



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

WILTON DA SILVA MOREIRA

PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO PARA TELHAS
CERÂMICAS COM RESÍDUO DE VIDRO DE LAMPADAS FLUORESCENTES

MOSSORÓ/RN
2012

WILTON DA SILVA MOREIRA

**PROPOSTA DE DESENVOLVIMENTO DE UM REVESTIMENTO PARA TELHAS
CERÂMICAS COM RESÍDUO DE VIDRO DE LAMPADAS FLUORESCENTES**

Monografia apresentada à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, e ao Departamento de Ciências
Ambientais e Tecnológicas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Dr. Marcílio Nunes Freire –
UFERSA.

MOSSORÓ/RN
2012

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFRSA**

M838d Moreira, Wilton da Silva.

Proposta de desenvolvimento de um revestimento para telhas cerâmicas com resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes. / Wilton da Silva Moreira. -- Mossoró, 2012. 67 f.: il.

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) -
Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Dr. Marcilio Nunes Freire

1. Materiais. 2. Cerâmicos. 3. Resíduos de vidro. 4. Construção civil. I.Título.

CDD: 666.121

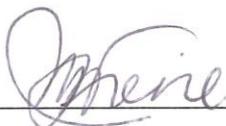
WILTON DA SILVA MOREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE REVESTIMENTO PARA TELHAS COM RESÍDUO DE
VIDRO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 31/10/2012

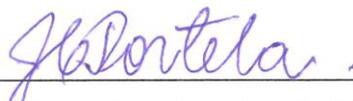
BANCA EXAMINADORA



Dr. Marcílio Nunes Freire – DCAT – UFERSA

Presidente

Dr. Marcílio Nunes Freire
UFERSA - DCAT
Mat. SIAPE. 145 154-6



Dr.ª Jeane Cruz Portela – DCAT – UFERSA



Dr. Vamberto Dias de Mello – DF – FANAT – UERN

A todas as pessoas que sempre torceram e torcem por mim, como alguns exemplos meus pais e minha família. Duas pessoas que jamais poderia esquecer **Maria Gonçalves** (*in memorian*) e **Luiza Maria Conceição** (*in memorian*) que hoje não estão entre nós, mais tem a certeza que onde elas estão devem estar muito alegres com a minha conquista. Eu só tenho a agradecer por toda a amizade e confiança que essas pessoas depositaram em mim, e hoje estou retribuindo com dedicação e força de vontade em busca dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois se não fosse Ele tudo isso não seria possível. Ele é quem permite que tudo aconteça dando vida e saúde para se possam conseguir os objetivos desejados. Deus tem a cada dia iluminado meu caminho, e só tenho a agradecer pelas bênçãos alcançadas e a cada dia vejo a importância dele em nossas vidas;

Aos meus Pais, Antonio Nilton Moreira e Marileide Gonçalves da Silva Moreira, pelo amor, pela amizade, pela preocupação, pela dedicação e esforços para que eu possa estar cursando uma Universidade. Na minha vida cometi muitos erros, mas não porque meus pais ensinaram, pois eles sempre me mostraram a ser um homem de bom caráter e bom coração. Agradeço todos os dias por ter pais maravilhosos, que são exemplos de honestidade e dignidade para seus filhos;

Ao meu Pai, Antonio Nilton Moreira, pelo fato de ele não ter conseguido estudar pelas condições de vida de antigamente. Mas, ele nunca perdeu as esperanças de ter um filho formado em uma Universidade e, diga-se de passagem, Pública e por isso eu tenho orgulho de se formar, não só por mim como também pelo meu Pai;

Ao meu Filho, William Gabriel pelo seu amor e esperança que seu pai seja um grande espelho e orgulho no futuro;

Ao meu Irmão, pelo seu amor e também pela sua torcida. Ele sabe que além de irmão é meu ídolo;

Ao meu Avô, José Gonçalves da Silva, por sempre ter muita atenção, carinho e amizade;

A minha Avó, Hermina Andrade Moreira pelas suas orações, amor e pelo seu carinho com todos;

Aos meus tios, Elias (tio dier), Raimundo Nonato, Marluce, Maciel, Maria de Fátima (tia fatinha), José Maria (tio dedé), Ivanildo (Vandinho) por suas amizades e respeito;

A Tácio e Márcia por toda atenção e carinho que me recebe em sua residência;

A tia Iolanda por todo seu apoio e atenção;

A minha namorada, Jordana Barbosa Soares de Lira, por todo esse tempo que estamos juntos e por toda sua atenção, carinho, respeito e amor nas horas boas e nas difíceis também;

Aos meus sogros, Ricardo Góis e Daniela Góis por toda atenção, carinho, amizade e consideração.

Ao Senhor Severino Herculano, pois desde que eu era criança ele me dá atenção e reza por mim;

A um grande parceiro que fiz amizade em Angicos/RN, João Paulo, não só pelas horas de estudo, mas a amizade construída.

Aos grandes colegas da faculdade que sempre estão presentes nas horas boas e difíceis, Amanda Regina, Jéssica Emanuely.

Á um grande colega que conseguiu o meu orientador e pela amizade, João Batista de Medeiros.

A Empresa SYLVANIA, por disponibilizar, através do seu serviço de atendimento on-line, a composição química da lâmpada fluorescente TF 40 w T-8;

A Empresa PHILIPS, por disponibilizar, através do seu serviço de atendimento on-line, a composição química da lâmpada fluorescente TF 40 w T-8;

Ao Dr. Márcílio Nunes Freire, pela sua orientação, paciência, boa vontade em ajudar para que a monografia esteja em um grande nível. Agradecer além dos momentos de trabalho, pois para desenvolver uma monografia necessita de amizade e respeito entre ambos para que o desempenho seja de ótima qualidade;

A Professora Dr^a. Jeane Cruz Portela, pela participação na banca examinadora;

A Professora Dr. Vamberto Dias de Mello, pela participação na banca examinadora.

Á UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido por futuramente fazer a doação dos resíduos de vidro das lâmpadas fluorescentes, laboratórios e as máquinas para realização dos ensaios, e demais equipamentos que serão utilizados para o procedimento experimental;

RESUMO

A construção civil é um ramo que está em ascensão na atualidade no Brasil. Nesse ramo, os materiais cerâmicos são usados em grande escala, diante disso faz-se necessário aproveitar que o setor cerâmico é rentável e utilizar resíduos de vidro de lâmpadas fluorescentes que tem um baixo custo, pode-se obter um produto sustentável, que utiliza apenas resíduos que seriam descartados de forma inadequada. O objetivo deste trabalho foi à utilização de resíduos de vidro de lâmpadas fluorescentes para que se obtenham materiais cerâmicos com uma melhor qualidade, pois é necessário que os resíduos tenham uma destinação final adequada e não prejudiquem a população, o poder público e principalmente o meio ambiente. Com o estudo realizado espera-se que melhore as condições ambientais e sociais, e que se agregue valor econômico as telhas cerâmicas. E as características finais das telhas cerâmicas sejam de grande importância para a sua utilização na construção civil.

Palavras-Chave: Materiais Cerâmicos. Destinação Final. Construção Civil. Ambiente.

ABSTRACT

The construction industry is one that is currently on the rise in Brazil. In this branch, the ceramic materials are used on a large scale before it becomes necessary to take the ceramic industry is cost-effective and utilize waste glass fluorescent lamp that has a low cost, can obtain a sustainable product that uses only waste that would be disposed of improperly. The aim of this work was the use of glass waste fluorescent lamps order to obtain ceramic materials with better quality, it is necessary that the waste has adequate final destination and do not harm the population, the government and especially the environment . With the study is expected to improve environmental conditions and social and economic value that agrege ceramic tiles. And the final characteristics of the ceramic tiles are of great importance for their use in construction.

Keywords: Ceramic Materials. Final Destination. Construction. Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Combustível: Lenha.....	19
Figura 2 - Retro-escavadeira fazendo a extração de matéria-prima da natureza.....	21
Figura 3 - Estoque de argila.....	21
Figura 4 - Extrusora/ Maromba.....	24
Figura 5 - Cortador.....	25
Figura 6 - Forno Corujinha.....	27
Figura 7 - Geração de resíduos sólidos nas cinco regiões territoriais e no Brasil.....	39
Figura 8 - Coleta de RSU em países selecionados.....	40
Figura 9 - Destinação de RSU em países selecionados – Reciclagem.....	40
Figura 10 - Mercado Mundial de RSU reciclados em países selecionados (milhões de Euros).	41
Figura 11 - Processo de fabricação de cerâmica vermelha.....	45
Figura 12 - Configuração típica para o ensaio de flexão em três pontos ou flexão simples. ...	52
Figura 13 - Configuração típica para o ensaio de flexão em quatro pontos.....	53
Figura 14 - curva resposta típica para ensaios de flexão.....	53
Figura 15 – Algumas variáveis do ensaio de flexão em três pontos; CG \equiv centro de gravidade.	55
Figura 16 – Elementos para o cálculo da deflexão ou flecha no ensaio de flexão em três pontos.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Balanço da indústria cerâmica de Assú e no RN.....	31
Tabela 2 - Composição Química da Lâmpada Sylvania.....	48
Tabela 3 - Composição Química da Lâmpada Philips.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem
ABC	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Indústria Cerâmica
CE	Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETENE	Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
Kg	Quilograma
NBR	Norma Brasileira
PIB	Produto Interno Bruto
RN	Rio Grande do Norte
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 GERAL.....	15
2.2 ESPECÍFICOS	15
3. JUSTIFICATIVA	16
4. FUNDAMENTAÇÃO SOBRE A LITERATURA	17
4.1 A INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA	17
4.1.1 Definição e Classificação	17
4.1.2 Matérias-Primas.....	17
4.1.3 Insumos	18
4.1.4 Combustíveis	18
4.1.5 Cadeia Produtiva	19
4.1.6 Processo de Fabricação	20
4.1.6.1 Extração da matéria-prima.....	20
4.1.6.2 Estocagem de argila.....	21
4.1.6.3 Processamento da Argila	22
4.1.6.4 Britagem	22
4.1.6.5 Moagem.....	22
4.1.6.6 Dosagem e alimentação	22
4.1.6.7 Desintegração	23
4.1.6.8 Mistura.....	23
4.1.6.9 Laminação	23
4.1.6.10 Extrusão.....	23
4.1.6.11 Corte e acabamento	24
4.1.6.12 Prensagem.....	25
4.1.6.13 Secagem.....	25
4.1.6.14 Sinterização	26
4.1.7 Características e propriedades	27
4.1.8 Panorama no Brasil	29
4.1.9 Panorama no RN	30
4.1.9.1 Cerâmicas da Cidade do Assú	31
4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	32
4.2.1 Definição	32
4.2.2 Classificação	32
4.2.3 Resíduos Sólidos no Brasil	33
4.2.4 Resíduos Sólidos no Cenário Mundial	34
4.2.5 Resíduos: Vidros	34
4.2.5.1 Definição	34
4.2.5.2 Características e propriedades	35
4.2.6.1 Definição	36
4.2.6.2 Características e Propriedades	36
4.2.6.3 Vantagens	37
4.2.6.5 Resíduo Oriundo da Universidade: UFERSA	38
4.3 RECICLAGEM	38
4.3.1 Definição	38
4.3.2 Reciclagem no Brasil	39

4.3.3 Reciclagem no Cenário Mundial	39
4.3.4 Vantagens	41
4.3.5 Desvantagens	42
4.3.6 Resíduos usados como matérias-primas cerâmicas alternativas.....	42
4.4 SUSTENTABILIDADE.....	43
4.4.1 Definição	43
4.4.2 Vantagens	43
4.4.3 Aplicada à Construção Civil	44
5 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	45
5.1 MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	45
5.1.1 Massa cerâmica.....	45
5.1.1.1 Jateamento do resíduo de vidro	47
5.1.2 Resíduo de Vidro das Lâmpadas Fluorescentes	47
5.1.2.1 Composição Química dos Fabricantes	47
5.1.2.1.1 Fabricante Sylvania	48
5.1.2.1.2 Fabricante Philips	49
5.1.3 Desenvolvimento do equipamento para jateamento do resíduo de vidro	49
5.2 AVALIAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS APÓS A SINTERIZAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS	50
5.2.2 Densidade Aparente (ρ_{aps} , em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$): essa grandeza foi determinada pela expressão	50
5.2.3 Porosidade Total (ε_{Tas} , em %): essa grandeza foi calculada pela expressão	51
5.2.4 Tensão de Ruptura à Flexão (σ_{rup}, em MPa)	51
5.2.4.1 Ensaios de flexão	51
5.2.4.2 Determinação do Módulo de Elasticidade Flexural (E)	54
5.2.4.3 Determinação da Tensão de Ruptura à Flexão (σ).....	57
5.2.4.4 Estatística de Weibull aplicada a Tensão de Ruptura à Flexão	59
5.3 COMO EVITAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES	61
5.4 NBR'S	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

A história da cerâmica caminha junto com a história da humanidade. A argila é utilizada em todas as sociedades – das mais antigas às modernas. Há achados arqueológicos datados de 5.000 a.C., na região de Anatólia (Ásia Menor). Na Grécia, eram comuns as pinturas em cerâmicas retratando cenas de batalhas e conquistas bélicas, e, na China, a produção de peças estava relacionada à tradição religiosa. (ITAÚ, 2006).

Os materiais cerâmicos são utilizados desde 4.000 a.C. pelo homem, destacando-se pela sua durabilidade, além da abundância da matéria-prima (argila) utilizada. Não se sabe exatamente a época e o local de origem do primeiro tijolo; possivelmente foram os Romanos os primeiros a utilizarem o produto na forma que conhecemos hoje, as usinas desta civilização dominavam o processo de queima da argila. (SANTOS, 2002).

Presume-se que a alvenaria tenha sido criada há cerca de 15.000 anos, pois necessitando de um refúgio natural para se proteger do frio e dos animais selvagem, o homem decidiu empilhar rochas. No entanto, quando a pedra natural começou a se escassear, o homem passou a substituí-la pelo tijolo seco ao sol. O registro mais antigo do tijolo foi encontrado nas escavações arqueológicas em Jericó - Oriente Médio, no período Neolítico inicial. (SEBRAE, 2004). A unidade de alvenaria (tijolo) era uma peça grande em forma de pão, seca ao sol, pesando em torno de 15,0 kg.

Atualmente, os materiais cerâmicos deixaram de ser somente utilizados em palácios e recintos religiosos e, passaram a serem usados em grande número em casas, prédios, fachadas e grandes edificações como material de revestimento ou de acabamento.

Os materiais de cerâmica vermelha ou de argila são chamados por esse nome devido ao seu principal componente ser a argila, esse material tem geralmente óxido de ferro, e por isso que se tem aquela coloração avermelhada que é a característica principal desse tipo de cerâmica. Dentre os materiais de argila destacam-se os porosos (tijolos, telhas, blocos de vedação, lajotas e etc.).

A indústria cerâmica movimenta em torno de 1,0 % do PIB brasileiro, e com isso esse setor é um dos que mais crescem, devido a grande utilização dos materiais cerâmicos em todo o mundo.

