



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DO LODO DA ESTAÇÃO
DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PAPEL, CELULOSE
E APARAS EM MATERIAL CERÂMICO**

NEIVA CAMPREGHER

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito parcial para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Química.**

Orientador: Prof. Dr. Ayres Ferreira Morgado

Florianópolis

2005

Estudo da viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico

Por

Neiva Campregher

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química**, área de concentração **Desenvolvimento de Processos Químicos e Biotecnológicos** e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. Ayres Ferreira Morgado

Orientador

Prof. Dr. Agenor Furigo Junior

Cordenador do CPGENQ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ayres Ferreira Morgado

Prof. Dr. Dachamir Hotza

Prof.^a Dr.^a Selene M. A. Guelli Ulson de Souza

Florianópolis, dezembro 2005.

DEDICATÓRIA

A minha família, em especial aos meus pais, Jose e Zelita, e aos meus irmãos, Jair, Neusa e Neila, pelo constante incentivo, orientação e força dada nas horas mais desanimadoras e difíceis. Momentos estes que só quem está presente sente e sofre junto. Esta minha conquista só foi possível graças a vocês.

“Nunca desista nas dificuldades, atrás das dificuldades vem as soluções e com elas o aprendizado”(Neiva Campregher).

AGRADECIMENTOS

A Deus que me iluminou, no alcance do meu objetivo;

Ao professor Ayres Ferreira Morgado pelo apoio e incentivo no desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores Humberto Jorge José, Regina de F. P. M. Moreira e Dachamir Hotza por permitir a utilização dos laboratórios;

À professora Selene M. A. Guelli Ulson de Souza, pela força dada para realizar este projeto;

A todos do departamento de pós-graduação da Engenharia Química em especial ao coordenador e professor Agenor Furigo Junior e ao secretário Edevilson da Silva;

Ao departamento de Engenharia Civil por permitir a utilização dos equipamentos;

Aos laboratórios LABMAC (Laboratório de Materiais), LEMA (Laboratório de Energia e Meio Ambiente);

Aos colegas que ajudaram no desenvolvimento das práticas Kleber, Naude, Roseli, Tiago, Thiago.

À indústria Cerâmica Rainha;

À indústria de papel e celulose Trombini S/A;

Ao CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro;

À Central de Análise do Departamento de Engenharia Química e ao colaborador João Correia;

Aos meus amigos Rose, Raquel, José Adriano, José Luis, Carlos, Ricardo, Cláudia, Emerson, Sirlei, Rênio, Murilo, Marlise, Kilça, Ticiane, Gean, Eliane e Kátia.

Às minhas amigas de luta Roseli Fernandes, Jaqueline Francischetti, Estela Cláudia Ferretti pelo incentivo, insistência, carinho, paciência, companheirismo e compreensão, pois sem isso, esse projeto não teria sido finalizado;

Ao meu cunhado Cleyton e minha cunhada Verence e minhas sobrinhas Nayara e Adriely pelo apoio dedicado na finalização deste trabalho;

A todos que, de uma maneira ou outra, contribuíram para que fosse possível a conclusão desse trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
SIMBOLOGIA.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. QUESTÃO AMBIENTAL E RESÍDUO	4
3.1.1. Classificação dos resíduos sólidos	5
3.2. INDÚSTRIA DE PAPEL, CELULOSE E APARAS	7
3.2.1. Mercado da indústria de papel e celulose.....	7
3.2.2. Mercado da indústria de aparas	8
3.2.3. Matéria prima da indústria de celulose, papel e aparas.....	10
3.2.4. Processos associados à geração de efluentes na produção de celulose e papel.....	10
3.2.5. Efluentes, Emissões e Resíduos das indústrias de papel, celulose e aparas	11
3.2.5.1. Lodo	13
3.2.5.2. Poder calorífico dos resíduos sólidos	16
3.2.5.3. Lodo e seus diversos destinos	17
3.3. INDÚSTRIA CERÂMICA.....	19
3.3.1. Mercado de material cerâmico	19
3.3.2. Matéria prima da indústria cerâmica	20
3.3.3. Processo do material cerâmico de revestimento.....	22
3.3.3.1. Preparação da massa e moagem	22
3.3.3.2. Prensagem	23
3.3.3.3. Secagem	23
3.3.3.4. Queima	23
3.3.4. Produção da cerâmica estrutural	24
3.3.4.1. Preparação da argila	24
3.3.4.2. Extrusão	25
3.3.4.3. Secagem da cerâmica estrutural	25
3.3.4.4. Queima da cerâmica estrutural.....	25
3.3.5. Propriedades do material cerâmico	25
3.3.5.1. Retração linear.....	26
3.3.5.2. Absorção de água	26

3.3.5.3. Porosidade	27
3.3.5.4. Massa específica aparente	27
3.3.5.5. Resistência mecânica.....	28
3.3.6. Classificação dos produtos cerâmicos	29
3.3.7. Agregado Leve.....	30
3.3.8. Reutilização (reciclagem) de resíduo na indústria de materiais cerâmicos	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1. MATERIAIS.....	35
4.2. METODOLOGIA.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS	42
5.1.1. Lodo	42
5.1.2. Argila.....	44
5.1.2.1. Argila Santa Terezinha.....	44
5.1.2.2. Argila Taguá.....	46
5.2. AVALIAÇÃO DO PRODUTO FINAL.....	48
5.2.1. Resultados obtidos da queima a 1100 e 1150°C das formulações com argila AT.	63
6. CONCLUSÕES	65
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
8. REFERÊNCIAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Tipos de papéis produzidos no Brasil – 2001.....	7
Figura 2 -	Média dos constituintes de um lodo de destintamento da produção de papéis reciclados.....	15
Figura 3 -	Conteúdo de metais pesados do lodo de destintamento, lodo biológico e lodo do tratamento da água residuária municipal.....	16
Figura 4 -	Fluxograma do processo de fabricação do material cerâmico.....	41
Figura 5 -	Difratometria de Raio-X da argila Santa Terezinha (AST).....	45
Figura 6 -	Difratometria de Raio-X da argila Taguá (AT).....	47
Figura 7 -	Corpos de prova das formulações da argila AT da queima à 1050°C.	49
Figura 8 -	Corpos de prova das formulações da argila AST da queima à 950°C.	50
Figura 9 -	Perda de massa (PM) em diferentes % de lodo e com as argilas AST e AT em diferentes temperaturas de queima.....	51
Figura 10 -	Retração Linear (RL) com diferentes temperaturas de queima em diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.....	52
Figura 11 -	Absorção da Água (AA) em diferentes temperaturas de queima com diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.....	53
Figura 12 -	Porosidade Aparente (PA) em diferentes temperaturas de queima com diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.....	54
Figura 13 -	Massa Específica Aparente (MEA) em diferentes temperaturas de queima e diferentes porcentagens de lodo com as argilas AST e AT.	55
Figura 14 -	Resistência Mecânica (RM) em diferentes temperaturas de queima em diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.....	56
Figura 15 -	AA, PA, MEA na queima a 950°C com formulações da argila AST..	57
Figura 16 -	AA, PA, MEA na queima a 1000°C com formulações da argila AST	58
Figura 17 -	AA, PA, MEA na queima a 950°C com formulações da argila AT....	59
Figura 18 -	AA, PA, MEA na queima a 1050°C com formulações da argila AT..	59
Figura 19 -	Corpos de prova das formulações da argila AT queimados à 1150°C	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição do consumo brasileiro de aparas – 2004.....	9
Tabela 2 -	Evolução da história do consumo de aparas e papéis usados no Brasil.....	9
Tabela 3 -	Geração de resíduos em indústrias de papel e celulose pelo processo Kraft.....	12
Tabela 4 -	Geração de lodo por categoria de produção.....	13
Tabela 5 -	Comparação entre os diversos tipos de resíduos em relação ao poder calorífico, conteúdo de cinzas e conteúdo de água.....	17
Tabela 6 -	Países produtores de revestimentos cerâmicos.....	19
Tabela 7 -	Classificação dos revestimentos cerâmicos (ABNT - NBR 13817 (1997)).....	29
Tabela 8 -	Classificação do produto cerâmico e o uso recomendado.....	29
Tabela 9 -	Classificação de tijolos maciços NBR 7170 (1983).....	30
Tabela 10 -	Classificação dos blocos cerâmicos NBR 7171 (1992).....	30
Tabela 11 -	Caracterização do lodo.....	42
Tabela 12 -	Análises dos elementos químicos contidos nas cinzas do lodo.....	43
Tabela 13 -	Caracterização física do lodo.....	43
Tabela 14 -	Ensaio físicos da Argila SantaTerezinha.....	46
Tabela 15 -	Análise química da argila Taguá.....	46
Tabela 16 -	Testes obtidos em material cerâmico com argila Taguá.....	47
Tabela 17 -	Cores dos corpos de prova após a queima.....	50
Tabela 18 -	Classificação dos corpos de prova AST-950°C de acordo com as normas NBR 7171/1992 e NBR 7170/1983.....	60
Tabela 19 -	Classificação dos corpos de prova AST-1000°C de acordo com as normas NBR 7171/1992 e NBR 7170/1983.....	61
Tabela 20 -	Classificação dos corpos de prova AT-950°C segundo a norma NBR 7171/1992 de blocos cerâmicos.....	61
Tabela 21 -	Classificação dos corpos de prova AT-1050°C segundo a norma ABNT-NBR 13817 (1997).....	62
Tabela 22 -	Classificação dos corpos de prova, segundo ABNT NBR 10004:2004, considerando o teste de lixiviação.....	63

SIMBOLOGIA

AA	Absorção de Água
ABNT-NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADT	<i>Air Dry Ton</i> (Tonelada de ar seco)
AST	Argila Santa Terezinha – Rio do sul SC
AT	Argila Taguá – Mafra SC
B	Prensagem
b	Comprimento da peça ensaiada (cm)
°C	Graus Celsius
EQA	Engenharia Química e Engenharia de Alimentos
F	Força de ruptura (kgf)
h	Mínima espessura medida na seção de ruptura (cm)
IPAT	Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
kgf/cm ²	(kgf/cm ²)
kgf/cm ³	(kgf/cm ³)
L	Distância entre os suportes (cm)
MEA	Massa Específica Aparente (%)
MRF	Módulo de Resistência à Flexão (kgf/cm ²)
PA	Porosidade Aparente (%)
Mi	Massa do corpo de prova imerso em água (g)
Ms	Massa do corpo de prova seco (g)
Mu	Massa do corpo de prova úmido (g)
PM	Perda de Massa (%)
RL	Retração Linear (%)
RM	Resistência Mecânica (Módulo de ruptura a flexão-MRF) em (kgf/cm ²)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a incorporação do rejeito sólido (lodo) da estação de tratamento de efluente da indústria de celulose, papel e aparas em argilas para produção de um produto cerâmico. O processo de fabricação de celulose e papel, particularmente das empresas que utilizam aparas em larga escala, defrontam com/o problema de descarte do rejeito (resíduo) sólido remanescente após o tratamento de seus efluentes líquidos. O processo de queima conjunta do rejeito sólido com materiais argilosos retém os elementos metálicos e inorgânicos potencialmente perigosos contidos no rejeito. Além disso, aproveita a energia química contida na fração orgânica do rejeito, com economia de energia na queima; produzindo um produto com retorno econômico. Os materiais argilosos, tanto quanto o rejeito sólido, foi coletado, de acordo com as normas para o tipo de trabalho. O lodo combinado (mistura do primário com o secundário) foi coletado na estação de tratamento de efluente da indústria de papéis Trombini Industrial S/A de Fraiburgo, SC. A argila Santa Terezinha foi coletada em depósito de matérias-primas da cerâmica Telhas Rainha, em Rio do Sul SC; o taguá foi coletado em ocorrência pertencente à Casagrande Pisos Cerâmicos LTDA, localizada em Mafra SC. Em seguida, o lodo foi caracterizado através das análises físicas (umidade, sólidos totais voláteis e cinzas) e química. As duas argilas foram analisadas via difração de raios-X (DRX). Posteriormente foram formuladas misturas de cada argila com lodo nas proporções de 0, 5, 10, 15, 20% em massa de lodo. Foram produzidos corpos de prova por prensagem, os quais em seguida foram secos em estufa na temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, e em seqüência queimados em temperatura de 950°C , 1000°C , 1050°C , 1100°C , 1150°C . Após a queima foram medidas as propriedades de perda de massa, retração linear, absorção d'água, porosidade aparente, massa específica aparente, resistência mecânica e o teste de lixiviação acelerada. Estes ensaios foram necessários para avaliar a porcentagem de lodo mais adequada para ser incorporado no material cerâmico. Com base nos resultados, verificou-se que os corpos de prova formulados com o lodo apresentaram características dentro das normalizações Brasileiras dos produtos cerâmicos. Os melhores resultados obtidos para os materiais cerâmicos foram os obtidos com 5 e 10% em massa de lodo. E dentre as argilas, o taguá Campo do Tenente de Mafra SC foi o que produziu os melhores resultados dos produtos cerâmicos com adições do rejeito sólido (resíduo).

