Carbono

C.V. – Coeficiente de Variação

D – Densidade do corpo de prova

d – Altura do corpo-de-prova

DEMAT – Departamento de Materiais

E – Espessura do corpo de prova

F.V. – Fator de Variação

g – Grama

g/cm³ – Grama por centímetro cúbico

GJ/ton – Giga Joules por tonelada

g/mol – Gramas por Mol

G.L. – Graus de Liberdade

GPa – GigaPascals

IE – Inchamento em Espessura

IFTO – Instituto Federal do Tocantins

Kg – Kilogramas

Kg/m³ – Kilogramas por metro cúbico

Kgf – Kilogramas - Força

L – Largura do corpo de prova

L – Distância entre os apoios inferiores
l – distância entre os apoios superiores
LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos
LMC – Laboratório de Materiais Compósitos
M – Massa do corpo de prova
M² – Metros quadrados
M³ – Metros cúbicos
Mbu – Massa úmida do resíduo
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
mm – Milímetros
MOE – Módulo de Elasticidade
MOR – Resistência à Ruptura
MPa – MegaPascals
Mu – Umidade perdida durante a secagem do resíduo
N – Newtons
N/m² – Newtons por metro quadrado
NBR – Norma Brasileira de Referência
O₂ – Gás Oxigênio
P – Massa total da amostra
P – Carga máxima aplicada
Pa – Pascal
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
pH – Potencial Hidrogeniônico
PHA – Polihidroxialcanoato
PHB – Polihidroxibutirato
PNPB – Programa nacional de Produção e Uso do Biodiesel
Ps – Massa da amostra seca em g
Q.M. – Quadrado Médio
Tcinzas – Teor de cinzas
TPS – Amido Termoplástico
u – Teor de umidade do resíduo de Pinhão Manso
U\$/ton – Dólares por tonelada
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFT – Universidade Federal do Tocantins

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

V – Volume do corpo de prova

RL. – Retração Linear de queima em %

L_i . – Comprimento Após s secagem em mm

L_f . – Comprimento após a queima em mm

P_{ap} – Porosidade Aparente %

P_u – Peso do Material úmido em g

P_i – Peso do Material imerso em g

O_s – Peso do Material Seco em estufa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivos	03
1.2 Limitações da Pesquisa	03
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1 Cerâmicas: Testemunhos históricos, definição e classificação.....	05
2.2 Cerâmicas: Propriedade e Aplicações.....	06
2.3 Indústria Cerâmica e seu processo produtivo	07
2.4 Incorporação de Subproduto em material cerâmico	15
2.5 Geração de ácido graxo.....	18
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 Caracterização das Matérias-Primas	30
3.1.1 Ácido Graxo	30
3.1.2 Argila.....	33
3.2 Obtenção dos corpos cerâmicos.....	35
3.3 Caracterização Física, Mecânica e Ambiental dos corpos cerâmicos obtidos.....	37
3.3.1 Absorção da Água (ASTMC 373/94 - 88)	37
3.3.2 Retração Linear (ASTMC 210/95).....	38
3.3.3 Porosidade Aparente (ASTMC 373/94 - 88)	38
3.3.4 Resistência Mecânica ASTM 133/97).....	38
3.3.5 Aspecto Ambiental	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 Propriedades Tecnológicas	42
4.1.1 Absorção da Água e Porosidade Aparente	42
4.1.2 Retração Linear	44
4.1.3 Resistência Mecânica	44
4.2 Compatibilidade Ambiental	45
4.2.1 Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005)	45
4.2.2 Ensaio de Solubilização (NBR 10.006).....	46
4.2.3 Emissões Gasosas	46
5 . CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
6 . SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
6 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A projeção do consumo de petróleo reflete a demanda cada vez maior por seus derivados. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, o derivado de petróleo mais consumido, o óleo diesel, deverá se manter na condição de liderança. O prejuízo ao meio ambiente causado pela utilização deste derivado estimula as pesquisas a encontrar fontes alternativas de energia proveniente da biomassa, o biodiesel aparece como uma alternativa promissora (DEMIRBAS, 2008). O biodiesel pode ser obtido por diferentes processos de esterificação ou transesterificação, e a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais renováveis.

A produção do biodiesel gera resíduos e coprodutos que devem ser aproveitados de forma a garantir, que toda a cadeia de produção do biodiesel seja sustentável e economicamente viável. Adicionar resíduos a matéria-prima de produtos industrializados tem sido evidenciado devido à necessidade de encontrar novas alternativas que garantam a destinação e/ ou aplicação segura dos resíduos gerados (BONI, 2008).

A indústria cerâmica se destaca no aproveitamento de co-produtos, resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção, características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e particularidades do processamento, apresentando potencial de receber uma ampla gama de co-produtos e resíduos, tornando-se assim uma opção para a destinação dos mesmos (WENDER e BALDO, 1998).

Já foram utilizados resíduos da serragem de granitos, da cinza de casca de arroz, de lama vermelha oriunda do processo Bayer, de lixívia de glicerina, de cinzas de carvão, pó de fumo do setor fumageiro, de lodos de estações de tratamento (água e efluentes), já foram adicionados com massas argilosas em porcentagens variadas, usados diferentes métodos de conformação (extrusão e prensagem) e variadas temperaturas de queima, visando à solidificação/estabilização de elementos perigosos presentes na composição desses resíduos (MARTINS *et al.*, 2005).

Segundo Balaton (2002), a incorporação de resíduos em materiais cerâmicos deve levar em consideração alguns aspectos importantes, que dizem respeito à compatibilidade entre o resíduo e o material cerâmico, assim como a compatibilidade do produto obtido com o meio ambiente. Conforme Modesto (2003), isto significa que adição de resíduo em uma matéria-prima básica não deve comprometer o produto final, em relação a parâmetros estabelecidos em normas de qualidade para o produto, e nem causar dano ambiental.

A produção do biodiesel gera anualmente toneladas de ácidos graxos, oriundos do processamento das oleaginosas, o qual tem como destino final a estocagem no pátio das empresas. Este material é composto de matéria orgânica e inorgânica (argila, sílica, etc.), além dos nutrientes tradicionais. A literatura não apresenta estudos relevantes para conhecimento do comportamento deste resíduo. Como exemplo, não se conhece a dinâmica da degradação do ácido graxo no meio ambiente nem suas consequências. A busca de uma alternativa ambientalmente mais correta da destinação deste material pode significar ganhos ambientais e econômicos para empresas produtoras (KNOTHE *apud* DELATORRE, 2011).

Uma alternativa para reutilizar este material pode ser a sua adição na massa cerâmica para fabricação de blocos cerâmicos de vedação. A solidificação/estabilização do resíduo adicionado em uma estrutura cerâmica, com acompanhamento do desempenho tecnológico e ambiental das massas obtidas, poderia ser aplicável como alternativa a resolução dessa questão.

A avaliação do comportamento das propriedades tecnológicas (absorção de água, resistência mecânica etc.) junto com uma avaliação ambiental criteriosa dos extratos de lixiviação e solubilizado, é fator determinante no intuito de adicionar o ácido graxo na argila para obter um material cerâmico que atendam as normas pertinentes em vigor (KNOTHE *apud* DELATORRE, 2011).

Dentro do processo de produção de produtos cerâmicos, é importante a relação entre parâmetros processuais, como matéria-prima, conformação e condições de queima (tempo e temperatura), e as propriedades finais desejada para cada produto, controlando-se através da obtenção de uma microestrutura mais adequada para atender as condições de serviço ao qual o produto será solicitado no seu destino final. O uso do ácido graxo aqui investigado, adicionado a argilas, não modifica essa relação, aumentando, porém a tarefa, pois surge a questão da imobilidade no corpo cerâmico de elementos com diversas características presente no subproduto. Não podem esses elementos migrar do corpo cerâmico ao meio ambiente, em quantidades que comprometam o meio ambiente ou que possam apresentar reações químicas com outros materiais contidos no processo ao qual o produto cerâmico fara parte (KNOTHE *apud* DELATORRE, 2011).

Este trabalho tem como objetivo fornecer subsídios, através da análise do desempenho tecnológico e ambiental de corpos de prova cerâmicos obtidos com adição de ácido graxo incorporados na argila, contribuindo para uma nova alternativa de destinação do resíduo gerado no processo de obtenção do biodiesel, e melhoria no processos de produção na indústria cerâmica.

1.1 Objetivos

i) OBJETIVO GERAL:

Realizar a avaliação tecnológica e ambiental de uma massa argilosa com adição de diferentes teores de resíduos de biodiesel na composição de peças cerâmicas para uso na construção civil.

ii) OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar a argila utilizada como matéria-prima quanto às suas propriedades tecnológicas;
- ✓ Caracterizar o resíduo gerado na produção do biodiesel, que será utilizado como material adicionado na massa de argila quanto às suas características químicas;
- ✓ Verificar a compatibilidade ambiental das massas cerâmicas obtidas em cada formulação para os ensaios de lixiviação e solubilização;
- ✓ Obter corpos de provas com percentuais diferentes adicionados a argila.

1.2 Limitações da Pesquisa

A investigação científica contida neste trabalho, apresenta limitações quanto a sua interpretação. Entre essas, destacam-se:

- i. O biodiesel produzido de onde foi retirada amostra de ácido graxo, vem da oleaginosa *Glycine Max* (soja).
- ii. As argilas utilizadas no preparo das massas cerâmicas foram adquiridas por uma empresa de Miracema do Tocantins – TO, sendo amostra aleatória.
- iii. A conformação dos corpos de prova cerâmicos foi feita por prensagem uniaxial. A utilização de outros processos de conformação pode acarretar em modificações na sua densificação e formação da microestrutura.
- iv. O processo de queima utilizado em forno elétrico tipo mufla, difere dos fornos utilizados em escala industrial, quanto à dimensão, tipo de combustível e gradientes de temperatura.

- v. A curva utilizada de queima foi definida em pré-testes de laboratório tendo como critério de definição fatores outros do que os utilizados em escala industrial, como, produtividade, consumo de energia, movimentação de carga, entre outros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cerâmica: Testemunhos históricos, definição e classificação

Dá-se o nome de cerâmica à pedra artificial obtida por meio da moldagem, secagem e cozedura de argila ou mistura contendo argila. De acordo com registros históricos a cerâmica remonta da pré-história, quando o homem descobriu o fogo e começou a dominar e aprendeu que o calor fixava a forma dos materiais terrosos, tendendo a torná-los estáveis na água. Os primeiros produtores de tijolos cerâmicos queimados aprenderam sua arte pela experiência do dia-a-dia, sem ter conhecimento real do processo que a finalizava. Eles aprenderam que as argilas não tinham as mesmas propriedades químicas, físicas e somente certas argilas eram utilizadas para certos produtos e aplicações (GRIM *apud* TEIXEIRA, 2012, p 16).

O tijolo pode ser considerado o mais antigo material de construção produzido pelo homem, inventado aproximadamente 10000 anos atrás. É simples, resistente, durável e pode ser moldado para diversos usos (BEALL *apud* TEIXEIRA, 2012, p 16).

O setor de cerâmica vermelha se caracteriza pela cor vermelha de seus produtos, que são tijolos maciços, blocos cerâmicos (vedação e estrutural), telhas, tubos, lajes para forro, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida, lajotas, etc. (Polo Produções, Anuário Brasileiro de Cerâmica Vermelha, Ed. J. L. Francisco, Criciúma – SC, 2000).

As empresas de cerâmica vermelha utilizam matérias-primas argilosas naturais, as quais estão sujeitas a larga variabilidade de suas propriedades. Podem ser definida como compostos sólidos que são formados pela variação do calor aplicado, e, às vezes, calor e pressão, compreendendo **pelo menos dois elementos**, sendo que um deve ser um não metal ou outro sólido não metálico. A forma mais simples para se definir cerâmica "a arte e a ciência de fazer e usar artigos sólidos, que têm como componente essencial a argila, e são compostas em grande parte de materiais inorgânicos não metálicos" (KINGERY, 1960). Em outras palavras, o que não é um metal, nem semicondutor ou nem polímero é uma cerâmica (CALLISTER, 2002).

Os materiais cerâmicos são divididos em três categorias: os materiais cristalinos, que incluem silicatos tradicionais, e muitos compostos óxidos e não óxidos que são largamente utilizados tanto na indústria tradicional quanto em tecnologias avançadas; os vidros, que são sólidos não cristalinos com composições comparáveis aos cerâmicos cristalinos sendo que a ausência de cristalinidade é resultado de técnicas de processamento específicas o que proporciona propriedades óticas e mecânicas únicas; e os vitrocerâmicos, que são cerâmicos

cristalinos inicialmente formados por vidros e cristalizados por métodos controlados (SHACKELFORD, 1996).

Devido os materiais cerâmicos serem compostos no mínimo de dois elementos, sua estrutura cristalina é mais complexa do que em metais, sendo que as ligações atômicas variam da puramente iônica para totalmente covalente, e muitos cerâmicos exibem uma combinação destes dois tipos de ligação (CALLISTER, 2002). No processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha são utilizadas basicamente argilas comuns. Essas argilas apresentam larga variabilidade em termos de composição química, mineralógica e física (SANTOS, 1989).

Em geral, essas argilas puras não apresentam condições favoráveis de processamento. Por esse motivo, as massas argilosas industriais para cerâmica vermelha são formuladas usando dois ou mais tipos de argilas comuns, no sentido de propiciar condições favoráveis de conformação e propriedades finais (MOTTA *et al.*, 2009).

2.2 Cerâmicas: Propriedades e aplicações

As propriedades mecânicas dos produtos de cerâmica vermelha são dependentes da composição das argilas e das condições de processamento que são empregados. A temperatura de queima é um parâmetro de processamento que tem grande influência nas propriedades tecnológicas. A maioria das empresas de cerâmica vermelha no Brasil não utiliza uma temperatura de queima adequada na fabricação de seus produtos, no qual o resulta em produtos de baixa qualidade. Por outro lado, durante o processo de queima, um conjunto bastante complexo de reações físico-químicas, dependentes da temperatura de queima, se processa no interior da massa cerâmica argilosa (SANTOS, 1992). Essas reações promovem a formação de novas fases cerâmicas, que são determinantes para as propriedades físico-mecânicas no produto final. A temperatura de queima se constitui na atualidade também em um importante parâmetro tecnológico na indústria de cerâmica vermelha, com implicações econômicas, energéticas e ambientais.

Muitas propriedades mecânicas discutidas para metais são igualmente importantes para os cerâmicos ou vidros em aplicações estruturais e a natureza diferente destes “não metais” levam a comportamentos mecânicos próprios (SHACKELFORD, 1996). Suas ligações iônicas e covalentes provocam uma dureza, possuem baixa resistência ao impacto e falta de plasticidade. Também devido à natureza das ligações, os materiais cerâmicos possuem baixa tenacidade. Em geral os materiais cerâmicos são relativamente frágeis, sendo que a sua resistência à tração pode variar muito. Os materiais cerâmicos também apresentam

uma grande diferença entre as suas resistências à tração e à compressão (VILLANOVA *apud* TEIXEIRA, 2012, p 19). Existem muitas obras na literatura que tratam sobre as características e propriedades tecnológicas de argilas brasileiras usadas na fabricação de cerâmica vermelha (PINHEIRO e HOLANDA, 2010). Na Tabela 01, observam-se alguns parâmetros normatizados conforme aplicação a que se destinam determinadas cerâmicas.

Tabela 01 - Absorção de água e resistência mecânica conforme as normas técnicas

Materiais Cerâmicos	Absorção de água	Resistência Mecânica
Telhas	NBR 8947 (ABNT, 1985) Os valores podem ser = 20%	NBR 7172 (ABNT, 1987) e NBR 9601 (ABNT, 1986) Os valores podem variar entre 6,8 e 12,7 MPa dependendo do tipo de telha
Blocos Cerâmicos	NBR 7171 (ABNT, 1972) Os valores podem ser entre 8 e 18%	Divide-se em classes de acordo com a aplicação, onde o valor mínimo corresponde a 1 MPa
Placas cerâmicas de revestimento	NBR 13817 (ABNT, 1997) Pode variar entre 0,5 e 10%, ou ainda valores superiores a esses dependendo da aplicação (grés, porcelanato, porosos, etc.)	NBR 13818 (ABNT, 1997) Pode variar entre 15 e 35 MPa, ou superiores a esse, dependendo do tipo de aplicação a que se destina

Fonte: ABNT *apud* TELOEKEN (2010).

2.3 Indústria cerâmica e seu processo produtivo

Na indústria cerâmica de revestimento/vedação ou estrutural é utilizado uma mistura de argilas e outras matérias-primas inorgânicas, que são queimadas a altas temperaturas para a fabricação de vários produtos, que tem um importante papel na economia do país e na geração de empregos, com participação estimada em 1% no Produto Interno Bruto (PIB). A evolução das indústrias, em função da grande abundância de matérias-primas naturais, fontes de energia e disponibilidade de tecnologias embutidas nos equipamentos industriais fez com que diversos tipos de produtos do setor atingissem um patamar apreciável nas exportações do país (CETESB, 2008).

Um grande desafio da indústria cerâmica é produzir com eficiência e qualidade, minimizando o desperdício e reduzindo seus custos. Uma grande parte do processo é mecanizada, o que teoricamente levaria a um índice de perda mais baixo, porém não é isso que ocorre na prática (SEBRAE, 2008).

A composição da massa cerâmica é definida de acordo com o produto a que será produzido, suas características devem atender às exigências das normas em vigor. Segundo Barba *et al.*, *Apud* Teloeke (2010, p 12), em geral, a massa cerâmica deve apresentar em sua composição:

- i) Uma relação de materiais plásticos (como argila) e materiais não plásticos (como quartzo, feldspato, e cinzas) que confira à massa cerâmica uma plasticidade necessária para moldar a peça e dar resistência mecânica a verde;
- ii) Facilidade para preparar via úmida dispersa e homogênea;
- iii) Uma adequada composição química e mineralógica de maneira que as transformações físico-químicas que ocorrem durante o processo de queima confirmem ao corpo cerâmico as características desejadas.