Os resíduos sólidos são materiais gerados principalmente pelas atividades domésticas e indústrias. Esses resíduos gerados se não forem reciclados trarão enormes prejuízos para o meio ambiente. A reciclagem é o conjunto de técnicas e medidas usadas com o objetivo de reaproveitar detritos e dejetos oriundos das atividades citadas acima. E essa reutilização e

reaproveitamento são de suma importância para o meio ambiente, pois diminui a extração de matéria-prima da natureza, reduz o consumo de energia para produção de novos produtos e utensílios, diminui a emissões de gases poluentes e a melhor vantagem é a preservação dos recursos naturais, pois os mesmos estão escassos, devido à ação antrópica da degradação dos recursos naturais.

O objetivo desse trabalho foi analisar a aplicação do resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes sobre a superfície das telhas cerâmicas com o intuito de contribuir com informações técnicas, econômicas, sociais e ambientais para o desenvolvimento da indústria cerâmica.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Fundamentar-se sobre o revestimento de materiais cerâmicos, a fim de preparar para o desenvolvimento experimental de um produto que proporcione conforto térmico nas edificações.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar devidamente o resíduo – pó de vidro de lâmpadas fluorescentes;
- Verificar se, além de conforto térmico, ocorre aumento da resistência mecânica das telhas cerâmicas revestidas;
- Realizar medidas de diferenças de temperatura entre a superfície exposta à radiação e a que não é exposta a ela.

3. JUSTIFICATIVA

A gestão sustentável de resíduos é aquela que atende requisitos de reciclagem sem gerar riscos a humanos e ao ambiente. A quantidade crescente de resíduos gerados pelas sociedades modernas demanda ações de reciclagem das lâmpadas fluorescentes.

O estudo também beneficiara para uma melhoria das telhas cerâmicas, pois com a adição dessa camada de resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes espera-se uma diminuição dos microporos presentes nas telhas cerâmicas e também poderão ter uma melhoria no conforto térmico por causa da luz solar na superfície exposta.

4. FUNDAMENTAÇÃO SOBRE A LITERATURA

4.1 A INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

4.1.1 Definição e Classificação

A cerâmica tradicional ou vermelha é uma atividade de produção de materiais cerâmicos pela utilização de barro (Argilas), e tem essa cor avermelhada por causa da presença de oxido de ferro na sua composição química. As argilas são submetidas a altas temperaturas, secagem e queima para que se produzam os materiais cerâmicos, como (telhas, tijolos, blocos de vedação, lajotas, etc.).

A cerâmica estrutural ou cerâmica vermelha compreende um grupo de materiais cerâmicos constituído por tijolos, telhas, tubos, lajotas, vasos ornamentais, agregados leves de argila expandida, entre outros. Esses produtos são fabricados, geralmente, próximos dos locais de consumo, utilizando matérias-primas locais. A principal matéria-prima para fabricação é a argila, outra matéria-prima que compõe a fabricação das peças é o silte argiloso com um alto teor de impurezas, como o minério de ferro, que deixa o produto com a típica cor vermelha (CARVALHO, 2003).

Os materiais cerâmicos podem ser classificados de diversas formas como por aplicação, composição química e mineralógica. Sendo a forma mais usual por aplicação.

A classificação por aplicação está relacionada com a sua utilização na construção civil, áreas aeroespaciais, militares e outras, sua composição química está relacionada com os elementos químicos presentes na natureza como óxidos, sulfetos e entre outros e a composição mineralógica está associada com os minerais primários resultantes do intemperismo como quartzo, feldspatos, etc.

4.1.2 Matérias-Primas

As matérias-primas para cerâmica vermelha são argilas ou siltes argilosos. A indústria de cerâmica vermelha processa, geralmente, grandes volumes de matéria-prima. Dessa maneira, procuram-se sempre argilas que não necessitem de misturas com outras para se conseguir a massa cerâmica desejável. Por isto, as fábricas estão sempre localizadas nas proximidades

das jazidas. A maioria das jazidas está localizada próxima de fontes de água (rios, açudes, barragem), e as argilas localizadas próximas a essas fontes de água possuem uma grande quantidade de silte (CARVALHO, 2003).

Na cidade do Assú, localizada na microrregião do Vale do Assú, que compõem a mesorregião do oeste potiguar existe várias mineradoras que fornecem argila para as indústrias cerâmicas e tem indústrias de cerâmicas que possuem sua própria jazida. A extração é feita próxima a margem do rio Piranhas-Assú. Vale ressaltar que para extrair a argila é obrigatória que as empresas tenham autorização do IDEMA, pois esse órgão delimita a área que será extraída e o que fazer após a área ser degradada.

A lenha que é utilizada para queima no processo produtivo vem de fazendas da microrregião do Vale do Assú e de regiões vizinhas. Os chamados “lenhadores” são os trabalhadores responsáveis pela plantação e corte das árvores, e também fazem o transporte em caminhões até as cerâmicas. A confecção de cerâmicas vermelhas contribui com intensidade para degradação dos solos (juntamente com outras atividades agrícolas: Desmatamento, pecuária extensiva, e outros).

4.1.3 Insumos

Segundo o relatório do SEBRAE (2008a) a cerâmica utiliza como matéria prima, basicamente, a argila comum. A massa resultante pode ser denominada simples ou natural, sendo compostas por matérias orgânicas, inorgânicas (argila), impurezas e minerais de ferro, que permitem sua sinterização a altas temperaturas (entre 900 e 1100 °C).

Os principais insumos para a indústria de cerâmica vermelha são: a matéria-prima (argila), energia elétrica, combustível para ser queimado (lenha), e água. Cada indústria cerâmica tem a sua forma de adquirir seus insumos, algumas tem sua própria jazida e outras não, e cada busca seus insumos de forma a obter uma relação de custo-benefício para diminuir o valor da produção.

4.1.4 Combustíveis

As cerâmicas precisam usar algum tipo de combustível para queimar seus produtos. Este combustível pode ser de diferentes tipos, tais como a lenha, óleo BPF (Baixo Ponto de Fluidéz), óleo diesel, carvão, gás natural, entre outros. Como a lenha é bem mais barata que os outros combustíveis,

ela é a predominante, agravando-se a questão ambiental, pois, tanto na retirada da lenha que provoca o desmatamento, como na queima das mesmas, emitindo uma grande quantidade de gás carbônico (CARVALHO, 2003).

Uma grande preocupação dos órgãos ambientais envolvidos, setor cerâmico e a população da mesorregião do Vale do Assú são os danos causados pelo desmatamento da lenha e a poluição com a queima da madeira que emitir gás carbônico para a atmosfera.

Figura 1 - Combustível: Lenha.



Fonte: Incargel (2012-a).

4.1.5 Cadeia Produtiva

Em três macrosegmentos podem ser analisadas as cadeias produtivas: produção de matérias-primas, industrialização e comercialização. A cadeia de produção pode ser vista como um sistema aberto, em que as fronteiras são permeáveis e permitem trocas com o meio. Sua estrutura é percebida como a maneira pela qual seus elos estão integrados internamente. A cadeia evolui no espaço e no tempo em função de mudanças internas e externas (ABC, 2002-a).

De acordo com o relatório do SEBRAE em (2008-b), a cadeia produtiva da cerâmica é caracterizada por duas etapas distintas, a primeira envolve a exploração da matéria-prima,

neste caso a argila; a segunda parte é de transformação, onde ocorre à elaboração do produto final.

Na microrregião do Vale do Assú/RN, algumas indústrias cerâmicas possuem fornecedores de lenha e matéria-prima, e então se focam no processo produtivo. E outras têm em seu próprio território jazidas de argila, e com isso ela não se foca só no processo produtivo.

4.1.6 Processo de Fabricação

O processo de fabricação de cerâmica vermelha utiliza tanto ferramentas e materiais rudimentares como máquinas e ferramentas mais modernas. Esse processo não é uma regra geral, mas serve de base para a produção dos materiais cerâmicos e pode haver modificações que vão depender das características da matéria-prima e também do produto final que se deseja obter.

4.1.6.1 Extração da matéria-prima

As argilas geralmente são mineradas a céu aberto, pois as jazidas ficam em locais abertos e devido ao grande volume necessita de uma grande área para minerar essa matéria-prima. Devido essa argila ficar a céu aberto, e ser exposta a chuva, sol e intempéries ela vai perdendo algumas características, e com isso aproveita-se a camada útil e remove-se a estéril. Essa remoção é realizada por máquinas escavadeiras que trabalham em uma face. Se for em minas é feito por tratores ou aplanadores mecânicos com alta capacidade. As argilas são transportadas para as cerâmicas por caminhões ou caçambas. Em alguns casos, as argilas são desagregadas e recolhidas para um poço coletor através de um jato de água, devido ela está muito agregada e com o auxílio da água as partículas se afastam e pode ser colocadas dentro do poço, e após são transportadas para as indústrias cerâmicas.

Figura 2 - Retro-escavadeira fazendo a extração de matéria-prima da natureza.



Fonte: Silva (2009).

4.1.6.2 Estocagem de argila

A argila após ser extraída e transportada em caminhões ou caçambas, é depositada a céu aberto nos pátios das indústrias cerâmicas ou são colocadas em galpões fechados para posteriormente ser manuseadas, e usada na produção dos materiais cerâmicos.

A estocagem da argila é de suma importância para a confecção das telhas cerâmicas, pois a argila adquire uma maturação, e ocorre uma aliviação das tensões entre as partículas.

Figura 3 - Estoque de argila.



Fonte: Incargel (2012-b).

4.1.6.3 Processamento da Argila

O procedimento de seleção e mistura da argila deve ser de modo correto para que o resultado seja uma massa cerâmica em boas condições para a futura conformação das peças. Geralmente no processamento usam-se dois tipos de argilas, e elas são classificadas como gorda ou magra. A primeira é mais plástica, devido apresentar um maior teor de argilominerais como caulinita, clorita, smectita, ilita e outros, que capturam a água e lubrificam o sistema particulado e, já a segunda é quando apresenta um menor teor de argilominerais e maior teor de sílica.

4.1.6.4 Britagem

Grãos com grandes dimensões (até 600 mm) devem ser pré-triturados, até que estejam compatíveis com as dimensões das bocas de alimentação dos moinhos primários (até 200 mm). Em função da dureza, trabalhabilidade e triturabilidade, as argilas podem ser categorizadas na escala de Mohs, em duras (6-7 Mohs), semiduras (5-6 Mohs) ou moles (menor que 4 Mohs) (DANTAS NETO, 2007).

4.1.6.5 Moagem

Os materiais no estado como minerado usualmente têm que passar por operação de moagem na qual o tamanho da partícula é reduzido, isto é realizado por peneiramento ou classificação granulométrica para fornecer produto pulverizado tendo desejadas faixas de tamanhos de partículas (CALLISTER, 1991).

4.1.6.6 Dosagem e alimentação

Nesse processo, ocorre a avaliação da plasticidade da massa cerâmica por um trabalhador específico da empresa cerâmica. Logo após, a massa cerâmica é levada até o caixão alimentador, e nessa etapa ocorre o controle da massa homogeneizada para ser processada nas máquinas mais adiante, e se não controlar pode causar danos ao processo.

Nessa etapa do processo, se deve controlar o teor de umidade da massa cerâmica com bastante cuidado, pois a água se mistura fácil com a argila e se tiver excesso de água no

processo alguns equipamentos perdem a sua eficiência, como o desintegrador que não desagregará os blocos de argila, e apenas fará o amassamento.

4.1.6.7 Desintegração

Nessa fase do processo, ocorre o tritramento dos torrões que vem do alimentador, e com isso a massa ganha mais homogeneização.

4.1.6.8 Mistura

Os minerais de argila, quando misturados com água, se tornam altamente plásticos e maleáveis e podem ser moldados sem trincamento, entretanto, eles têm extremamente baixas resistências ao escoamento. A consistência (razão água-argila) da massa hidrolástica deve dar uma resistência ao escoamento suficiente para permitir um utensílio conformado manter a sua forma durante o manuseio e secagem (CALLISTER, 1991).

Esse processo de mistura é realizado pelo misturador, que é um utensílio que contém facas em forma de círculos que cortam a matéria-prima (argila), e esse equipamento é chamado de “traço”, que tem como finalidade controlar o teor de umidade e homogeneizar a massa.

4.1.6.9 Laminação

Rolos fazem a compactação da argila, tornando-a menos porosa, mais densa, eliminando bolhas de ar ou aglomerados remanescentes. Proporcionando maior densidade a massa argilosa, eliminando pedriscos e raízes ainda existentes. Dessa forma o processo de extrusão se torna mais fácil e mais preciso, ou seja, minimiza o surgimento de defeitos nas peças cerâmicas. Algumas extrusoras apresentam laminador acoplado na entrada do equipamento (VILLAR, 1988).

4.1.6.10 Extrusão

A técnica mais comum de conformação hidrolástica é a extrusão, na qual uma massa cerâmica plástica de partida é forçada através de um orifício

de uma matriz tendo a desejada geometria de seção transversal. Tijolos, tubos, blocos cerâmicos e telhas são todos eles comumente fabricados usando conformação hidrolástica. Usualmente a cerâmica plástica é forçada através da matriz por meio de uma pua (trado) movida a motor e às vezes ar é removido numa câmara de vácuo para melhorar a densidade. Colunas internas ocas na peça extrusada (por exemplo, tijolos de construção) são conformadas por insertos situados dentro de uma matriz (CALLISTER, 1991).

Figura 4 - Extrusora/ Maromba.



Fonte: Incargel (2012-c).

4.1.6.11 Corte e acabamento

Nessa etapa do processo, o corte da massa cerâmica é feito pelos cortadores, que tem como função deixar as peças cerâmicas nos tamanhos adequados, e esses equipamentos podem ser manuais ou máquinas. Ao sair dessa pua (trado), a massa cerâmica ainda úmida vai se movimentando por uma esteira, e após isso existem dois métodos de corte da peça. No primeiro, a massa cerâmica que se movimenta pela esteira se intercepta com fios metálicos, que são bem esticados, e com isso corta a peça e, já no segundo método o corte é manual por trabalhadores da empresa.

No Rio Grande do Norte existem cento e uma cerâmicas que produzem telhas, das quais noventa e seis usam cortador automático de diversos modelos; apenas cinco cerâmicas fazem o corte manual. Os donos destas cerâmicas argumentam que o corte manual deixa a telha com melhor

qualidade, apesar da reduzida produtividade alcançada (CARVALHO, 2001).

Figura 5 - Cortador.



Fonte: Incargel (2012-d).

4.1.6.12 Prensagem

Na fabricação dos materiais cerâmicos ocorre a prensagem da matéria-prima, pois os elementos cortados e extrusados com formato adequado são prensados em uma prensa que tem matrizes que comprimem os elementos que passaram por corte e com isso dá forma ao produto final (CALLISTER, 1991).

4.1.6.13 Secagem

O objetivo da secagem é a eliminação de água, utilizada no processo de conformação, quando se deseja obter uma massa plástica. A eliminação dessa água se faz pelo processo de evaporação de calor. Na secagem, as peças cerâmicas vermelha sofrem retração linear (CALLISTER, 1991).