ABSTRACT

The addition of solid waste from recycled and kraft paper mills sludge treatment for production of ceramic materials encompasses our work. For economic and environmental reasons, the production of ceramic materials from addition of solid waste from sludge treatments of recycled paper and kraft pulp to clays was decided. On firing, the high temperatures burn the organic fraction generating friendly and environmentally gaseous products such as carbon dioxide and water (CO₂ and H₂O). Additionally, it is obtained an inert ceramic solid product which fixes in them the inorganic and metallic fraction. The addition of solid wastes to clays on firing diminishes the costs for solid rejects disposal with minimal risks to environment from leachates. Besides this, the solid reject abatement a valuable ceramic product is produced. The solid waste sample was collected (primary solid waste plus secondary solid waste) in the sludge treatment plant of the *Trombine S/A* paper mills from State of Santa Catarina, Brazil. We characterize them in terms of chemical analysis, total volatile solids, moisture content, and ashes. The clay samples were characterized by XRD, and moisture content. Afterwards, they were made molded bodies with a mixture of clays and the solid wastes, in the proportions of 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, and 20 % by weight of solid waste, respectively. The test bodies were submitted to three firing temperatures schedules: 950 °C, 1000°C, 1050°C, 1100°C and 1150°C. After firing, the bodies were submitted to tests of water absorption, apparent porosity, and specific gravity, loss of weight, flexural strength, and fast leaching. The test results showed that the formulations based on mixture of clays to solid waste in the range of 5 % to 10 % by weight fit to standard values of that ABNT (Associação *Brasileira de Normas Técnicas*).

1. INTRODUÇÃO

A elaboração de um modelo de desenvolvimento auto-sustentável, na questão ambiental, desponta como objetivo principal dentro de uma sociedade consciente. O aumento populacional e a disputa entre espaços produtivos são reais situações que fazem com que o meio ambiente não seja considerado só meio ecológico, mas também uma variável econômica, destacando-se dentre os fatores de competitividade e oportunidade de negócios. Essa nova realidade está ocorrendo devido as novas técnicas que apontam para novos destinos, os resíduos (rejeitos) gerados. O aproveitamento de materiais até então considerados como rejeitos está dando um novo enfoque aos mesmos, transformando-os de problema a uma solução lucrativa.

As indústrias de papel e celulose, inerentes ao seu processo produtivo, geram efluentes, alguns com problemas de descarte, mesmo após os devidos tratamentos. É o caso das indústrias de celulose e papel que utilizam altas percentagens de aparas ou papéis usados em seus processos. Os efluentes líquidos destas indústrias, após tratamento, geram grandes quantidades de rejeitos sólidos com perigo potencial em relação a lixiviação, quando aterrado. A quantidade de resíduos gerados pela indústria de papel e celulose corresponde a um valor médio de 1% de sua produção industrial, segundo NOLASCO, *apud* BATTISTELLE *et al.*, (1993). Entre esses resíduos, estão os lodos que, no processo de polpa mecânica, a quantidade removida dos tratamentos primário e secundário é cerca de 25kg/t e 12kg/t por polpa prensada, respectivamente, segundo CAPUTO *et al.* (2001). Estes resíduos estão sendo transformados em matérias-primas para os mais diversos processos.

Na busca de técnicas de melhoria para indústrias cerâmicas, destaca-se a incorporação de resíduos como uma matéria-prima em seus produtos, visando lucratividade e benefício ao meio ambiente, possibilitando com isso a elaboração de novos produtos com qualidade compatível com os existentes no mercado tradicional. É a era de inovações de idéias e produtos que respeitem e valorize a questão meio ambiente, o que torna aos olhos do consumidor, como uma co-responsabilidade que toda empresa deve ter.

Os resíduos vindos de processos industriais como a indústria de papel e celulose de modo geral, são matérias-primas potenciais para serem utilizados na indústria de

materiais cerâmicos. Isso tem sido objeto de pesquisas, que buscam soluções que conciliem o custo de disposição, tratamento, tipo, quantidade de resíduos, tecnologia de processos, tendo como finalidade a avaliação econômica ligada ao meio ambiente.

Estes aspectos motivaram o desenvolvimento de um trabalho que avalie a viabilidade da produção de material cerâmico com a inclusão de lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose e aparas, para formar um novo produto com características próprias, semelhante aos que são confeccionados pelas indústrias cerâmicas que trabalham com argila pura, ou seja, sem adicionar resíduos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico, visando melhorar as propriedades (Perda de Massa (PM), Retração Linear (RL), Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA), Massa Específica Aparente (MEA), Resistência Mecânica (RM)) do material cerâmico e redução dos impactos ambientais com a utilização do lodo em substituição em parte da argila.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o lodo e as argilas visando o seu uso na composição da massa para a produção do material cerâmico;
- Desenvolver formulações que possibilitem a obtenção de material com características que correspondam às especificações técnicas;
- Caracterizar o material cerâmico desenvolvido, em termos de testes físicos, mecânico e de lixiviação;
- Avaliar, entre as duas argilas, a mais adequada na mistura com o lodo para produção do material cerâmico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. QUESTÃO AMBIENTAL E RESÍDUO

O resíduo industrial é um dos maiores responsáveis pelas agressões ao ambiente. Nele estão incluídos produtos químicos e metais que ameaçam os ciclos naturais onde são despejados. Assim, a saúde do ambiente, e conseqüentemente dos seres que nele vivem, torna-se ameaçada, podendo levar a grandes tragédias.

Com o desenvolvimento tecnológico, o número de indústrias no mundo vem crescendo a cada dia e com elas a quantidade de lodo e resíduo gerados. A maior parte destes têm destino incerto e na maioria das vezes ficarão expostos ao ambiente, contaminando o mesmo. Este problema é comum em várias partes do Brasil e do mundo. Hoje, com as novas leis de proteção ao ambiente, e a crescente e progressiva implantação de novas e exigentes diretrizes na gestão de lodos e resíduos para as sociedades industrializadas, na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, faz-se necessário desenvolver métodos alternativos e eficazes em substituição ao simples descarte desses em aterros sanitários (MOREIRA *et al.*, 2001).

Com o crescente aumento da concorrência e das preocupações com a melhoria da qualidade do meio ambiente, as indústrias vêm buscando alternativas para diminuir os custos visando à redução dos impactos ambientais e ao aumento da credibilidade perante o mercado consumidor. Esse comportamento se insere no contexto de uma legislação mais exigente, do desenvolvimento de políticas econômicas, de outras medidas destinadas a estimular a proteção ao meio ambiente e de uma crescente preocupação das partes interessadas em relação à questão ambiental e ao desenvolvimento sustentável (FERNANDES *et al.*, 2003).

O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo e tem dado certo em vários países do primeiro mundo, sendo três as principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais: primeiro, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam

os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo (MENEZES *et al.*, 2002a).

Algumas análises nas diversas áreas de fabricação indicaram um retorno financeiro e ambiental extraordinário com o reuso de resíduos. Diversos projetos já foram e serão desenvolvidos na busca incessante da preservação ambiental e na diminuição dos custos industriais. A maioria das indústrias não está consciente da importância e da quantidade desperdiçada em seus processos produtivos em cada minuto de produção. Os resultados obtidos com esses processos de reuso, demonstram as reais formas de redução de custo e impactos ambientais e comparativos dos investimentos com o retorno financeiro da implantação que provocam a mudança na conscientização industrial, além do aumento de credibilidade e imagem da empresa perante o mercado consumidor (FERNANDES, 2002, p.3).

A reciclagem de resíduos industriais em materiais cerâmicos para fins diversos deve necessariamente ser acompanhada de uma avaliação dos problemas ambientais que este processo pode acarretar. Os resíduos são classificados em função de seus riscos potenciais ao meio ambiente, à saúde pública, de forma que eles possam ter manuseio e destinos adequados. A periculosidade de um resíduo é em função de suas propriedades físicas e químicas ou infecto-contagiosas que possa apresentar. Neste contexto, massas cerâmicas que contendo resíduo estão obrigatoriamente sujeitas à legislação ambiental, na qual é imperativa a análise do impacto ambiental causado pela incorporação do resíduo. Um resíduo que é totalmente incorporado na forma de produto final a um volume inerte de material perde sua identidade como resíduo, segundo PEAVY *et al.*, *apud* OLIVEIRA *et al.*, (2004).

3.1.1. Classificação dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são definidos, pela norma ABNT 10004/87, como todo resíduo no estado sólido ou semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços 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 tornam inviável o seu lançamento na

rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De acordo com a ABNT 10004/87, os resíduos são classificados em:

a) Classe I: perigosos

Os resíduos perigosos são aqueles cujo manuseio inadequado pode causar sérios danos à saúde pública ou ao meio ambiente, em virtude de serem inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos.

b) Classe II: não-inertes

São os resíduos que produzem combustibilidade e são biodegradáveis ao mesmo tempo.

c) Classe III: inertes

Descartada a periculosidade de um resíduo, este somente será considerado inerte e essencialmente insolúvel se, após contato com água destilada ou deionizada, não se solubilizar a ponto de exceder a padrões de potabilidade.

A destinação adequada de um resíduo leva em conta diversos fatores, como estado físico, a presença de metais pesados, e de restrições ambientais. De qualquer forma, a alternativa de aproveitamento de qualquer tipo de resíduo, quando viável, é seguramente a solução mais racional a ser tomada.

Basicamente, um resíduo pode ser aproveitado como fonte energética, ou como matéria-prima. Neste último caso, o resíduo pode ser criteriosamente introduzido no mesmo processo produtivo que o gerou, como ocorre na reciclagem, ou inserido em outro processo produtivo (ABNT 10004/87).

A grande preocupação está relacionada à possibilidade de lixiviação ou arraste, diluição ou dessorção em meio líquido de elementos poluentes, tais como, metais pesados ou substâncias tóxicas para o meio ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2004), que é responsável pela perda de nutrientes dos solos e pela contaminação do lençol freático por ação da chuva e da irrigação.

3.2. INDÚSTRIA DE PAPEL, CELULOSE E APARAS

3.2.1. Mercado da indústria de papel e celulose

O setor de celulose e papel teve uma receita com exportações no ano de 2004 da ordem de US\$ 3,1 bilhões. O superávit projetado, importações – exportações do setor é da ordem de US\$ 2,5 bilhões. Os principais mercados da celulose brasileira no exterior foram: Europa, 45 % das exportações, Ásia, 32 % das exportações, América do Norte, com 19 % das exportações. O principal mercado importador de papel do Brasil é a América Latina com 44 % das importações, seguida pela Europa com 26 %, Ásia 13 % e América do Norte com 11 %. As perspectivas de investimento no setor de celulose e papel no período de 2003-2012 são de US\$ 14,4 bilhões, com o intuito de geração de renda e trabalho (BRACELPA, 2005a).

Os papéis produzidos no Brasil são os mais variados. A Figura 1 mostra os tipos de papéis produzidos no Brasil em 2001.

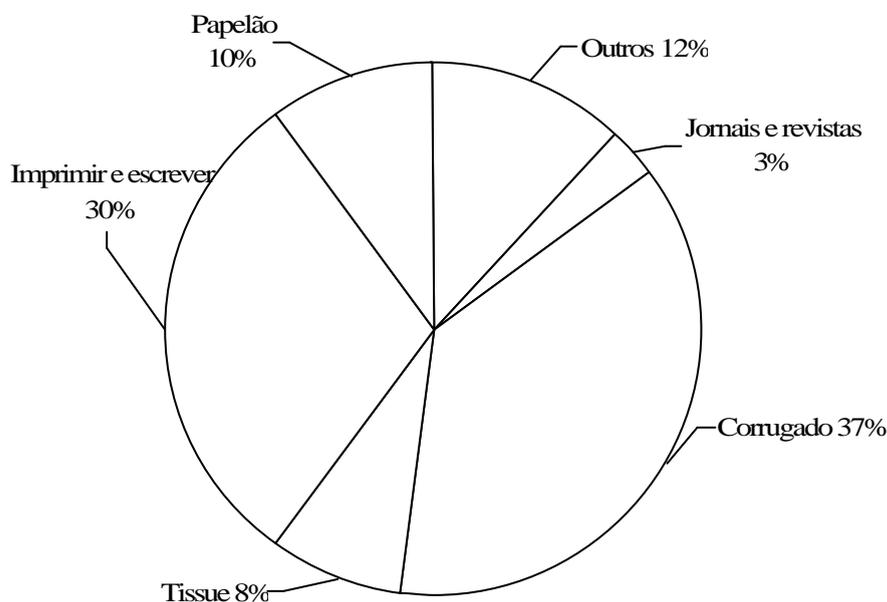


Figura 1 - Tipos de papéis produzidos no Brasil – 2001 (PPI 2002 apud PIOTTO, 2003, p 157).

O Brasil fabrica praticamente todos os tipos de papéis, com 67% de sua produção concentrada em um grupo de onze produtores, contando com duzentos e vinte empresas, em quatrocentos e cinquenta municípios, em dezesseis estados e nas cinco regiões brasileiras, e o 11º produtor e consumidor mundial de papel e o 7º produtor mundial de celulose, contribuindo com cerca de 2% da produção mundial de papel e celulose, sendo o maior produtor mundial de celulose de eucalipto (BRACELPA, 2005a). O setor Brasileiro de celulose e papel em 2003, na produção de polpas celulósicas, totalizou 9 milhões de toneladas, enquanto o volume das diferentes classes de papéis alcançou cerca de 7,9 milhões de toneladas. Neste mesmo período, enquanto as exportações somaram US\$ 3,1 bilhões, a força de trabalho direta atingiu aproximadamente 100 mil pessoas. Já para o mercado mundial há cerca de 9 mil fábricas de celulose e 14 mil fábricas de papel que produzem atualmente 300 milhões de toneladas de papel e cartão a cada ano (PAPE e SARAIVA, 2004).

3.2.2. Mercado da indústria de aparas

A fração recuperada de papel no mundo em 2001 ficou em cerca de 146 milhões de toneladas, o que representa cerca de 46% do papel produzido (PIOTTO, 2003, p.155).