Se adicionados na fórmula da massa cerâmica, em quantidades ideais, materiais plásticos e não-plásticos, inertes e não-inertes ao processo térmico, isso traz melhorias, como exemplo, no empacotamento de partículas, reduzindo a porosidade a verde e, portanto, a contração na queima (TELOEKEN, 2010).

De acordo com Teloecken (2010), duas etapas caracterizam a indústria cerâmica e elas são bastante distintas, onde a primária (envolve a exploração da matéria-prima - neste caso, a argila) e a secundária de transformação (para elaboração do produto final).

Independentemente destas fases serem ou não desempenhadas pela mesma empresa, elas estão intimamente interligadas e interferem no desempenho de toda a cadeia produtiva (SEBRAE, 2007).

As industriais cerâmicas produzem blocos que são utilizados no processo construtivo das alvenarias (vedação, estrutural ou portante). Possuem furos e formatos diferentes, paralelos a qualquer um dos seus eixos. São normalmente produzidos com argilas ricas em juta (tipo taguá) e argilas montmorilonitas (Fórmula Química - $(\text{Na,Ca})_{0,3}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (SEBRAE, 2004).

No processo de conformação, a matéria-prima assume uma forma bem determinada. Na grande maioria, ela ocorre através da extrusão que é adotada para materiais úmidos de plasticidade suficiente para permitir sua passagem através de um diafragma furado (boquilha). A força necessária é imprimida pela rotação de um eixo helicoidal no interior de um compartimento cilíndrico. Posteriormente, os blocos são submetidos à secagem. A queima é feita em temperaturas que variam entre 800 °C e 1100 °C, (SEBRAE, 2004).

Cada segmento produtivo emprega um tipo de processo de produção que se assemelham parcial ou totalmente. A figura 01 apresenta uma demonstração geral das etapas que são envolvidas no fabrico de produtos cerâmicos de acordo o fluxograma.

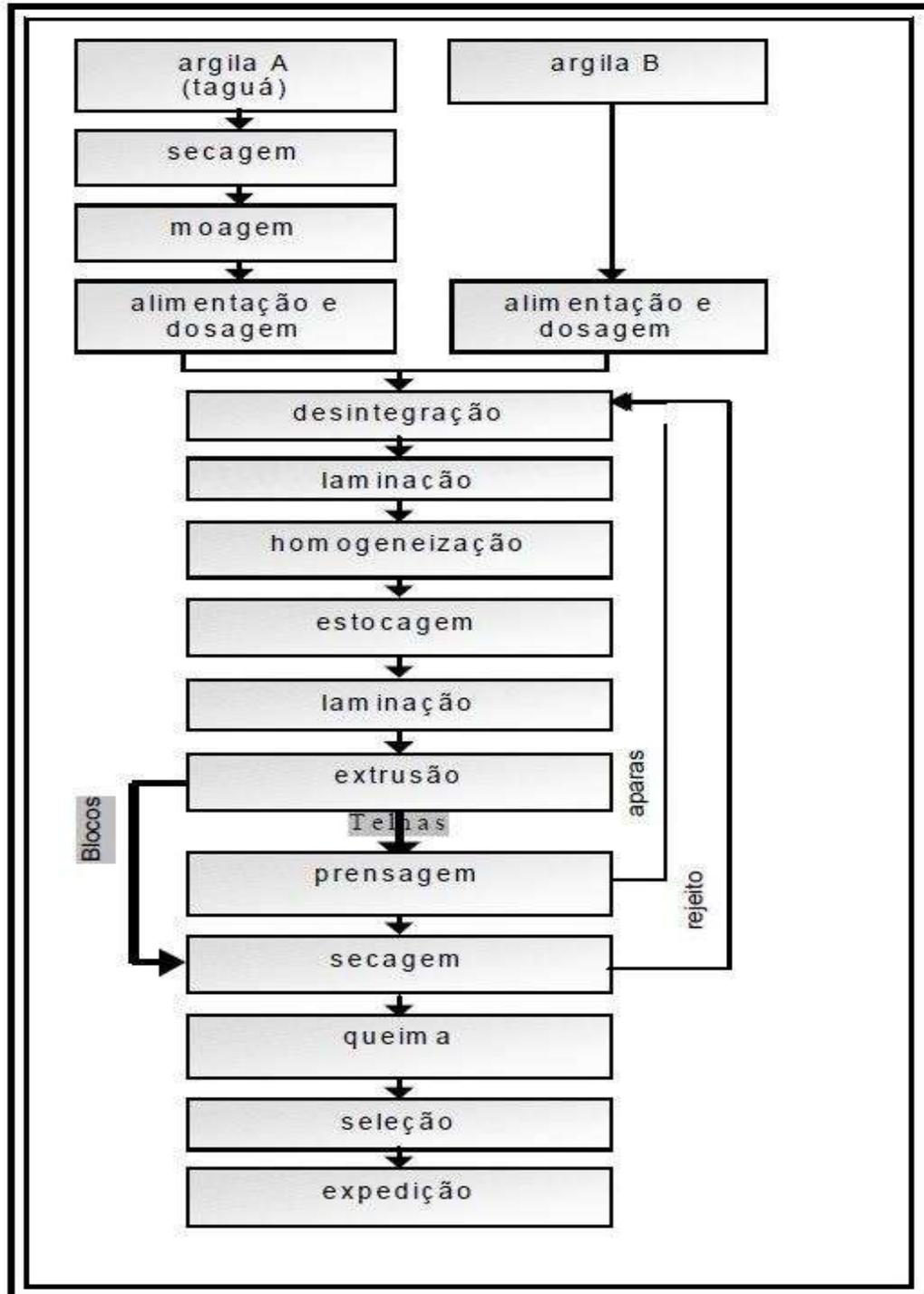


Figura 01 – Fluxograma sintetizado da cadeia produtiva da cerâmica vermelha.

Fonte: CABRAL JUNIOR *et al.*, (2009).

O valor da argila como matéria-prima para produção de vários produtos cerâmicos baseia-se em sua plasticidade no estado úmido, qualidade quase não superada por nenhuma outra matéria-prima, que adquire dureza ao secar e finalmente, rigidez ao ser queimada (SANTOS, 1989). A extração da argila para a produção dos produtos cerâmicos ocorre em jazidas licenciadas pelos órgãos ambientais competentes e, de acordo com suas características e a necessidade da indústria, é transportada até a área de sazonalamento no pátio da empresa.

O sazonalamento consiste na estocagem de argila a céu aberto em montes ao lado das fabricas, as quantidades acumulada devem ser suficientes para muitos meses de produção ou também para o ano todo. A disposição do material argiloso aos efeitos das intempéries resulta no processo de lavagem de sais solúveis, no alívio de tensões nos montes de argilas, na melhora de sua plasticidade e provoca a homogeneização da distribuição de umidade em todo material estocado. As argilas são depositadas em camadas nos pátios das indústrias, onde a espessura e alternância das camadas dependem dos tipos de argilas e das propriedades desejadas da mistura final. A exposição ao intemperismo confere às argilas uma características tecnológica superior àquela do material diretamente extraído da jazida. Uma melhor trabalhabilidade nos equipamentos de conformação. Nas demais etapas do processo produtivo proporciona ganhos de produtividade, permitindo melhorias significativas na qualidade do produto final (GAIDZINSKI *apud* TEIXEIRA 2012, p 22).

O processo produtivo das empresas de cerâmica vermelhas, e as etapas de fabricação podem ser caracterizados da seguinte forma, de acordo com o SEBRAE (2004):

- i. Processo da matéria-prima: coleta, sazonalamento, estoque e mistura;
- ii. Processo de beneficiamento: misturador, laminador e misturador;
- iii. Processo de fabricação: extrusão, corte e prensa;
- iv. Processo de queima e inspeção.

As etapas de fabricação da cerâmica vermelha:

- ✓ Britagem: Usada quando a matéria-prima encontra-se seca e dura. Sua função é quebrar a argila em partes menores.
- ✓ Moagem: Transforma os grânulos maiores em menores, de forma a homogeneizar a granulometria das partículas.
- ✓ Dosagem e alimentação: Realizada por um caixão alimentador. Sua função é controlar a quantidade de matéria-prima a ser processada pelos maquinários subsequentes.
- ✓ Misturador: Como o próprio nome diz, tem por função misturar a matéria-prima, homogeneizando-a. É uma etapa importante, uma vez que permite atribuir à argila

características semelhantes, o que evitará deformações ou variações na textura, cor, resistência, etc. do corpo cerâmico. Nesta fase são feitas correções de umidade.

- ✓ Laminador: Após misturada, a argila é laminada. O laminador é uma prensa que compacta a argila, tornando-a menos porosa. Isso é importante uma vez que garante maior densidade aos agregados formados. Isso facilitará o processo posterior (extrusão).
- ✓ Extrusão: No processo de extrusão, a massa é introduzida na extrusora e através da aplicação de uma pressão adequada é forçada por meio de uma abertura devidamente modelada (de maneira a reproduzir a seção transversal do revestimento). A extrusora é dotada de uma câmara a vácuo para facilitar a desaceleração da massa, desta sai uma fita contínua, a qual é cortada em função do tamanho especificado do revestimento.
- ✓ Prensagem: Quando da fabricação de telhas os elementos são extrusados e cortados em um formato favorável a esta operação. São prensados para obtenção de sua forma final, normalmente pela utilização de prensas revólveres.
- ✓ Secagem: O objetivo principal do processo de secagem é a remoção da água do produto moldado (“verde”), assegurando a integridade e regularidade dimensional do produto (prevenindo quebras e distorções).
- ✓ Queima: A queima realizada no forno dos produtos cerâmicos é uma das etapas mais importantes do processo de fabricação, já que dela depende grande parte das características do produto cerâmico: resistência mecânica, estabilidade dimensional, resistência ao fogo, etc.

Existem vários processos de conformação, que são utilizados para dar forma às peças cerâmicas, e a escolha de cada um deles depende fundamentalmente das características do produto a que se deseja produzir, tais como, geometria e dimensões, propriedades das matérias-primas e fatores econômicos. Entre os processos, podemos citar: colagem/fundição em molde; prensagem; extrusão e torneamento. Destes, o mais habitualmente empregado é a extrusão (SENAI, 2007).

A maromba é uma máquina usual de extrusão ou também conhecida como extrusora simplesmente extrusora (SENAI, 2007). A Figura 02 mostra um exemplo desse equipamento.



Figura 02 – Equipamento para extrusão.

Fonte: Registro fotográfico do autor (2013).

A maromba possui a função de homogeneizar, desagregar e compactar as massas cerâmicas dando forma ao produto desejado. O método mais utilizado na indústria de cerâmica estrutural é o de extrusão, considerado mais econômico, porém, gera produtos de menor valor agregado. Esse método usa a massa na forma de uma pasta plástica e rígida, que é forçada através de um molde (boquilha) que forma uma coluna contínua de massa verde, a qual pode ser cortada em comprimentos apropriados (PEDROTI, 2000).

Após conformadas, as peças são encaminhadas a uma mesa de corte automático, corte para cima e para baixo de acordo com as dimensões desejadas como indicado na Figura 03.



Figura 03 - Mesa de corte das peças extrusadas.

Fonte: Registro fotográfico do autor (2013).

Os produtos, após passarem pela máquina corte, possuem um percentual de umidade em torno de 25% em média. Para garantir que não exista o aparecimento de trincas, rachaduras ou até mesmo quebra total devido à dilatação térmica durante a etapa de queima, os produtos extrusados são obrigatoriamente levados a locais de espera em temperatura ambiente, onde permanecem por aproximadamente 24h, e após isso, são introduzidos nos túneis secadores equipados com ventiladores e sopradores de ar quente normalmente proveniente do próprio túnel de queima (forno) da indústria. Posteriormente, a secagem das peças ocorre em túneis secadores, chamada de secagem forçada, conforme exemplificado na Figura 04.



Figura 04 - Túneis para secagem forçada.

Fonte: Registro fotográfico do autor (2013).

A secagem forçada busca reduzir o percentual de água contido nas peças de cerâmica para algo próximo a $< 5\%$. Isso garante o menor índice de perdas durante o processo de queima, que consiste em remover essa umidade residual e proceder a sinterização das peças cerâmicas no forno túnel.

A queima é o processo subsequente. É a etapa mais importante de todo processo produtivo. As peças que foram moldadas apresentam uma contração em seu volume e uma redução na sua porosidade, e uma melhoria nas suas propriedades mecânicas. Essas alterações são provocadas pela coalescência das partículas de pó para dá origem a uma densa massa, processo este denominado de sinterização (CALLISTER, 2009)

2.4 Incorporação de subproduto em material cerâmico

O abandono dos resíduos gerados no meio ambiente pode originar sérios problemas ambientais. Incorporar resíduos sem alterar as propriedades de um produto garante uma destinação ambientalmente correta. Por outro lado, deve-se levar em conta, que um aumento na geração de resíduos implica um consumo paralelo de matérias-primas, as quais se encontram na natureza em quantidades limitadas. A natureza é capaz de renovar-se em seu curso natural. A partir da década de 70 e meados dos anos 80 surgiram debates em torno não só da disposição, mas do tratamento de resíduos. Desde então, busca-se uma melhor compreensão das questões ambientais e sua interação com o homem (DOMENÉCH *apud* GOES *et al.*, 2004).

A transformação industrial pelo qual passam as matérias-primas extraídas da natureza vem tornando-se cada dia mais complexa pelo avanço acelerado da tecnologia, ocasionando transformações irreversíveis. Isso, aliado a estrutura consumista vigente, leva a geração contínua e crescente de resíduos, exigindo, portanto, uma política séria e estruturada sobre a grande problemática da origem e do destino final desses resíduos (SCHNEIDER *et al.*, *apud* TEIXEIRA 2010, p 25). Resíduo é toda e qualquer substância e objeto no estado sólido ou semi-sólido proveniente de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e varrição que não são passíveis de reaproveitamento, ou seja, resíduo é tudo aquilo que foi usado e não possui mais utilidade, ou ainda em uma definição bastante específica, é tudo o que é gerado como consequência não desejada de uma atividade humana (DOMENÉCH *apud* GOES *et al.*, 2004).

Administra os resíduos e ter um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento baseadas em critérios sanitários, culturais, estéticos e econômicos para a geração, manejo, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, sendo que a gestão dos resíduos sólidos surge como um dos assuntos mais relevantes para atingir o desenvolvimento sustentável em todos os países (MANDELLI *apud* TEIXEIRA, 2010, p 25).

A legislação brasileira classifica os resíduos quanto ao risco potencial ao meio ambiente e à saúde pública em função das suas características. As normas que preconizam são: NBR 10004 (Classificação), NBR 10005 (Lixiviação) e NBR 10006 (Solubilização).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, referenciada na norma ABNT 10004/2004, os resíduos são classificados em: resíduos classe I – perigosos ou resíduos classe II - não perigosos. Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam características de periculosidade à saúde pública e ao ambiente em função de suas

propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas. Os resíduos que tem classificação de não perigosos não apresentam características que possam provocar mortalidade a população ou incidência de danos ao equilíbrio do ambiente natural.

Uma vez classificados como classe II - não perigosos, é, necessário a classificação em resíduos classe II A - não inertes ou resíduos classe II B - inertes. Os resíduos para serem classificados não inertes devem apresentar solubilidade de elementos em água, combustibilidade ou biodegradabilidade. De acordo com Teixeira (2010), os resíduos para receberem a classificação de inertes, não devem ter nenhum de seus elementos constituintes solubilizados ou lixiviados a concentrações superiores aos padrões constantes nas NBR 10005 e 10006 (TEIXEIRA, 2010).

Vários são os resíduos industriais que podem ser absorvidos pela indústria cerâmica, onde podemos citar os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose, metalúrgica, energética, entre outros, que independentemente de sua concepção, têm sua utilização cada dia maior como matérias-primas alternativas na indústria cerâmica. Na adição de resíduos, é importante abordar a capacidade de inertização, que é verificada através de ensaios de lixiviação e solubilização, a imobilização de elementos perigosos que possam estar presentes nos resíduos adicionados nos produtos cerâmicos (MENEZES *et al.*, *apud* TEIXEIRA, 2010, p 24).

O processo de solidificação/estabilização de resíduos nocivos é considerado um processo de estabilização ambientalmente correto, em virtude da alta resistência química dos produtos que são obtidos à maioria das condições ambientais, resistência esta relacionada ao fato dos componentes nocivos, essencialmente metais pesados, efetuarem ligações em nível atômico nas estruturas produzidas (PISCIELLA *et al.*, *Apud* TEIXEIRA, 2010 p 24).

De acordo com Teixeira (2010), os resíduos redutores de plasticidade que podem ser incorporados na massa cerâmica podem variar entre 10 e 60%. Isso pode provocar ligeiras mudanças nas propriedades mecânicas, retração e absorção de água (SABRAH E EBIED *apud* TEIXEIRA, 2010 p 24). É muito interessante ressaltar que os resíduos com características de redutores de plasticidade, não necessariamente vão atuar apenas reduzindo a plasticidade, eles podendo atuar também como agentes formadores de fase vítrea, sendo um fator de grande influência no sucesso da aplicação desses resíduos na produção de tijolos, revestimentos, grés e produtos de baixa absorção de água (RAIGÓN *et al.*, *apud* TEIXEIRA 2010, p 25, 1996).