Existem diversos modos de secagem das peças cerâmicas como natural, artificial, forçada e mista. Os dois mais usados são o natural e o artificial.

Na secagem natural, as peças são colocadas para secar ao ar livre ou em galpões. Ela leva em consideração as características climáticas de cada região, no caso do Rio Grande do Norte que tem o clima quente, esse é o processo mais utilizado.

A secagem artificial é usada mais em regiões frias e em época de chuva, pois com as condições climáticas nessa situação a secagem é de forma lenta, pois a exposição ao calor e ventilação é menor que na secagem natural. Na artificial se controla o aquecimento, a quantidade de ventilação e a umidade relativa do ar.

4.1.6.14 Sinterização

Após a secagem, um corpo é usualmente sinterizado numa temperatura entre 900 e 1400°C. A temperatura depende da composição e propriedades desejadas da peça acabada. Durante a operação de sinterização, a densidade é aumentada (com um acompanhante decréscimo na porosidade) e a resistência mecânica é acentuada. Quando os materiais baseados em argila são aquecidos até elevadas temperaturas, ocorrem algumas reações. Uma destas reações é a vitrificação, a formação gradual de um vidro líquido que se escoia para dentro do volume de poro preenchendo-o. O grau de vitrificação depende da temperatura de sinterização e do tempo, bem como da composição do corpo. Os tijolos de construção são ordinariamente queimados a 900°C e são relativamente porosos (CALLISTER, 1991).

Existem diversos tipos de fornos nas indústrias de cerâmica vermelha, e os principais são: fornos de chama direta, tipo caipira ou caieira (rural), fornos de chama reversível tipo paulista, abóboda e corujinha, fornos contínuos do tipo Hoffmann, fornos contínuos do tipo túnel, etc.

O Forno corujinha é o mais utilizado na região do vale do Assú, esse forno é usado em maior parte para fabricação de telhas e tijolos. È classificado como um forno de chama reversível, e ele são abastecidos com lenha pela frente e por trás, sendo sua forma retangular com dimensões variáveis e sua chaminé é de forma circular.

Dependendo do volume pode comportar entre 20 e 40 mil telhas. Quanto à qualidade pode gerar até 50% de telhas de primeira qualidade, 70% a 85% de telha de segunda qualidade, e 5% a 15% de quebras. Seu consumo

médio de lenha é 1,0 a 1,2 m³ de lenha por tonelada de produto sinterizado (BACCELLI JÚNIOR, 2010).

Figura 6 - Forno Corujinha.



Fonte: Carvalho (2001).

4.1.7 Características e propriedades

As cerâmicas vermelhas são produzidas a partir de argilas, então as características delas são de suma importância para a produção dos materiais cerâmicos. E também existem as propriedades relacionadas com a peça cerâmica já confeccionada, como resistência a compressão e tração e porosidade.

As principais características e propriedades são: plasticidade, retração, absorção de água, impermeabilidade, índice de trabalhabilidade, efeito do calor, dureza (e consequentemente fragilidade), refratariedade, resistência à compressão e tração e porosidade.

As matérias primas naturais tem como maior representante as argilas, e elas são usadas da forma que são extraídas na natureza ou foram submetidas a tratamentos físicos para eliminar as possíveis impurezas, mas, é necessário que não ocorra alteração nas suas composições química e mineralógica. São utilizadas na preparação das massas cerâmicas tradicionais, e com isso é importante conhecer suas características para que não haja alterações nas propriedades e no comportamento.

As propriedades dos materiais cerâmicos também estão relacionadas com a quantidade e o arranjo das fases presentes na sua estrutura, que são elas: cristalina, vítrea e porosa. A

primeira está relacionada com os átomos e as moléculas, pois no processo de queima ocorrem reações químicas que modificam as estruturas cristalinas e influenciam na confecção do produto final. A fase vítrea é onde as peças cerâmicas ganham suas propriedades e características, pois ela age como uma liga entre as fases cristalinas sólida, e se deve ter cuidado nesta fase, devido que é nela que as peças cerâmicas são expostas a altas temperaturas e não se pode passar da temperatura de 1000 °C, que é onde a fase vítrea se torna fluida, e isso pode gerar deformações ao produto final desejado. A fase porosa está relacionada com os espaços vazios entre os grãos sólidos ou até dentro dos próprios grãos sólidos, que são nesses espaços vazios que se tem as fases aberta (permite a absorção de água) e a fechada (o ar fica preso dentro dos grãos), e com isso as peças cerâmicas são chamadas de isolante térmico.

A argila é uma matéria-prima que sem muita dificuldade se mistura com a água. Essa mistura deve ser controlada, pois se deve colocar certa quantidade de água até que haja a formação de massa coesiva que possa ser moldada sem dificuldade, essa moldagem é característica das argilas, e esse processo denomina-se plasticidade.

Em vista disso, a hidroplasticidade é uma característica de suma importância, pois é devido aos minerais de argila se tornar plásticos com a adição de água que os materiais cerâmicos são confeccionados e posteriormente usados na construção civil. A outra característica importante está relacionada com as moléculas de água que se ajustam em camadas, e com isso as partículas ficam livres para se moverem e ter uma boa plasticidade, devido a fração de água-argila da mistura.

A retração é uma característica das peças de cerâmica vermelha, pois durante o processo de secagem as peças sofrem tensões que podem ocorrer o surgimento de trincas, deformações e fissuras que podem prejudicar e comprometer a qualidade.

A argila é uma matéria-prima que absorve água com facilidade, então se deve ter muito cuidado com adição dela para não degradar, e nem diminuir a compactação da argila, e com isso surgem suspensão de partículas que pode prejudicar em relação à resistência mecânica e porosidade.

A impermeabilidade é a capacidade que as argilas possuem de não absorverem água ou qualquer outro líquido após serem cozidas nos fornos das indústrias cerâmicas.

A trabalhabilidade de uma argila está relacionada com a plasticidade da mesma, pois quanto mais plástica for mais fácil à conformação dos produtos cerâmicos por extrusão. Essa característica é a facilidade de moldar a argila e produzir o produto cerâmico desejado. Mas,

se deve ter cuidado com as argilas muito plásticas, pois é muito o processo de secagem delas e com isso pode gerar danos ao produto final como trincas.

O efeito do calor sobre as argilas é de suma importância para a qualidade do produto final. Contudo, a maior influência é nos processos de secagem e queima das peças já preparadas, e nessas duas etapas é que ocorrem alterações da transformação da estrutura e na composição do produto final como brilho, cor, porosidade, resistência a flexão e etc.

Os materiais cerâmicos são produzidos a partir das argilas, são fáceis de moldar e quando eles são preparados para utilização são materiais frágeis que não suportam pancadas e quedas com o seu manuseio.

A refratariedade é a capacidade dos materiais cerâmicos resistirem sem perder suas características às elevadas temperaturas.

A porosidade é uma propriedade referente aos índices de vazios presentes nos materiais cerâmicos e outros, esses espaços são os poros que existem nos materiais e são preenchidos por água. O controle de vazios de um material deve ser controlado, pois quanto mais água for absorvida mais problemas são gerados para os materiais.

A resistência à compressão e tração está relacionada tanto com as argilas quanto ao material já pronto para o uso. Em relação, as argilas é a capacidade após a secagem e depois da cozedura do material não sofrer deformações quanto ao seu aspecto, resistência ao calor dos fornos e ao ataque químico de algumas substâncias. E em relação ao produto já em estado de uso são realizados testes de resistência a compressão e tração em laboratório para se determinar as cargas que o material cerâmico suporta.

4.1.8 Panorama no Brasil

No Brasil, a tradição ceramista não veio com os portugueses, nem junto com a bagagem cultural dos africanos. Os colonizadores, instalando as primeiras olarias, apenas estruturaram e concentraram mão de obra, modificando o processo nativo, que era muito rudimentar, com as tecnologias da época, a exemplo o uso do torno e das “rodadeiras”, conferindo simetria e acabamento mais refinado às peças (SEBRAE, 2008-b).

O setor cerâmico do Brasil está com uma alta demanda, devido ao crescimento que o país está passando atualmente. Esse aumento no crescimento do país se deve principalmente a

dois grandes fatores que são: os planos de financiamento do governo como o “minha casa minha vida” e também aos eventos mundiais que o Brasil vai receber como a Copa do Mundo em 2014 e as Olimpíadas em 2016. A indústria cerâmica movimenta em torno de 1 % do Produto Interno Bruto – PIB do nosso país. No setor cerâmico são produzidos materiais para acabamento e revestimento como pisos, soleiras, telhas, tijolos, blocos de vedação e etc. A indústria cerâmica está com um elevado crescimento e demanda, e vale lembrar que o Brasil com essa diversidade de produtos produzidos está entre os países mais criativos do setor cerâmico.

Segundo a Associação Nacional da Indústria da Cerâmica – (ANICER, 2007), à indústria de cerâmica Vermelha é formada por aproximadamente 7400 estabelecimentos fabris, considerando apenas as empresas que dispõem de equipamentos de extrusão, e esse número nos próximos anos aumentará devido o grande crescimento na indústria da construção civil. A produção em 2009 permaneceu no mesmo nível de 2008, 76 bilhões de peças, correspondendo a 75 % de blocos/tijolos e 25 % de telhas, estimando-se um faturamento de sete bilhões de reais (US\$ 3,5 bilhões). Para 2010 as perspectivas foram em torno dos R\$ 9 bilhões, alavancado pelo bom desempenho da construção civil. O setor cerâmico tem participação bem significativa na vida profissional de muitos brasileiros são 293 mil empregos diretos e de forma indireta cerca 1,25 milhões.

A região Nordeste, assim como as regiões Sul e Sudeste, apresenta um considerável índice de desenvolvimento da indústria cerâmica, segundo a Associação Brasileira de cerâmica – (ABC, 2002-b). A região do Nordeste tem mostrado um crescente aumento de desenvolvimento, e esse crescimento também ocorre no setor cerâmico. A demanda por materiais cerâmicos aumentou principalmente os utilizados na construção civil. Com a maior facilidade de crédito e a procura por construções de casas, prédios e indústrias o setor cerâmico está com uma boa demanda.

4.1.9 Panorama no RN

De acordo com o Sindicato da Indústria cerâmica para construção do estado do rio Grande do Norte - SINDICER/RN, os levantamentos com relação ao investimento no setor indicam que nos últimos 10 anos a indústria cerâmica no Rio Grande do Norte tem crescido significativamente. Crescimento esse que se dá pela consciência de muitos empresários, que

sabem que para agregar valor ao produto, precisam melhorar o processo de produção. Para isso buscam introduzir tecnologias que melhorem a qualidade e competitividade dos seus produtos, investindo em fornos para melhoramento da sinterização, na compra de novos equipamentos, na capacitação técnica de funcionários e na mudança de gestão, levando também em consideração sua própria capacitação (CARVALHO, 2001).

O setor cerâmico do Rio Grande do Norte – RN busca uma melhor estruturação, organização, valorização da atividade e outros. Essa organização do setor é feita pelo SINDICER/RN, buscando promover palestras e eventos para que ocorra uma interação entre empresários, consumidores e a população. A expansão das empresas e as melhorias são implantadas pelos próprios empresários e através de programas como os Arranjos Produtivos Locais – APL e tudo isso visa melhorar o sistema produtivo das indústrias do setor cerâmico.

4.1.9.1 Cerâmicas da Cidade do Assú

A cidade está localizada na microrregião do Vale do Assú/RN, e é conhecida em o todo Nordeste como produtor de telhas de grande qualidade. Tem dez cerâmicas em atividade. No abaixo quadro é mostrado um balanço da atividade cerâmica deste município, comparado com o balanço do setor no RN (CARVALHO, 2001).

Tabela 1 - Balanço da indústria cerâmica de Assú e no RN.

	PESSOAL	LENHA (M ³)	ARGILA (T)	TIJOLOS (X1000)	TELHAS (X1000)	LAJOTAS (X1000)	TOTAL (X1000)	ÍNDICES DE AVALIAÇÃO MÉDIOS		
								Produtividade (t/homem)	Energético (Kwh/t)	Calorífico (m ³ /t)
Assú	363	7.714	13.675	2.319	3.365	216	5.900	30,5	16,9	0,98
RN	5.494	106.497	173.925	29.796	50.186	2.399	82.799	24,5	18,6	0,79

Fonte: CARVALHO (2001). *A pesquisa foi realizada em Fevereiro/01 e os dados são referentes a janeiro/01.

Existem 363 trabalhadores envolvidos diretamente no setor. São consumidas 13.675 toneladas de argila e 7714 metros cúbicos de lenha para

produzir 5.900.000 peças, entre telhas tijolos e lajotas. A telha constitui seu principal produto, com 3.365.000 peças/mês. Os dados de Assu, quando comparados aos do RN, mostram que o município emprega 6,6 % dos trabalhadores do setor cerâmico do estado, consome 7,2 % da lenha e 7,9 % da argila e é responsável pela produção de 7,1% das peças. Os índices médios de avaliação do setor são: produtividade de 30,5 toneladas de produto por trabalhador; energético de 16,9 kWh por tonelada de produto; e calorífico de 0,98 metros cúbicos de lenha por tonelada de produto queimado. O índice de produtividade está um pouco acima da média do estado e isto é devido à produção mista de telhas, tijolos e lajotas típica destas cerâmicas. Os demais índices estão próximos da média estadual. A produção é destinada quase toda ao consumo no próprio estado e uma parcela próxima de 20%, é exportada para outras localidades do Nordeste (CARVALHO, 2001).

4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

4.2.1 Definição

Os Resíduos Sólidos são:

“aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível” (NBR 10004, 1987).

4.2.2 Classificação

A Norma Brasileira NBR 10004 (2004), diz que os resíduos são classificados como:

- **Classe I – Resíduos Perigosos:** São aqueles que apresentam periculosidade, conforme definido anteriormente, ou uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;

- **Classe II – Resíduos não Inertes:** São aqueles que não se enquadram na classe I ou III. Os resíduos da classe II podem ter as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- **Classe III – Resíduos Inertes:** São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. Além disso, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10006, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8, constante do Anexo H da NBR 10004, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

4.2.3 Resíduos Sólidos no Brasil

Segundo a pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), a população brasileira é de aproximadamente 170 milhões de habitantes, produzindo diariamente cerca de 126 mil toneladas de resíduos sólidos. Quanto à destinação final, os dados relativos às formas de disposição final de resíduos sólidos distribuídos de acordo com a população dos municípios, (IBGE, 2002) indicam que 63,6 % dos municípios brasileiros depositam seus resíduos sólidos em “lixões”, somente 13,8 % informam que utilizam aterros sanitários e 18,4 % dispõem seus resíduos em aterros controlados, totalizando 32,2 %. Os 5 % dos entrevistados restantes não declaram o destino de seus resíduos. Verifica-se também que a destinação mais utilizada ainda é o depósito de resíduos sólidos a céu aberto na maioria dos municípios com população inferior a 10.000 habitantes, considerados de pequeno porte, correspondendo a cerca de 48 % dos municípios brasileiros. Nesses municípios, 63,6 % dos resíduos sólidos coletados são depositados em lixões, enquanto 16,3 % são encaminhados para aterros controlados.