A indústria recicladora de papel utiliza como matéria-prima as aparas, ou “papéis usados”. Mas nem todos os papéis podem ser usados. Estima-se (PERECIN, 2005, p. 58) que 15 % a 20 % de todo papel utilizado não seja reciclável. Isso ocorre, por exemplo, com papéis sanitários e para cigarros, devido à natureza da utilização deles. Existem ainda os papéis de segurança (ex. papel moeda), ou os que tenham alguma contaminação ou aplicações que prejudicariam o processo de reciclagem. O mercado de fabricação de embalagens é responsável por 68 % do consumo de aparas recicladas. Por outro lado, um dos maiores problemas ou desafios da reciclagem de aparas está no elevado número de fontes e tipos de papel, devido à coleta seletiva ser muito variada. O outro grande desafio ou problema está no alto custo envolvido no descarte do resíduo produzido envolvendo aparas (PERECIN, 2005, p. 58).

No Brasil, em 2003, a reciclagem de papel pós-consumo foi de aproximadamente 3 milhões de toneladas sobre um consumo aparente de papel de 44%

(PAPE e SARAIVA, 2004). A Tabela 1 mostra os tipos e o consumo Brasileiro de aparas.

Tabela 1 - Composição do consumo brasileiro de aparas – 2004.

Tipo	Quantidades 1000 t	Parte (%)
Ondulados	2.070,0	61,6
Branças	430,9	12,8
Kraft	260,9	7,8
Mistas	218,4	6,5
Jornais	137,0	4,1
Cartolinas	115,9	3,4
Tipografias	78,6	2,3
Outros	48,5	1,4
Total	3.360,2	100

Fonte: BRACELPA (2005b)

A Tabela 2 mostra a evolução da história do consumo de aparas e papéis usados no Brasil (BRACELPA, 2005b).

Tabela 2 - Evolução da história do consumo de aparas e papéis usados no Brasil.

Ano	Quantidades 1000 t	Evolução anual (%)
1995	1.840	6,41
1996	2.180	18,45
1997	2.239	2,74
1998	2.295	2,48
1999	2.416	5,28
2000	2.612	8,11
2001	2.777	6,33
2002	3.017	8,66
2003	3.005	-0,42
2004	3.360	11,83

Fonte: BRACELPA (2005b)

3.2.3. Matéria prima da indústria de celulose, papel e aparas

Existe muita fonte de celulose diferente e com processos distintos de preparação de pastas celulósicas produzidas, o que conseqüentemente torna as pastas com características diferentes.

Alguns tipos de madeiras como *pinus taeda*, *pinus elliottis*, *araucária angustifolia*, entre outras são denominadas madeiras de fibra longa (coníferas ou *softwood* (madeira mole)), possuem fibras longas (3 a 5 mm); enquanto que as madeiras de *eucalipto*, *acácia*, *bracatinca*, etc. são denominadas madeiras de fibra curta (folhosas ou *hardwood* (madeira dura)), possuem fibras mais curtas e finas (0,8 a 1,2 mm) (PIOTTO, 2003, p.140).

Reciclagem é o aproveitamento das fibras de celulose dos papéis usados e aparas para a produção de novos papéis. Tecnicamente, as fibras neles contidas poderão vir a substituir matérias-primas fibrosas virgens, como pastas químicas, semiquímicas ou mecânicas (D'ALMEIDA e PHILIPP, 1988, p.797).

3.2.4. Processos associados à geração de efluentes na produção de celulose e papel

No processo de fabricação de celulose e papel gera-se resíduos sólidos, líquidos e gasosos, em várias fases do processo de fabricação.

No preparo da pasta celulósica, a madeira é descascada e cortada em toras, e em seguida transformada por picagem em cavacos. Os cavacos poderão ser transformados em pasta celulósica, pelos mais diversos métodos: pasta mecânica; pasta ou celulose sulfato (processo *kraft*); pasta ou celulose sulfito; pasta ou celulose soda e em diversos métodos quimitemecânicos.

Após a produção da pasta celulósica, esta poderá ser secada, enfardada e comercializada como tal. Por outro lado, caso a fábrica de celulose seja integrada, existirá o circuito da fabricação do papel. Este circuito é grande consumidor de água de processo, e uma variedade imensa de produtos químicos em baixos teores. A proporção em média é de 99m³ de água em relação a 1m³ de fibras + produtos químicos alimentados na máquina de papel. Como no papel produzido, tem-se em média 6% de umidade, por um balanço de massa simplificado vê-se que o volume de efluentes

líquidos gerados é imenso; no entanto, este efluente é apreciavelmente reduzido com as atuais técnicas de fechamento do circuito. Mesmo com alto coeficiente de drenagem da água alimentada, alta retenção das cargas minerais e aditivos de colagem na manta celulósica, muito material inorgânico além de alguns orgânicos entram no circuito da água branca que, no final, flui para o circuito de tratamento dos efluentes líquidos.

3.2.5. Efluentes, Emissões e Resíduos das indústrias de papel, celulose e aparas

O volume de água residuária corresponde aproximadamente ao volume de água usada. Uma forma de reduzir o consumo é a adoção de circuitos fechados internos, o que pode resultar em economia, quando se considera o dimensionamento das instalações necessárias para a clarificação das águas (DIAS *et al.*, 1999, p.175).

Os principais contaminantes que podem estar presentes nas águas residuárias são: reagentes utilizados para a obtenção da celulose (polpa) e para a recuperação de produtos químicos; reagentes usados para o branqueamento da celulose; água de evaporação (condensado) durante a recuperação de substâncias químicas; substâncias químicas residuais e substâncias solúveis provenientes da lavagem do papel usado (reciclagem); substâncias dissolvidas provenientes da fabricação de papel e de sua estocagem; substâncias dissolvidas provenientes das águas residuárias de instalações secundárias. Esses poluentes podem exercer efeitos nocivos sobre os corpos d'água, como modificar o pH, colorir as águas, consumir oxigênio, produzir turbidez e ainda apresentar toxicidade (DIAS *et al.*, 1999, p.175).

Os efluentes do processo de branqueamento contêm geralmente entre 40 e 50 quilos de substâncias orgânicas (principalmente lignina) por tonelada de pasta. Estudos realizados no Canadá e na Suécia, no final da década de oitenta e no início da década de noventa sobre os efeitos tóxicos crônicos dos despejos das fábricas de celulose nos peixes dos cursos de água vizinhos, revelaram alterações reprodutivas, aumento do metabolismo e mudanças na estrutura das populações de peixes (Boletim do WRM, 2004).

Os descartes sólidos são formados em grande parte por resíduos de madeira e resíduos minerais como lodo calcário, areia e demais implementos auxiliares bem como pelas cinzas de caldeiras.

Normalmente, os resíduos sólidos são queimados em caldeiras nas próprias plantas, sendo submetidos anteriormente à secagem. Na destinação dos resíduos, deve-se dar atenção especial àqueles que podem apresentar-se como substâncias críticas, especialmente no lodo dos digestores e dos sistemas de tratamento (metais pesados das tintas, compostos tóxicos, etc.), que necessitam tratamento especial (DIAS *et al.*, 1999, p. 176).

Levando-se em conta a atual crise nos recursos hídricos como a escassez de água em algumas regiões, fica evidente a necessidade de se tratar os efluentes. Quando se refere às indústrias de papel e celulose, essa necessidade fica ainda mais presente, já que esta atividade industrial exige grande consumo de água, gerando enormes quantias de efluente (FONSECA *et al.*, 2003).

Atualmente as indústrias de papel e celulose buscam adequar-se às exigências legais destinadas a proteger o meio ambiente, por meio de ações modificadoras do processo, tais como redução da geração de efluente na fonte, desenvolvimento de tecnologias para tratamento externo, recuperação e reaproveitamento dos efluentes (FONSECA *et al.*, 2003).

Os dados relativos à geração de resíduos ainda são limitados e os valores reportados por algumas fábricas suecas e finlandesas variam enormemente. Os valores reportados para processo *kraft*, em base seca, são mostrados na Tabela 3 (PIOTTO, 2003).

Tabela 3 - Geração de resíduos em indústrias de papel e celulose pelo processo Kraft.

Tipo de polpa	Resíduos Inorgânicos (kg/ADT)	Resíduos Orgânicos (kg/ADT)
Não Branqueada	30 a 60	20 a 60
Branqueada	40 a 70	30 a 60

Fonte: IPPC (2000), *apud* PIOTTO, 2003.

ADT = *Air Dry Ton* (tonelada de ar seco).

3.2.5.1. Lodo

Atualmente o principal resíduo da indústria de papel e celulose é o lodo. Devido à grande quantidade de lodo produzida diariamente e pelo pouco de espaço em aterros sanitários, embora sendo classificado como resíduo comercial, o resíduo tem um enorme efeito desfavorável sobre o desenvolvimento da indústria de papel. O lodo da indústria de papel consiste em: materiais fibrosos orgânicos, materiais argilosos inorgânicos e alguns constituintes diferentes (CHIN-TSON LIAW *et al.*, 1998).

O resíduo gerado nas fábricas de celulose e papel depende das características do processo e das técnicas de reaproveitamento empregadas. Pode variar muito de uma unidade fabril para outra, mesmo nos casos em que os produtos finais são semelhantes. De modo geral, esses resíduos não são classificados como perigosos, sendo enquadrados como classe II de acordo com a Norma ABNT (NBR 10.004). Uma característica extremamente importante dos resíduos sólidos é a sua capacidade de desidratação, por ser um processamento quase sempre necessário e caro. Os lodos primários desidratam melhor do que os secundários, daí a vantagem de misturá-los antes da desidratação (LIMA G. *et al.*, 1998, p. 64).

A Tabela 4 mostra a quantidade geral de lodo gerado em função do tipo de processo produtivo.

Tabela 4 - Geração de lodo por categoria de produção.

Categoria de Produto	kg sólidos/ton produção
Polpação química	9 - 68
Pasta mecânica / papel impressão e outros	9 - 45
Semiquímico / meio corrugado	9 - 27
Destintamento / papéis finos e higiênicos	36 - 136
Fábrica não-integrada / papéis finos	9 - 36
Papelão reciclado	0 - 27

Fonte: Instituto Ambiental do Paraná 1996 *apud* LIMA G. *et al.*, 1998, p. 65.

As indústrias de papel e celulose produzem uma quantidade considerável de água residuária em seus processos. Essa água necessita de um tratamento primário

secundário, resultando na produção de uma quantia considerada de lodo. O lodo da indústria de papel pode ser dividido em várias categorias:

Lodo primário: resíduo proveniente da produção de fibras virgens de madeira;

Lodo de destintamento: resíduo de lodo da produção de papel pós-uso por remoção das tintas das fibras;

Lodo secundário: o lodo ativado do sistema biológico;

Lodo combinado: resíduo da produção de papel com o biológico (lodo ativado).
(BONI *et al.*, 2004)

Os típicos processos de tratamento de água residuária minuciosamente descritos na literatura, em geral, geram grandes quantias de lodo, tanto no tratamento primário como no secundário (processo biológico anaeróbico e aeróbico). O principal problema disso é a disposição do lodo produzido (CAPUTO *et al.*, 2001).

A maior fração dos resíduos sólidos é composta pelo lodo gerado no tratamento de águas residuárias. O lodo biológico e o físico-químico são de difícil desidratação. O tratamento do lodo é feito normalmente em várias etapas, inicialmente pelo adensamento e seguido pelo condicionamento e desidratação. O teor de sólidos do lodo biológico pode ser aumentado quando ele é misturado com o lodo gerado no tratamento primário, que é rico em fibras. O lodo misto pode ser desidratado a níveis de 25 a 35% de sólidos secos utilizando-se filtros-prensa e de 40 a 50% com equipamento tipo “*screw-press*” precedido de pré-tratamento com vapor, segundo PIOTTO (2003, p.190).

O lodo de destintamento consiste de cargas inorgânicas, pigmentos de cobertura, fibras, fibras finas, tinta de impressora (preta e pigmentos coloridos) e componentes de adesivos. A Figura 2 mostra a média dos constituintes de um lodo de destintamento da produção dos papéis reciclados com mais de 55% de sólidos removidos por flotação que são os compostos inorgânicos (GÖTTSCHING e PAKARINEN, 2000, p. 512).

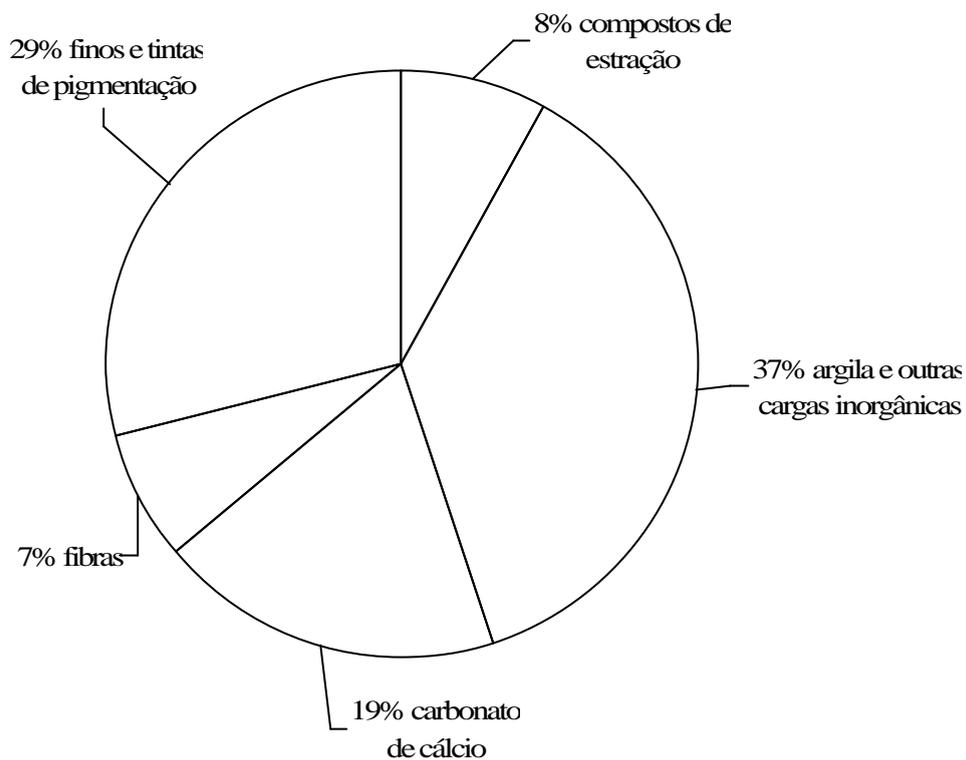


Figura 2 - Média dos constituintes de um lodo de destintamento da produção de papéis reciclados.