Utilizar resíduos com característica fundentes, reduz a temperatura de queima do corpo cerâmico, possibilitando redução do consumo energético no processo, graças às novas

características da massa cerâmica. Esses resíduos são geralmente provenientes da lama de esmaltação das cerâmicas e dos rejeitos da indústria mecânica e metalúrgica e têm uma composição sílico-aluminosa (> 50%) com porcentagens variáveis de metais pesados (em alguns casos bem elevadas), alcalinos e alcalinos terrosos, com presença frequente de Cr, Co, Ni, Cd, Cu, Zn, Pb, etc. (DOMÍNGUEZ e ULLMANN, *apud* TEIXEIRA, 2010, p 25). Não apenas a produção de produtos de cerâmicas rústicas (tijolos, telhas, revestimentos etc), mas também setores de cerâmica fina podem adicionar resíduos fundentes, a exemplo da utilização de rejeitos provenientes da indústria metalúrgica na produção de vidrados cerâmicos, fibras de vidro, ligantes para abrasivos, dentre outros HERMANN, 1998; YALÇIN e SERVİNÇ (2000).

Na grande maioria, os resíduos combustíveis são provenientes de processos industriais que contêm elevado teor de substâncias orgânicas e lhes conferem alto poder calorífico. Esta categoria inclui os resíduos das estações de tratamento de rejeitos urbanos, resíduos da exploração de carvão, resíduos da indústria têxtil e de curtume, resíduos derivados da extração e refino do petróleo e da indústria do papel e madeira (MENEZES *et al.*, 2002).

A adição de resíduos combustíveis por parte das indústrias cerâmicas pode ser efetuada de duas maneiras: por incorporação dos resíduos à massa cerâmica ou mistura com os combustíveis responsáveis pela queima do corpo cerâmico, sendo que, em ambos os casos, é utilizado o poder calorífico dos resíduos para auxiliar na queima. Formulações estudadas com emprego de resíduos combustíveis em massas cerâmicas variam de valores inferiores a 10%, podendo chegar até 50% (MENEZES *et al.*, *apud* TEIXEIRA, 2010, p 25). A adição de materiais combustíveis como auxiliares de queima pode gerar uma redução significativa no custo para geração de energia da ordem dos 45%; mais, alguns cuidados devem ser tomados ao se fazer uso de resíduos para queima, já que eles podem liberar gases altamente nocivos à saúde humana, sendo altamente recomendado o uso de filtros para gases para reter os particulados nocivos. A falta de conhecimento nas leis ambientais por parte dos produtores é a grande responsável por uma utilização sem critérios (TEIXEIRA, 2010).

2.5 Geração do ácido graxo

Atualmente, o biodiesel é encontrado misturado ao óleo diesel nos postos de abastecimento. O biodiesel é obtido a partir da reação de transesterificação de óleos vegetais com alcoóis primários, na presença de catalisador ácido ou básico (ROCHA, 2008). Esta reação produz um sistema bifásico com uma fase não polar de ésteres de ácidos graxos e outra mais densa constituída por glicerol e outros componentes residuais do processo. Após a decantação e separação, o biodiesel é purificado através de um processo de lavagem com água para retirar resíduos de glicerol livre e outros contaminantes.

O biodiesel devido ao seu grande potencial para uso como alternativa de abastecimento em motores do ciclo diesel, é obtido de fontes renováveis, não são tóxicos e são biodegradáveis. Diversos estudos já demonstraram que o uso do biodiesel diminui a emissão de gases relacionados com o efeito estufa, tais como hidrocarbonetos, monóxido e dióxido de carbono, além de materiais particulados e óxidos de enxofre, esses últimos responsáveis pela chuva ácida (MA *et al.*, 1999). Quando comparamos o óleo diesel derivado do petróleo com o biodiesel, existe uma redução de 78% as emissões de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas. Além disso, reduz em 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de oxido de enxofre. É importante frisar que o biodiesel pode ser usado em qualquer motor de ciclo diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação (LIMA et al *apud.* SILVA, 2010, P 10).

A criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) do Governo Federal trouxe incentivos para produção e para o uso desse biocombustível, fortalecendo a inclusão social e buscando o desenvolvimento regional, através da geração de emprego e renda, sendo que as principais diretrizes eram a implantação de um programa sustentável, que promovesse a inclusão social; garantindo preços competitivos, qualidade e suprimento e produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas (BIODIESEL, 2010).

Com a lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, criou-se a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Esse percentual obrigatório determina que fosse de 5%, com prazo para ser cumprido até oito anos após a publicação da referida lei, existindo um percentual obrigatório intermediário de 2% em três anos após a publicação da mesma BIODIESEL (2010). No ano de 2009 o Conselho de Política Energética aprovou a mistura de 4% - Resolução nº 07 de 19 de março de 2009- de biodiesel no diesel, chamada o B4. E no

mesmo ano o presidente anunciou a adição de 5% - Resolução nº 06 de 06 de setembro de 2009- de biodiesel ao diesel, para janeiro de 2010, e atualmente já é obrigatório à adição de 5% de biodiesel (B5) em todo o diesel consumido no Brasil em exceção ao óleo diesel marítimo (CONOMIA NOTÍCIAS, apud GOMES, 2011 p 6). A Figura 05 e apresentado cronograma para adição dos percentuais aprovados de biodiesel desde o lançamento do Programa Nacional do Biodiesel.

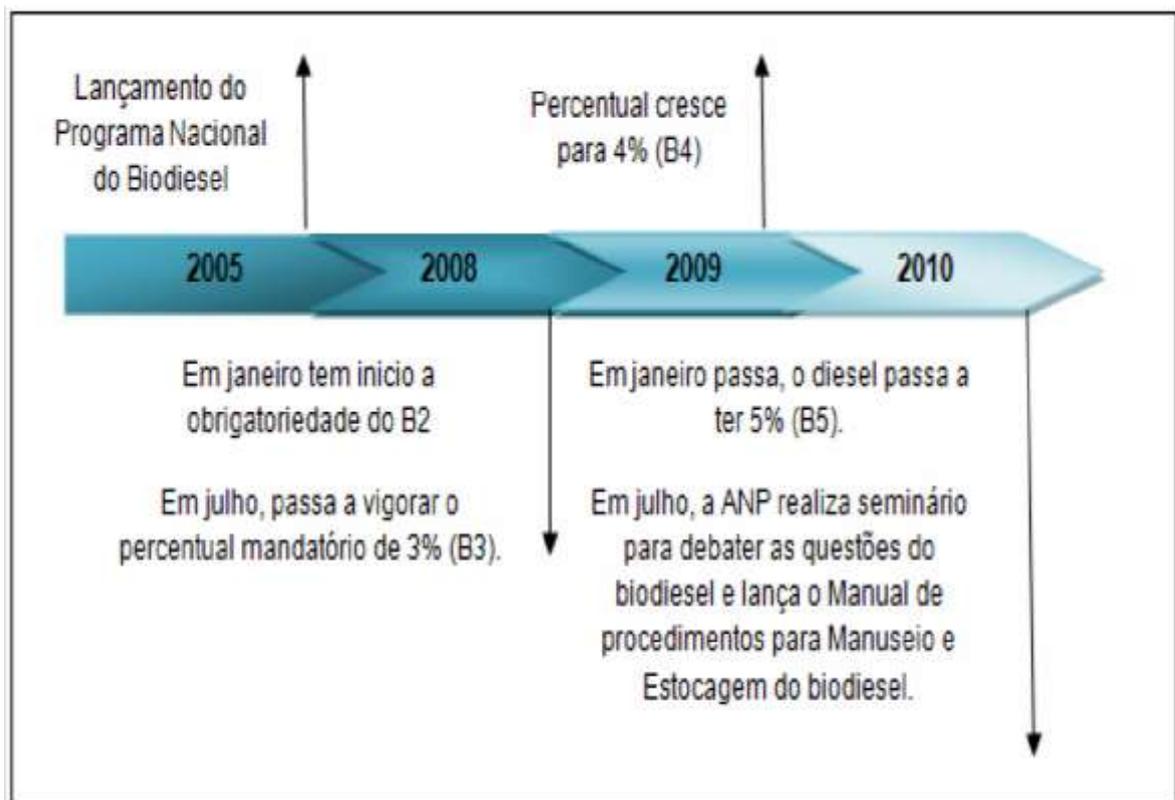


Figura 05: Panorama do Biodiesel.

Fonte: Biodiesel *apud* Gomes (2011).

A produção do biodiesel e seus processos, assim como os materiais dependem da região a ser considerada. Como principais pontos, têm as diversidades sociais, econômicas e ambientais que podem gerar distintas motivações regionais para a sua produção e consumo. O Brasil apresenta várias condições para se tornar um grande produtor de biodiesel, tem um grande potencial para produção de biomassa destinada para fins energéticos. A mamona, o dendê, a soja, entre outras, são fontes abundantes de energia e de inclusão social (LIMA *apud* DELATORRE, 2011), além dos óleos de frituras, provenientes do processamento de alimentos (KNOTHE *apud* DELATORRE, 2011).

A grande extensão territorial e o clima favorável a plantação de sementes oleaginosas, fazem com que o Brasil se destaque como um grande potencial produtor e explorador de biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos. A produção de cultivar de diversas espécies de oleaginosas conforme Figura 06 com potencial para serem utilizadas como matéria-prima para a produção de biodiesel (OLIVEIRA *et al.*, *Apud* DELATORRE, 2011). Entre elas podemos destacar soja, dendê (palma), mamona, caroço de algodão, girassol, gergelim, pinhão-manso, amendoim, entre outras.

Oleaginosa	% Óleo		Produtividade (Kg/há)	Produção de óleo (Kg/há)	Ciclo de Vida
	Variação	Média			
 Algodão	20-30	35	860-1.800	200-450	Anual
 Amendoim	45-50	48	1.500-2.000	600-864	Anual
 Dendê	—	20	15.000-25.000	3.000-6.000	Perene
 Gergelim	40-50	45	1.000-1.500	450	Perene
 Girassol	45-35	40	1.700-2.000	500-900	Anual
 Mamona	45-55	50	1.500-2.000	750-900	Anual
 Pinhão-Manso	50-52	51	2.000-12.000	1.000-6.000	Perene
 Soja	18-20	19	2.200-3.000	200-418	Anual

Figura 06: Principais oleaginosas para produção de biodiesel.

Fonte: Biodiesel *apud* GOMES (2011).

A soja é o insumo cultivado com maior cultura produtiva e a produção do óleo relativamente mais barato e por existir uma infraestrutura de produção bem estabelecida e a principal oleaginosa usada para produção do biodiesel, como pode ser verificado.

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo e a indústria de processamento deste grão é bastante desenvolvida, tornando esta a matéria-prima em destaque no desenvolvimento de combustíveis provenientes de óleos vegetais. Cabe destacar também as culturas de mamona e palma nas terras semi-áridas das regiões nordestinas brasileiras

(FRANÇA, *apud* CAVALCANTE, 2010, p 08). A Figura 07 apresenta as materiais- primas utilizadas na produção do biodiesel, que no ano de 2010 a somatória de todas as outras culturas utilizada para produção de biodiesel não passou de 2%, isto mostra que ainda existem entraves que devem ser solucionados, apesar de serem cogitadas como matérias-primas promissoras.

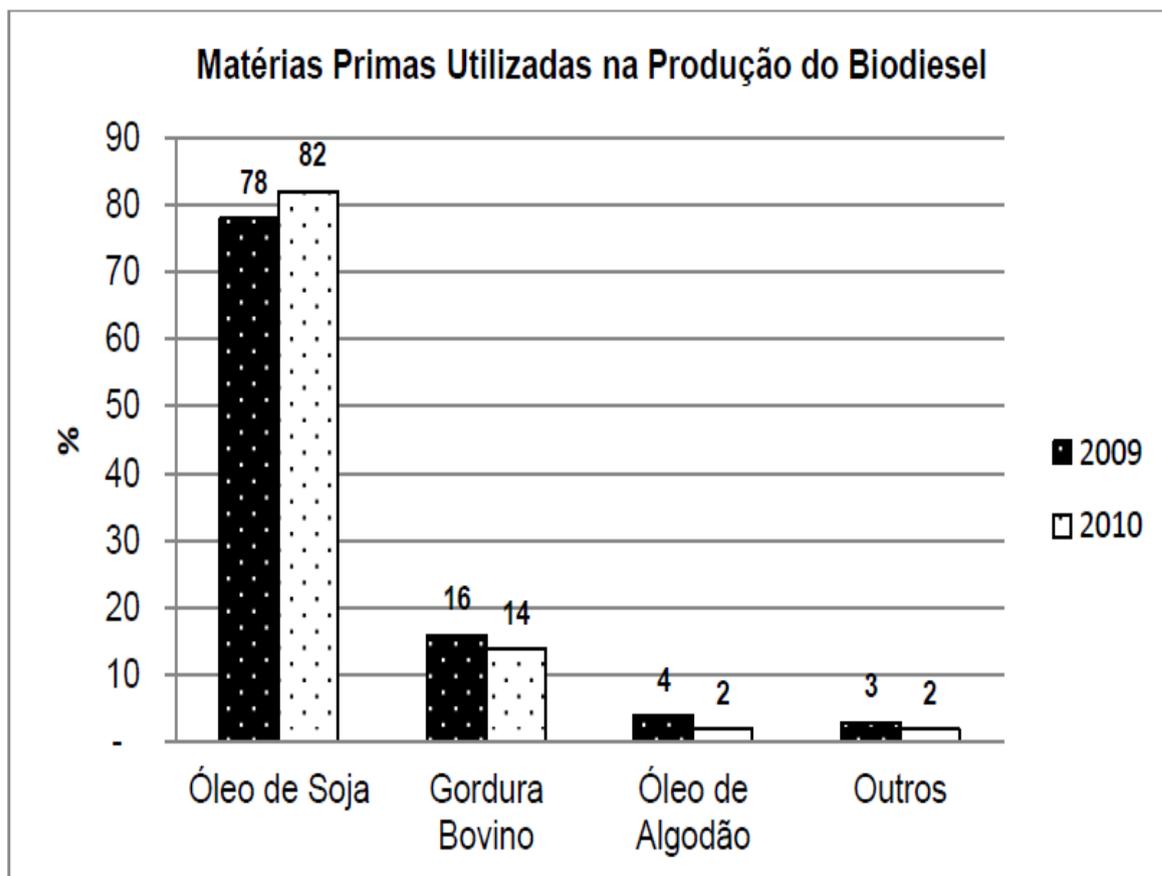


Figura 07 – Percentual das matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel.

Fonte: MME (2010) *apud* GOMES (2011).

Os óleos vegetais são produtos naturais constituídos essencialmente por ésteres de ácidos graxos e glicerina, e são conhecidos como triacilgliceróis, cujos ácidos graxos contêm cadeias de 8 a 24 átomos de carbono com diferentes graus de insaturação (SUARES, 2007). Óleos vegetais de espécies diferentes possuem composição dos ácidos graxos diferentes. Portanto, a análise da composição de ácidos graxos constitui o primeiro procedimento para a avaliação preliminar da qualidade do óleo bruto. Isto pode ser obtido através de vários métodos analíticos tais como, a cromatografia líquida de alta eficiência, a cromatografia em fase gasosa e a espectroscopia de ressonância magnética nuclear de hidrogênio. A Figura 08 apresenta a distribuição de ácidos graxos de alguns óleos e gorduras de diversas fontes.

Tipo de Óleo ou Gordura	Composição em ácidos graxos (% em massa)						
	Láurico C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Mirístico C ₁₄ H ₂₈ O ₂	Palmitico C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Estearico C ₁₈ H ₃₄ O ₂	Oléico C ₁₈ H ₃₂ O ₂	Linoléico C ₁₈ H ₃₀ O ₂	Linolênico C ₁₈ H ₂₈ O ₂
Algodão	—	1,5	22	5	19	50	—
Amendoim	—	0,5	6,0 – 11,4	3,0 – 6,0	42,3 – 61	13 – 33,5	—
Babaçu	44 – 45	15 – 16,5	5,8 – 8,5	2,5 – 5,5	12 – 16	1,4 – 2,8	—
Coco	44 – 51	13 – 18,5	7,5 – 11	1 – 3	5 – 8,2	1,0 – 2,6	—
Dendê	—	0,6 – 2,4	32 – 45	4,0 – 6,3	38 – 53	6 – 12	—
Girassol	—	—	3,6 – 6,5	1,3 – 3	14 – 43	44 – 68	—
Linhaça	—	—	6	4	13 – 37	5 – 23	26 – 58
Milho	—	—	7	3	43	39	—
Oliva	—	1,3	7 – 16	1,4 – 3,3	64 – 84	4 – 15	—
Soja	—	—	2,3 – 11	2,4 – 6	23,5 – 31	49 – 51,5	2 – 10,5
Sebo	—	3 – 6	25 – 37	14 – 29	26 – 50	1 – 2,5	—

Figura 08 - Distribuição de ácidos graxos de alguns óleos e gorduras.

Fonte: RINALDI *et al.*, 2007.

O processamento da matéria-prima para sua conversão em biodiesel visa criar melhores condições para a efetivação da reação química, obtendo-se máxima taxa de conversão. No caso da biomassa rica em óleo vegetal, o primeiro passo é a obtenção do óleo que pode ser feita por meio de extração mecânica (esmagamento), extração com solvente e/ou extração mista (JORDAO FILHO, 2004).

O processo mais empregado para produção de biodiesel é a transesterificação, que consiste na reação de um triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador. Como resultado, obtêm-se ésteres da figura 9 de ácidos graxo metílico ou etílicos (biodiesel) e glicerina PINTO *et al.*, (2005). O fluxograma mostra o processo de produção do biodiesel a partir de óleos e gorduras ricas em triglicerídeos, principal matéria-prima para obtenção deste biocombustível, como pode ser visto na Figura 09.

Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel

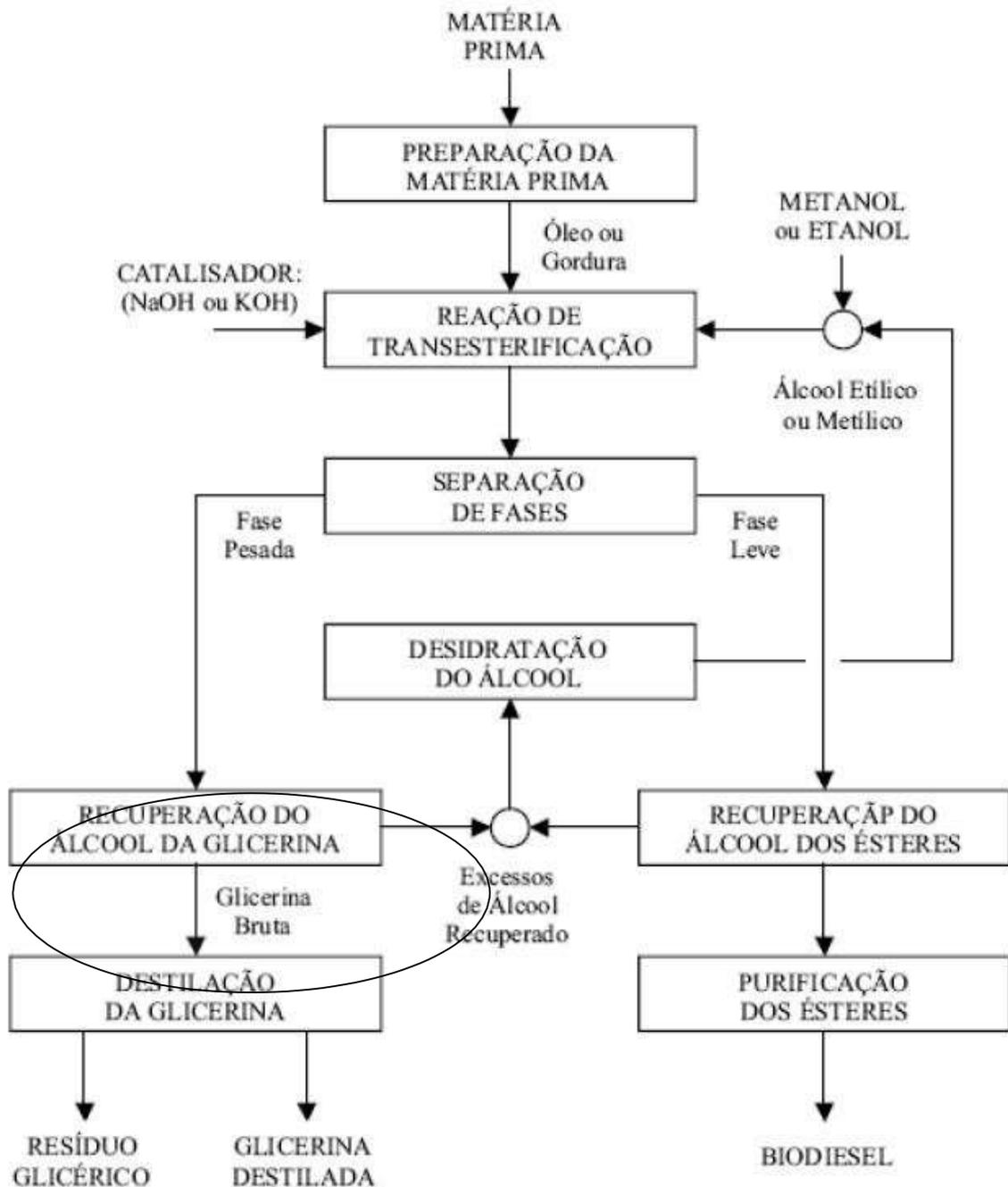


Figura 09 - Processo de produção de biodiesel.

Fonte: PARENTE *et al.*, (2004).

A glicerina ou também chamada de glicerol é o principal subproduto gerado na produção de biodiesel, sendo que aproximadamente 10 % do volume total de biodiesel produzido correspondem a glicerol (DASARI *et al.*, 2005). Devido a esta condição, torna-se necessária, a busca de alternativas para o uso do glicerol bruto gerado nesta produção, com o intuito de evitar futuros problemas derivados do acúmulo de glicerol e para tornar a produção

de biodiesel mais competitiva, embora apresente algumas impurezas como água, saís, ésteres. Álcool e óleo residual, atributos que lhe confere baixo valor econômico (OOI *et al.*, *apud* NEU, 2012).

A glicerina bruta, emergente do processo, mesmo com suas impurezas convencionais, já constitui o subproduto rentável. No entanto, a glicerina pode ser purificada e desta forma lhe ser agregada um valor de mercado muito mais favorável. A purificação da glicerina bruta pode ser feita por destilação a vácuo, gerando um produto límpido e transparente. O produto de calda da destilação, ajustável na faixa de 10% a 15% do peso da glicerina bruta, pode ser denominado de “glicerina residual” e ainda encontra possíveis aplicações (YONG *et al.*, 2001).

A conversão microbiana de glicerol por processos biotecnológicos em produtos de maior valor agregado, como biomassa e biomoléculas, é uma alternativa relevante para a maior valorização da produção de biodiesel. Sendo assim, a necessidade de estratégias mais detalhadas para a utilização biotecnológica do glicerol de forma a reduzir os impactos ambientais e tornar o biodiesel um produto altamente competitivo no mercado mundial de biocombustíveis (ITO *et al.*, 2005). A Figura 10 mostra a aplicação genérica da glicerina a nível industrial.

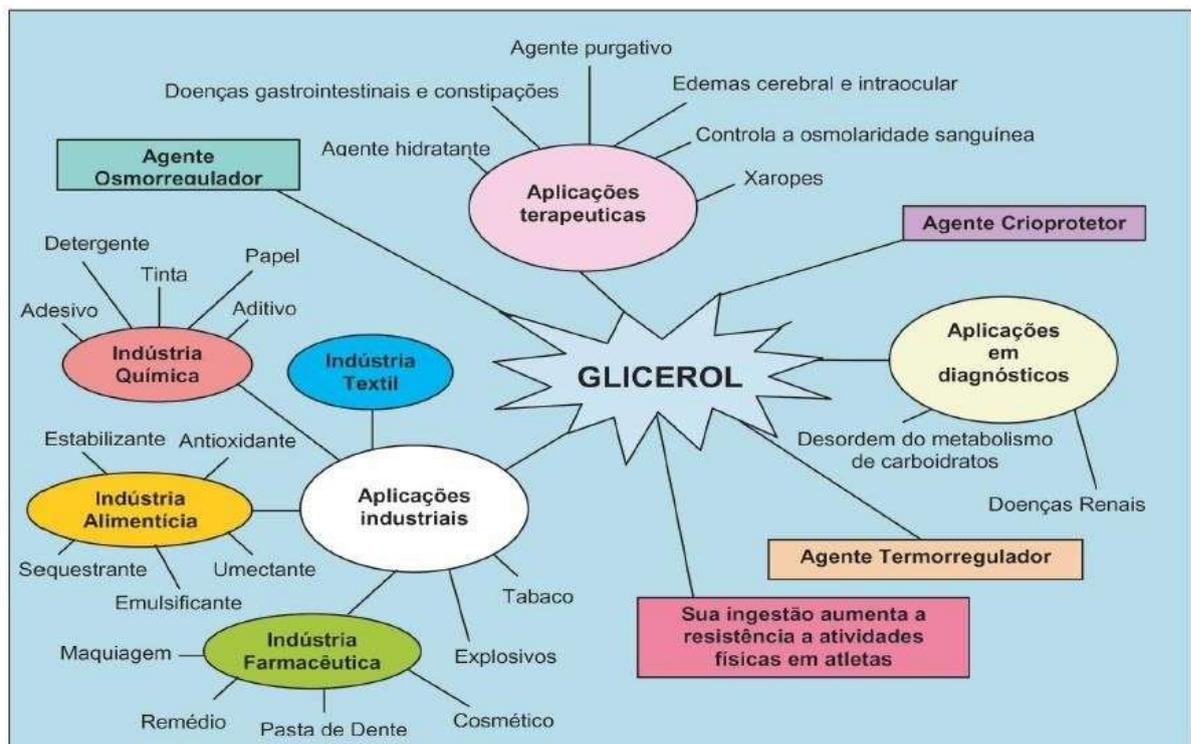


Figura 10 - Aplicações genéricas da glicerina a nível industrial

Fonte: ARRUDA, RODRIGUES e ALMEIDA *apud* MARCO (2010).

A glicerina, cujo nome químico é glicerol e a fórmula é $C_3H_5(OH)_3$, é estável em condições normais de uso e estocagem. Decompõe em temperatura acima de $290^\circ C$, formando um gás corrosivo denominado acroleína (TEVES, 2003). Acroleína e ácido acrílico do glicerol, são produzidos a partir do glicerol, através da desidratação do glicerol, o qual se dá por dois meios, ou seja, através da desidratação da hidroxila central do glicerol levando a produção do 3-hidroxi-propanal, o qual também pode sofrer desidratação para formar a acroleína ou através da desidratação da hidroxila terminal levando à produção da α -hidroxi-acetona, também conhecida como acetol (MOTA, SILVA E GONÇAVES, 2009).

A Figura 11 mostra a reação de desidratação do glicerol para a produção da acroleína em duas etapas.

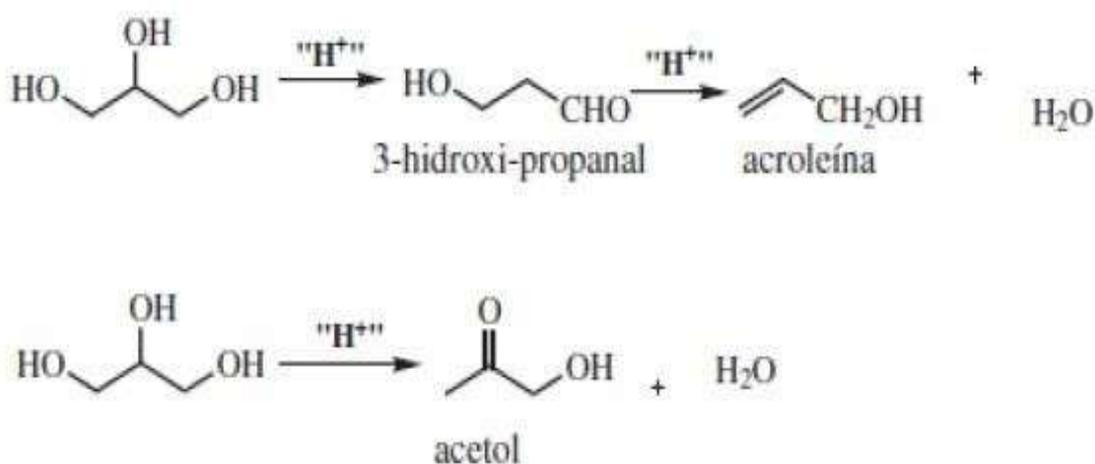


Figura 11 - Esquema reacional da desidratação da glicerina para formação da acroleína e do acetol.

Fonte: ARRUDA, RODRIGUES e ALMEIDA *apud* MARCO (2010).

A acroleína além de ser o precursor do ácido acrílico de larga aplicação industrial, serve como de matéria prima para a produção de vários produtos com grande importância, destacando-se a metionina, aminoácido empregado na indústria alimentícia (MOTA, SILVA E GONÇAVES, 2009).

De acordo com Pinto *et al.*, (2005) e Shreve & Brink Jr (1980), as principais impurezas que são encontradas na glicerina do processo de produção de biodiesel são: água, catalisador (alcalino ou ácido), álcool (não reagido), impurezas provindas dos reagentes, ácidos graxos, ésteres, propanodióis, monoéteres, oligômeros de glicerina e polímeros. Estas impurezas variam em função da natureza do óleo vegetal, que é influenciada pela região de cultivo e tipo de matriz vegetal, como mamona, soja, algodão, girassol e outras (FERRARI *et al.*, 2005; PINTO *et al.*, 2005).

Holanda (2004) descreve que a destilação da glicerina bruta recupera o excesso de álcool utilizado na reação de transesterificação e a glicerina; no entanto, gera um resíduo glicérico. O inconveniente deste processo é o elevado consumo de energia, além do baixo rendimento, pois é formado um grande volume de resíduo glicérico, para o qual não há recomendação descrita de utilização.

De acordo com Swearingen (2013), a hidrólise da glicerina bruta, contida em um recipiente, através do uso do ácido fosfórico, propicia o surgimento de três produtos distintos e imiscíveis. A Figura 12 apresenta o resultado da reação. Na Figura 12 o produto possui a seguinte composição:

- ✓ No topo (fase escura); ácidos graxos livres no estado líquido;
- ✓ A fase intermediária (cor âmbar), glicerina com pureza de até 80%;
- ✓ No fundo (cor clara), sal formado da mistura de catalisador e ácido fosfórico.



Figura 12 - As três fases formadas na hidrólise ácida da glicerina: ácidos graxos (superior), glicerina PP (intermediária) e sais de ácido fosfórico (inferior).

Fonte: Marjorie Manoeli Lopes Vieira

Uma das maiores empresas produtoras de biodiesel do Brasil, a Brasil Ecodiesel Indústria e Comércio de Biocombustíveis, faz uso de um método de tratamento, usando ácido forte, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) para tratamento da glicerina, gerada em sua planta produtora de biodiesel (MENDES *et al.*, 2012).

Toda a glicerina, gerada na planta industrial, é drenada para a unidade de tratamento, onde a mesma passa por uma neutralização com ácido sulfúrico. Um rigoroso controle de qualidade verifica se a batelada, nome dado pela empresa a cada tanque a ser neutralizado, está de acordo com os padrões para ser transferida (MENDES *et al.*, 2012).

Após essa etapa, a glicerina, já homogeneizada com o ácido, passa por seis evaporadores contínuos com o intuito de evaporar o metanol utilizado em excesso no processo de produção de biodiesel. Depois de evaporado o metanol, a glicerina passa por uma centrífuga, a fim de separar as fases: glicerina, ácido graxo e sais.

A glicerina e o ácido graxo são transferidos para um tanque vertical, onde por diferença de densidade, os mesmos separam-se em duas fases. A glicerina pode ser comercializada, o ácido graxo, um subproduto desse tratamento, pode ser queimado em caldeiras e os sais podem ser usados para complementar a matéria-prima de argilas em olarias (MENDES *et al.*, 2012).

O resíduo é efluente, quais sejam:

A origem dos ácidos graxos se dá através do processo de refino físico e químico de óleo vegetal e/ou matéria graxa, bem como do processo de transesterificação para a produção do biodiesel e através do tratamento da glicerina. A sua composição e propriedade depende do óleo utilizado no processo apresentando uma coloração levemente amarelada.

O resíduo, é considerado como valioso para uso como matéria-prima básica, pelo fato de serem biodegradáveis renováveis e apresentarem contínua disponibilidade, tornando vantajosa à utilização para processamento e industrialização.

Uma das possibilidades de reuso deste resíduo é como combustível para caldeiras utilizadas na geração de energia elétrica e térmica da indústria (MENDES *et al.*, 2012).

O crescimento da utilização e demanda mundial por produtos e matéria-prima ecologicamente corretos e biodegradáveis, disponibiliza uma maior versatilidade na aplicação do ácido graxo destilado de soja, devido ao fato de preservar os recursos naturais e pelo produto não agregar características indesejáveis encontradas nas matérias-primas de origem sintética.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa constitui-se inicialmente da caracterização das matérias-primas argila e do resíduo de biodiesel investigado. Depois foi feita formulação para adição do resíduo em percentuais na argila, visando avaliar o seu potencial como matéria-prima para obter um produto cerâmico convencional.

Os procedimentos de caracterização, conformação, processamento de secagem e queima, e ensaios tecnológicos e ambientais foram feitos no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) do Departamento de Materiais (DEMAT) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A Figura 13 abaixo ilustra o fluxograma usado e suas fases.

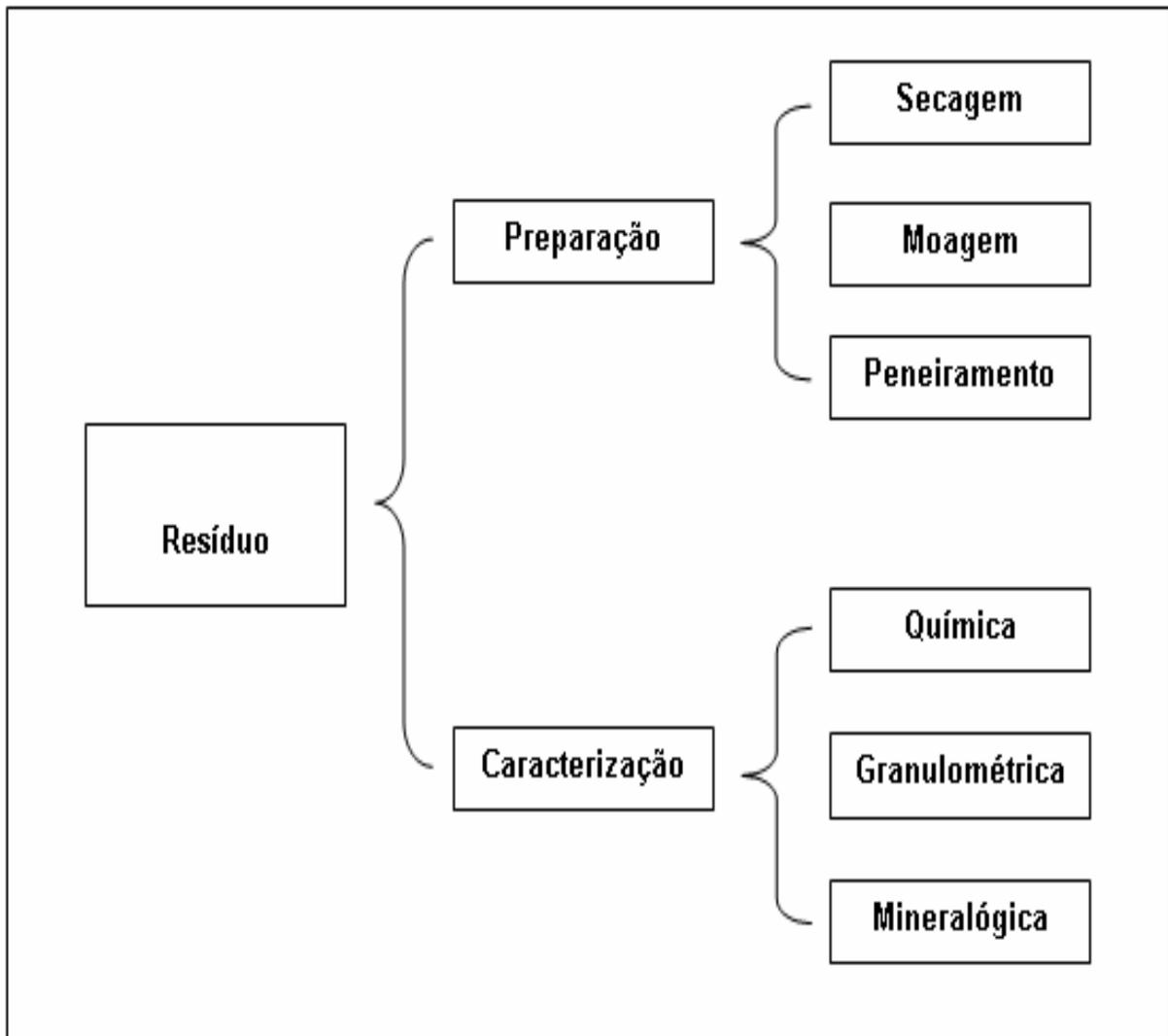


Figura 13 – Fluxograma das etapas de preparação e caracterização das matérias-primas usadas neste trabalho.