No Brasil foi criado o projeto de lei número 12305, que é a Lei dos resíduos sólidos e o papel dos municípios para acabar com os lixões, reciclar o máximo possível os resíduos gerados e criação dos aterros sanitários municipais.

Nos termos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, são considerados resíduos de construção civil os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, os quais são de responsabilidade do gerador dos mesmos. De maneira quase geral os municípios coletam tão somente os resíduos de construção civil e demolição (RCD) lançados em logradouros públicos. Independente da ressalva feita é extremamente significativa à quantidade total de RCD coletados pelos municípios em 2010, e isso permite a constatação de que em 2010 os municípios brasileiros coletaram 8,7% a mais de RCD em relação a 2009 (ABRELPE, 2011).

4.2.4 Resíduos Sólidos no Cenário Mundial

Buscando atender aos princípios apresentados, vêm sendo estimuladas no Japão as seguintes ações para aumentar a responsabilidade quanto aos resíduos. Elas constam desde o estímulo à coleta seletiva, restrição do descarte dos resíduos e informações para a população e empresas através de palestras de conscientização.

Nos Estados Unidos, o enorme volume de lixo gerado pela população e pelas empresas está baseado no estilo de vida dos americanos que associa a qualidade de vida ao consumo em excesso de bens materiais. Este modo de vida alimenta e faz crescer o consumismo, e com isso incentiva a produção de bens descartáveis que vão prejudicar o meio ambiente devido gerarem resíduos sólidos.

4.2.5 Resíduos: Vidros

4.2.5.1 Definição

Os vidros são:

Um grupo de cerâmicas familiares, como recipientes, janelas, lentes e "fibra de vidro" representam aplicações típicas. Eles são silicatos não cristalinos contendo outros óxidos, notavelmente CaO , Na_2O , K_2O e Al_2O_3 , que influenciam as propriedades do vidro. Um típico vidro de soda-cal consiste de aproximadamente 70 % em peso de SiO_2 , o restante sendo

principalmente Na_2O (óxido de sódio) e CaO (óxido de cálcio) (CALLISTER, 1991).

4.2.5.2 Características e propriedades

A maioria dos vidros em um sistema óptico apresenta a propriedade denominada de transparência, que é a característica que permite a passagem de luz.

Outra característica de suma importância do vidro é a radiação, que é a capacidade do material transmitir radiação e de certa forma, também ocorrer à transmissão de luz visível, e essas características dá ao vidro uma magnitude única.

Na natureza todos os corpos, inclusive o vidro, têm a característica de emitirem e absorverem energia na forma de ondas eletromagnéticas. Isso está relacionado com o espectro eletromagnético que é uma fonte de energia provedora de luz e calor. O vidro é um material que tem por característica permitir a transmissão da luz. A quantidade de luz transmitida através de ondas ou partículas pode ser modificada pela reflexão e pela absorção.

- **Reflexão:** Esse processo acontece quando a superfície do vidro reflete a luz incidente. Essa propriedade denominada de Reflexão expressa a fração de radiação incidente refletida pelo vidro. Após a energia incidente entrar em contato com uma superfície refletora, a mesma volta em direção à região de onde ela é oriunda;
- **Absorção:** Esse processo mostra a fração de radiação incidente absorvida pela massa do vidro. No decorrer do processo uma parte da luz é perdida e se acumula na massa do material. E com isso a absorção é uma parte de energia que continua no vidro após a luz incidir sobre ele;
- **Transmissão:** Esse processo é caracterizado pela quantidade de luz que ainda existe na massa do vidro, mesmo após reflexão e a absorção. A característica denominada de transmissão ocorre devido à fração da radiação transmitida diretamente através do vidro. E essa luz que é transmitida pode ser modificada ou alterada por outros processos como a difusão, refração e coloração.

O vidro apresenta uma propriedade chamada de dureza, que está diretamente relacionada com a resistência que um determinado mineral oferece ao risco, ou seja, se pega um material mais duro como, por exemplo, o diamante risca o vidro retirando partículas da

sua superfície, e com isso sabemos a dureza do nosso material. Depois de realizado os testes, utilizamos a Escala de Mohs para quantificar a dureza dos minerais. A classificação na Escala de Mohs vai de 0 a 10, onde a dureza 1 é o talco e 10 o diamante.

O vidro apresenta uma característica denominada de impermeabilidade, pois o mesmo dificulta a passagem de água para o seu interior.

O vidro é caracterizado como um bom Isolante Térmico, pois é um material ou estrutura que dificulta a dissipação de calor, ele é muito usado na construção civil e se caracteriza por sua alta resistência térmica. Ele é considerado um mau condutor de calor, devido às suas ligações químicas e aos seus elétrons mais externos de seus átomos se apresentarem forte e firmemente ligados dificultando a passagem de calor entre dois meios diferentes.

Como vimos acima o vidro é mau condutor de calor, e para falar da característica chamada de Condutividade Térmica precisamos da informação acima. Essa propriedade está ligada com a rapidez que o calor passa através de um determinado material, no nosso caso o vidro. Essa propriedade tem uma grande variação de um material para outro, e em termos de unidades do SI, a condutividade térmica é medida em $W/m^{\circ}C$. Como exemplo pode citar o vidro de soda-cal que a condutividade térmica é de $1,02 W/m^{\circ}C$, e esse valor é muito pequeno em comparação com $71,0 W/m^{\circ}C$ do ferro e $218,5$ do alumínio.

4.2.6 Resíduo de Vidro: Lâmpadas Fluorescentes

4.2.6.1 Definição

Uma lâmpada fluorescente é constituída por um tubo fechado de vidro, preenchido com gás argônio e vapor de mercúrio à baixa pressão. Na parte interna desse tubo temos a presença de uma poeira fosforosa composta por vários elementos químicos, e dentre eles podemos destacar o Mercúrio, Alumínio, Chumbo, Cromo, Manganês, Níquel e dentre outros.

4.2.6.2 Características e Propriedades

Durante o período de vida útil das lâmpadas fluorescentes pode surgir uma característica desvantajosa que é a diminuição do fluxo luminoso, que é gerado pela própria diminuição normal do fluxo das lâmpadas e também pelo acúmulo de poeira sobre as superfícies da lâmpada e do refletor.

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é um fator que determina o quanto as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz. Esse parâmetro é de suma importância e fundamental para dar beleza e conforto térmico aos ambientes.

4.2.6.3 Vantagens

Segundo a Associação Brasileira da Indústria da Iluminação – ABILUX existem dois tipos de lâmpadas: as que contêm mercúrio, ou de alta descarga (fluorescentes tubulares, fluorescentes compactas, vapor de mercúrio, luz mista, vapor de sódio e vapor metálico) e as que não contêm mercúrio (incandescentes e halógenas/dicróicas) (ABILUX, 2003).

De acordo com a (ABILUX, 2003), existem algumas vantagens das lâmpadas que contêm mercúrio em relação às incandescentes, e as diferenças estão vinculadas a cinco fatores, tais como:

- A eficiência do nível de luminosidade é de 3 a 6 vezes superior;
- A vida útil é de 4 a 15 vezes maior;
- Consomem 80 % a menos de energia;

4.2.6.4 Desvantagens

O risco socioambiental gerado pelas lâmpadas é significativo, devido um de seus componentes químicos ser o Mercúrio (Hg). No mundo existem diversas tragédias de contaminações com o Mercúrio, como exemplo pode-se citar a que ocorreu nos anos 50 no Japão, onde pessoas comiam peixes contaminados na Baía de Minamata e com isso as futuras gerações desencadeavam anomalias como microcefalia, atrofia do cérebro, etc.

No caso do uso residencial não existem políticas públicas referentes ao gerenciamento das lâmpadas fluorescentes, e com isso a população não sabe informações sobre como depositar corretamente esse resíduo. As lâmpadas fluorescentes quando são quebradas sem o devido cuidado ou depositadas em locais com outros resíduos pode gerar contaminação de todos os resíduos presentes no ambiente.

A lâmpada fluorescente por si só não é tóxica, só emite luz para ser utilizada em residências ou em indústrias. A ameaça é no caso da quebra das lâmpadas, pois geram riscos

para o ser humano, devido o mercúrio ser liberado para a atmosfera sob a forma de vapor, e com isso ocorre à inalação do gás pelas pessoas e geram riscos principalmente para os pulmões.

4.2.6.5 Resíduo Oriundo da Universidade

Nos dias atuais é impossível falar de resíduos sólidos e não relacionar com a sustentabilidade. A população é muito dependente do meio ambiente e dos recursos naturais para sua sobrevivência, mas são utilizadas técnicas e procedimentos que prejudicam o futuro do planeta. Enorme quantidade de resíduos sólidos é gerada todos os dias, mas na maioria dos casos são descartados de forma inadequada na natureza e com isso prejudicam o meio ambiente. Diante dessa situação, cabem as universidades do país investigarem e analisarem o gerenciamento dos seus próprios resíduos sólidos, e com essa fiscalização poderá ser melhorado a qualidade de vida e a sustentabilidade do meio ambiente.

A universidade precisa olhar de forma crítica para a gestão dos seus próprios resíduos sólidos, e esse trabalho sendo feito dentro da universidade teremos profissionais formados com capacidade e conhecimento teórico e prático sobre o gerenciamento dos resíduos, e que esse aprendizado se expanda para a sociedade para mudar a consciência da população.

A grande preocupação é com a questão do gerenciamento dos resíduos sólidos, pois eles podem gerar problemas para a saúde, meio ambiente e a sustentabilidade. Os problemas surgem decorrentes da degradação e contaminação do meio ambiente, e as universidades junto com outros poderes públicos devem ter ações e iniciativas para solucionar os problemas gerados pelos resíduos sólidos.

As universidades são capazes de mudar o cenário sobre a gestão de resíduos sólidos, pois elas podem ir além do que é visto em sala de aula e desenvolver projetos, simpósios, palestras e debates que visem diminuir ou acabar com os problemas causados para a saúde, meio ambiente e a sustentabilidade do nosso planeta pelos resíduos sólidos.

4.3 RECICLAGEM

4.3.1 Definição

Reciclagem é o conjunto das técnicas que visam aproveitar e por processos de transformação dos resíduos sólidos fazer a sua inserção novamente como matéria-prima para ser utilizado na cadeia produtiva.

4.3.2 Reciclagem no Brasil

Figura 7 - Geração de resíduos sólidos nas cinco regiões territoriais e no Brasil.

Região	2009	2010		
	RSU Gerado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RSU Gerado (t/dia)	Índice (Kg/habitante/dia)
Norte	12.072 / 1,051	11.663.184	12.920	1,108
Nordeste	47.665 / 1,254	38.816.895	50.045	1,289
Centro-Oeste	13.907 / 1,161	12.479.872	15.539	1,245
Sudeste	89.460 / 1,204	74.661.877	96.134	1,288
Sul	19.624 / 0,859	23.257.880	20.452	0,879
BRASIL	182.728 / 1,152	160.879.708	195.090	1,213

Fonte: (ABRELPE, 2010).

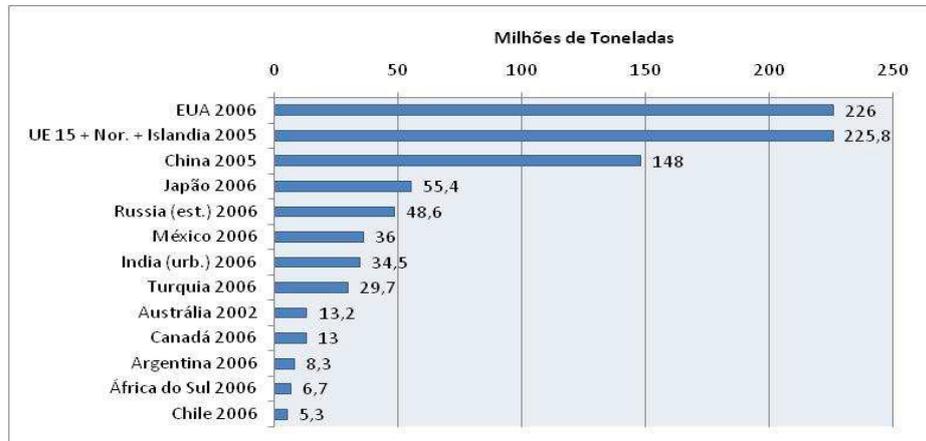
A Figura 7 mostra a quantidade de resíduos sólidos gerados pela população brasileira em 2009 e 2010. O estudo determina o índice de geração de resíduos sólidos em quilogramas por cada habitante em um dia nas regiões e no Brasil. A região mais populosa é a sudeste, mas a que gera mais resíduos sólidos é a nordeste, e ainda encontra-se acima da média nacional.

Os administradores das cidades e as empresas responsáveis pela fabricação das lâmpadas fluorescentes devem realizar palestras de educação ambiental para mostrar os riscos que o manuseio inadequado pode gerar para os seres humanos e também incentivar os consumidores a devolverem os produtos esgotados, para que estes tenham tratamento adequado, e isso é o que chamamos de reciclagem dos resíduos sólidos.

4.3.3 Reciclagem no Cenário Mundial

Os Países desenvolvidos ou Países de primeiro mundo incluem na lista de resíduos que causam danos ao meio ambiente, às lâmpadas fluorescentes.

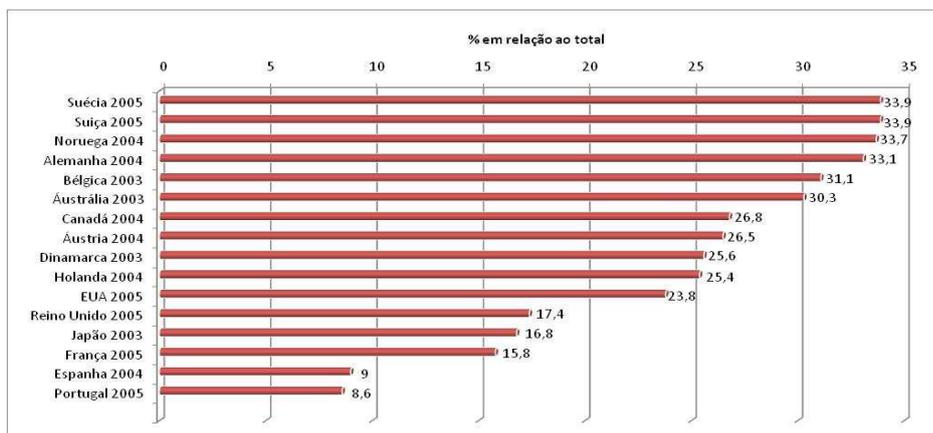
Figura 8 - Coleta de RSU em países selecionados.



Fonte: ABRELPE, 2010.

A Figura 8 mostra a quantidade de resíduos sólidos gerados em alguns países do mundo em toneladas. O maior gerador de resíduos sólidos são os Estados Unidos, devido ao estilo de vida americano consumista, e já países subdesenvolvidos como a África do Sul tem um menor volume de resíduos sólidos gerados, pois o padrão de vida da população é diferente dos países desenvolvidos.