Os níveis de metais pesados do lodo de processo de papel recuperado são geralmente baixos. A Figura 3 apresenta as concentrações de metais pesados por elemento em lodo de destintamento, lodo biológico das plantas de tratamento águas residuárias da indústria de papel e o lodo do tratamento da água servida em municípios (água residuária). Este dado mostra que o lodo de destintamento tem menor quantidade de metais pesados do que os de tratamento de águas residuárias de municípios. A concentração de cádmio e mercúrio é insignificante e algumas vezes apresenta valores menores que os limite de detecção (GÖTTSCHING e PAKARINEN, 2000, p. 515).

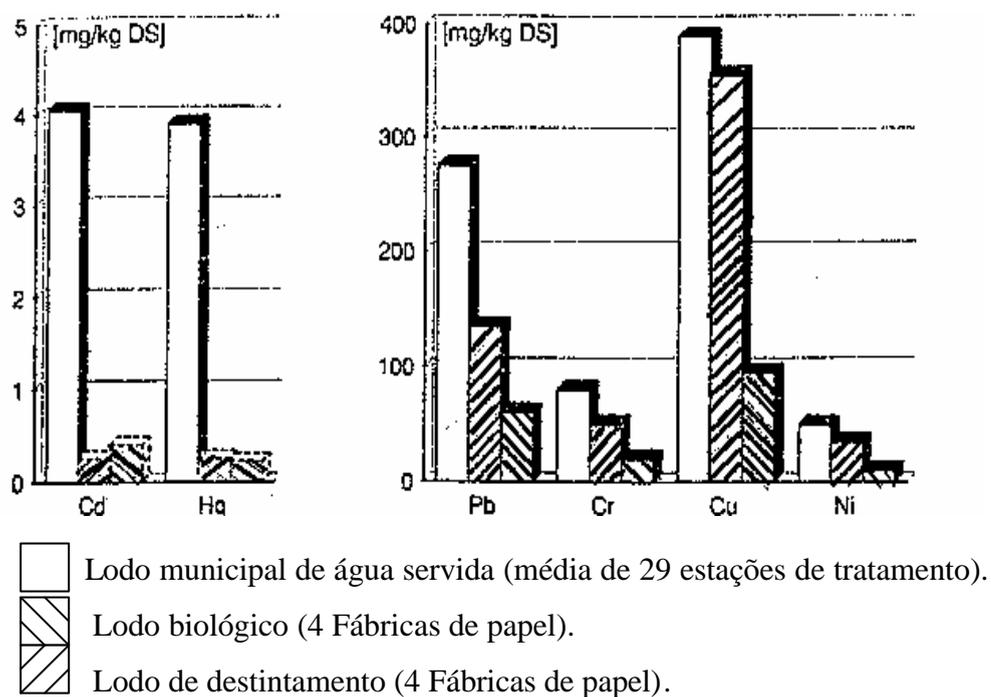


Figura 3 - Conteúdo de metais pesados do lodo de destintamento, lodo biológico e lodo do tratamento da água residuária municipal.

3.2.5.2. Poder calorífico dos resíduos sólidos

Devido ao valor de aquecimento e do baixo conteúdo de substâncias prejudiciais, muitos tipos de resíduos do processo da indústria de papel e recuperado são adequados para a recuperação de energia. A Tabela 5 mostra a comparação entre os diversos tipos de resíduos com relação ao poder calorífico, conteúdo de cinzas e conteúdo de água.

Tabela 5 - Comparação entre os diversos tipos de resíduos, em relação ao poder calorífico, conteúdo de cinzas e conteúdo de água.

Fonte de energia	Poder calorífico [MJ/kg]	Conteúdo de cinzas [%]	Conteúdo de água [%]
Madeira (secada-ar)	14 - 17	< 1	10 - 20
Lodo de destintamento (úmido)	7 - 10	40 - 60	40 - 60
Rejeitos (úmido)	16 - 23	8 - 12	20 - 50
Lodo biológico (úmido)	7 - 9	20 - 40	70 - 85

Fonte: GÖTTSCHING e PAKARINEN, p. 520, (2000)

O processo de incineração gera certa quantidade de resíduos sólidos. Considerando-se um balanço mássico no incinerador, tem-se que, a cada 1.000 kg de resíduo queimado, é produzido em torno de 30 kg de cinzas voláteis e 300 kg de partículas mais pesadas, conforme afirma BARBIERI *et al.*, 2000b *apud* MENEZES *et al.*, (2002a).

O ganho energético da incineração pode ser nulo ou até negativo se o teor de sólidos do lodo estiver abaixo de 40% ou se o conteúdo de compostos inorgânicos for elevado (GÖTTSCHING e PAKARINEN, 2000, p.512).

3.2.5.3. Lodo e seus diversos destinos

Para GÖTTSCHING e PAKARINEN (2000), os mais diversos destinos do lodo podem ser: a incineração com recuperação de energia, e o uso das cinzas ou simplesmente a incineração; o processo de compostagem e seu uso na agricultura; na produção de cimento; fabricação de tijolos, produção de concreto; na produção da massa para montagem de parede com areia, cal e os tijolos; na construção de rodovia e depósitos nos mais diversos aterros.

Em uma avaliação minuciosa nas plantas de energia de resíduo (incineração), além do capital de investimento que é relativamente alto, há a necessidade de descartar as cinzas. Além disto uma aplicação industrial é considerada crítica quando a ênfase assumida é o baixo valor calorífico caracterizado pela umidade do material, requerendo

preliminarmente deságüe, e/ou um tratamento de secagem em termos de sólidos em cerca de 30 a 35% na ordem de sólidos, para uma possibilidade de uma combustão auto-sustentável (CAPUTO *et al.*, 2001).

As emissões atmosféricas num espectro geral das plantas de incineração variam o conteúdo de poluente. Os mais importante são os sólidos particulados ou poeira, dióxido enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF), vários metais pesados e vestígios de compostos orgânicos, assim como dióxidos e furanos (GÖTTSCHING e PAKARINEN *et al.*, 2000, p.525).

A energia térmica do lodo é usualmente recuperada em incineração ou convertida em fertilizantes orgânicos e ainda, em alguns casos, reciclado novamente para dentro do processo. Algumas indústrias estão incinerando seu lodo para tentar resolver o problema da insuficiência de espaços em aterros. No entanto, materiais não combustíveis do lodo constituem-se em 30%, mesmo assim são coletados em forma de cinzas após a incineração e vão para os aterros, em quantia considerável. Buscando solução para esse problema, desenvolveram-se técnicas para utilizar o lodo e as cinzas de co-geração: a produção de agregado leve com diferentes porcentagens de lodo da indústria de papel; e produção agregada leve com cinzas de energia; e ainda a incorporação em cerâmica estrutural com as cinzas de co-geração da indústria de papel (CHIN-TSON LIAW *et al.*, 1998).

O progressivo enchimento das instalações existentes dos aterros, associado à diminuição da área disponível para novas instalações e ao aumento dos custos relacionados com a sua deposição em aterro, determinou que fossem equacionados cenários alternativos para reuso dos resíduos que são os seguintes: produção de fertilizantes; incorporação em materiais cerâmicos de construção; valorização da fonte de energia e recuperação de fibras (ARROJA *et al.*, 2005).

O processo de compostagem é muito utilizado para transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biologicamente mais estável (fertilizante). Para realização do processo de compostagem, é necessário um espaço considerável para disposição do material, e um tempo longo para que ocorra a estabilização material que é dependente dos parâmetros de temperatura e umidade, por isso nem sempre viável.

3.3. INDÚSTRIA CERÂMICA

3.3.1. Mercado de material cerâmico

A produção de revestimentos cerâmicos vem a cada ano aumentando o seu volume, fato este motivado pelo crescimento de vendas tanto no mercado interno como no mercado externo, por conseqüência, também do aumento da produtividade originada pelas inovações tecnológicas. A produção brasileira de revestimentos cerâmicos em 2002 foi de 508,3 milhões m², as vendas internas de 456,3 milhões m² e as exportações de 73,9 milhões m² (MENEGON e DA LUZ, 2004). A Tabela 6 mostra os países produtores de revestimentos cerâmicos e a porcentagem na produção mundial.

Tabela 6 - Países produtores de revestimentos cerâmicos.

Países	Produção (milhões m ²) ano 2002	Produção mundial (%)
China	2100	35,6
Espanha	651	11,0
Itália	606	10,3
Brasil	508	8,6
Indonésia	230	3,9
Turquia	162	2,7

Fonte: *Ceramic World Review* - apud MENEGON e DA LUZ, (2004).

Uma visão estratégica do mercado é a constante busca por novos produtos, que possam garantir o fornecimento, tanto para a indústria como para o consumidor, de materiais que possam se adequar às matérias-primas existentes na situação atual, dentro do âmbito economicamente viável à realidade do setor e do mercado consumidor, levando em consideração tanto a questão de custo quanto a relação com o meio ambiente.

O setor de cerâmica vermelha (estrutural) tem aproximadamente o mesmo perfil em praticamente todos os estados do Brasil. Este perfil mostra um grande potencial, aliado a empresas de pequena capacidade tecnológica e de investimentos e,

conseqüentemente, com a fabricação de produtos (blocos) de baixa qualidade. Ao mesmo tempo encontram-se, praticamente em todas as regiões, jazidas de argila em qualidade e quantidade suficientes para justificar investimentos econômicos e científicos na área. Em Santa Catarina, por exemplo, existem 742 olarias, com uma produção de cerca de 100 milhões de unidades por mês (RIZZATTI, 2003, p.4, 5).

3.3.2. Matéria prima da indústria cerâmica

A argila é um material natural, terroso, de granulação fina, que pode ser aglomerado ou um pó, que geralmente adquire, quando umedecido com água, certa plasticidade (SOUZA SANTOS, 1989, p.1).

Plasticidade em argilas é essencialmente resultante das forças de atração entre partículas de argilominerais e a ação lubrificante da água entre as partículas. Pode-se admitir que a plasticidade se desenvolve quando a argila tem água suficiente para cobrir toda a superfície acessível dos argilominerais com uma película de “água rígida”, isto é, não-líquida mais um pouco de água “líquida”, isto é não orientada, que age como meio lubrificante, facilitando o deslizamento das placas umas sobre as outras quando uma tensão tangencial for aplicada. (SOUZA SANTOS, 1989, p.110). Diversos experimentos demonstraram que quanto maior a superfície específica do material, maior a sua plasticidade.

O quartzo é um dos minerais mais abundantes e está presente na maioria das massas empregadas em cerâmicas, a partir de argilas naturais ou como matéria-prima separada. Os materiais que possuem quartzo desempenham funções nas massas e nos produtos cerâmicos, como diminuição da plasticidade da mistura de matérias-primas e aumento da permeabilidade da peça crua e do coeficiente de expansão térmica linear da peça queimada, evitando assim que esta se deforme ou se retraia demasiadamente, tanto a seco como durante a queima (FERNANDES, 2002, p.14).

Os feldspatos, que são normalmente sódicos ou potássicos, começam a fundir em temperaturas superiores a 1000°C; é o grupo mineralógico mais abundante que se encontra na crosta terrestre, constituindo freqüentemente mais de 50% de muitas rochas, e aparecem misturados principalmente com o quartzo e mica. A sílica apresenta-se na natureza em muitas formas mineralógicas entre as quais se destaca o quartzo. Em geral,

as argilas empregadas na fabricação de massas cerâmicas caracterizam-se por apresentar uma alta proporção de mineral argiloso, essencialmente de natureza ílítica-caulinítica, e proporções variadas de quartzo e carbonatos. Assim mesmo, podem conter outros componentes, normalmente minoritários, tais como compostos de ferro, feldspato, etc.

A argila *ball clay* consiste essencialmente de caulinita com pequena quantidade de mica e quartzo e tem uma elevada quantidade de matéria orgânica. As *ball clays* são usadas extensivamente em indústria de cerâmicas brancas e como ingrediente em corpos de argilas que contém grande quantidade de material não plástico; a *ball clays* é usada com requisito importante da plasticidade (JONKER e POTGIETER, 2005). Argila *ball clays* muito plástica, de granulometria muito fina, refratária, tem geralmente cor marfim após a queima e algumas vezes apresentam coloração creme-clara ou branca (SOUZA SANTOS 1989, p. 20).

A cor de um material queimado depende exclusivamente do conteúdo em óxidos corantes presentes na composição, principalmente de óxidos de ferro. Este fato condiciona o tipo de matéria-prima a ser empregada e, portanto, é responsável pela diferença existente entre as composições que se utiliza na fabricação dos materiais de queima vermelha e branca (CASAGRANDE 2002 p.11). Os materiais com elevados teores de ferro resultam em uma cor vermelha após a queima.