3.1 Caracterização da matéria-prima

3.1.1 Resíduo da Produção de Biodiesel

O resíduo utilizado é obtido na planta de inovação por uma indústria produtora de biodiesel localizada na cidade de Porto Nacional/TO, que utiliza a soja como oleaginosa na sua produção, o mesmo é caracterizado como ácido graxo.

Para caracterização deste produto uma amostra aproximada de 200 ml foi enviada para o laboratório da ASG do Brasil- Laboratórios de Controle de Qualidade Ltda., Laboratório Credenciado junto à ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis Processo ANP 48600.002398/2009-22 Registro 005, localizada na cidade do Rio de Janeiro - RJ,

Amostra do tipo de óleo, teve certificado gerado com o número 214576 no dia 06 de agosto de 2013 pela empresa para controle interno. Amostra foi caracterizada quanto: Poder Calorífico (inferior e superior); teor de Cinzas; Acidez; Densidade; Metais Pesados; Classificação em Ácidos Graxos (varredura); Teor de Éster; Glicerina livre; Monoglicerídeos; Diglicerídeos; Triglicerídeos; Índice de Saponificação e Resíduo de Carbono. Cujos resultados são apresentados na tabela 02. A figura 14 apresenta a amostra que foi enviada para o laboratório.



Figura 14 – Amostra de ácido graxo para caracterização.

Tabela 02 - Composição química e os valores encontrados no ácido graxo.

Amostra	IDB	Parâmetros	Método	Resultados	Unidade		
ÓLEO	115864	Água	DIN EN ISO 12937	3824	mg/kg		
		Poder Calorífico (superior)	DIN 51900-1 mod	38761	J/g		
		Poder Calorífico (inferior)	DIN 51900-2 mod	36354	J/g		
		Cinzas	DIN EN ISO 6245	0,005	%(m/m)		
		Densidade a 15°C	DIN EN ISO 12185	907,7	kg/m ³		
		Ácido Láurico - C12:0	ISO 5508	<0,1	%(m/m)		
		Ácido Mirístico - C14:0		0,1	%(m/m)		
		Ácido Palmítico - C16:0		12,2	%(m/m)		
		Ácido Palmitoleico - C16:1		0,3	%(m/m)		
		Ácido Esteárico - C18:0		3,9	%(m/m)		
		Ácido Oleico - C18:1		25,8	%(m/m)		
		Ácido Linoleico - C18:2		49,3	%(m/m)		
		Ácido Linolênico - C18:3		6,6	%(m/m)		
		Ácido Araquídico - C20:0		0,5	%(m/m)		
		Ácido Eicosenóico - C20:1		0,2	%(m/m)		
		Ácido Beênico - C22:0		0,6	%(m/m)		
		Ácido Erúcico - C22:1		0,2	%(m/m)		
		Ácido Tetracosanóico - C24:0		0,2	%(m/m)		
		Ácido Tetracosenóico - C24:1		<0,1	%(m/m)		
		Éster		ASTM D7169	44	%(m/m)	
		Monoglicerídeos		GDF C-VI 5b	(38)*	%(m/m)	
		Diglicerídeos	6,6		%(m/m)		
		Triglicerídeos	9,1		%(m/m)		
		Glicerol	BS 5711-3	<0,5	%(m/m)		
		Índice de Saponificação	EN ISO 3657	104	mg KOH/g		
		Resíduo de Carbono	DIN EN ISO 10370	0,98	%(m/m)		
		Metais					
		Prata	ICP OES	<0,5	mg/kg		
		Alumínio		11,7	mg/kg		
		Bário		<0,5	mg/kg		
		Calcio		110	mg/kg		
		Cadmio		<0,5	mg/kg		
		Cromo		11,3	mg/kg		
		Cobre		2,2	mg/kg		
		Ferro		700	mg/kg		
		Potássio		21	mg/kg		
Magnésio	22,5	mg/kg					
Manganês	5,5	mg/kg					
Molibdênio	<0,5	mg/kg					
Sódio	580	mg/kg					
Níquel	6,3	mg/kg					
Fósforo	425	mg/kg					
Chumbo	<0,5	mg/kg					
Silício	8	mg/kg					
Estanho	1,2	mg/kg					
Titânio	16	mg/kg					
Vanádio	<0,5	mg/kg					
Zinco	2,6	mg/kg					

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.1.2 Argila

A argila foi caracterizada quanto às propriedades químicas, mineralógicas e físicas, para tanto foi submetida às seguintes análises: fluorescência de raios X, difração de raios X e análise granulométrica. A Tabela 03 e Figura 15 apresentam, respectivamente, os resultados da análise de fluorescência e difração de raios X da argila utilizada no trabalho.

Tabela 03 - Fluorescência de raios X da argila

ÓXIDOS	(%)
SiO ₂	58,257
Al ₂ O ₃	18,10
Fe ₂ O ₃	8,78
K ₂ O	4,38
TiO ₂	1,017
MgO	0,67
SO ₃	0,19
P ₂ O ₅	0,18
CaO	0,11
Rb ₂ O	0,04
MnO	0,04
ZrO ₂	0,04
Cr ₂ O ₃	0,035
SrO	0,03
ZnO	0,02
CO ₂	8,13

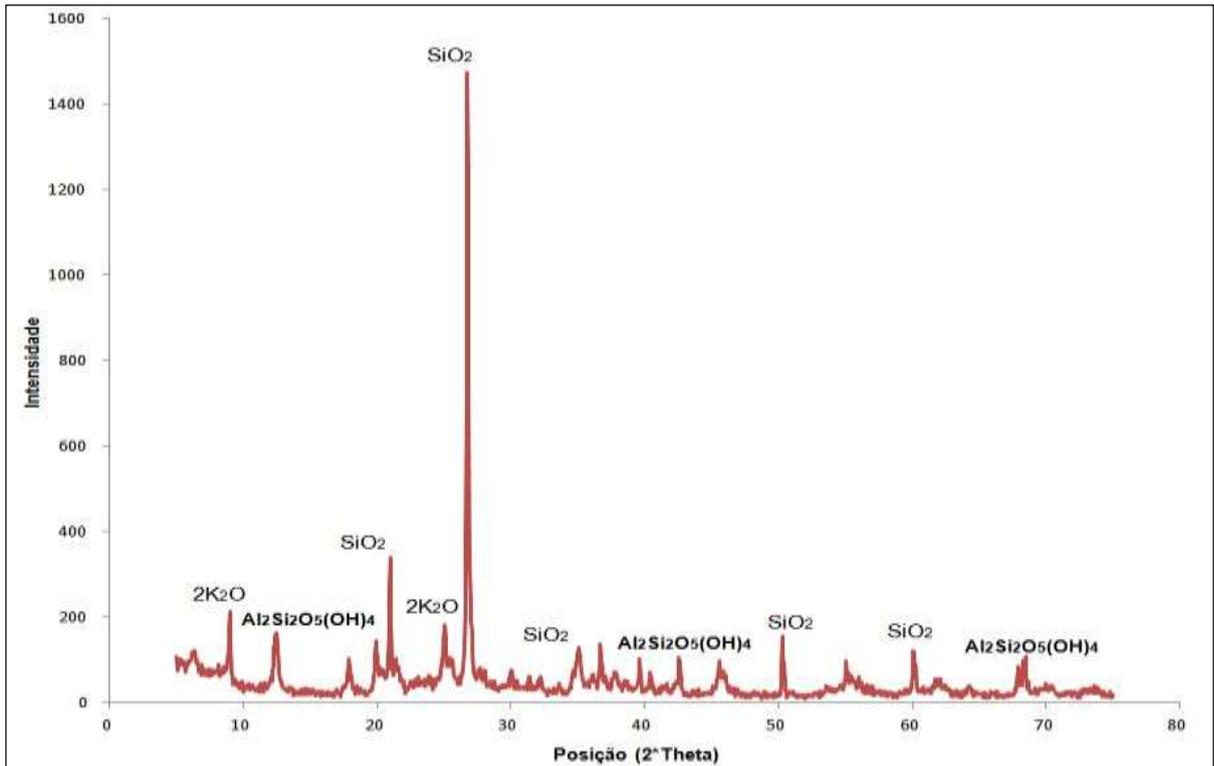


Figura 15 – Difração de raios X da argila.

A Figura 16 e a Tabela 04 apresentam o resultado da análise granulométrica da argila realizada por difração a *laser*. A argila utilizada neste trabalho apresentou, após moagem, um tamanho médio de partícula de 5,43 μm .

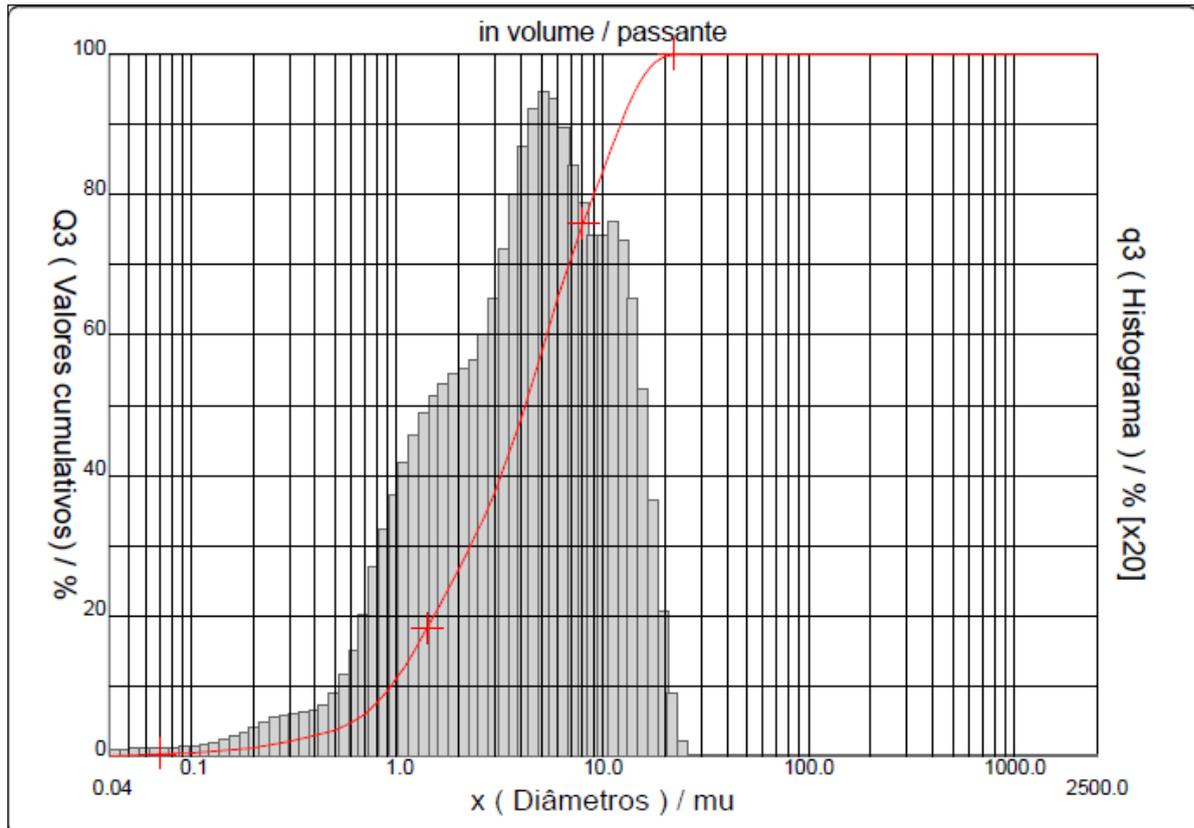


Figura 16 – Granulometria a *laser* da argila.

Tabela 04 - Análise granulométrica por difração a *laser* da argila após moagem

Matéria-Prima	D ₁₀ (μm)	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)	D _{médio} (μm)
Argila	0,93	4,19	12,18	5,43

3.2 Obtenção dos corpos cerâmicos

Inicialmente a argila foi moída a seco em moinho de bolas, mantendo-se a relação 3:1, entre o corpo moedor e a matéria-prima. Os corpos moedores utilizados são de alta alumina (>92% de Al₂O₃), de três diferentes tamanhos: 32 mm; 22 mm e 13 mm. O tempo de moagem foi de 24 horas.

Para obtenção dos corpos-de-prova, procedeu-se de acordo com a sequência apresentada na Figura 17.

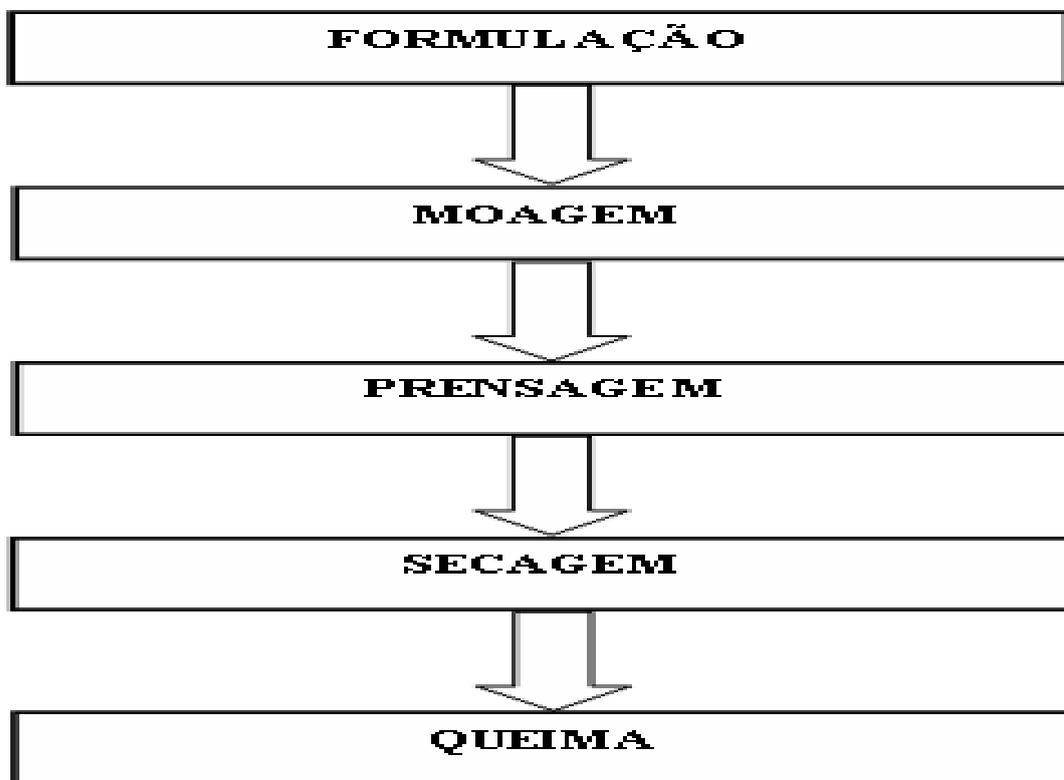


Figura 17 – Fluxograma adotado para produção dos corpos-de-prova

Formulação: Para avaliar a influência da adição do resíduo nas propriedades tecnológicas dos corpos cerâmicos, foram desenvolvidas quatro formulações. A argila foi inicialmente peneirada em malha de 80 mesh (177 μm) e aditivada com resíduo. Estas formulações estão apresentadas na Tabela 05.

Tabela 05 – Formulações de argila e óleo (% em peso)

Formulação	Óleo (%)	Argila (%)
F0%	0	100
F 0,5%	0,5	99,5
F 1,0%	1,0	99
F 1,5%	1,5	98,5

Moagem: As formulações apresentadas na Tabela 05 foram homogeneizadas em moinho planetário, por cinco minutos, e então foram umidificadas com água. Após, as massas foram granuladas em peneira 20 ABNT (abertura 850 μm) para serem então conformadas.

Prensagem: As massas, da mistura argila + ácido graxo, foram então conformadas utilizando-se uma prensa hidráulica de simples efeito, uniaxial, e uma matriz metálica de aço ferramenta com as dimensões 20 x 60 mm². A pressão de compactação utilizada foi de 20 MPa. Foram obtidos 15 corpos-de-prova de cada formulação.

Secagem: A secagem foi realizada em duas etapas: a primeira ao ar, por pelo menos 24h, e a segunda em estufa com temperatura controlada de 110 ± 5°C, por pelo menos 24h.

Sinterização: Os corpos-de-prova das formulações foram queimados em um forno elétrico nas temperaturas de 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C. A taxa de aquecimento foi de 150° C/h, com patamar de 6 horas.