Figura 9 - Destinação de RSU em países selecionados – Reciclagem.

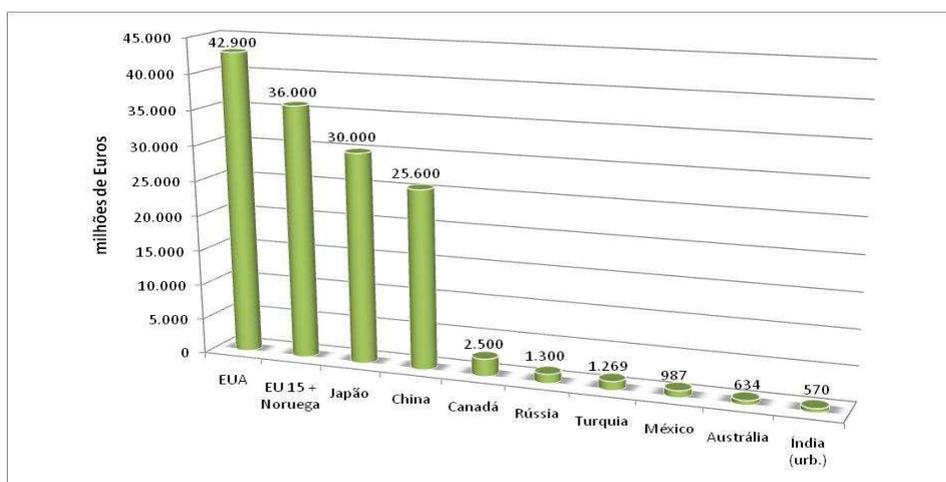


Fonte: ABRELPE, 2010.

A Figura 9 mostra o percentual do total de resíduos sólidos em alguns países que é feito a reciclagem. Como visto na Figura 8, os Estados Unidos é o maior gerador de resíduos sólidos, mas na Figura 9 percebe-se que ele não é o país que mais faz a reciclagem dos resíduos

solidos. A reciclagem é um benefício para a sociedade, ambiente e poder público. No topo do ranking está a Suécia e Portugal apresenta o menor percentual dentre os países.

Figura 10 - Mercado Mundial de RSU reciclados em países selecionados (milhões de Euros).



Fonte: ABRELPE, 2010.

A Figura 10 mostra o mercado mundial de resíduos sólidos reciclados em alguns países do mundo e a arrecadação em milhões de euros. A reciclagem é uma técnica que traz benefícios sociais, ambientais e econômicos para os países. Os econômicos são vistos pela renda em dinheiro que a reciclagem de resíduos sólidos proporciona para países como os Estados Unidos, China, etc.

4.3.4 Vantagens

A reciclagem de resíduos sólidos apresenta diversas vantagens:

- Redução da extração de matérias-primas da natureza;
- Menores emissões de gases poluentes no meio ambiente;
- Melhoria da saúde e segurança da população, pois está diminuindo a quantidade de resíduos sólidos sem destinação correta no meio ambiente;
- A vantagem mais importante e visível da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, e com isso está aumentando a vida útil dos recursos, e conseqüentemente, reduzindo a destruição da natureza como exemplos a paisagem, fauna e flora.

4.3.5 Desvantagens

Os resíduos sólidos a cada dia vêm-se tornando um dos mais graves problemas para a sociedade enfrentar. Sua deposição de forma incorreta e inadequada causa à degradação e a contaminação do ambiente, como exemplos temos os prejuízos para os mananciais de água e do solo.

A deposição de resíduos sólidos em lixões ou a céu aberto traz muitos prejuízos para a população como a poluição da água, ar, solo e danos de todas as ordens.

4.3.6 Resíduos usados como matérias-primas cerâmicas alternativas

A reciclagem de resíduos sólidos é uma técnica que tem por objetivo introduzir os detritos e rejeitos no ciclo de produção, e com isso preservar os recursos naturais, paisagens, fauna e flora. De acordo Com (Neves *et al.*, 2002), a reciclagem de resíduos para utilização como materiais alternativos tem três razões principais, tais como:

- O esgotamento das reservas de matéria-prima;
- O número crescente de resíduos gerados no mundo, e com isso aumenta o risco de saúde da população;
- O grande desequilíbrio das altas do petróleo, e com isso se deve compensar essa variação com o uso da reciclagem dos resíduos.

O uso de resíduos como matérias-primas alternativas é uma área que está em enorme ascensão, pois se necessita de soluções adequadas para os problemas gerados pelos resíduos sólidos no Brasil. A maioria dos resíduos sólidos pode ser incluída nas formulações cerâmicas, após passar por um tratamento adequado.

A reciclagem e a reutilização de resíduos oriundos de diferentes processos industriais, como novas matérias-primas cerâmicas, buscam soluções para o resto de disposição, tratamentos, tipo e quantidade de resíduos, tecnologias e etapas de utilização, e por fim os impactos sociais, econômicos e ambientais da reciclagem dos resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos quando absorvidos pela indústria cerâmica, levando em consideração suas características e influencia sobre as propriedades das formulações e corpos cerâmicos podem ser agrupados da seguinte forma: redutores de plasticidade, fundentes, combustíveis, cinzas volantes, resíduos da incineração de rejeitos urbanos e radioativos e entre outros.

4.4 SUSTENTABILIDADE

4.4.1 Definição

É a utilização dos recursos naturais pelo homem nas gerações presentes sem prejudicar o meio ambiente e as gerações futuras. O ser humano deve utilizar os recursos naturais de uma forma correta e adequada para que não esgote e nem prejudique as necessidades das gerações futuras.

A sustentabilidade está relacionada como integração de algumas questões que devem ser levadas em consideração, como as sociais, energéticas, econômicas, ambientais e etc.

Este ano foi realizado no Rio de Janeiro, Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (CNUDS), conhecida também como Rio+20, foi uma conferência realizada entre os dias 13 e 22 de junho de 2012, cujo objetivo era discutir sobre a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável. Considerado o maior evento já realizado pela Nações Unidas, o Rio+20 contou com a participação de chefes de estados de cento e noventa nações que propuseram mudanças, sobretudo, no modo como estão sendo usados os recursos naturais do planeta. Além de questões ambientais, foram discutidos, durante a CNUDS, aspectos relacionados à questões sociais como a falta de moradia e entre outros.

4.4.2 Vantagens

A principal vantagem da sustentabilidade é a utilização dos recursos naturais de forma adequada para que não prejudique o planeta e nem as gerações atual e futura.

Os recursos naturais no planeta são escassos, pois um dia eles vão acabar e para mudar isso precisamos utilizá-los de forma sustentável para que não se esgotem na natureza. As vantagens da sustentabilidade atingem diversas áreas, como as questões sociais estão relacionadas com a própria consciência do ser humano em respeitar e não degradar o meio ambiente. As questões energéticas estão ligadas a sobrevivência do homem que precisa de energia para suprir as suas necessidades e com isso faz o uso dos recursos naturais. As questões econômicas estão relacionadas com o crescimento do país, e para que haja um avanço da economia é necessário o uso dos recursos naturais e tecnologia, e por ultimo as questões ambientais que estão ligadas com os possíveis danos ao meio ambiente, e devem ser evitadas para não prejudicar as próximas gerações.

A utilização dos recursos naturais deve ser de forma adequada para que não traga uma série de consequências para o meio ambiente, tais como: aquecimento global, chuvas ácidas, destruição da camada de ozônio, proliferação de doenças e entre outros.

4.4.3 Aplicada à Construção Civil

Os resíduos sólidos da construção civil e demolição (RCD) são aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e também os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, os quais são de responsabilidade do gerador dos mesmos. Essa responsabilidade indica que esses resíduos serão descartados em locais apropriados e que eles passaram por processos de tratamento para ser utilizados em outros ramos da construção civil.

Em construções voltadas à sustentabilidade, uma das metas é a não geração de resíduos, e posteriormente é pensado em como reduzir, reutilizar e no destino final. Essas construções baseiam-se na prevenção e redução de resíduos, desenvolvendo tecnologias limpas, usando materiais recicláveis e/ou reutilizáveis e pensando também no uso de resíduos como materiais secundários (BARDELLA *et al.*, 2007).

As técnicas de construção com terra são sustentáveis, pois não geram resíduos sólidos para o meio ambiente e podemos citar algumas, tais como: taipa de pilão, adobe, taipa leve, pau-a-pique, tijolo de solo-cimento e entre outras.

A ANICER (2007) realizou um estudo sobre impactos ambientais do setor de cerâmica, e ele tem como objetivo destacar as vantagens da cerâmica natural em comparação com os produtos feitos de concreto. Os resultados apontam que telhas cerâmicas causam impactos ambientais menores do que as telhas de concreto. As vantagens são mostradas a seguir da telha cerâmica em relação aos produtos feitos de concreto, tais como:

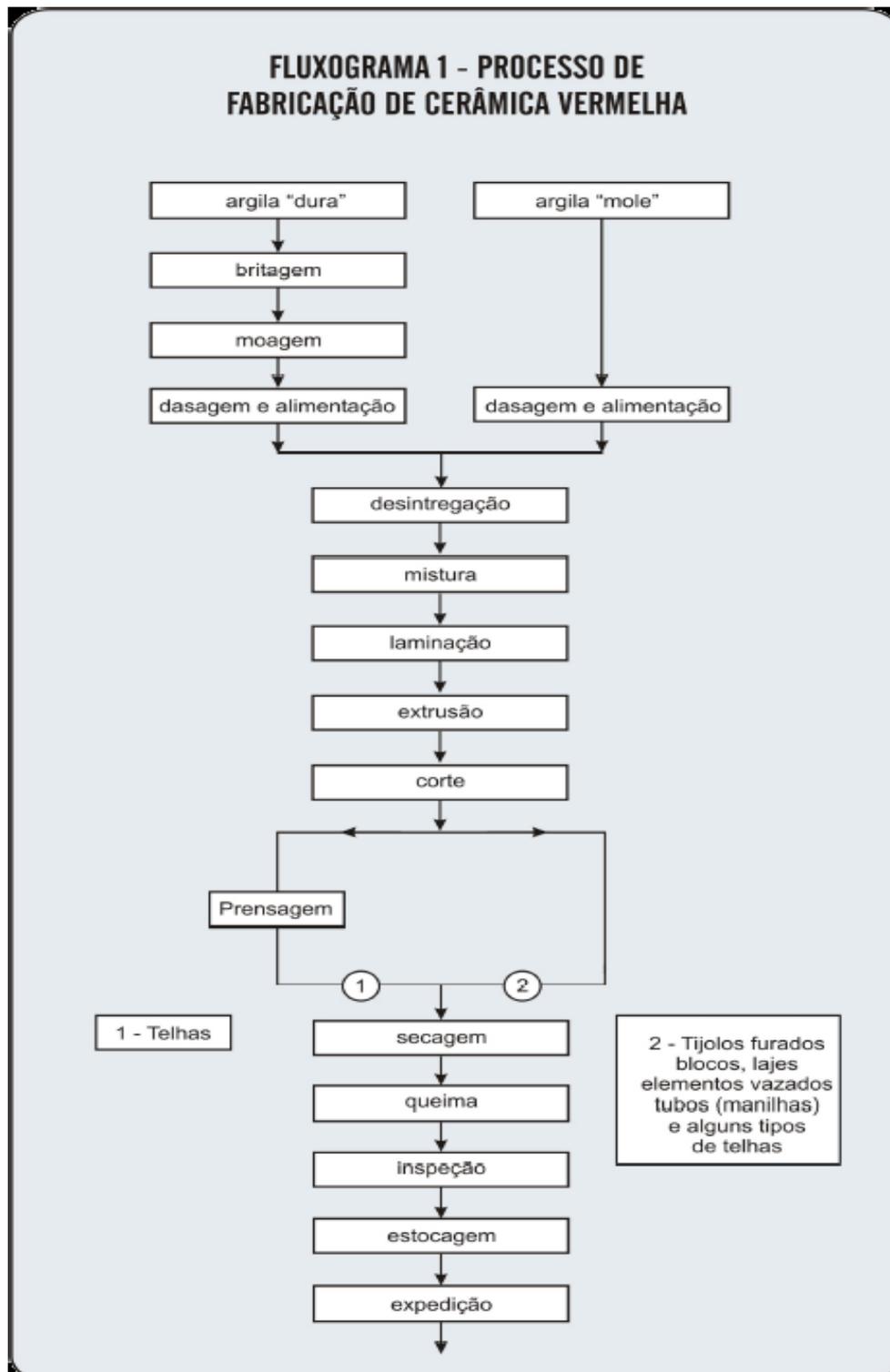
- O processo de produção desses produtos consome 70 % menos água;
- O transporte gera menos emissões de carbono, já que as distâncias percorridas são menores.

5. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

5.1 MATERIAIS UTILIZADOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

5.1.1 Massa cerâmica

Figura 11 - Processo de fabricação de cerâmica vermelha



Fonte: Associação Brasileira de Cerâmica – ABC (2012).

A Figura 11 mostra o processo de fabricação das telhas cerâmicas, que vão desde a extração da matéria-prima até a expedição para o consumidor. Esse fluxograma é a base para confecção dos materiais cerâmicos, mas para o procedimento experimental não será realizado a prensagem e será aplicado o jateamento do resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes.

A massa cerâmica será de pelo menos duas cerâmicas do vale do Assú no Rio Grande do Norte. As argilas usadas na fabricação dos materiais cerâmicos são obtidas de jazidas localizadas na região do vale do Assú ou em localidades próximas as olarias. As argilas mais usadas para confecção dos materiais cerâmicos são: as Argilas gorda e magra. Esses tipos ganham mais destaque por apresentarem uma variação de plasticidades, pois se tem diferentes formas a ser trabalhado e outras características que são essenciais para obtenção de um produto final de qualidade. A argila apresenta essa característica de ser trabalhável e fácil de ser moldada com a presença de água. A matéria-prima (argila) é adquirida pelas olarias de empresas terceirizadas ou elas possuem sua própria área de extração. Esse material é transportado por meio de caminhões-caçamba, o serviço é pago por carrada transportada ou por empreitada. Ao chegar ao local determinado na olaria, a argila é estocada nos pátios ou galpões das empresas.

As etapas para produção da massa cerâmica são as seguintes:

- Extração da Matéria-Prima
- Estocagem da argila
- Processamento da argila
- Britagem
- Moagem
- Dosagem e alimentação
- Desintegração
- Mistura
- Laminação
- Extrusão
- Corte e acabamento
- Jateamento do resíduo de vidro
- Secagem
- Sinterização

5.1.1.1 Jateamento do resíduo de vidro

O processo de fabricação dos materiais cerâmicos tem a etapas de prensagem do material, mas essa etapa vai ser após o jateamento do resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes, devido aos testes serem realizados nas amostras da massa cerâmica. Depois que a massa cerâmica passar pelo processo de extrusão, onde são formadas as lâminas da massa cerâmica e foram cortadas e feitas o acabamento para que possa ser aplicado o resíduo de vidro.

A massa cerâmica receberá o cobrimento da sua superfície em três etapas x, y e z. Na primeira será jateada uma camada do resíduo de vidro, na segunda duas camadas e na terceira três camadas. Depois disso, faz a secagem que é a eliminação da água presente na massa cerâmica e o próximo processo é a sinterização nos fornos da olaria.