Argila Taguá é um folhelho argiloso de cor cinza escura bastante homogêneo e duro, com estrutura plana-paralela. Quando essa argila é queimada á 110°C apresenta uma cor cinza-escuro, e na queima de 950°C apresentam cor vermelha. Já para queima a 1250°C (super-queima) a cor é marrom ou preta. Nesta temperatura ocorre a formação de bolhas quando ricas em fundentes; principalmente ferro, potássio e cálcio, podendo apresentar, fusão parcial com arredondamento das arestas, em algumas vezes um inchamento ou expansão, produzida por desprendimento de gases com deformação total dos corpos de prova, o que indica, o seu uso provável na fabricação de agregados leves. Na queima 1450°C argilas Taguá apresentam cor marrom ou preta, geralmente amolecendo ou fundindo com total perda de forma. De uma maneira geral, são argilas para cerâmica vermelha (tijolos de vários tipos; blocos cerâmicos; pisos cerâmicos ou manilhas; agregado leve de areia piroexpandida; cerâmica utilitária), (SOUZA SANTOS, 1989).

Além das características técnicas que devem ser satisfeitas, outro fator muito importante em se tratando de cerâmica vermelha é a exigência do baixo custo das matérias-primas, considerando que o produto final geralmente possui um baixo valor agregado (DOS SANTOS *et al.*, 2005).

3.3.3. Processo do material cerâmico de revestimento

Nos últimos anos, as indústrias de cerâmicas tem pesquisado muito para otimizar o processo de fabricação, melhorar a qualidade do produto acabado, utilizar resíduos como matéria-prima e aumentar a competitividade nos mercados nacional e internacional.

Após a extração, as matérias-primas chegam às indústrias com variável teor de umidade. São armazenadas em boxes, sendo caracterizadas e pesadas de acordo com a formulação definida para tipologia do produto a ser fabricado (FERNANDES, 2002, p. 16).

3.3.3.1. Preparação da massa e moagem

Nessa etapa ocorre a preparação da massa cerâmica, através do processo de moagem das matérias-primas onde são utilizadas duas técnicas distintas: moagem via úmida e moagem via seca.

Na moagem via úmida, as matérias-primas são moídas junto com uma quantidade de água suficiente para transformá-las em uma suspensão bastante homogênea, e então atomizadas em um *spray dryer* transformando a mistura em pó atomizado com teores apropriados de umidade para fabricação do material. Na moagem a seco, as matérias-primas com teor de umidade são secas, e levadas ao moinho, onde são reduzidas a tamanhos de partículas apropriados para a fabricação do produto. Em seguida a moagem, o pó é umedecido e granulado novamente, estando pronto para a etapa posterior de conformação por prensagem. Em relação à homogeneidade das suas propriedades, o pó granulado apresenta desvantagens em relação ao pó atomizados. A considerável economia de energia associada ao processo via seca e as vantagens no gerenciamento do processo produtivo constituem vantagens para a aplicação mais

difundida da tecnologia de utilização do uso da moagem em via seca (NASSETTI e PALMONARI, 1997).

3.3.3.2. Prensagem

Dos vários processos industriais utilizados para a conformação de revestimentos cerâmicos, a prensagem uniaxial se tornou o método mais comumente empregado. Isto se deve ao fato da prensagem a seco alcançar uniformidade de todo um leque de características básicas e propriedades mecânicas que podem ser obtidas nos compactados verdes, os quais são responsáveis pela definição das características e propriedades do produto final queimado (CASAGRANDE, 2002, p17).

3.3.3.3. Secagem

A secagem é a etapa do processo que consiste na evaporação da água contida nas peças prensadas de valores variando de 5% a 8%. Nesta fase, concomitantemente à evaporação da água residual, verifica-se o aumento da resistência mecânica da peça cerâmica, atribuída a uma densificação causada pelo empacotamento e atração de partículas que aumenta as forças de ligação entre as mesmas (CASAGRANDE, 2002, p.17).

3.3.3.4. Queima

Queima é um tratamento térmico em forno, a que são submetidos os produtos secos (produtos que ainda não passaram pelo processo de queima), onde desenvolve sua microestrutura e propriedades desejadas. O processo de queima ocorre em três estágios: 1) reações preliminares a sinterização, que incluem queima da matéria orgânica e eliminação de produtos da decomposição e oxidação; 2) sinterização, que é a consolidação caracterizada pela contração (implica que dentro do produto as partículas se unem em um agregado que possui resistência mecânica) e densificação do produto; e 3) resfriamento (REED, 1995, p.583).

A queima dos materiais cerâmicos é a etapa mais importante de todo o processo de fabricação. Nesta fase se manifestam todas as operações realizadas durante a fabricação, aparecendo freqüentemente defeitos nas peças acabadas ocasionados em etapas anteriores.

A queima dos materiais cerâmicos não implica simplesmente em levá-los a uma determinada temperatura, pois se deve considerar as velocidades de aquecimento, de resfriamento e o tempo de permanência à temperatura máxima, pois um elevado gradiente térmico no produto pode ocasionar trincas e deve ser evitado (FERNANDES 2002, p.20)

3.3.4. Produção da cerâmica estrutural

O processo de produção de cerâmica estrutural (tijolos) consiste basicamente das etapas: preparação da argila, moldagem, secagem e queima.

3.3.4.1. Preparação da argila

O processo de preparação da matéria prima consiste da dosagem (formulação) e mistura das argilas. A dosagem das argilas deve ser feita de forma a promover uma pasta que atenda determinadas características para uma boa moldagem, secagem e queima. A formulação da massa pode influenciar nas características finais do bloco (tijolo), como a resistência mecânica. A mistura das argilas é promovida em escala industrial, por diversos equipamentos: dosador-misturador com a finalidade de fazer a primeira mistura; destorrador ou desintegrador, cuja finalidade é reduzir os torrões em partes menores; misturador, com a finalidade de completar a mistura das argilas, dosando ou ajustando a quantidade de água necessária à plastificação, e o laminador com o objetivo de reduzir a argila pastosa à lâminas finas, fazendo-a passar entre dois cilindros em ferro fundido (RIZZATTI, 2003, p.56).

3.3.4.2. Extrusão

A moldagem dos blocos é feita por extrusão na maromba ou extrusora, que tem como finalidade principal dar forma ao bloco. A segunda função é reduzir ao mínimo o ar contido ou incluído na massa cerâmica pela ação das misturas e água agregada (RIZZATTI, 2003, p.57).

3.3.4.3. Secagem da cerâmica estrutural

É tão importante como o cozimento. Se a argila for levada ainda úmida para o forno, a umidade interior ficará retida pela crosta externa. Nesta operação é retirada unicamente a água agregada, ou de amassamento, que resta na massa após a extrusão, deixando uma pequena percentagem, necessária para manter a resistência do bloco para o seu manuseio. Deve ser lenta e uniforme, a fim de que a água seja eliminada igualmente de toda massa de forma gradual (RIZZATTI, 2003, p.58).

3.3.4.4. Queima da cerâmica estrutural

É a fase mais importante da fabricação dos materiais cerâmicos. Consiste em provocar as mais diversas transformações químicas e físicas nos materiais que compõem a massa cerâmica, a fim de se obter um novo material que constitui o corpo cerâmico. Algumas são rápidas, outras exigem mais tempo. Nisso, influi não somente a temperatura alcançada, mas também a velocidade de aquecimento, de esfriamento, atmosfera ambiente, tipo de forno e combustível usado (RIZZATTI, 2003, p.58).

3.3.5. Propriedades do material cerâmico

Após a etapa de queima as peças passam primeiramente por uma classificação visual e em seguida pela avaliação das propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Segundo REED (1995, p.3), as propriedades dos materiais cerâmicos são determinadas pelas características atômicas e microestruturais dos materiais que os compõem. Estas características podem ser controladas pela seleção das matérias-primas,

processo de fabricação e produto; é fundamental o controle para que os defeitos microestruturais sejam minimizados.

3.3.5.1. Retração linear

O volume da peça prensada seca é a soma do volume das partículas sólidas e dos poros entre as mesmas. Na queima, durante o aquecimento, inicia-se um processo de formação de fases líquidas no interior do produto, em decorrência da fusão parcial dos componentes menos refratários presentes na massa. À medida que se aumenta a temperatura de queima, o volume de fases líquidas também aumenta. Além disso, o aumento da temperatura provoca a redução da viscosidade das fases líquidas, facilitando assim o seu “escorrimento” para dentro dos espaços vazios entre as partículas que ainda não se fundiram. Durante o preenchimento dos espaços vazios, por forças de capilaridade, a fase líquida provoca a aproximação das partículas. Essa aproximação, por sua vez, resulta em uma diminuição do volume de poros e na retração da peça. A retração linear de queima depende fundamentalmente da densidade aparente da peça prensada, da composição da massa e das condições de queima (MELCHIADES *et al.*, 2001).

3.3.5.2. Absorção de água

A absorção de água do material cerâmico queimado é um parâmetro utilizado para medir a porosidade aberta e avaliar a fundência do material. A absorção de água é definida como o ganho em peso, expresso em porcentagem, que a peça apresenta quando introduzidas em água em ebulição durante um período de tempo determinado, segundo CASAGRANDE (2002, p. 27).

Segundo CHIH-HUANG WENG *et al.*, (2003), a absorção de água é um fator chave no efeito da durabilidade do tijolo. A menor infiltração de água nos mesmos, determina maior durabilidade e resistência ao ambiente natural ao qual o material é exposto. Assim, a estrutura interna do tijolo precisa ter uma superfície capaz de evitar a entrada de água.

3.3.5.3. Porosidade

No estado seco a porosidade de material cerâmico é dependente da distribuição granulométrica dos componentes das matérias-primas e do modo com que estes foram misturados e conformados.

As argilas de partículas mais grosseiras apresentam menor contato entre elas e, portanto, menor grau de reação entre partículas durante a queima, dando lugar a uma porosidade enterpartículas (SANCHEZ-MUNÓZ *et al.*, 2002). A máxima densificação e a mínima porosidade se obtém quando a distribuição granulométrica é bastante aberta tal que permite que as partículas menores ocupem os interstícios entre as partículas maiores. A porosidade final do produto queimado é influenciada pela porosidade inicial do material recém formado verde, seco, da formação da fase líquida na queima, e o rearranjo das fases cristalinas.

A porosidade de um material cerâmico na queima pode ser uma propriedade cuidadosamente controlada. Quanto maior a porosidade de uma amostra, mais fácil será a sua penetração por líquidos e vapores. Usualmente, a penetração do líquido (em geral água) é acompanhada por um dano potencial na estrutura do material (JONES *et al.*, 1985, p.109). Logo, tijolos e telhas (usualmente bastante porosos) estarão sujeitos à penetração de água, com conseqüências danosas à resistência mecânica do material. Um alto grau de porosidade só é útil em materiais que deverão por natureza ser isolantes (ao calor).

A porosidade também afeta o módulo de elasticidade do material. O aumento da porosidade sempre resulta num decréscimo da elasticidade (RICHERSON, 1982, p.74). Logo, o aumento da porosidade aumenta a fragilidade dos materiais, diminuindo a sua resistência mecânica, por potencializar o surgimento de falhas no material. Uma propriedade bastante relacionada com a porosidade é a absorção de água.

3.3.5.4. Massa específica aparente

O aumento da massa específica aparente (densidade) durante a compactação é uma decorrência da deformação plástica dos grânulos que ao se deformarem passam a ocupar os espaços vazios que havia entre eles (porosidade intergranular). Nos casos em

que os grânulos são ocos, bastante comum nos pós-granulados produzidos por atomização, há também o preenchimento desses ocos. Portanto, a densificação depende da facilidade com que os grânulos se deformam plasticamente, ou seja, da sua plasticidade. Ao aumentar-se a pressão, aumenta-se o grau de deformação, mas o efeito plastificante de água continua sendo o mesmo. Entretanto, ao se aumentar a massa específica aparente (densidade), o volume de espaços vazios entre as partículas por unidade de volume da amostra diminui e, com ele, a mobilidade das partículas. Assim sendo, resta um volume cada vez menor para que a água adicionada, além de revestir a superfície das partículas e torná-las plásticas, possa se movimentar sobre elas (CASAGRANDE, 2002, p.22).

Como a massa específica aparente do compacto é dada pela razão entre a massa e o volume do mesmo, e a massa permanece constante durante a compactação, a única forma de se aumentar a massa específica aparente (densidade) é através da redução do volume (PAULA *et al.*, 1997).

A massa específica aparente é uma propriedade importante no processo cerâmico que está relacionada com os valores de resistência à flexão das peças, absorção de água e retração linear.

3.3.5.5. Resistência mecânica

O material cerâmico seco tem uma força de coesão e é normalmente inferior aquele produto queimado. Durante o aumento da temperatura de queima, antes mesmo de atingir a temperatura máxima (ideal), ocorre modificação das fases cristalinas da argila; desse ponto em diante não é mais possível a irreversibilidade do fenômeno de afinidade com a água. Na temperatura máxima ocorrem reações químicas e com isso a formação de nova fase cristalina e fusões parciais (fase líquida); finalmente consolidação do material através da formação de uma estrutura, que em processo de resfriamento se torna rígido e com mais resistência que o material seco.

De uma maneira genérica, os materiais cerâmicos apresentam alto módulo de elasticidade, são frágeis e bastante duros. A presença de fase vítrea e porosidade nas cerâmicas tradicionais reduzem consideravelmente a resistência mecânica (PADILHA, 1997, *apud* CASAGRANDE, 2002, p. 25).

3.3.6. Classificação dos produtos cerâmicos

Nos critérios definidos por normas para classificação de um produto cerâmico estão os parâmetros de absorção de água e resistência mecânica que são citados nas Tabelas 7 e 8.