3.3 Caracterização física, mecânica e ambiental dos corpos cerâmicos obtidos

Os corpos-de-prova queimados foram caracterizados quanto às propriedades tecnológicas: absorção de água, porosidade aparente, retração linear e resistência mecânica à flexão a quatro pontos. Além disso, foram submetidos a ensaios para avaliação ambiental (Lixiviação, solubilização e emissões gasosas).

3.3.1 Absorção de água (ASTM C-373/94-88)

Representa o aumento de peso do material úmido em relação ao seco. Este parâmetro pode ser avaliado através da relação entre os pesos seco e úmido dos corpos cerâmicos. Este procedimento segue a norma ASTM C-373/94-88. A obtenção do peso úmido requer a imersão dos corpos cerâmicos em água por, no mínimo, 24h. O peso úmido é determinado após a retirada da água superficial do corpo-de-prova. A absorção de água foi determinada por meio da Equação I.

$$AA = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (\text{Equação I})$$

Sendo,

AA = absorção de água, em %;

P_s = massa da amostra seca, em g;

P_u = massa da amostra úmida, em g;

3.3.2 Retração linear (ASTM C – 210/95)

A retração linear de queima é obtida de acordo com a Equação II, que relaciona as dimensões da amostra após a secagem e após a queima.

$$RL = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100 \quad (\text{Equação II})$$

Sendo,

RL = retração linear de queima, em %;

L_i = comprimento após a secagem, em mm;

L_f = comprimento após a queima, em mm.

3.3.3 Porosidade aparente (ASTM C-373/94-88)

Para realizar este ensaio, os corpos de prova quebrados e pesados, foram deixados imersos em água por 24h para garantir a sua saturação. Após, foram feitas as medidas do peso úmido e peso imerso das mesmas, e aplicada a seguinte fórmula:

$$P_{ap} = \frac{P_u - P_s}{P_u - P_i} * 100 \quad (\text{Equação III})$$

Onde:

P_{ap} = porosidade aparente (%)

P_u = Peso do material úmido (g)

P_i = Peso do material imerso (g)

P_s = Peso do material seco em estufa a 105 – 110°C (g)

3.3.4 Resistência mecânica (ASTM C - 133/97)

A resistência mecânica dos corpos-de-prova foi avaliada através da determinação da resistência à flexão a quatro pontos. Para a realização do ensaio de resistência mecânica

utilizou-se uma máquina de ensaios universal, marca SHIMADZV, e corpos-de-prova de dimensões aproximadas de 60 x 20 x 7 mm³.

A Figura 18 apresenta, esquematicamente, a disposição dos corpos-de-prova para efetuar-se o ensaio de resistência à flexão a quatro pontos, bem como o diagrama de distribuição de solicitações (momento fletor).

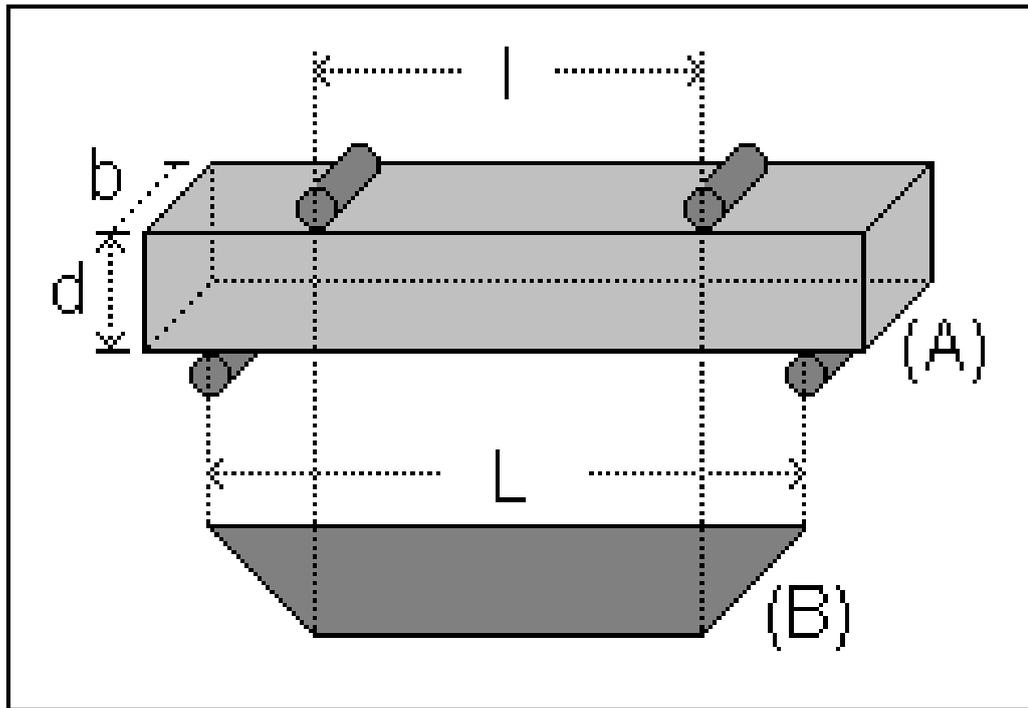


Figura 18 – Representação esquemática da disposição do corpo-de-prova para ensaio de resistência mecânica à flexão a quatro pontos (A) e diagrama de distribuição de solicitações, momento fletor (B).

O ensaio à flexão a 4 pontos é o mais utilizado em materiais cerâmicos, pois a probabilidade da maior falha presente no material se encontrar na área sujeita à carga é mais elevada.

A Equação IV apresenta a fórmula utilizada para o cálculo da resistência mecânica à flexão (σ) dos corpos-de-prova, seguindo a representação esquemática mostrada na Figura 19.

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot (L-l)}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (\text{Equação IV})$$

Onde:

σ = tensão máxima de ruptura (MPa);

P = carga máxima aplicada (N);

b = base do corpo-de-prova (mm);

d = altura do corpo-de-prova (mm);

l = distância entre os apoios superiores (mm);

L = distância entre os apoios inferiores (mm).

3.3.5 Aspecto Ambiental

- ✓ Imobilização dos elementos perigosos: Foi avaliada por meio dos ensaios de lixiviação. Além disso, foi realizada uma avaliação das emissões gasosas ocorridas durante a etapa de queima dos corpos cerâmicos. O objetivo desta avaliação foi de averiguar se haveria perda significativa por emissão gasosa de elementos perigosos, de forma a interferir na avaliação da imobilização do íon no corpo cerâmico por ensaios de lixiviação.
- ✓ Lixiviação – NBR 10.005: O ensaio de lixiviação foi realizado de acordo com a NBR 10.005. Foram utilizadas 100g do material sólido. Os corpos cerâmicos ainda verdes foram seccionados na forma de cubos e passados em uma peneira com malha de 9,5mm. Posteriormente foram secos em estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e então submetidos à queima de acordo com o item 5.3.4. A seguir foram feitos os testes para determinação da solução de extração a ser utilizada tomando como base o pH de cada amostra. Os corpos cerâmicos na forma de cubos e a solução de extração foram colocados em um frasco até completar 1 litro com água deionizada. O ensaio de lixiviação teve a duração de $18\text{h} \pm 2\text{h}$, sob agitação. No final deste período, filtrou-se a amostra e procedeu-se a leitura do pH do extrato lixiviado. Este foi submetido à análise química para determinação da presença de elementos potencialmente tóxicos ao meio ambiente.
- ✓ Solubilização – NBR 10.006: O ensaio de solubilização é utilizado para classificar o resíduo entre inerte e não-inerte. O procedimento usa água deionizada, sem correção de pH. A razão líquido/sólido é igual a 4. Utilizou-se 250 gramas de amostra, com tamanho de partícula menor que 9,5 mm e 1 litro de água deionizada. Após 5 minutos de agitação, o material ficou 7 dias em repouso. Após este período, a fase sólida é separa da líquida por filtração. A fase líquida foi então enviada para análise dos elementos e comparada com os valores constantes na NBR 10.004.

- ✓ Emissões Gasosas: A análise de emissões gasosas foi realizada utilizando o aparato ilustrado esquematicamente pela Figura 19 (BASEGIO, 2004). A amostra a ser queimada, com o peso de 100g, foi colocada em um reator de quartzo dentro de um forno mufla. O reator possui dois orifícios: um, por onde o ar é insuflado sobre a amostra; e o outro, por onde o ar da atmosfera de queima será coletado, sob vácuo, utilizando-se para tanto uma bomba de diafragma de teflon. O ar assim coletado foi lavado em frascos lavadores de gases, com capacidade de 500 ml. Os dois primeiros frascos lavadores de gases continham água deionizada e o terceiro tubo permaneceu vazio, também denominado de tubo seco, o qual permitia a visualização e auxiliava na retenção de qualquer condensação, como também impedia que a umidade atingisse a bomba de vácuo. Após os ensaios procedeu-se com a coleta das amostras, as quais foram enviadas para análise.

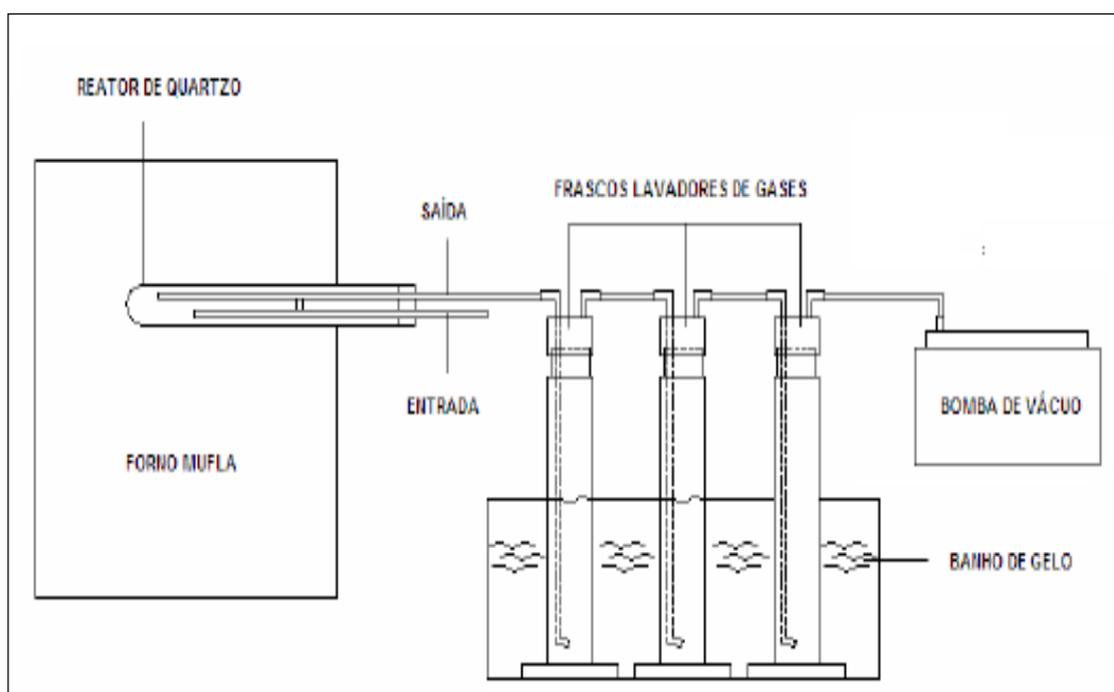


Figura 19 - Equipamento utilizado para emissões atmosféricas geradas durante a queima de formulações cerâmicas.

Fonte: BASEGIO, 2004.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os corpos de provas foram queimados em temperaturas diferentes, com adição de ácido graxo: 0,5%, 1% e 1,5%. Conforme ilustra a tabela 06.

Tabela 06 – Corpos cerâmicos queimados em diferentes temperaturas.

T ° C	Argila Pura (F0%)	Argila + 0,5% de óleo (F0,5%)	Argila + 1% de óleo (F1,0%)	Argila +1,5% de óleo (F1,5%)
700				
800				
900				
1000				

4.1 Propriedades Tecnológicas

4.1.1 Absorção de água e porosidade aparente

As Figuras 20 e 21 apresentam, respectivamente, a variação da absorção de água e porosidade aparente em função da temperatura de queima e dos diferentes teores de adição de

ácido graxo nos corpos cerâmicos. Observa-se que quanto maior a adição de ácido graxo, maior a absorção de água e porosidade aparente. Em relação à temperatura de queima, verifica-se que à medida que temperatura de queima aumenta, diminuem a absorção e porosidade dos corpos cerâmicos, isso deve ocorrer pelo favorecimento dos mecanismos de sinterização via fase líquida.

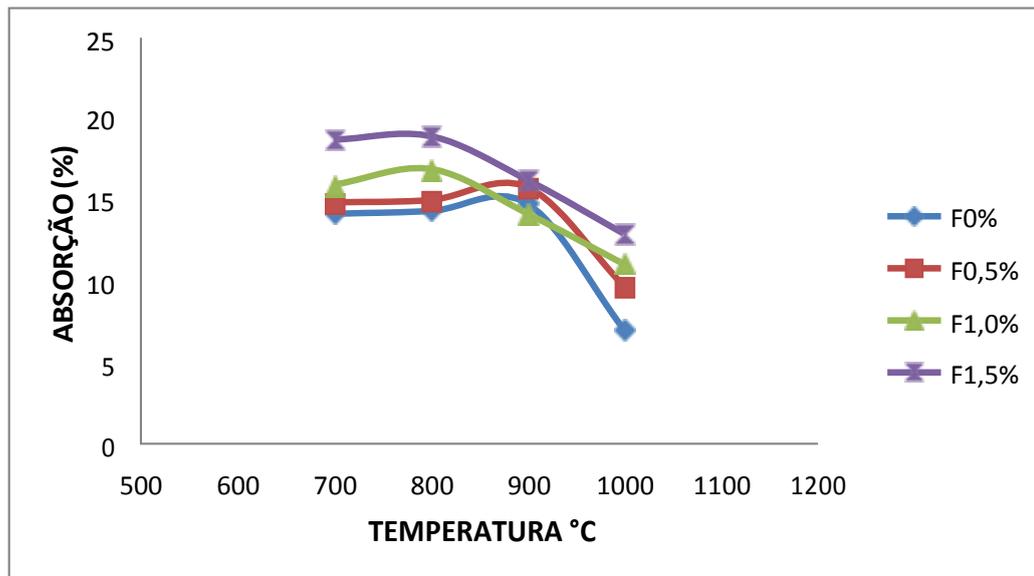


Figura 20 – Absorção de água das formulações em diferentes temperaturas de queima.

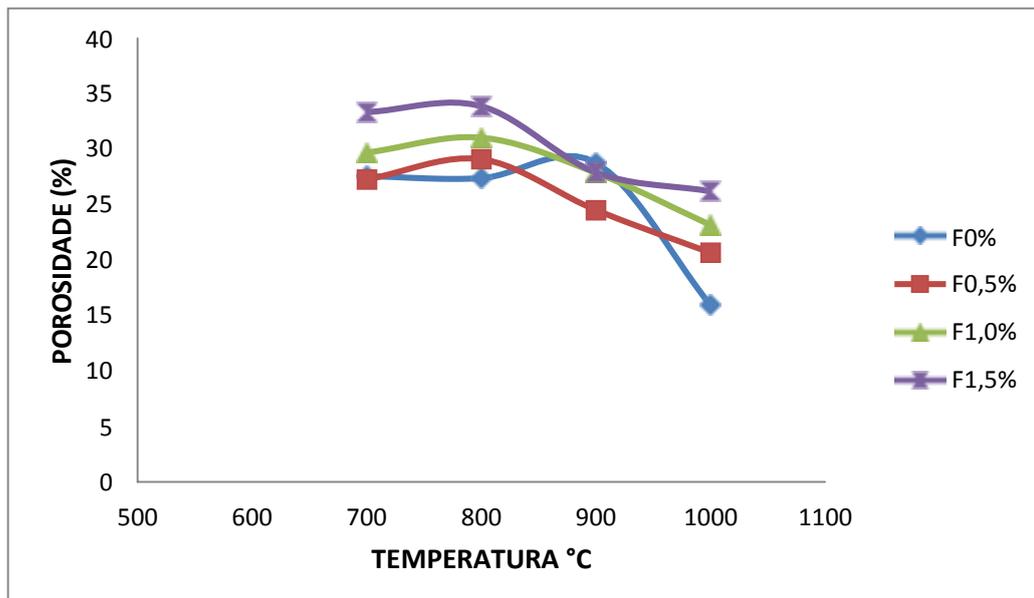


Figura 21 – Porosidade Aparente das formulações em diferentes temperaturas de queima.

4.1.2 Retração linear

A Figura 22 apresenta a retração linear dos corpos cerâmicos em função da temperatura de queima. Observa-se que não houve variação significativa na retração linear dos corpos cerâmicos em função da adição de ácido graxo e que a mesma aumentou com o aumento da temperatura de queima.

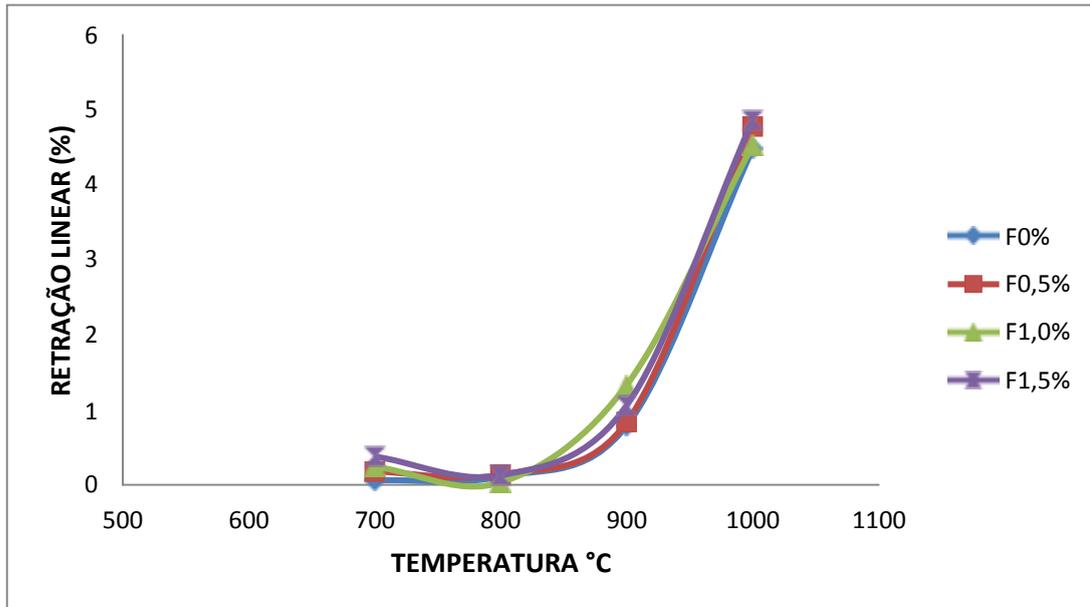


Figura 22 – Retração linear das formulações em diferentes temperaturas de queima.