Os ensaios em laboratório serão realizados para fazer a caracterização das amostras, e com isso determina-se viável ou não o uso do resíduo de vidro para as telhas cerâmicas.

5.1.2 Resíduo de Vidro das Lâmpadas Fluorescentes

O resíduo de vidro será proveniente de lâmpadas fluorescentes oriundas da UFERSA- Universidade Federal Rural do Semi-Árido. E com o resíduo de vidro das lâmpadas fluorescentes, primeiramente faz a quebra das lâmpadas de forma correta com o uso de um martelo, pois se deve ter muito cuidado para que não haja contato direto com o pó de mercúrio presente dentro do tubo das lâmpadas fluorescentes.

O próximo passo seria moagem do material para se pesar certa quantidade para utilizar no teste, e o resíduo a ser utilizado será o material que passar na peneira 200 Mesh. Depois de o material ser moído e peneirado, se pega a massa cerâmica e aplica-se o resíduo de vidro e espera a secagem. Logo Após, realizam-se os ensaios de Risco Ambiental, Porosidade e Ruptura por Flexão.

5.1.2.1 Composição Química dos Fabricantes

A composição química é um conjunto de moléculas dos diversos tipos de elementos químicos que são constituintes das lâmpadas fluorescentes. Existem diversos tipos de elementos químicos como o Mercúrio (Hg), Alumínio (Al) e entre outros.

Existem muitas empresas fabricantes das lâmpadas fluorescentes, mas nessa ocasião serão mostradas as composições químicas das marcas Philips e Sylvania.

5.1.2.1.1 Fabricante Sylvania

Tabela 2 - Composição Química da Lâmpada Sylvania.

Nome Químico	CAS #	% em Peso
Vidro (cal)	-	75-95
Mercúrio	7439-97-6	0,002-0,02
Oxido de Chumbo	1317-36-8	0,2-2,0
Oxido de Alumínio	-	-
Fluorescente de Fósforo e catodos podem conter	-	0,5-3,0
Flúor (F)	-	0-0,1
Manganês (como pó)	7439-96-5	0-0,1
Estanho (como pó)	7440-31-5	0-0,1
Ítrio (como pó)	7440-65-5	0-0,5
Bário (como pó)	7440-39-3	< 0,1
Tungstênio (como pó)	7440-33-7	< 0,1
Estrôncio (como pó)	7440-24-6	0-0,1
Magnésio (como pó)	7439-95-4	0-0,1
Cálcio (como pó)	-	0-0,1
Antimônio (como pó)	7440-36-0	0-0,1
Zinco (como pó)	7440-66-6	0-0,1
Európio (como pó)	7440-53-1	0-0,1
Cério (como pó)	7440-45-1	0-0,1
Lantânio (como pó)	7439-91-0	0-0,1
Térbio (como pó)	7440-27-9	0-0,1
De Alumínio (como pó)	7429-90-5	0-0,1

Fonte: TASCHIBRA - SAC- Serviço de Atendimento ao Consumidor.

A tabela 2 mostra a composição química da lâmpada fluorescente da fabricante Sylvania, e os dados abaixo são: o nome químico, CAS # e % em Peso. A lâmpada é composta por diversos componentes químicos, mas o principal é o vidro (cal) que representa entre 75-95 % da composição da lâmpada Sylvania.

5.1.2.1.2 Fabricante Philips

Tabela 3 - Composição Química da Lâmpada Philips.

Nome Químico	CAS #	% em Peso
Ingredientes Inertes (vidro, alumínio, etc.)	-	Aproximadamente 98
Fósforo (como pó)	-	Aproximadamente 2
Fluoretos* (como F)	-	Aproximadamente 0,01
Antimônios*	7440-36-0	Aproximadamente 0,01
Manganês*	7439-96-5	Aproximadamente 0,02
Oxido de Alumínio	1344-28-1	Aproximadamente 0,01
Mercúrio	7439-97-6	< 20 ppm

Fonte: TASCHIBRA - SAC- Serviço de Atendimento ao Consumidor.

A tabela 3 mostra a composição química da lâmpada fluorescente da fabricante Philips, e os dados abaixo são: o nome químico, CAS # e % em Peso. A lâmpada é composta por diversos componentes químicos, mas o principal são os ingredientes inertes (vidro, alumínio, etc.) que representa aproximadamente 98 % da composição da lâmpada Philips.

5.1.3 Desenvolvimento do equipamento para jateamento do resíduo de vidro

O equipamento para jateamento do resíduo de vidro de lâmpadas fluorescentes será desenvolvido na UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Esse equipamento será desenvolvido com materiais, técnicas e profissionais da própria universidade. Logo após, a massa cerâmica passar pelo processo de corte e acabamento e ser retirada as amostras será necessário o equipamento para fazer o jateamento do resíduo de vidro.

5.2 AVALIAÇÕES DAS PROPRIEDADES FÍSICAS APÓS A SINTERIZAÇÃO DOS CORPOS CERÂMICOS

Os ensaios são testes para caracterizar o procedimento que será feito futuramente, como está sendo utilizada uma massa cerâmica para aplicação de um resíduo de vidro na sua superfície é necessário realizar alguns experimentos. O ensaio de retração linear será realizado para testar o comprimento da massa cerâmica após a secagem e conformação para avaliar o teor de umidade. Outro ensaio que será realizado é o de porosidade total, que através dele podemos diminuir o volume de poros totais do solo ocupado pelo ar e/ou pela água. O ensaio de tensão de ruptura à flexão para saber a caracterização mecânica do produto final. E ainda será realizado o ensaio de risco ambiental que está relacionado com a inertização do mercúrio presente das lâmpadas fluorescentes. A caracterização mecânica dar-se-á através de: tensão de ruptura à flexão, tenacidade à fratura e módulo de elasticidade flexural.

5.2.1 Retração Linear (RLs, em %): essa grandeza determina-se de acordo com a norma MB-305 (ABNT, 1984) pela expressão

$$RLs = \left| \frac{L_s - L_U}{L_U} \right| \cdot 100, \quad (1)$$

Onde L_s (em mm) foi o comprimento do corpo cerâmico, medido após o mesmo ser submetido à secagem; e L_U (em mm) foi o comprimento medido após conformação, *i. e.*, ainda com o teor de umidade para aumentar a plasticidade da MC. Os comprimentos foram medidos com um paquímetro digital da marca Mitutoyo, com precisão de $\pm 10^{-2}$ mm.

5.2.2 Densidade Aparente (ρ_{aps} , em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$): essa grandeza determina-se pela expressão

$$\rho_{aps} = \frac{m_s}{V_{aps}}, \quad (2)$$

Onde m_s (em g) representou a medida da massa do corpo cerâmico realizada após a sua secagem, e V_{aps} (em cm^{-3}) resultou do cálculo do volume a partir das dimensões do corpo cerâmico após secagem, dimensões essas também medidas com um paquímetro digital da marca Mitutoyo, com precisão de $\pm 10^{-2}$ mm.

5.2.3 Porosidade Total (ε_{Tas} , em %): essa grandeza calcula-se pela expressão

$$\varepsilon_{Tas} = \left(1 - \frac{\rho_{aps}}{\rho_{REAL}} \right) \cdot 100, \quad (3)$$

Onde ρ_{REAL} (em g.cm^{-3}) foi a densidade real da massa granulada, determinada pelo método do picnômetro com líquido, anteriormente descrito.

A porosidade total e volume de poros totais que existem no solo ocupado pela água e/ou pelo ar. As partículas dos vários tipos de solos apresentam forma, estrutura e arranjo diferentes, variando dessa forma, a micro e a macroporosidade do solo. Nos cálculos de porosidade total do solo, usam-se algumas medidas de densidade, transformando-as depois em volume. Existe uma enorme variação nos valores calculados e encontrados na porosidade total de diferentes tipos de solos. As duas principais características que influenciam nessa variação, são a textura e a estrutura do solo. Outro fator que também afeta a porosidade é a quantidade de matéria orgânica presente no solo, contribuindo para valores de mais elevados.

De uma forma geral falamos em dois tipos de solos, os arenosos e os argilosos. O primeiro apresenta uma menor porosidade total, devido que suas partículas grossas tenderem a ser arranjar numa disposição piramidal, que apresenta menor espaço entre as partículas. O segundo apresenta em geral, valores maiores de porosidade, devido que suas partículas finas tendem a assumir um arranjo mais espaçado e, além do que, formam agregados que aumentam a porosidade.

Para se determinar a porosidade total de qualquer tipo de solo, é preciso levar em consideração algumas características, tais como: movimento e retenção de água, arejamento, reações do solo, movimento de água relacionado à erosão, manejo do solo, etc.

O tipo de solo que será utilizado para produção da massa cerâmica é o argiloso, que é um solo característico em apresentar uma maior microporosidade total devido ao arranjo ser mais espaçado das partículas finas.

5.2.4 Tensão de Ruptura à Flexão (σ_{rup} , em MPa)

5.2.4.1 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão é muito utilizado na indústria de cerâmicos e metais duros, como ferro fundido, aço ferramenta e aço rápido, pois fornece dados quantitativos desses materiais, quando sujeitos à sollicitação mecânica. Este ensaio fornece como resposta direta uma curva da carga aplica *versus* o deslocamento do ponto central do corpo-de-prova (Figura 14). Opta-

se pelo ensaio de flexão para determinar a tensão de ruptura em materiais frágeis, pelo baixo custo do ensaio e execução rápida (BEREZOWSKI *et al.*, 2003 apud NUNES FREIRE, 2007). Também se deve levar em consideração que o fato da baixa ductilidade não permite ou dificulta a utilização de outros tipos de ensaios mecânicos, como por exemplo, a tração.

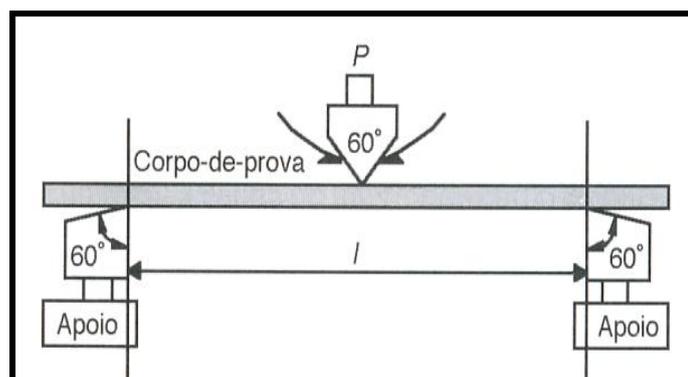
A maioria das grandezas determinadas a partir desses ensaios é função da temperatura, da velocidade da aplicação da carga, dos defeitos superficiais, das características microscópicas e, principalmente, da geometria da seção transversal do corpo-de-prova (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

Existem dois tipos principais desse ensaio, a saber: flexão em três e quatro pontos. Em qualquer desses ensaios estabelece-se, durante a aplicação da carga, um complicado estado de tensões. No entanto, faz-se algumas hipóteses na tentativa de simplificar o problema, quais sejam: (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

- i) Corpo-de-prova inicialmente retilíneo;
- ii) Material homogêneo e isotrópico;
- iii) Material elástico \Rightarrow validade da lei de Hooke;
- iv) As seções planas devem permanecer planas \Rightarrow consideração de Bernoulli;
- v) Existência de uma linha neutra no interior do corpo-de-prova que não sofre tensão normal ($\sigma = 0$), que contém o centro de gravidade, e que não se desloca durante a flexão;
- vi) Distribuição linear da tensão normal na seção transversal.

As Figuras 12, 13 e 14 mostram configurações típicas dos ensaios de flexão em três e quatro pontos, e uma curva resposta característica do ensaio de flexão.

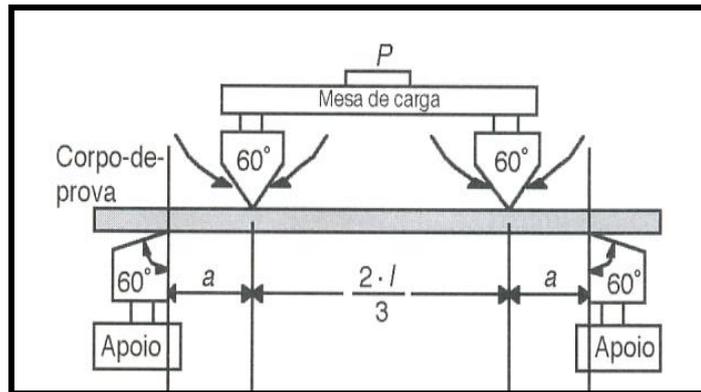
Figura 12 - Configuração típica para o ensaio de flexão em três pontos ou flexão simples.



Fonte: (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

A Figura 12 mostra o ensaio de flexão por ruptura em três pontos de um corpo-de-prova. Os três pontos são: os dois apoios e a carga aplicada P no meio da distancia l do eixo longitudinal. Com a aplicação da carga, surgirá a ruptura do material e com isso poderá caracterizar as telhas cerâmicas.

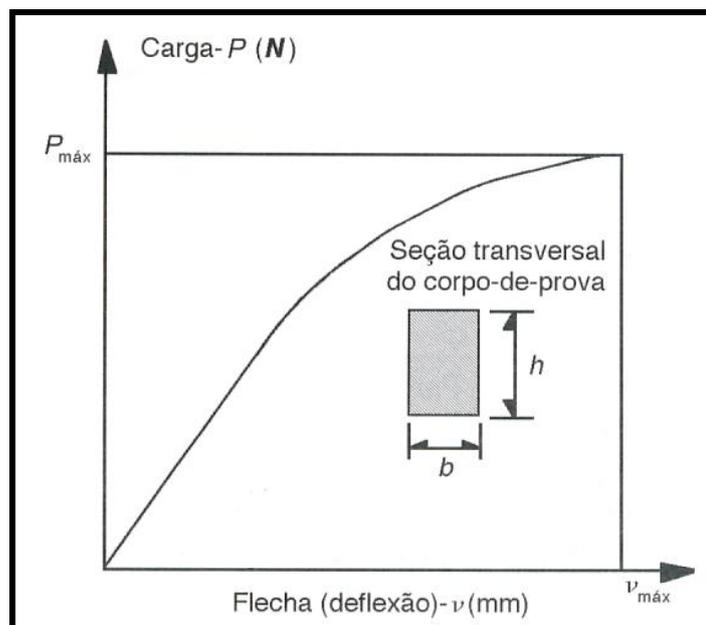
Figura 13 - Configuração típica para o ensaio de flexão em quatro pontos.



Fonte: (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

A Figura 13 mostra o ensaio de flexão por ruptura em quatro pontos de um corpo-de-prova. Os quatro pontos são: os dois apoios e as duas cargas aplicada P , a carga é aplicada em uma mesa que transmite o contato através de dois pontos com o eixo longitudinal e há uma distancia entre os pontos de $2l / 3$. Com a aplicação da carga, surgirá a ruptura do material e com isso poderá caracterizar as telhas cerâmicas.