A Tabela 7 apresenta a classificação dos revestimentos cerâmicos segundo a norma ABNT - NBR 13817 (1997).

Tabela 7 - Classificação dos revestimentos cerâmicos (ABNT - NBR 13817 (1997)).

Grupos	Absorção de água (%)	Resistência mecânica (kgf/cm²)	Definição do produto
Bla	0 < AA = 0,5	350 a 500	Porcelanato
BIIb	0,5 < AA = 3	300 a 450	Grés
BIIa	3 < AA = 6	220 a 350	Semi-grés
BIIb	6 < AA = 10	150 a 220	Semi-poroso
BIII	AA > 10	150 a 220	Poroso

Fonte: ABNT - NBR 13817 (1997)

Segundo CASAGRANDE (2002, p. 25), o uso recomendado para o produto pela ISO 13006 - 6 - Especificações, está definido na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação do produto cerâmico e o uso recomendado.

Tipo de produto	Uso recomendado
Porcelanato	Piso e parede
Grés	Piso e parede
Semi-grés	Piso e parede
Poroso	Parede
Muito poroso	Parede

Fonte: CASAGRANDE, (2002).

Nas Tabelas 9 e 10, estão os valores para os produtos cerâmicos estruturais segundo a NBR 7170, de tijolo maciço cerâmico para alvenaria, especificações, 1983 e

a NBR 7171, bloco cerâmico (tijolos furados) para alvenaria, especificação 1992 *apud* MENEZES *et al.*, (2002b).

Tabela 9 - Classificação de tijolos maciços NBR 7170 (1983).

Classificação do tijolo maciço	Resistência mecânica	
	(kgf/cm ²)	(Mpa)
Tijolo maciço	> 15	> 1,5
Classe A	15 < 25	1,5 < 2,5
Classe B	25 < 40	2,5 < 4,0
Classe C	> 40	> 4,0

Fonte: NBR 7170 / 1983 *apud* MENEZES *et al.*, (2002b).

Tabela 10 - Classificação dos blocos cerâmicos, NBR 7171 (1992).

Classificação blocos cerâmicos (tijolos furados) com AA (8% a 25%)	Resistência mecânica	
	(kgf/cm ²)	(Mpa)
Classe 15	15 < 25	1,5 < 2,5
Classe 25	25 < 45	2,5 < 4,5

Fonte: NBR 7171 / 1992, *apud* MENEZES *et al.*, (2002b).

3.3.7. Agregado Leve

O termo “agregado leve” tem sido definido, de forma geral, como um agregado de areia, cascalho, ou pedra britada ou escória de outro material de composição inorgânica ou mineral, que é usado em combinação com um meio aglomerante para formar concreto betuminoso, ou cimento, macadame, mastique, argamassa, ou estuque ou isolante como lastro para estradas de ferro, camadas de filtração ou processos industriais para diversos usos específicos, por exemplo, como “fundentes”, segundo SOUZA SANTOS (1992, p.439).

Um dos principais processos para produção de agregados leves é a expansão pirolástica, que se deve essencialmente à formação de gases, durante o estado de fusão, que não podem escapar devido à formação de uma delgada camada de superfície

impermeável. Deste modo, os grânulos adquirem estrutura interna porosa, geralmente envolvida por uma camada externa vítrea (DAMASCENO, *apud* MENDES, 1998, p.23).

As propriedades desejadas para um agregado leve são as seguintes: elevada resistência mecânica; pequena absorção de água; pequena massa por unidade de volume (massa específica aparente). Os agregados leves para concreto estrutural são classificados em três granulometrias cujas massas específicas aparentes máximas são as seguintes:

- a) agregado fino – máximo de $1,12\text{g/cm}^3$;
- b) agregado grosso – máximo de $0,80\text{ g/cm}^3$;
- c) combinação de agregados finos e grossos – máximo de $1,00\text{ g/cm}^3$, segundo (SOUZA SANTOS, 1992, p.440).

3.3.8. Reutilização (reciclagem) de resíduo na indústria de materiais cerâmicos

Reciclagem é o conjunto das técnicas cuja finalidade é aproveitar detritos e reintroduzi-los no ciclo de produção. A reciclagem de resíduos, independente do seu tipo, apresenta várias vantagens em relação à utilização de recursos naturais "virgens", dentre as quais se tem: redução do volume de extração de matéria-prima e redução do consumo de energia. A vantagem mais visível da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, prolongando sua vida útil e reduzindo a destruição da paisagem, fauna e flora (MENEZES *et al.*, 2002a).

Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável. Muitas empresas investem em pesquisas e tecnologia, o que aumenta a qualidade do produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo. No Brasil, diversos pesquisadores têm-se dedicado ao estudo desse tema, obtendo-se resultados bastante relevantes; todavia, a reciclagem ainda não faz parte da cultura dos empresários e cidadãos. A reciclagem de resíduos industriais ainda possui índices insignificantes frente ao montante produzido (MENEZES *et al.*, 2002a).

O reaproveitamento de resíduos provenientes de processos industriais para obtenção de produtos cerâmicos na construção civil. É uma das soluções para o problema ambiental associado ao descarte de resíduos poluentes (OLIVEIRA e HOLANDA, 2004).

Vários são os resíduos industriais absorvidos pela indústria cerâmica, podendo-se citar os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose, metalúrgica etc. que, independente de sua origem, têm utilização cada dia maior como matérias-primas alternativas na indústria cerâmica. As massas utilizadas na indústria de cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, geralmente constituídas de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significantes. Desta forma, a reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais, como novas matérias-primas cerâmicas, têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições (MENEZES *et al.*, 2002a).

AMBRÓSIO *et al.*, (2004) obtiveram blocos cerâmicos porosos utilizando argilas caulínicas e agentes formadores de poros, no caso, poliestireno expandido e resíduo de celulose e serragem. Os materiais produzidos têm aplicação como isolante em termo acústico.

Na área dos materiais de construção foi efetuado o desenvolvimento de produtos cerâmicos (tijolo de construção e agregado leve) com a utilização de resíduos como matérias-primas alternativas. Na produção de tijolos foi incorporado 5% de lodo primário e biológico e 95% de argila cerâmica; esse teste foi efetuado com sucesso. O produto obtido apresentou propriedades acústicas e térmicas marginalmente superiores às apresentadas pelo produto tradicional, apesar destas não se traduzirem em mais-valias comerciais. A mistura e a granulação de *dregs*, cinzas do eletrofiltro e lama biológica com materiais argilosos foram bem-sucedidas, tendo sido obtidos materiais de agregados leves de matriz cerâmica com características semelhantes às dos produtos atualmente em comercialização (ARROJA *et al.*, 2005).

Em seu trabalho LIMA J. F., (2002), pesquisou a incorporação da lama da lavagem de minério de ferro em material cerâmico queimado a temperaturas de 800, 1000, 1150°C. Os resultados mostraram que, dentro das proporções de mistura

estudadas, podem ser utilizadas as lamas como adição nas argilas para fabricação de produtos cerâmicos, principalmente na chamada cerâmica vermelha.

CHIH-HUANG WENG *et al.*, (2003) utilizaram lodo de uma planta de tratamento de água residuária industrial para produção de tijolos. A pesquisa demonstrou que é possível produzir tijolos com qualidade de engenharia.

FERNANDES (2002), reutiliza lodo da estação de tratamento de efluente da indústria de cerâmica em materiais cerâmicos de revestimento. Os resultados dos ensaios laboratoriais demonstraram que a incorporação de 5% de lodo na massa padrão não afetou as características de absorção d'água, retração linear, e resistência mecânica.

No trabalho de DOS SANTOS *et al.*, (2005), foram utilizados rejeitos de indústrias de xisto para fabricação de grês vermelho. Os resultados do estudo demonstraram uma elevada viabilidade para a fabricação mesmo.

MONTEIRO *et al.*, (2005) utilizaram resíduo de óleo obtido de processo separação petróleo e adicionaram em argilas para produção de um material cerâmico estrutural, onde os resultados mostraram que em adição de 5-10% de resíduo de óleo no material, provocou um aumento na resistência mecânica.

MOREIRA *et al.*, (2001) estudaram o efeito da adição do lodo de água residuária da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção. Os resultados mostraram que é possível obter materiais de construção com boas propriedades mecânicas usando uma quantidade apropriada de argila e lodo, e uma curva de queima adequada.

MENDES (1998), desenvolveu agregado leve a partir de subprodutos da mineração de carvão e de lodo de estação de tratamento de efluente de indústria têxtil. Os testes de resistência à compressão apresentaram a mesma ordem de grandeza que agregados leves comerciais.

Com a incorporação de resíduos nos materiais cerâmicos, há a ocorrência de algumas características diferenciadas dos corpos de provas produzidos com matéria-prima tradicional (sem resíduos); a adição de agentes formadores de poros tende a reduzir acentuadamente a resistência mecânica em todas as temperaturas de queima, devido principalmente ao aumento da porosidade. Ressalta-se que tais aditivos são resíduos de outros processos industriais e que necessitam sere descartados (AMBRÓSIO *et al.*, 2004). O descarte desse resíduo deve ter um tratamento e um

destino final adequado, para que esses não causem prejuízos ao meio ambiente. O uso destes resíduos como matéria-prima em material cerâmico fornece as qualidades iguais ou até um pouco inferior ao material tradicional. Assim mesmo tem-se o ganho que é a preservação ambiental.

Em estudos realizados na confecção de tijolos, foi observado que dois fatores são determinantes na produção de tijolos, um deles é a temperatura de queima e o outro é a proporção de lodo utilizado. O aumento no conteúdo do lodo resulta em uma diminuição do encolhimento do tijolo, absorção de água e na força de compressão. Os resultados indicaram que o peso do tijolo é menor e a ignição foi o principal fator atribuído ao conteúdo de matéria orgânica contida no lodo (CHIH-HUANG WENG *et al.*, 2003)

No que se refere às características mecânicas, verifica-se que a elevada porosidade (expressa pela absorção de água) conduz a baixos valores de resistência, sendo um fator decisivo no êxito dos produtos em qualquer aplicação cerâmica. Assim mesmo os corpos cerâmicos com resíduo têm valores de resistência adequados para a produção de tijolos (MENEZES *et al.*, 2002a).

Em geral, os resíduos combustíveis são provenientes de processos indústrias que contém elevado teor de substância orgânica e lhes conferem alto poder calorífico. A utilização de resíduos combustíveis por parte das indústrias cerâmicas pode ser efetuada de duas maneiras: por incorporação dos resíduos à massa cerâmica ou mistura com os combustíveis responsáveis pela queima do corpo de prova cerâmico, sendo que, em ambos os casos, é utilizado o poder calorífico dos resíduos para auxiliar na queima. (MENEZES *et al.*, 2002a).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

As matérias-primas utilizadas no trabalho foram as seguintes:

- O lodo combinado (mistura do lodo primário com o secundário) desaguado foi coletado na estação de tratamento de efluente da indústria Trombini S/A de Fraiburgo, SC, colocado em sacos plásticos para transporte em temperatura ambiente. A estocagem do lodo no EQA-UFSC foi em câmara fria a 5°C dentro de baldes fechados.
- Argila caulínica plástica (*ball-clay*) denominada de argila Santa Terezinha (AST), proveniente de Rio do Sul (Cerâmica Rainha) e a argila Taçuá denominado (AT), proveniente de Mafra-SC, pertencente à formação geológica “Campo do Tenente”, foram coletados nas próprias jazidas, colocados em sacos plásticos e transportados até a UFSC. A estocagem foi na Central de Análise da Engenharia Química, dentro de sacos plásticos bem fechados e em ambiente natural.

4.2. METODOLOGIA

O trabalho experimental consistiu na preparação e caracterização das matérias-primas, preparação das amostras e confecção do produto cerâmico a partir de adições crescentes de lodo à argila. O lodo adicionado à argila, após a devida homogeneização e determinada umidade, foi prensado e denominado corpo de prova. Após a devida secagem, os corpos de prova foram queimados e, depois realizada a caracterização dos mesmos com a finalidade de avaliar a qualidade do produto cerâmico obtido.

Os ensaios foram realizados na Central de Análises da engenharia química e no Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (LABMAC).

Preparação e caracterização das matérias-primas:

- As argilas foram secadas até a uma umidade de 3%, em seguida a desagregação com destorroamento manual e posteriormente moídas em moinhos de martelo (Moinho de martelo - Máquina Pneumática Permaq -TB 020), e subsequente o de bolas (Moinho de bolas Groschopp Germany, WK-0167004);
- Após a moagem as argilas foram passadas em peneiras ABNT número 80 (abertura de 425 micras), armazenadas em sacos plásticos fechados, de tal forma que a umidade não variasse.
- A caracterização das argilas foi através da umidade e DRX (Difratômetro de Raios-X Philips X Pert – Radiação Cu Ka . $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$, intervalo de medida (2θ) de 0 a 80). Os dados das análises química e física da argila Taguá foram encontrados na literatura. A caracterização física da argila Santa Terezinha foi fornecida pela Cerâmica Rainha.
- A caracterização do lodo foi obtida através de análise química e da caracterização física em termos dos teores de umidade, sólidos totais voláteis e cinzas.