4.1.3 Resistência Mecânica

A Figura 23 apresenta a variação da resistência mecânica em função da temperatura de queima. Verifica-se que o aumento da resistência mecânica com o aumento da temperatura de queima. Quanto à adição de ácido graxo, observa-se que entre as amostras aditivadas, não houve alteração significativa na resistência mecânica em nenhuma temperatura de queima. Entretanto, quando comparadas à amostra de argila pura (F0%), a adição de ácido graxo diminuiu significativamente a resistência mecânica das mesmas nas temperaturas de 900 e 1000°C.

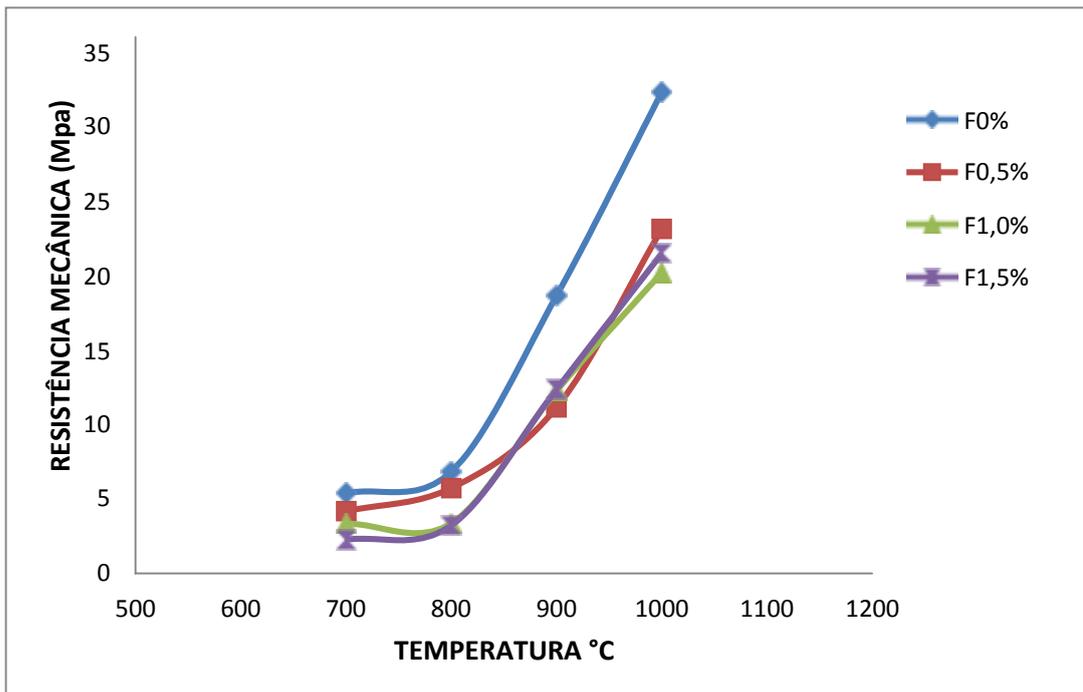


Figura 23 – Resistência mecânica das formulações em diferentes temperaturas de queima.

O óleo possui a presença de óxidos fundentes em sua composição química. Provavelmente, este resíduo possa atuar como um fundente, conforme Basegio (2007). O uso de fundentes contribui para uma diminuição da absorção de água e aumento da resistência mecânica aos preencher os poros. De acordo com os dados apresentados na Tabela 01, adição do óleo em qualquer uma das formulações pode ser adicionado em produtos cerâmicos sem comprometer a sua resistência mecânica.

4.2 Compatibilidade Ambiental

4.2.1 Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005)

A Tabela 07 apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação para os corpos de prova queimados a 1000°C, com o objetivo de verificar a compatibilidade ambiental das massas cerâmicas obtidas.

Tabela 07 – Resultados dos ensaios de lixiviação das formulações queimadas na temperatura de 1000°C.

	Elementos Analisados					
	Cd	Cr total	Pb	Se	Ba	Ag
	Limite Máximo NBR 10.004 (mg/L)					
	0,5	5	1	1	70	5
	Valores Obtidos (mg/L)					
F0%	< 0,002	< 0,004	< 0,02	< 0,03	< 0,01	< 0,01
F0,5%	< 0,002	< 0,004	< 0,02	< 0,03	< 0,01	< 0,01
F1,0%	0,02	0,01	< 0,02	< 0,03	< 0,01	< 0,01
F1,5%	0,02	0,01	< 0,02	< 0,03	< 0,01	< 0,01

Os resultados da análise química dos testes de lixiviação apresentados na Tabela 07 mostram que nenhuma das formulações ultrapassou o limite estabelecido pela norma, todos os elementos químicos analisados ficaram bem abaixo do permitido pela mesma.

4.2.2 Ensaio de Solubilização(NBR 10.006)

A Tabela 08 apresenta os resultados dos ensaios de solubilização para os corpos de prova queimados a 1000°C.

Tabela 08 – Resultados dos ensaios de solubilização das formulações queimadas na temperatura de 1000°C.

	Elementos Analisados											
	Cu	Zn	Fe	Mn	Cd	Cr total	Pb	Al	Se	Ba	Ag	
	Limite máximo NBR 10.004 (mg/L)											
	2	5	0,3	0,1	0,005	0,05	0,01	0,2	0,01	0,7	0,05	
	Valores Obtidos (mg/L)											
F0%	< 0,02	0,02	< 0,04	0,03	< 0,002	< 0,004	< 0,02	0,38	< 0,03	0,52	< 0,01	
F0,5%	< 0,02	0,02	< 0,04	0,03	< 0,002	< 0,004	< 0,02	0,35	< 0,03	0,46	< 0,01	
F1,0%	<0,02	0,04	< 0,04	0,04	<0,002	0,004	< 0,02	0,8	< 0,03	0,7	< 0,01	
F1,5%	< 0,02	0,12	< 0,04	0,07	< 0,002	< 0,004	< 0,02	0,33	< 0,03	0,63	< 0,01	

Os resultados da análise química dos testes de solubilização apresentados na Tabela 08 mostram que, com exceção do alumínio, nenhum outro elemento ultrapassou o limite

estabelecido pela norma NBR 10004. Entretanto, o fato da concentração de Al estar acima do estabelecido pela NBR 10004 todas as formulações são classificadas como Classe II A – Não Inerte.

4.2.3 Emissões Gasosas

A Tabela 09 apresenta os resultados dos elementos liberados durante a queima das amostras na temperatura de 1000°C.

Tabela 09 – Resultados da água de lavagem das formulações da queima na temperatura de 1000°C.

Elemento	Concentração (mg/l)			
	F0%	F0,5%	F1,0%	F1,5%
K	0,55	0,39	0,37	0,33
Ca	0,87	0,52	< 0,1	0,12
Mg	0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Cu	0,06	0,05	0,01	< 0,004
Zn	0,04	0,03	< 0,02	< 0,02
Fe	0,09	< 0,04	< 0,04	< 0,04
Mn	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Na	1,32	1,13	1,22	1,24
Cd	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Cr	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Ni	< 0,004	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Pb	0,02	0,01	< 0,01	< 0,01
Al	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
Se	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Ag	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ba	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Como pode ser visto na Tabela 09 nenhuma das formulações avaliadas apresentou, durante a etapa de queima, emissões de elementos contaminantes em teor potencialmente significativo. Fato que pode ser claramente observado a partir da análise dos teores emitidos pela amostra F0%, ou seja, amostra sem aditivção do resíduo. Esta condição é favorável e contribuição ambiental é significativa, pois favorece o uso do ácido graxo evitando que o mesmo tenha seu descarte ambientalmente correto e prejuízos futuros a humanidade.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no desenvolvimento deste trabalho, podem-se inferir as seguintes conclusões:

- ✓ Foi possível obter materiais cerâmicos, com propriedades tecnológicas compatíveis com produtos comerciais, em formulações com adição de ácido graxo na massa cerâmica.
- ✓ A adição de ácido graxo aumenta a absorção de água e porosidade aparente das amostras estudadas.
- ✓ O aumento da temperatura de queima leva a melhores resultados nas propriedades avaliadas para todas as amostras.
- ✓ A adição de ácido graxo a massa cerâmica diminui significativamente a resistência mecânica das mesmas nas temperaturas de 900 e 1000°C.
- ✓ Os materiais obtidos com aditivção de ácidos graxos foram classificados como Classe II A – Não Inerte.
- ✓ Nenhuma das formulações avaliadas apresentou, durante a etapa de queima, emissões de elementos contaminantes em teor potencialmente significativo.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da realização deste trabalho, pode-se sugerir como trabalhos futuros:

- i. Utilizar outra amostra de argila que possa apresentar outros materiais fundentes para melhorar as propriedades mecânicas entre as temperaturas de 900 e 1000°C.
- ii. Avaliar o comportamento físico-mecânico e ambiental do material cerâmico com adição de ácido graxo através do processo de conformação de corpos de prova pelo processo de extrusão.
- iii. Avaliar o comportamento físico-mecânico e ambiental do material cerâmico com adição de ácido graxo, promovendo a sua queima em forno tipo abóboda. As sugestões aparecem de forma a complementar os resultados do presente trabalho, e, buscam viabilizar o uso do ácido graxo adicionado na matéria prima para produção de peças cerâmicas para uso na construção civil em geral. A viabilidade do uso desta material incorporado garante soluções de cunho ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMACO – Associação Brasileira de Materiais Compósitos. **Noções básicas sobre materiais compósitos**. Março, 2007.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Boletim Mensal de Biodiesel**: Outubro de 2011. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=57882&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1316782802431>> Acessado em 23/12/2011.

ARMANDO ALVES DE OLIVEIRA, Criciúma: Editora Lara, 2011 176 P: IL. COL 2°. 2° Impressão.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curca* L.) como Alternativa para o Semiárido Nordeste. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, n.1, p. 789-799, 2004.

ARRUDA, P. V., RODRIGUES; R. C. L. B.; ALMEIDA, M. G. **Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica**. Lorena: Revista Analytica, 2007.

ASSMANN, V. **Obtenção de compósitos termomoldados a partir da torta de mamona plastificada com glicerol, derivado do processo de transesterificação de óleos e gorduras**. 2009. 119p. Dissertação de mestrado em Ciências da Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, 2009.

ASSMANN, V.; SILVA, T. A. da; RAMOS, L. P.; WYPYCH, F. **Propriedades mecânicas de compósitos termomoldados obtidos a partir da torta de mamona, fibra de bagaço de cana-de-açúcar e glicerina “loira”**. XVI Encontro de Química da Região Sul. Curitiba (PR) - Brasil, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de Madeira Aglomerada**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 32p. pt.3: Métodos de ensaio (NBR14810).

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-6400-99: Specification for compostable plastics**. Philadelphia, 1999.

ASTM C-373/94-88 - **TEST METHOD FOR WATER ABSORPTION, BULK DENSITY, APPARENT POROSITY, AND APPARENT SPECIFIC GRAVITY OF FIRED WHITEWARE PRODUCTS**.

BAÊTA, F.C; SARTOR, V.. **Resistência dos Materiais e Dimensionamento de Estrutura para Construções Rurais**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 1999.

BALATON V. T.; GONÇALVES P. S.; FERRER L. M.. **Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas cerâmicas vermelha - Cerâmica industrial**. NOVEMBRO/DEZEMBRO 2002.

BALZER, P. S.; VICENTE, L.L.; BRIESEMEISTER, R.; BECKER, D. Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. Vol. 17, nº 1, p. 1-4, 2007.

BARBA A.. **Matérias primas para la fabricacion de suportes de baldosas cerâmicos**. Espanha 1997.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis Aglomerado à Base de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Resinas Uréia Formaldeído e Melamina Formaldeído**. 2009, 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) Rede Temática em Engenharia de Materiais- Redemat.

BARTHOLOMEU, A.; GONÇALVES, R. **Predição do Módulo de Elasticidade à Flexão em vigas de Eucalipto saturadas e secas ao ar utilizando a velocidade longitudinal de ultra-som**. IV Conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos. Buenos Aires – Octubre 2007.

BÉNÉZET, J. C.; STANOJLOVIC-DAVIDOVICA, A.; BERGERET, A.; FERRY, L.; CRESPIY, A. Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres. **Industrial Crops and Products**. 2011.

BENTO, D. A. **Fundamentos de Resistência dos Materiais**. Curso Técnico de Mecânica. Florianópolis, 2003.

BIODIESELBR. **Biodiesel no mundo**. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/mundo/biodiesel-no-mundo.htm>. Acesso em: 21/09/2011.

BONELLI, C. M. C; ELZUBAIR, A.; MIGUEZ SUAREZ, J. C.; MANO. E. B. Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. vol. 15, nº 4, p. 256-260, 2005.

Boni, L. A.B. Tratamento da glicerina bruta e subprodutos obtidos da reação de transesterificação de sebo bovino utilizado para a produção de biodiesel. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de pós-graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais. Canoas, Universidade Luterana do Brasil, 2008. Disponível em <http://www.deboni.he.com.br/trabalho_de_boni.pdf>. Acessado em 01/11/2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2.ed. Brasília, DF, 2006.

BROWNING, G. B. **Methods of Wood Chemistry**. Volume I, Cap.4, p.59, 1967.

CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. dos S. ; TANNO, L. C. Argilas para Cerâmica Vermelha. In: Luz, A. B.; Freitas; Lins, F. A. F.. (Org.). **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009, v. 1, p. 747-770.

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering – An Introduction**. John Wiley & Sons. Editora - LTC , 5. ed., p. 266-307, 2002.

_____ ; Ciência dos materiais – Uma Introdução. 7º Edição. John Wiley & Sons. Editora – LTC, 2009.

CARASCHI, J. C., RAMOS, U. M.; LEÃO, A. L. **Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação.** Universidade Estadual de Maringá. Maringá - PR, 2002.

CAVALCANTE, Raquel Massad. **Predição da densidade de biodiesel proveniente de diferentes matérias - primas.** 2010. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisitos parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Disponível em:

<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CEwQFjAI&url=http%3A%2F%2Fwww.eq.ufjr.br%2Fprh13%2Fdownload%2F%3Fprh13-predicao-da-densidade-de-biodiesel.pdf&ei=qCyKUo7rONOHkQfIpYDICw&usg=AFQjCNFkQy5HxWg4407CC9E4q73UX74MWg&sig2=oKEj_4ewU3THfkoGoMELAQ>. Acessado em: 12 nov 2013.

CLAUDIO, J. A. MOTA; Caroline. X. A. SILVA; Valter da; GONÇALVES, L. C. **Gliceroquímica: Novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel.** Quim. Nova, Vol. 32, n. 3, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio. 2009. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a08v32n3.pdf>>. Acessado em: 03/01/2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica e de revestimento: Série P + L. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/ceramica.pdf>. Acessado em 17/11/2013.

CORRADINI, E.; TEIXEIRA, E. de. M.; AGNELLI, J. A. M.; MATTOSO, L. H. C. **Amido Termoplástico.** Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos – SP, Brasil. 2007. 27p.

DACOSTA, L.P.E. **Utilização dos Resíduos do Processamento Mecânico da Madeira para a Fabricação de Chapas de Partículas Aglomeradas.** 2004.102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS.

DASARI, M. A.; KIATSIMKUL, P. P.; SUTTERLIN, W. R.; SUPPES, G.J.; **Low-pressure hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol, Applied Catalysis A: General**, v. 281, p. 225-231, 2005.

DEBIAGI, F.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1522-1529, nov./dez., 2010.

DELATORRE, Andreéia Boechat; RODRIGUES, Priscila Maria; AGUIAR, Cristiane de Jesus; ANDREDE, Vanessa Vicente Vieira; ARÊDES, Anália; PEREZ, Victor Haber. **Produção de biodiesel: considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas**

tecnológicas de processos. 2011. Disponível em: <<http://www.seer.perspectivasonline.com.br/index.php/CBS/article/viewFile/21/11>>. Acessado em 03/11/2013.

DEMIRBAS, Ayhan. **Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines.** London: Springer-Verlag, 2008.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. da; Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência rural.** 39(3): 945-954. 2009.

DIAS, A. B.; MÜLLER, C. M. O.; LAROTONDA, F. D. S.; LAURINDO, J. B. Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and Cellulose fibers. **LWT - Food Science and Technology** 44 (2011) 535-542.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Unidade Agroenergia. **Torta de pinhão manso requer cuidado especial.** 2010. Disponível em: <www.cnpea.embrapa.br> Acesso em: 25/05/2011.

FIGUEIREDO, M. K. ROMEIRO, G. A.; DAMASCENO, R. N. **Estudo do óleo da Torta de Pinhão-Manso, proveniente de Conversão a Baixa Temperatura.** XI encontro da Sociedade Brasileira de Química. Rio de Janeiro, 2007.

GHEM, J. L. D. **Avaliação da biodegradabilidade de produtos à base de mandioca e mamona.** 2006. 77p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. Cascavel (PR) – Brasil. 2006.