Figura 14 - curva resposta típica para ensaios de flexão.



Fonte: (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

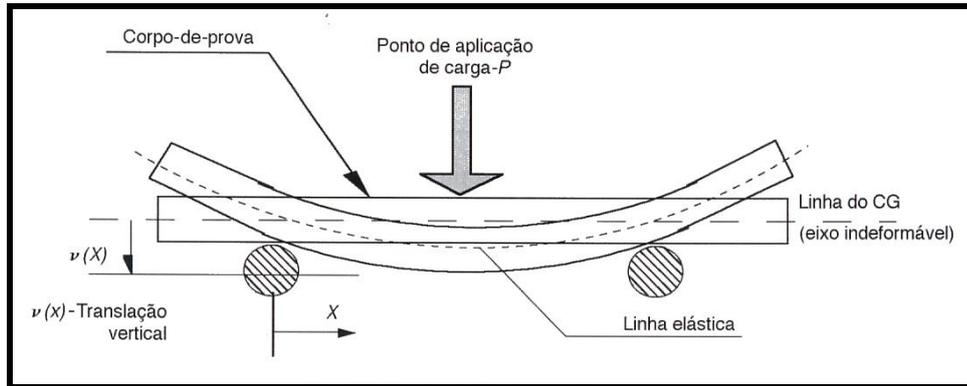
A Figura 14 mostra o gráfico da curva resposta típica para ensaios de flexão, onde essa curva está relacionada com a deflexão que o material sofre em mm em função da carga que é aplicada no corpo-de-prova para caracterizar o material.

Analisando a Figura 14 que se refere aos ensaios de flexão durante o carregamento verifica-se que, em três pontos ocorre flexão acompanhada de cisalhamento transversal do corpo-de-prova. Neste ensaio há uma concentração pontual da carga, que praticamente leva o corpo-de-prova a romper, ou falhar, no plano que contém o ponto de ação — ponto médio da dimensão longitudinal, no qual ocorre o momento fletor máximo. O que está aqui sendo denominado de ponto é, na verdade, um segmento de reta correspondente a uma geratriz do rolete, que corresponde a um cilindro, acessório componente da máquina de ensaio. Esta geratriz é paralela ao plano horizontal superior do corpo-de-prova. Caso o corpo-de-prova venha a sofrer cisalhamento fora da direção perpendicular à superfície horizontal do corpo-de-prova, e do plano que contém o citado ponto médio, significa que a maior falha estará fora desse plano e é intrínseca do material. Se o cisalhamento ocorre no plano que contém o ponto médio, pode-se afirmar que o material é considerado muito próximo de homogêneo e isotrópico. No ensaio de flexão em quatro pontos estabelece-se uma maior extensão longitudinal do corpo-de-prova sujeito ao momento fletor máximo. Neste ensaio tem-se flexão pura. Além dos contatos entre os roletes e as superfícies, em ambos os ensaios de flexão desprezam-se outras contribuições às tensões que podem ocorrer ou não quando o corpo-de-prova sofre a ação do carregamento. Essas contribuições poderiam ser torção e cisalhamento por atrito. Tais contribuições, se existirem, estarão relacionadas à geometria e ao travamento dos roletes, respectivamente. A geometria, como função da seção transversal reta do corpo-de-prova, também influencia na forma da curva resposta (Figura 14). Pretere-se o ensaio de flexão em três ao em quatro pontos por minimizar essas outras contribuições (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

5.2.4.2 Determinação do Módulo de Elasticidade Flexural (E)

A Figura 14 mostra algumas variáveis do ensaio de flexão em três pontos, que estão relacionados com centro de gravidade da peça, e isso leva ao cálculo do módulo de elasticidade do material.

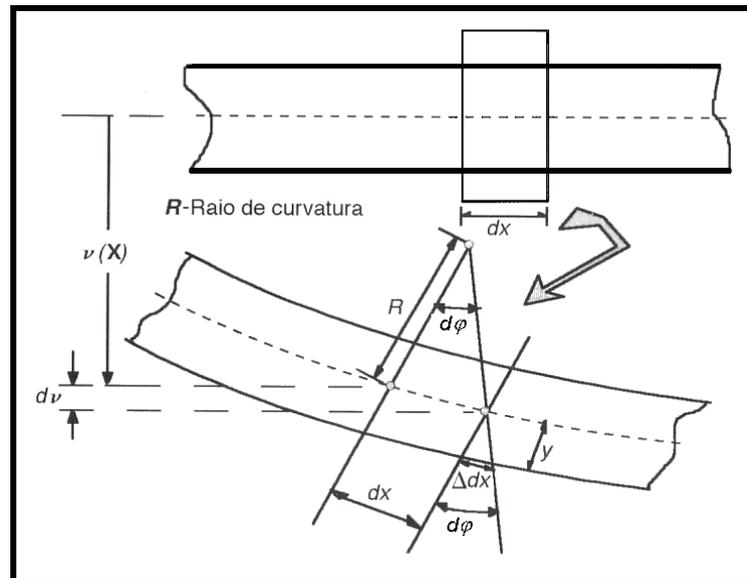
Figura 15 – Algumas variáveis do ensaio de flexão em três pontos; CG \equiv centro de gravidade.



Fonte: (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

A Figura 15 mostra algumas variáveis do ensaio de flexão em três pontos; CG \equiv centro de gravidade, e isso se determinam onde ocorre à ruptura, na linha elástica do material ou se é em um ponto fora dessa linha de ação.

Figura 16 – Elementos para o cálculo da deflexão ou flecha no ensaio de flexão em três pontos.



Fonte: (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

Analisando a Figura 16, conclui-se que a equação fundamental para o cálculo do deslocamento dos pontos de uma barra (corpo-de-prova com superfícies planas e paralelas) submetida à flexão em três pontos, segundo (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007), é dada por

$$\frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{M_f(x)}{E \cdot I_z}, \quad (4)$$

Onde v é a translação vertical devida à curvatura pela ação da carga P , x corresponde à direção perpendicular à ação da carga, e paralela à direção longitudinal do corpo de prova, $M_f(x)$ ($= P \cdot x / 2$) é o momento fletor, E é o módulo de elasticidade ou módulo de Young (este será posteriormente tratado analiticamente), e I_z é o momento de inércia (z é a direção perpendicular ao plano que contém o eixo x , com sentido entrando nesta página). Esta é a equação diferencial da linha elástica (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

Sendo l a distância entre os roletes inferiores de apoio no ensaio de flexão, o momento fletor ($M_f^{\text{máx.}}(x)$) máximo ocorre para $x = x^{\text{máx.}} = l / 2$. Logo

$$M_f^{\text{máx.}}(x) = \frac{P \cdot l}{4}. \quad (5)$$

Sendo os corpos-de-prova prismas retos com seção transversal reta retangular, o momento de inércia em relação à direção z é dado por

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (6)$$

Onde b é a largura e h é a altura do corpo-de-prova. Substituindo as Equações 5 e 6 na Equação 4, integrando e aplicando as devidas condições de contorno, o deslocamento em qualquer ponto da barra, quando de sua solicitação mecânica sob ensaio de flexão simples (em três pontos) será dado por

$$v(x) = \frac{3 \cdot P}{E \cdot b \cdot h^3} \cdot \left(\frac{l^2 \cdot x}{4} - \frac{x^3}{3} \right). \quad (7)$$

Sendo $x_{\text{máx.}} = l / 2$, o que implica em $v_{\text{máx.}}(x) = v$, vem que

$$v = \frac{1}{4} \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot b \cdot h^3}. \quad (8)$$

A Equação (8) permite concluir que as características de deformação elástica do material são determinadas em função da flecha máxima v atingida no ponto médio entre os roletes. Verifica-se que, através dessa equação, v é mais facilmente mensurado quanto maior for l .

A Equação (8) leva a determinação do Módulo de Elasticidade Flexural $E_F = E$, bastando reescrevê-la na seguinte forma:

$$E_f = \frac{1}{4} \cdot \frac{P \cdot l^3}{v \cdot b \cdot h^3} \quad (9)$$

Observa-se pela Equação 9 que, apesar do módulo de elasticidade flexural ser função da geometria do corpo-de-prova, esta grandeza depende fortemente da deformação elástica sofrida quando da solitação mecânica a qual é submetido o corpo-de-prova. E isso vem caracterizar a dependência intrínseca de E_f com o material, pois a flecha v será tão menor quanto mais intensa forem às forças de ligação entre os átomos. Tais forças dependem da natureza do material. Dessa forma, vê-se que o módulo de elasticidade é uma das mais intensivas estruturas, ou grandezas, dentre as propriedades mecânicas. Ele é somente um pouco afetado por tratamento térmico, ou trabalho a frio (carregamento à temperatura ambiente constante, por exemplo). De qualquer modo, o aumento da temperatura leva à diminuição do módulo de elasticidade (DIETER, 1996 apud NUNES FREIRE, 2007).

O módulo de elasticidade é uma medida da rigidez, ou inflexibilidade, do material. Dessa forma, ele é considerado um dado importantíssimo na seleção de materiais ao se projetar qualquer estrutura. Conforme foi citado anteriormente, sobre a dependência do módulo de elasticidade em relação às forças de ligação entre os átomos, essas são tão intensas nos materiais cerâmicos, nos quais são predominantes as ligações dos tipos iônica e covalente (PADILHA, 1997 apud NUNES FREIRE, 2007), que justificam os altos módulos de elasticidade desses materiais.

A maioria das cerâmicas é policristalina, nas quais ocorrem arranjos de muitos cristais em orientações aleatórias. Se a orientação é realmente aleatória, o módulo elástico global é uma média dos módulos de elasticidade para as várias orientações cristalográficas (RICHERSON, 1992 apud NUNES FREIRE, 2007).

5.2.4.3 Determinação da Tensão de Ruptura à Flexão (σ)

A equação geral para o cálculo das tensões normais (σ) envolvidas na seção transversal de um corpo-de-prova é dada por

$$\sigma = \frac{M_f \cdot y}{I_z} \quad (10)$$

Onde M_f é o momento fletor, y é a distância da linha neutra (onde se tem $\sigma = 0$) à superfície inferior do corpo-de-prova, na qual ocorre tensão normal de tração (ver Figura 16), e I_z é o momento de inércia. Os momentos fletor e de inércia já foram definidos pelas Equações 5 e 6,

respectivamente. Deve-se salientar que os corpos-de-prova aqui considerados são prismas retos com seção transversal reta retangular (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

Fazendo as devidas substituições para flexão em três pontos, a saber, 5, 6 e $y = I / 2$, na Equação 10, tem-se $\sigma = \sigma_{rup}$ (rup = ruptura) determinada por

$$\sigma_{rup} = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^3}, \quad (11)$$

Onde σ_{rup} é a tensão normal de ruptura à flexão, determinada em MPa, P é a carga aplicada, em N, l é a distância entre os roletes inferiores de apoio no ensaio de flexão, em mm, b e h são a largura e a altura (ou espessura), respectivamente, em mm.

Observa-se pela Equação 11, em pleno acordo com a norma C674-77 (ASTM), que a tensão normal de ruptura à flexão é uma grandeza que representa o valor máximo de carregamento quase estático que um sólido bem definido (corpo-de-prova), e por consequente padronizado, atinge ao romper, ou falhar estruturalmente, considerada a real existência de trinca, ou defeitos intrínsecos do material. Esta grandeza, σ_{rup} , é uma importante quantidade extensiva fornecida pelo ensaio de flexão, não sendo, portanto, uma propriedade intrínseca do material, pois depende exclusivamente da geometria do corpo-de-prova (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

Neste ponto tornou-se importante fazer um comentário comparativo quantitativo entre a tensão de ruptura à flexão determinada pelos ensaios de flexão em três e quatro pontos. Então, para o cálculo da tensão de ruptura à flexão a partir do ensaio em quatro pontos tem-se a seguinte equação:

$$\sigma_{rup} = 3 \cdot \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}, \quad (12)$$

Onde a é a distância entre um rolete inferior e o superior mais próximo (ver Figura 14), e os demais parâmetros já são conhecidos da Equação 11.

Considerando que um corpo-de-prova de determinado material romperia sob flexão com o mesmo valor de σ_{rup}^{3p} ou de σ_{rup}^{4p} (3p e 4p significam flexão em três e quatro pontos, nesta ordem), igualando-se as Equações 11 e 12, ou seja, fazendo-se $\sigma_{rup}^{3p} = \sigma_{rup}^{4p}$, verifica-se que

$$P_{3p} = 2 \cdot \frac{a}{l} \cdot P_{4p}, \quad (13)$$

Onde P_{3p} e P_{4p} são as cargas que provocam a ruptura nos ensaios de flexão em três e quatro pontos, respectivamente.

A Equação 13 mostra que $P_{3p} < P_{4p}$, uma vez que $l > a$ sempre. Isto significa que o ensaio de flexão em quatro pontos subestima, ou minimiza a carga de ruptura para corpos-de-prova de mesmo material e mesma geometria. A justificativa para tal fato é que, a carga no ensaio de flexão em quatro pontos é distribuída numa dada extensão, parte da dimensão longitudinal do corpo-de-prova ($2l / 3$ na Figura 14), enquanto que no ensaio de flexão em três pontos a carga age concentrada em um ponto dessa mesma dimensão longitudinal (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

De acordo com a análise anteriormente exposta, torna-se necessário o ensaio de flexão em três pontos, devido à exigência normatizada, e conveniente por este representar melhor, qualitativa e quantitativamente, uma situação crítica de carregamento. Dessa forma, determina-se com mais segurança o valor da tensão de ruptura à flexão para produtos comerciais estruturais, por exemplo, um revestimento cerâmico tipo piso. Deve-se ressaltar aqui que, o revestimento cerâmico tipo piso é considerado elemento estrutural por sofrer sollicitação mecânica estática ou dinâmica após a sua aplicação (GARCIA *et al.*, 2000 apud NUNES FREIRE, 2007).

5.2.4.4 Estatística de Weibull aplicada a Tensão de Ruptura à Flexão

A estatística de Weibull, conforme citada anteriormente, é bem adequada ao tratamento de dados correspondentes às tensões de ruptura determinadas a partir do ensaio de flexão. Assim, Weibull ao estender para as cerâmicas a analogia das correntes nunca serem mais resistentes do que seu elo mais fraco, rompendo-se neste ponto, inclusive, representou-os por pequenos volumes da peça (corpo-de-prova), sendo, o elo mais fraco, equivalente à região que contém a falha crítica (PIORINO NETO, 1990 apud NUNES FREIRE, 2007).

Os valores de resistência mecânica de um material cerâmico sempre apresentam uma dispersão, proveniente da aleatoriedade da distribuição e tamanho dos defeitos presentes em sua microestrutura (MENEGAZZO *et al.*, 2002 apud NUNES FREIRE, 2007). Até o presente essa dispersão tem se tornado uma característica dos materiais cerâmicos, uma vez que não se tem absoluto controle sobre o surgimento de tais defeitos, ou seja, independentemente do processo ou procedimento experimental, assim como das mudanças provocadas nas formulações de massas, a ocorrência desses defeitos é estatisticamente sempre possível. No caso da porosidade, por exemplo, esta ocorre ou permanece por não ter sido fechada durante a

formação da fase líquida, ou por um acúmulo de gases formado durante a sinterização, e que não conseguiu evoluir até a superfície, e daí para a vizinhança. De uma forma ou de outra, a ocorrência de defeitos é sistemática.