Preparação da massa cerâmica e dos corpos de prova:

- Caracterização das amostras das argilas (AT, AST) na fabricação dos corpos de prova foram: argila Taguá Campo do Tenente Mafra SC (AT) com uma umidade 4,03% após passagem pela peneira com uma abertura ABNT nº 80 (425 micras); argila Santa Terezinha (AST) com uma umidade 4,92% após passagem pela peneira com uma abertura ABNT nº80 (425 micras).
- As amostras foram preparadas em recipientes de plástico, onde as massas foram amassadas manualmente utilizando água e a própria umidade do lodo até obter ± 25 % umidade. Foram preparadas as amostras com diferentes porcentagens de lodo e das argilas (AST e AT), e as amostras padrão 100% argilas (AST e AT) e em seguida foi realizada a prensagem dos corpos de prova das amostras.
- As amostras das argilas (AT e AST) foram amassadas, separadas com porcentagens de 100, 95, 90, 85, 80, 75, 70, 65 % das argilas, respectivamente, sendo adicionadas a cada uma porcentagens de lodo de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 %. As amostras de

argila (AST e AT) foram misturadas com o lodo formando uma massa homogênea com uma umidade de $\pm 25\%$. Em seguida a massa foi secada ao sol até atingir uma umidade de 4 a 7 (%). Após a massa foi moída manualmente, passada em uma peneira de ABNT número 30 (abertura de 600 micras). O material semi-seco foi prensado em prensa (Prensa Hidráulica Manual, Modelo CT 220 – Servitech), com uma pressão de 200 kgf/cm^2 e dimensões de 126mm x 58mm e uma altura média de 8mm. O método de conformação das misturas utilizado foi o de prensagem de massa semi-seca. Já que não havia uma extrusora de laboratório para moldagem do material. A umidade do material para prensagem foi acertada por tentativa, até se obter um corpo de prova que fosse extraído facilmente do molde e manuseável sem esfarelar. A umidade utilizada na prensagem foi diferente entre as 5 amostras, devido a variação da porcentagem de lodo adicionada a amostras. Quanto maior a porcentagem de lodo, mais fibras na amostra menor a umidade material para prensagem.

Secagem e queima :

- Após cada etapa do processo de fabricação (prensagem, secagem (peso estável) e queima), os corpos de prova eram pesados (Balança Sortorius AG Gottingen-BP 1200) e medidos (Paquímetro Mitutojo-0,05 mm), avaliando a variação ocorrida.
- A secagem foi feita em ambiente natural por 48 horas e mais 24 horas em estufa (Estufa Biopar Ltda modelo B 22 ST), com uma temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
- A queima foi feita em forno (Elebttro Lim Elektro Therm de temperatura até 1300°C) com temperaturas de queima de 950°C , 1000°C , 1050°C , 1100°C , 1150°C . O ciclo de queima teve 3 fases: onde na primeira fase, a taxa de aquecimento foi de $4,14^\circ\text{C}/\text{min}$ até 600°C , a segunda fase, a temperatura foi elevada de 600°C até a temperatura máxima especificada acima, sendo que a taxa de aquecimento foi de $10^\circ\text{C}/\text{min}$. A partir do momento que se atingiu a temperatura máxima, o tempo de permanência das amostras nesta temperatura foi de 180 minutos. Os corpos de prova só eram retirados do forno após o processo de resfriamento natural, com duração de 12 horas.

Caracterização dos corpos de prova:

- Análise por inspeção visual na coloração e nas condições dos corpos de prova, antes e após a queima.
- Ensaios físicos de umidade, perda de massa (PM), retração linear (RL), absorção de água (AA), porosidade aparente (PA), massa específica aparente (MEA), módulo de resistência à flexão (MRF) (Flexímetro digital EMIC com três velocidade e carga até 1000 kgf).
- Teste de lixiviação.
- Foram utilizados para cada ensaio e teste, 7 corpos de prova de cada amostra (0, 5, 10, 15, 20 % lodo).

Testes em materiais cerâmicos:

- No decorrer do processo produtivo cerâmico, em suas diversas etapas de fabricação (preparação de massa, prensagem, secagem e queima), as peças podem apresentar defeitos dos mais variados tipos e proporções. Entre estes defeitos incluem as trincas e a falta de planaridade que poderão ser observados nos corpos de prova através de testes visuais. Os testes físicos e mecânicos juntamente com os testes visuais avaliam a qualidade e classificam os produtos cerâmicos dentro das normas para cada uso específico.

Absorção de água:

A Equação 01 mostra como foi calculado o percentual de absorção de água:

$$AA = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

AA - Absorção de água (%)

M_u = Massa do corpo de prova úmido (g)

M_S = Massa do corpo de prova Seco (g)

Retração Linear:

Os resultados dos ensaios foram calculados conforme a Equação 02, que relaciona o tamanho inicial das peças cruas (T_i) e o tamanho das peças queimadas (T_f).

$$RL = \left(\frac{T_i - T_f}{T_i} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:

RL = retração linear (%)

T_i = tamanho inicial da peça (cm)

T_f = tamanho final da peça (cm)

Resistência Mecânica:

Os ensaios de resistência mecânica foram realizados no Laboratório de Materiais (LABMAC), no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, e os resultados calculados conforme descrito no anexo C da NBR ISSO 13818 (ABNT-1997). A Equação 03 mostra o cálculo da Resistência Mecânica (Módulo de Resistência à Flexão).

$$RM = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde:

RM = módulo de ruptura (resistência mecânica) em (kgf/cm^2)

F = força de ruptura (kgf)

L = distância entre os suportes (cm)

b = Comprimento da peça ensaiada (cm)

h = mínima espessura medida na seção de ruptura (cm)

Massa específica aparente:

A Equação 04, apresenta o cálculo para a massa específica aparente.

$$MEA = \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad \text{Eq. 04}$$

Onde:

MEA = massa específica aparente em g/cm³

Ms = Massa do corpo de prova seco (g)

Mu = Massa do corpo de prova úmido (g)

Mi = Massa do corpo de prova imerso em água (g)

Porosidade aparente:

A Equação 05, apresenta o cálculo para a porosidade aparente.

$$PA = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad \text{Eq. 05}$$

Onde:

PA = porosidade aparente (%)

M_u = Massa do corpo de prova úmido (g)

Ms = Massa do corpo de prova seco (g)

Mi = Massa do corpo de prova imerso em água (g)

Na Figura 4, o fluxograma da metodologia empregada no processo de fabricação e análise do material cerâmico é apresentado.

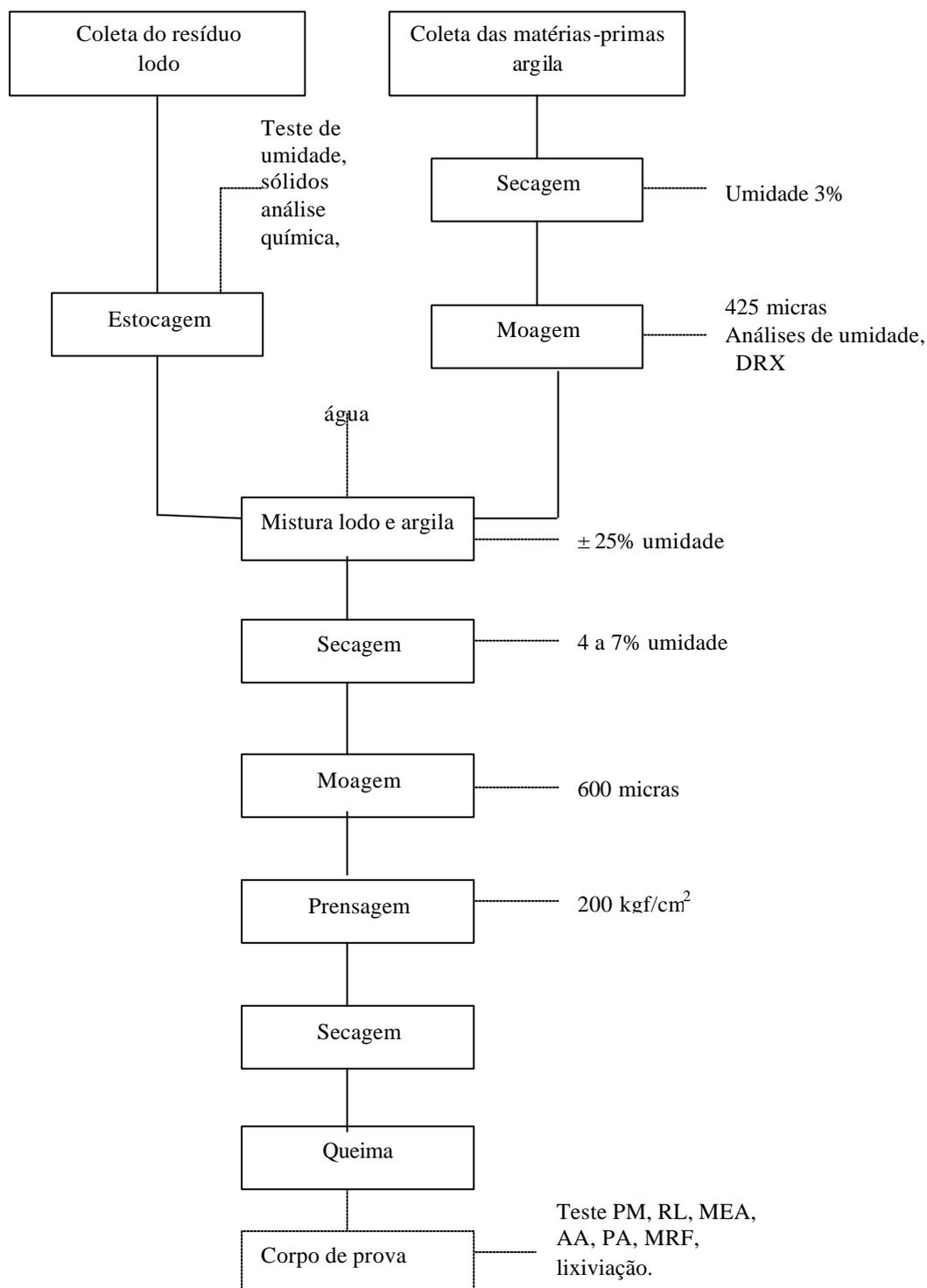


Figura 4 – Fluxograma do processo de fabricação do material cerâmico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

As matérias-primas utilizadas na produção dos corpos de prova foram o lodo e as argilas AST e AT, caracterizadas pelos diversos resultados dos testes e análises descritos a seguir.

5.1.1. Lodo

A Tabela 11 mostra o resultado referente a massa específica, pH e análise química do lodo efetuado no material seco a 75°C.

Tabela 11 – Caracterização do lodo.

Determinação	Resultado	Determinação	Resultado
Massa específica aparente (g/cm ³)	0,81	Ferro total (%)	1,2
Umidade a 75°C (%)	77	Manganês total (%)	0,10
pH	7,2	Sódio total (%)	0,20
Carbono Orgânico(%)	36	Enxofre total (%)	0,92
P ₂ O ₅ total (%)	0,55	Níquel total(mg/kg)	32
K ₂ O total (%)	0,62	Cádmio total (mg/kg)	2,4
CaO total (%)	1,8	Cromo total (mg/kg)	75
MgO (%)	0,3	Mercúrio total (µg/kg)	12
Cobre total (mg/kg)	81	Molibdênio total (mg/kg)	9
Zinco total (mg/kg)	381	Alumínio total (mg/kg)	576
Chumbo total (mg/kg)	54		

Fonte: Trombini 15/05/00.

Na Tabela 12 apresentam-se os resultados da análise química das cinzas do lodo calcinado em mufla a 550°C. Os métodos de análise dos elementos foram os seguintes: a sílica foi determinada pelo método gravimétrico; potássio, pela fotometria de chama;

alumínio, cromo, ferro, chumbo, cádmio, cálcio, magnésio, pela espectrometria de absorção atômica.

Nota-se na Tabela 12 a presença de elementos que são de importância na composição de massa cerâmica, destacando o ferro, potássio e a sílica, quando em proporção apropriada para o produto desejado.

Tabela 12 - Análises dos elementos químicos das cinzas de lodo.

Elementos	Quantidade
Óxido de Alumínio	16,44%
Cromo	0,01%
Ferro	6,94%
Chumbo	0,03%
Cádmio	1,02mg/kg
Cálcio	0,07%
Magnésio	0,91%
Potássio	2,16%
Óxido de Sílica	32,76%

Fonte: Central de Análise do departamento da Química UFSC 10/12/04.

Os resultados da caracterização física do lodo são apresentados na Tabela 13, (o método seguido para realização dos testes, foi o *Standard Methods* (1975)).

Tabela 13 - Caracterização física do lodo

Determinação	Dados em porcentagem (%)
Umidade	82
Sólidos totais voláteis	9,7
Cinzas	8,1

Na Tabela 13 destaca-se a elevada umidade do lodo que, conforme o tratamento e destino final do resíduo, pode acarretar em aumento do custo no tratamento disposição final.

Conforme dados fornecidos pela indústria Trombini, a análise da caracterização do resíduo misto da indústria (lodo da estação de tratamento efluente com as cinzas da caldeira de biomassa), apresenta o resíduo, segundo a norma ABNT 10.004 como pertencente à classe II, considerado resíduo não inerte.

5.1.2. Argila

As argilas Santa Terezinha e Taguá foram caracterizadas em termos de caracterização via difração de raio-X para avaliar a sua mineralogia. Além disto, as argilas foram caracterizadas em ensaios físicos para avaliar a sua possibilidade de utilização na produção de materiais cerâmicos.

5.1.2.1. Argila Santa Terezinha

O difratograma de raio-X da amostra da argila AST utilizada neste trabalho está representado na Figura 5. Verificam-se picos de difração das fases cristalinas refletidas referentes à caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mica ($(\text{K}_1\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{Si}_1\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) e quartzo (SiO_2).