GIRONÈS, J.; LÓPEZ, J. P.; MUTJÉ, P.; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; VILASECA, F. Natural fiber-reinforced thermoplastic starch composites obtained by melt processing. **Composite Science and Technology.** 2012.

GOES, Marcos Ugalde de Araujo; BELINAZO, Helio João; CRUZ, Rafael Cabral; TOCCHETTO, Marta Regina Lopes. **Plano de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde do Hospital Pronto Socorro de Porto Alegre.** 2004. Disponível em <<http://sites.unifra.br/Portals/36/tecnologicas/2004/Gerenciamento.pdf>>. Acessado em 20/10/2013.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados** v. 21, 2007.

GOMES, C. E.; ZIVIANI, C. C.; SARTORI, G. D.; KIKUSHIMA, S. Y.; SILVA, T. A. da. **Plástico biodegradável a base de amido.** IX Simpósio de Base Experimental das Ciências Naturais da Universidade Federal do ABC. Santo André-SP, Brasil, 2011.

GOMES, GLECYMARA. SUSA.: **Produção de compósitos a partir do resíduo agroenergético de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas*).** 2011. 108p. Dissertação de mestrado em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Palmas, 2011.

GUIMARÃES, J. L.; CURSINO, A. C. T.; SATYANARAYANA, K.; G.; RAMOS, L. P.; SIERAKOWSKI, M. R.; WYPYCH, F. **Compósitos termomoldados derivados de amido plastificado com resíduos do processo de trans-esterificação de óleos e gorduras,**

reforçados com fibras vegetais. Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F.; SAUL, C. K.; RAMOS, L. P.; SATYANARAYANA, K.; G. Studies of the processing and characterization of corn starch and its composites with banana and sugarcane fibers from Brazil. **Carbohydrate Polymers** v. 80 p.130–138, 2010.

GUIMARÃES, J.L.; SATYANARAYANA, K.; WYPYCH, F.; RAMOS, L. **Preparo de compósitos biodegradáveis a partir de fibra de bananeira plastificados com amido e glicerina bruta derivada de alcoólise de óleos vegetais.** I congresso da rede brasileira de tecnologia de biodiesel, 2006, Brasília. Anais Brasília: ABIPTI, v. 2. p. 28-33, 2006.

HENN, J. D.; ZANIN, A. **O agronegócio do biodiesel: potencialidades e limitações da utilização da glicerina (co-produto) na alimentação de suínos e de aves.** 47º Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 2009.

HOLANDA, A. **Biodiesel e inclusão social.** Brasília: Câmara dos Deputados, 2004 (série cadernos de altos estudos, n.1).

IAC- Instituto Agronômico de Campinas. **Novidades em Arroz, Milho e Batata na Agrishow.** Disponível em <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>> Acessado em 26 de abril de 2012.

JESUS, R. C. de. **Processamento e caracterização de biocompósitos de PHB com fibras naturais de coco e sisal acetiladas e não-acetiladas.** 86p. Dissertação de mestrado em Engenharia Química da Universidade de Campinas. Campinas, SP: 2008.

KIBE'DI-SZABO', C. Z.; STROESCU, M.; STOICA-GUZUN, A.; JINGA, S. I.; SZILVESZTER, S.; JIPA, I; DOBRE, T. Biodegradation Behavior of Composite Films with Poly (Vinyl Alcohol) Matrix. **Journal of Polymers and the Environment.** V. 20, N. 2, p. 422-430. 2012.

JORDAO FILHO, W. **Implementação de negócios de biodiesel no Brasil: Estudo de viabilidade técnica e financeira preliminar,** 2004.

KNOTHE, G. Structure indices in FA chemistry. **How relevant is the iodine value? Journal of the American Oil Chemists' Society,** v.79, p. 847-854, 2002.

KNOTHE, Gerhard, 2001. Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales. **Revista A&G,** 47, Tomo XII, No. 2.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM A. J. (1975). Principles of wood science and technology. Wood based materials. Properties of Particleboard. **Nail-Holding and Screw-Holding Ability.** New York, p 523 – 529.

LAVIOLA, B. G.; MENDONÇA, S.; RIBEIRO, J. A. de A. **Caracterização de Acessos de Pinhão Manso Quanto a Toxidez.** IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. p.1617-1622, 2010. João Pessoa-PB.

LOMELÍ RAMIREZ, M. G. **Desenvolvimento de biocompósitos de amido termoplástico reforçados por fibra de coco verde**. 2011. 148 p. Tese de doutorado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. 2011.

MA, F.; HANNA, M. A. **Biodiesel production: a review**. *Bioresorce Technology*, v. 70, p 1-15, 1999. Disponível em: <<http://www.cti2000.it/Bionett/BioD-1999-101%20Biodiesel%20production%20review.pdf>>. Acessado em 18/11/2013.

MADSEN, B.; THYGESEN, A.; LILHOLT, H. Plant fibre composites – porosity and stiffness. **Composites Science and Technology** vol. 69, p. 1057–1069, 2009.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E. Antiplasticizing effect of glycerol and sorbitol on the properties of cassava starch Films. **Brazilian Journal of Food Technology**. 11(3): 194-200. 2008.

MARCON, Rogério Olavo. Pré-tratamento da glicerina bruta gerada na produção de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais e gordura animal. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins. ergia. 2010.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MARJORIE EMANOELI LOPES VIEIRA. **Recuperação dos Ácidos Graxos presentes na fase glicerina gerados na produção de biodiesel de Óleo de Girassol Semirefinado**. PIBIC/FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA – CAMPUS CURITIBA, AGOSTO 2010.

MARTINS, C. A.; SORDI, V. L.; BRUNO, R. S. S.; ZAUBERAS, R. T.; BOSCHI, A. O. Metodologia para avaliação da possibilidade de incorporação de resíduos industriais em massas cerâmicas conformadas por extrusão. *Cerâmica Industrial*, v10, p.32-34 Julho/Agosto, 2005

MENDES, Danylo Bezerra; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento**. LIBERATO 2012. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0107121220302827.pdf>>. Acesso em 22 setembro. 2013.

MODESTO C., BRISTOT V., MENEGALI G., DE BRIDA M., MAZZUCCO M., MAZON A., BORBA G., VIRTUOSO., GASTALDON M., NOVAES DE OLIVEIRA A. P.; **Obtenção e caracterização de materiais cerâmicos a partir de resíduos sólidos industriais**. *Cerâmica Industrial*. Julho/Agosto, 2003.

MORAIS, D. S., NEVES, O. N. E.; DIAS C. G. B. T. **Análise das propriedades mecânicas de compósitos biodegradáveis à base de pectina/eva reforçados com fibra de coco**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de materiais. Foz do Iguaçu, 2006.

NEU, Dacley Hertes; FURUYA, Wilson Massamitu; YAMASHIRO, Diogo; BITTENCOURT, Fábio; MORO, Evandro Bilha; FERNANDES, Dihego Romenig Alves;

BOSCOLO, Wilson Rogério; FEIDEN, Aldi. **Glicerol na dieta de alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2012. Disponível em:
<<http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/viewFile/1701/1101>>
Acessado em 28/10/ 2013.

NASCIMENTO, M. F. **CPH: Chapas de Partículas Homogêneas- Madeira do Nordeste do Brasil**. 2002, 153f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade de São Paulo.

NASH, W. Tração e Compressão. In: **Resistência de Materiais**. Traduzido por Artur Portela; João Rocha de Almeida e Carlos Tiago Fernandes. 4 ed. McGraw Hill; Portugal; 2001.cap.1, p.1-40.

NERES, H. L. S.; NUNES, A. S. L.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R. **Utilização de resinas obtidas da glicerina na preparação de compósitos usando o epicarpo do coco de babaçu**. Disponível em:
<<http://www.cpamn.embrapa.br/agrobioenergia/trabalhos/046.pdf>>Acesso em 20/06/2011.

OJEDA, T. **Biodegradabilidade de materiais poliméricos**. 2008, 128p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS – Brasil. 2008.

OLIVEIRA, Armando Alves de. LEVI NETO, F.; PARDINI L.C. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia. In; **Matrizes para Compósitos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. Cap. 02, p.13-55.

OLIVEIRA, L.B.; MUYLAERT, M.S., ; ROSA, L. P.; BARATA, M.; ROVERE, E. **Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 12, p. 883–890, 2006.

OOI, T. L.; YONG, K. C.; HAZIMAH, A. H.; DZULKEFLY, K.; WAN-YUNUS, W. M. Z.; Glycerol Residue - A Rich Source of Glycerol and Medium Chain Fatty Acids. Journal of Oleo Science.v. 53, p. 29-33, 2004.

SANTOS, P. S.. **Ciência e tecnologia de argilas**. V. 1. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blücher Ltda (1989).

PARENTE JR, E.; CASTELO BRANCO, P. T. **Análise Comparativa entre etanol e metanol visando sua utilização como coadjuvante químico na produção do biodiesel**. Organizado pela Coordenação de Publicações, Série Cadernos de Altos estudos Biodiesel e Inclusão Social, Brasília, Câmara dos Deputados, 2004, p. 83-88.

PEDROTI, L. G. **Processo de produção de blocos cerâmicos de encaixe prensados e queimados**. Laboratório de Engenharia Civil (LECIV) – CCT/UENF. Centro de Ciências e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2000.

PELLICANO, M.; PACHEKOSKI, W; AGNELLI, J. A. M. Influência da adição de amido de mandioca na biodegradação da blenda polimérica PHBV/Ecoflex®. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 3, p. 212-217, 2009.

PERVAIZ, M.; SAIN, M.M. Carbon storage potential in natural fiber composites. **Resources, Conservation and Recycling**, 39, p.325-340, 2003.

PINHÃO MANSO. **Tudo sobre o Pinhão Manso.** Disponível em: <<http://www.pinhaomanso.com.br>> Acessado em 15/07/2012.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J.N.F.. **Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha.** 2010. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v56n339/a0556339.pdf>> Acessado em 17 de maio de 2013.

PINTO, A. C. *et al.*, **Biodiesel: an overview.** Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 16, p. 1313-1330, 2005.

PINTO, A. C.; GUARIEIRO, L. L. N.; REZENDE, M. J. C.; RIBEIRO, N. M.; TORRES, E. A.; LOPES, W. A.; PEREIRA, P. A.; ANDRADE, I. B. de Biodiesel: an overview. Journal of the Brazilian Chemical Society, São Paulo, v. 16, n. 6b, p. 1313-1330, nov./dec. 2005.

PLÁ, J. A. **Histórico do biodiesel e suas perspectivas.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/decon/publionline/textosprofessores/pla/hist_rico.doc>. Acesso em: 21/09/2011.

POLETTI, M.; DETTENBORN, J.; ZENI, M.; ZATTERA, A. J. Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour. **Waste Management.** v. 31, p. 779-784, 2011.

Pólo Produções, Anuário Brasileiro de Cerâmica Vermelha, Ed. J. L. Francisco, Criciúma, SC (2000).

PRATES, F. B. S. **Crescimento, Desenvolvimento e Nutrição de Pinhão Manso Adubado com Lodo de Esgoto e Silicato de Cálcio e Magnésio.** 2010,94f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Agrárias) Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais. Montes Claros - MG, 2010.

RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. **Síntese de biodiesel: Uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral.** Química Nova, v. 30, n. 5, p. 1374-1380, 2007.

ROBRA, S., ALMEIDA NETO, J. A.; CRUZ, R. S. **Usos alternativos para a glicerina resultante da produção de biodiesel: Parte 1 – Compostagem.** Universidade Estadual de Santa Cruz, Grupo Bioenergia e Meio Ambiente. Ilhéus, 2006.

ROCHA, D. Q.; BARROS, D. K.; COSTA, E. J. C.; SOUZA, K. S.; PASSOS, R. R.; VEIGA Jr., V. F.; CHAAR, J. S.; Quim. Nova 2008, 31, 1062.

ROCHA, J.S. *et al.*, Flexão Estática em Amostras Pequenas Livres de Defeitos. **Acta Amazônica**, 18 (1-2): 147.162, 1998. *apud* GOMES, G. S. **Produção de compósitos a partir do resíduo agroenergético de pinhão manso (*Jatropha curcas*)** . 2011. 108p. Dissertação de mestrado em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Palmas, 2011.

ROSA, D. S.; BARDI, M. A. G.; MACHADO, L. D. B.; DIAS, D. B.; SILVA, L. G. A.; KODAMA, Y. Starch plasticized with glycerol from biodiesel and polypropylene blends: Mechanical and thermal properties. **Therm Anal Calorim.** v.102, p. 181-186. 2010.

SANTOS, Pécisio de Souza. **Ciência e tecnologia de argilas**. 2. Ed. Ver. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. V.1., 408p.

_____. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. São Paulo: Edgar Blücher, 1992. v.2.

SATHEESH KUMAR, M. N.; YAAKOB, Z.; MOHAN, N.; SIDDARAMAIAH; KUMARESH BABU, S. P. Mechanical and Abrasive Wear Studies on Biobased Jatropha Oil Cake Incorporated Glass–Epoxy Composites. **J Am Oil Chem Soc** vol. 87, p. 929-936. 2010.

SATYANARAYANA, K. G.; ARIZAGA, G. G. C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview. **Progress in Polymer Science** v.34, p. 982–1021. 2009.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**. N. 65, p. 120-129, 2007.

SCHNEIDER, R. de C. de S.; RODRIGUEZ, A. L.; MÄHLMANN, C. M.; BALBINOT, N.; RADKTE, L.; BERGONSKI, R. **Obtenção e caracterização de compósitos de termoplásticos e resíduos da produção de óleo de girassol**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2006.

SEBRAE - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO AS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS. **Estudo de atividade industriais do Tocantins – Cerâmica Vermelha da Região Central do Tocantins**, 2004. Disponível em: <http://www.sindicerp.br/media/dynamic/download/Estudo_de_Cer%3%83mica_vermelha.pdf>. Acessado em 16/11/2013.

_____. **Cerâmica Vermelha: Estudo de mercado 2008**. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/C5B4284E12896289832574C1004E55DA/\\$File/NT00038DAA.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/C5B4284E12896289832574C1004E55DA/$File/NT00038DAA.pdf)>. Acessado em 17/05/ 2013.

SENAI - SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Noções básicas sobre o processo produtivo de cerâmica vermelha**. Centro de Tecnologia da Cerâmica Wildson Gonçalves. Departamento Regional do Piauí, Teresina, 2007. Disponível em <<https://groups.google.com/forum/#!topic/grupo-cvt-ceramica/RO9G-yrrpmc>> Acessado em 13/11/2013.

SHACKELFORD, J. F., **Introduction to Materials Science for Engineers**. Prentice-Hall, 1996.

SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. **Indústrias de processos químicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1980. p. 448-450.

SILVA, Albanise Enide da. **Estudo do processo enzimático de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais de fritura**. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia de Maceió, Universidade Federal de Alagoas. Março, 2010.

SILVA, J. C. *et al.*, Influencia da Idade e da Posição Radial na Flexão Estática da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.795-799, 2005.

SOARES, V. C. D.; LIMA, D. G. De; RIBEIRO, E. B.; CARVALHO, D. A.; CARDOSO, E. C. V.; RASSI, F.A.; MUNDIM, K. C.; RUBIM, J. C.; SUAREZ, P. A. Z. **Diesel-like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils**. Journal of Analytical and applied pyrolysis, v. 71, n. 2, p. 987-996, 2004.

SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol. 44 n. 10. ISSN: 1328-1335. Brasília, 2009.

SOUZA, R. P. **Avaliação da biodegradação de compósitos de poliéster e amido com fibra de coco verde em solo simulado e ambiente marinho**. 121p. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade do Estado do Rio de Janeiro para obtenção do título de mestre em Química. Rio de Janeiro, Brasil. 2012.

SUARES, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70 aniversario do biodiesel em 2007: evolucao historica e situacao atual no Brasil. *Revista Química Nova*. v. 30, p. 2068-2071, 2007.

SWEARINGEN, T.. **Separating glycerine/FFAs: journey to forever**. Disponível em:<http://journeytoforever.org/biodiesel_glycsep.html>.Acesso em: 03 nov. 2013.

TARGA, L. A.; BALLARIN, A. W.; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.291-299, maio/ago. 2005.

TEIXEIRA, Daniel Brinckman. **Análise do desempenho tecnológico e ambiental de produtos cerâmicos contendo resíduo industrial como material agregado**. Dissertação apresentada no de mestrado - Universidade De Santa Cruz Do Sul programa De Pós-Graduação Strictu Sensu Mestrado Em Tecnologia Ambiental, 2012.

TELOEKEN, A. C. **Utilização de lodo galvânico como matéria-prima em cerâmica vermelha: obtenção, caracterização de propriedades tecnológicas e aspectos ambientais**. 2010. 71f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2010. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/32597/000786603.pdf?sequence=1>> Acesso em 03/05/2012.

TEVES,M.L.U. Glicerina: **Coordenação de tratamento de efluentes**. Faculdade Oswaldo Cruz.Disponível em: <<http://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Glicerina2003.pdf/>>. Acesso em 14/07/2009.

VALE, A.T. *et al.*, Potencial Energético da Biomassa e do Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.

VIEIRA, M. M. G. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos biodegradáveis modificados com cargas e fibras naturais vegetais.** 162 p. Dissertação de mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Carlos. São Carlos, 2010.

WENDER, A.A.; BALDO, B.B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico – Parte II. **Cerâmica Industrial, São Paulo**, v.3, n.1-2, p.34-36, 1998.

WU, C-S. Characterization and biodegradability of polyester bioplastic-based green renewable composites from agricultural residues. **Polymer Degradation and Stability** v. 97 p. 64-71, 2012.

YONG, K. C.; OOI, T. L; DZULKEFLY, K.; WAN-YUNUS, W. M. Z.; HAZIMAH, A. H. **Refining of crude glycerol recovered from glycerol residue by simple vacuum distillation.** **Journal Oil Palm Research.** V. 13, p. 39-44, 2001.