A existência de falhas críticas na região de máxima sollicitação mecânica é o que determina a resistência mecânica de um material. Um tratamento estatístico pode aumentar a confiabilidade nos resultados acerca dos valores de resistência mecânica, passando a determinar essa grandeza de forma precisa. O modelo estatístico que tem se mostrado bastante adequado aos materiais cerâmicos é a Estatística de Weibull (ZANOTTO e MIGLIORE JR., 1991; RAMIREZ *et al.*, 1994 apud NUNES FREIRE, 2007).

O módulo de Weibull é um critério importante na determinação da confiabilidade dos materiais cerâmicos. Este consiste em tratar estatisticamente os valores de resistência mecânica permitindo relacionar a probabilidade acumulada de fratura do material à resistência mecânica, conforme a Equação 14, a seguir:

$$P = 1 - e^{\left(-\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0}\right)^m}, \quad (14)$$

Onde P é a probabilidade de fratura, σ é a tensão de ruptura do material, σ_u é a tensão abaixo da qual a probabilidade de fratura é zero, σ_0 é tensão de ajuste, e, m é o parâmetro de Weibull. Neste caso, de acordo com a Equação 14, estamos considerando três parâmetros. Tem-se praticado bastante $\sigma_u = 0$, que significa que dentro da amostra (espaço amostral) ocorre quebra, ou ruptura, de corpos-de-prova durante o manuseio, ou seja, corpos-de-prova quebram sem ter sido submetido ao ensaio de flexão. Então, aplicando duas vezes, consecutivas, o logaritmo natural à Equação 14, com $\sigma_u = 0$, segue que

$$\ln \left[\ln \left(\frac{1}{1-P} \right) \right] = -m \cdot \ln \sigma_0 + \ln \sigma. \quad (15)$$

Esboçando um gráfico $\ln \sigma$ versus $\ln \{ \ln [1 / (1 - P)] \}$, resulta numa curva linear cuja inclinação é o m, parâmetro de Weibull. A Equação 16 é aplicada para estimar os parâmetros de Weibull.

$$P_i = \frac{i}{N+1}. \quad (16)$$

Da Equação 15 verifica-se que, quanto mais inclinada for a curva, maior será o parâmetro de Weibull e, menor será a dispersão nos valores da propriedade mensurada, neste caso a resistência mecânica (tensão de ruptura à flexão).

Os valores observados do parâmetro de Weibull, para uma vasta gama de materiais cerâmicos, incluindo vidros, dependem fortemente do processamento, inclusões e do grau de acabamento superficial. Normalmente situam-se no intervalo $3 < m < 15$ (ZANOTTO e MIGLIORE JR., 1991; RAMIREZ *et al.*, 1994 apud NUNES FREIRE, 2007).

5.3 COMO EVITAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS DAS LÂMPADAS FLUORESCENTES

Enquanto as lâmpadas fluorescentes estiverem intactas, elas não oferecem praticamente nenhum risco ambiental aos meios físico, biológico e antrópico. Mas, caso elas venham a ser rompida, vão liberar inicialmente um vapor de mercúrio, e depois desse gás ser liberado para a atmosfera será inalado por quem manuseia e/ou quem está próximo ao local. Neste caso, o ser humano terá o organismo contaminado e isso ocorre através da inalação do gás pelos pulmões. O mercúrio existente no interior do tubo selado (aproximadamente 20 mg) da lâmpada fluorescente é liberado para a atmosfera sob a forma de vapor, mas, só ocorre isso se a mesma for quebrada. O período de tempo de liberação do gás pode atingir semanas, mas essa variação vai ser em função da temperatura.

O resíduo das lâmpadas fluorescentes contamina o solo as águas quando são lançadas para o solo, e com isso as cadeias alimentares também são atingidas com o fato acima descrito. Logicamente, que o impacto ambiental não vai ser gerado por uma única lâmpada, e sim como no caso do Brasil que descarta em média de 50 milhões de lâmpadas, e isso representa um sério problema para o meio ambiente e para os seres humanos.

É importante evitar contaminação com Mercúrio, pois caso ocorra alguns problemas são gerados, tais como: doenças neurológicas graves, com sequelas que podem transmitidas de gerações para gerações, como danos irreversíveis no organismo e doenças teratogênicas. O gás Mercúrio em contato com os seres vivos gera danos, como uma série de disfunções metabólicas e prejuízos para as gerações futuras.

Quando ocorrer a quebra das lâmpadas fluorescentes, se deve evitar a contaminação pelo gás mercúrio presente no interior das mesmas, e com isso são descrito alguns cuidados:

- Logo após ocorrer a quebra, se devem abrir todas as portas e janelas do ambiente, pois vai aumentar a ventilação;
- As pessoas devem deixar o local por, no mínimo, 15 minutos;

- Depois de transcorridos os 15 minutos, fazer a coleta dos cacos de vidro e colocá-los em sacos plásticos, e para realizar essa limpeza é importante à utilização de luvas e avental para evitar contato do material recolhido com a pele;
- Para coletar os pequenos resíduos das lâmpadas fluorescentes que ainda restarem no ambiente, utilize um papel úmido;
- Coloque o papel úmido dentro de um saco plástico e feche-o com cuidado;
- Depois de realizar a etapa acima, coloque o material recolhido dentro de outro saco plástico. E logo após, lacre-o para evitar a evaporação do mercúrio liberado;
- E depois de realizado todos os procedimentos lavem as mãos com água corrente e sabão. E preferencialmente fazer essa lavagem em locais que outras pessoas não tenham acesso para que não ocorra uma possível contaminação.

As lâmpadas fluorescentes são consideradas resíduos perigosos, pois apresenta na sua composição o gás mercúrio. Elas deveriam ter uma destinação adequada, devido a presença de substâncias tóxicas e devem ser estocadas em caixas para que no transporte não ocorra a quebras das lâmpadas. A grande parte dos materiais que estão presentes na composição química das lâmpadas fluorescentes é reciclável, como o mercúrio. No Canadá, desenvolveram um equipamento que faz a retirada do mercúrio das lâmpadas, e esse gás passa por um processo de reciclagem e posteriormente é utilizado na construção de novas lâmpadas, termômetros, etc.

5.4 NBR'S

- ABNT - NBR 15310, (2005). Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio;
- ABNT - NBR 10004, (2004). Resíduos Sólidos – Definição;
- ABNT - NBR 10004, (2004). Resíduos Sólidos – Classificação;
- ABNT - NBR MB 305, (1984). Determinação da Retração Linear;
- ABNT - NBR-7185, (1986). Densidade Específica Aparente do Solo in situ com Emprego do Frasco de Areia;
- ABNT - NBR-6508/84, (1984a). Determinação Massa Específica Real dos Grãos;
- ABNT - NBR 15310, (2005, Anexo B). Carga de Ruptura à Flexão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho aborda o desenvolvimento de um revestimento para telhas com o uso do resíduo de vidro proveniente de lâmpadas fluorescentes. Os materiais cerâmicos são utilizados em grande escala na construção civil, e a matéria-prima utilizada na sua fabricação é a argila que tem uma boa plasticidade e é moldada com facilidade. Os materiais argilosos apresentam uma maior porosidade em comparação com os arenosos, pois sua estrutura tem uma disposição piramidal, e com isso suas partículas se encontram mais afastadas e, conseqüentemente um maior volume de microporos.

As telhas são materiais porosos, e com a aplicação das camadas de resíduo de vidro podemos melhorar tanto em relação ao fechamento dos poros quanto a sua aparência. O fechamento desses poros pode melhorar a vida útil e também a sua resistência mecânica. A porosidade esta relacionada com os espaços vazios no interior do material e o resíduo servirá como um esmalte para o revestimento cerâmico.

Ao revestir um material cerâmico com o resíduo do vidro de lâmpadas fluorescentes provavelmente poderá causar uma reflexão ou a intensificação dessa propriedade, e com isso a edificação ganhará mais conforto térmico e também será agregado valor ao produto final.

A quantidade de resíduos sólidos que é gerado no Brasil é grande, e com é necessário reintroduzir esses dejetos e detritos em algum sistema de produção. A reciclagem dos resíduos de vidro de lâmpadas fluorescentes deve ser realizada de forma adequada, pois elas apresentam na sua composição química o mercúrio. As lâmpadas só trazem maiores prejuízos para o meio ambiente quando são quebradas, pois o gás é liberado sob a forma de vapor para a atmosfera. Diante disso, é de suma importância que as empresas fabricantes das lâmpadas, os organismos governamentais e a população tracem um caminho voltado para o gerenciamento desses resíduos, quando os mesmos chegarem á sua vida útil.

Com a utilização desses resíduos de vidro em cobertura da superfície dos materiais cerâmicos estaremos contribuindo de forma social, econômica e ambiental. E os resíduos gerados pelas amostras da massa cerâmica serão reutilizados para que não haja danos para o ambiente.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização do procedimento experimental para caracterizar o produto final;
- Aprofundar o estudo sobre a estatística para determinar o lote mínimo para determinação do módulo de Weibull.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANICER. **Matéria Clínicas tecnológicas**. SENAI/ANICER. Revista da ANICER, ano 10, ed. 48, Set. 2007.

_____. **Dados do setor cerâmico**. Disponível em: <http://www.anicer.com.br>>. Acesso em: 17 Mai. 2012.

ABC. **Cerâmica no Brasil** – introdução. 2002-a. Disponível em: <http://www.abceram.org.br/asp/abc_21.asp>. Acesso em: 27 Abr. 2012.

_____. **Informações técnicas – processo de fabricação**. 2002-b. Disponível em: <www.abceram.com.br/asp/abc_502.asp>. Acesso em: 19 Mai. 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carga de Ruptura à Flexão**. NBR 15310, 2005, Anexo B.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio**. NBR 15310, 2005.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Densidade Específica Aparente do Solo in situ com Emprego do Frasco de Areia**. NBR-7185, 1986.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da Massa Específica Real dos Grãos**. NBR-6508/84, (1984a).

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da Retração Linear**. NBR MB 305, 1984.

_____. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação**. NBR 10004, 2004.

_____. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **Resíduos Sólidos - Definição**. NBR 10004, 2004.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**- 2009. São Paulo: ABRELPE, 2010.

_____. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**- 2010. São Paulo: ABRELPE, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA ILUMINAÇÃO – ABILUX. **Lâmpadas e o meio ambiente: um panorama geral**. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.asec.com.br/v3/docs/Doc_Encontro04_RobertoCastanon.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2012.

BACCELLI JÚNIOR, G. **Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó - RN**. 2010. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) -

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.br>>. Acesso em: 25 Mai. 2012.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha**. 2010. Disponível em: <www.bancodonordeste.gov.br> Acesso em: 18 Mai. 2012.

_____. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha**. Fortaleza: Etene, out. 2010.

BARDELA, Paulo S., PEREIRA, V. M.; CAMARINI, G. **Sustentabilidade na Construção Civil**. VII Encontro Latino americano de Pós-Graduação da UNIVAP 2007 VII EPG, 2007, São José dos Campos. Anais do VII Encontro Latino americano de Pós-Graduação da UNIVAP 2007 VII EPG, 2007.

CALLISTER, William D. Jr. - John Wiley & Sons. **Introdução à Ciência dos Materiais e Engenharia**. Inc., Nova Iorque, NY, 1991.

CARVALHO, Otacílio Oziel de. **O pólo cerâmico do Baixo Açu no Rio Grande do Norte**. Natal: Holos, 2003, p. 83-88.

_____. **Perfil industrial da cerâmica vermelha no Rio Grande do Norte**. Natal: FIERN; SENAI, 2001.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRÁS. **Descarte de Lâmpadas de Iluminação Pública - Guia de Manuseio, Transporte, Armazenamento e Destinação Final**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2004.

DANTAS NETO, Silvrano Adonias. **Notas de Aula do Professor**, na Disciplina Mecânica dos Solos I, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, 2007.

INCARGEL. **Combustível: Lenha-a**. Disponível em: <<http://www.incargel.com.br/producao.html>>. Acesso em: 09 Jul. 2012.

_____. **Cortador-d**. Disponível em: <<http://www.incargel.com.br/producao.html>>. Acesso em: 09 Jul. 2012.

_____. **Estoque de Argila-b**. Disponível em: <<http://www.incargel.com.br/producao.html>>. Acesso em: 09 Jul. 2012.

_____. **Máquina Extrusora-c**. Disponível em: <<http://www.incargel.com.br/producao.html>>. Acesso em: 09 Jul. 2012.

ITAÚ. Enciclopédia Itaú Cultural de artes visuais: **cerâmica – definição**. Disponível em: <http://www.itaucultural.org.br/aplicExternas/enciclopédia_IC/index.cfm?fuseactio=termos_texto&cd_verbete=4849>. Acesso em: 19 Mai. 2012.

NETCERAMICS. Informações **Técnicas - processo de fabricação**. 2009 a. Disponível em: <<http://www.netceramics.com/InformacoesTecnicas/ProcessodeFabricacao/F.aspx>>. Acesso em: 25 Mai. 2012.

NEVES, Gelmires de A.; FERREIRA, Heber C.; MENEZES, Romualdo R. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.6, n.2, p.303-313, 2002. Campina Grande, PB, DEAG/UFCG - <http://www.agriambi.com.br>.

NUNES FREIRE, Marcílio. **O uso de matérias-primas argilosas do Estado do Rio de Janeiro em massas cerâmicas para porcelanato: formulação, propriedades físicas e microestrutura**. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, A. R. Metodologia Científica: **A construção do conhecimento**. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: 2002.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas; ESPM. **Cerâmica vermelha da região central do Tocantins**, 2004.

_____. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas; ESPM. Cerâmica vermelha: **Estudos de mercado**. São Paulo: SEBRAE Nacional, 2008. Relatório Completo.

_____. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cerâmica vermelha para construção: telhas, tijolos e tubos. Relatório Completo**. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM. Serie Mercado. Brasil: 2008.

_____. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas; ESPM. **Cerâmica vermelha para a construção: telhas, tijolos e tubos**, 2008 a.

SILVA, A.V. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do ceará – da extração da matéria-prima à fabricação**. 2009. 104 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Escola Superior de Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

TASCHIBRA. **Composição química das lâmpadas fluorescentes dos fabricantes Sylvania e Philips**. SAC-Serviço de Atendimento ao Consumidor. E-mail: sac@taschibra.com.br. Tel.: (47) 3281-7353 Fax: (47) 3281-7398. Rodovia BR-470 km 67 N°2135 Indaial - Santa Catarina
Enviado por: www.taschibra.com.br em 05 Abr. 2012.

TRIBUNA DO NORTE, **Ceramistas quer reduzir o uso industrial da lenha no RN**. Natal, 2008 Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br>> Acesso em: 18 de Mai. 2012.

VILLAR, V. S. **Perfil e perspectivas da indústria cerâmica vermelha do sul de Santa Catarina**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1988.