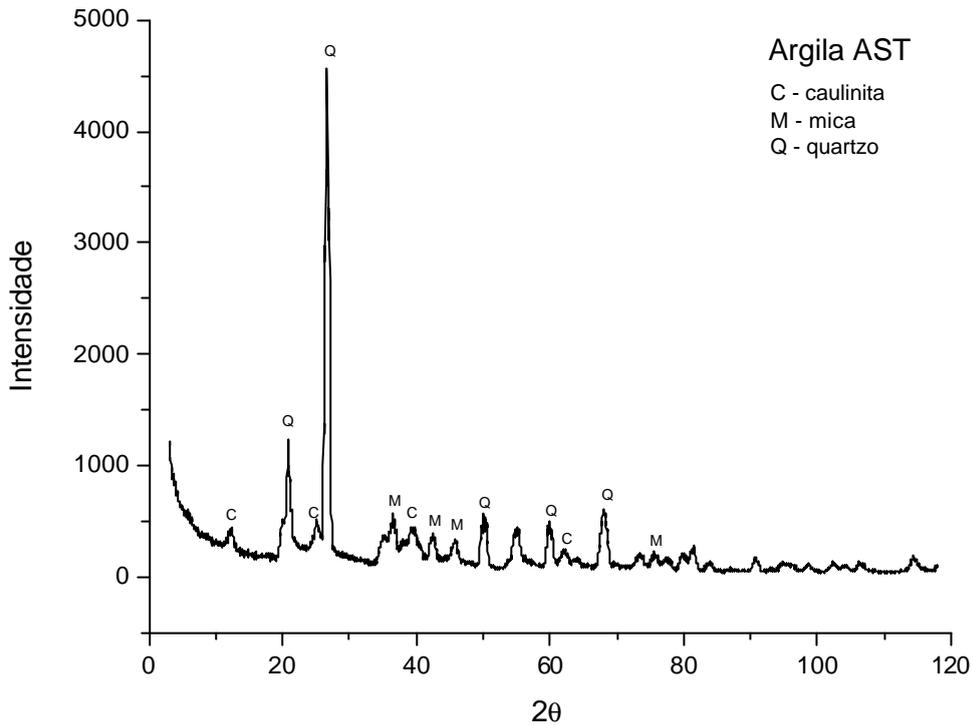


Figura 5 - Difractometria de Raio-X da argila Santa Terezinha (AST).

O difratograma mostra que se trata de uma argila caulínica, com seus picos característicos (picos mostrados por C). Os picos de quartzo (Q) são evidenciados por seu tamanho elevado em relação aos da caulinita; isto é devido ao alto grau de cristalinidade do quartzo em relação à caulinita e não à sua concentração em si. Normalmente, nas argilas caulínicas, o quartzo é apenas uma impureza, sendo a caulinita o material predominante. Isso demonstra que a argila é caulínica plástica (*ball-clay*).

Os resultados dos testes apresentados na Tabela 14 foram fornecidos pela Cerâmica Rainha, que utiliza a argila Santa Terezinha como matéria-prima.

Tabela 14 - Ensaio físicos da Argila Santa Terezinha.

Parâmetros	Resultados
Massa específica aparente seca (g/cm ³)	1,88
Retração de queima 980°C (%)	0,8
Retração de queima 1180°C (%)	4
Perda ao fogo 980°C (%)	4,7
Perda ao fogo 1180°C (%)	6,4
Absorção de água 980°C (%)	15
Absorção de água 1180°C (%)	8

Fonte: Cerâmica Rainha (2004)

5.1.2.2. Argila Taguá

A Tabela 15 mostra a caracterização química da argila Taguá onde os compostos com maior quantidade são: SiO₂, Al₂O e Fe₂O₃ (MORGADO, 1993). Estes dados ressaltam o alto teor de compostos fundentes como o K₂O e o Fe₂O₃. O alto teor de K₂O revela serem os Taguás formados também por micas ílticas hidratadas ou mica moscovita.

Tabela 15 - Análise química do Taguá.

Parâmetros	Resultados (%)	Parâmetros	Resultados (%)
Si O ₂	46,1	CaO	0,27
Al ₂ O ₃	20,3	Na ₂ O	0,6
Fe ₂ O ₃	11,2	K ₂ O	11,4
Ti O ₂	0,87	Mg O	3,44

Fonte: MORGADO (1993)

A caracterização das fases cristalinas da argila AT foi realizada através da técnica de difração de raio-X, cujo difatograma é mostrado na Figura 6. Os resultados revelam picos de difração referentes à caulinita (Al₂(Si₂O₅).(HO)₄), feldspatos, mica (Al₂K(Si_{1,5}Al_{0,5}O₅)₂(OH)₂) e quartzo (SiO₂).

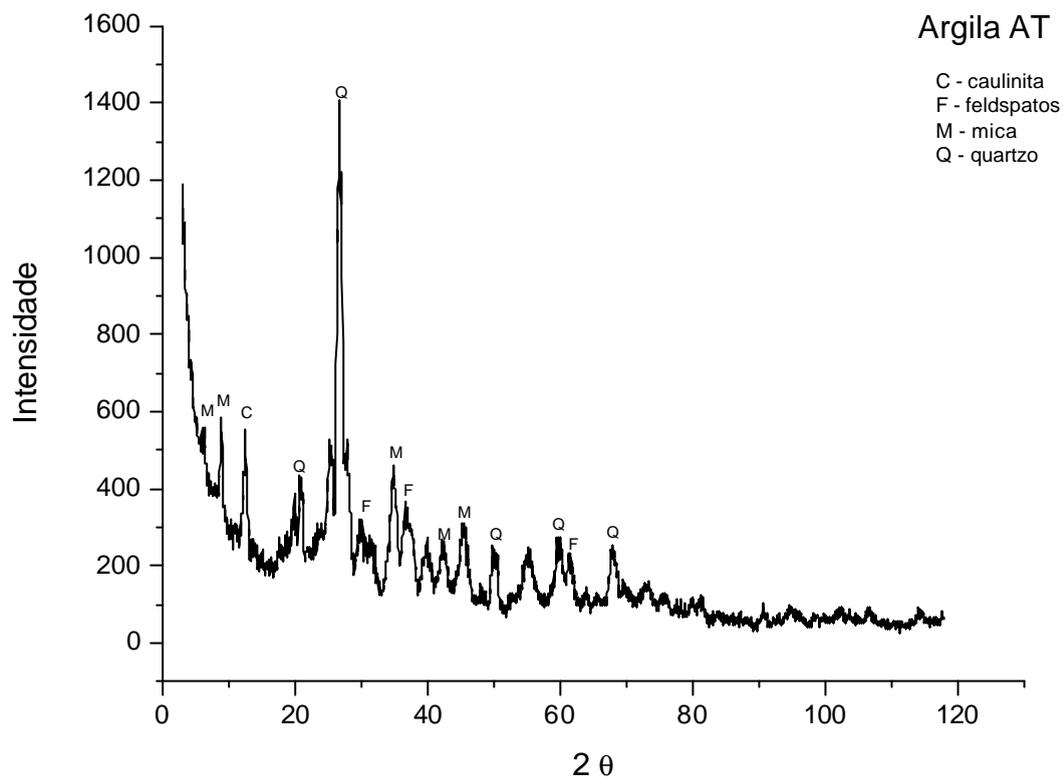


Figura 6 - Difractometria de Raio-X da argila Taguá (AT)

A Tabela 16 mostra os resultados de testes de RL, MRF, AA, PA e MEA feito em corpos de prova com a argila Taguá.

Tabela 16 - Testes obtidos em material cerâmico com argila Taguá.

Parâmetros	Queima a 950°C
Retração linear (%)	0,42
Tensão de Ruptura (kgf/cm ²)	134
(MPa)	13,1
Absorção de água (%)	13,3
Porosidade aparente (%)	25,5
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	1,92

Fonte: MORGADO (1993).

5. 2. AVALIAÇÃO DO PRODUTO FINAL

Os resultados obtidos nos corpos de prova produzidos com as duas argilas (AST, AT), tendo em sua composição 30 e 35 (%) de lodo, respectivamente, foram descartados pela avaliação visual e aspectos físicos, onde depois de secos, os corpos de prova apresentaram um esfarelamento e uma baixa resistência mecânica. Isso ocorreu devido ao excesso de fibras que continha no lodo. As amostras com 25 % de lodo, tanto para a mistura da argila AT como AST, foram descartadas devido ao surgimento de trincas após a queima.

O teste de queima que foi realizado com a temperatura de 1000°C em corpos de prova com formulação da mistura do lodo com argila AT e amostra padrão da AT. Os resultados ilustram as mesmas características dos corpos provas obtidas com a queima 950°C, apresentando nos mesmos um pequeno defeito de planaridade.

Os corpos de prova produzidos com a argila AT mais lodo queimados a 1050°C tiveram resultados final sem alteração visível. A Figura 7 mostra os corpos de prova das formulações da argila AT da queima à 1050°C.



Figura 7 - Corpos de prova das formulações da argila AT da queima à 1050°C.

Os testes de queima realizados nos corpos de prova com argila AT com diferentes porcentagens de lodo e amostra padrão, na temperatura 1100°C e 1150°C, tiveram uma expansão pirolástica considerável, aumentando gradativamente com o aumento da porcentagem de lodo.

Os testes de queima das amostras com AST mais lodo a 950°C e 1000°C tiveram resultados padrões sem alteração. Onde os corpos de prova da queima 950 °C podem ser observados na Figura 8.



Figura 8 - Corpos de prova das formulações da argila AST da queima à 950°C.

A Tabela 17 apresenta as cores obtidas nos corpos de prova produzidos pelas formulações das duas argilas (AT, AST) e o lodo, após diferentes temperaturas de queima.

Tabela 17 - Cores dos corpos de prova após a queima.

Temperatura °C	950	1000	950	1050 – 1100 - 1150
Argila mais lodo	AST + lodo	AST + lodo	AT + lodo	AT + lodo
Cor	Bege claro	Bege escuro	Avermelhado	Marron avermelhado

Para o critério de cor (Tabela 17) em materiais cerâmicos após a queima, é possível dividir os produtos em dois grupos: os produtos de queima vermelha e os produtos de queima branca.

A cor avermelhada dos corpos de prova tem relação com o teor de Fe_2O no material (VIEIRA *et al.*, 2004).

As Figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14 apresentam os resultados dos testes PM, LR, AA, PA, MEA e RM obtidos com os materiais das formulações das argilas AT, AST com diferentes porcentagens de lodo, em temperaturas de queima diferentes.

A Figura 9 mostra os resultados obtidos nos testes de perda de massa das formulações das argilas AT e AST, em diferentes temperaturas de queima.

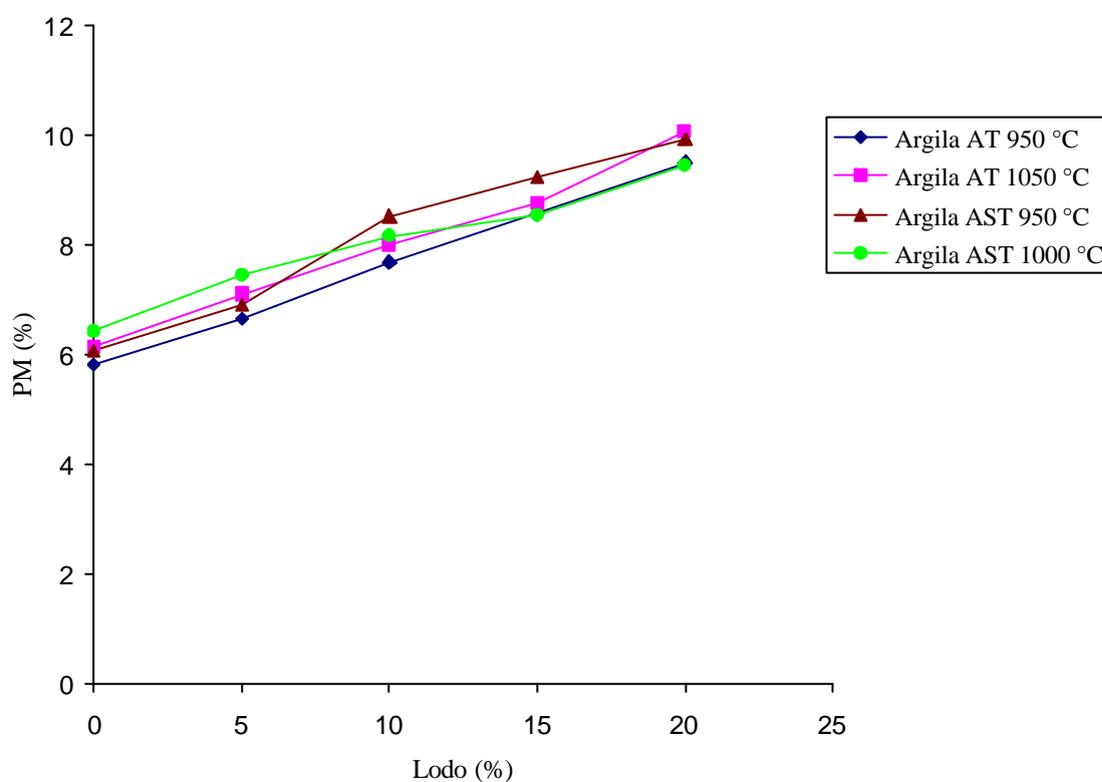


Figura 9 - Perda de massa (PM) em diferentes % de lodo com as argilas AST e AT em diferentes temperaturas de queima.

Na Figura 9 observa-se que a perda de massa ao fogo das amostras com argila AT e AST padrão não tiveram variação significativa com o aumento da temperatura de

queima; no entanto as amostras, nas quais tinha sido adicionado porcentagem de lodo, tiveram um aumento gradativo da perda massa com o aumento da porcentagem de lodo. Isso ocorreu devido à combustão da matéria orgânica contida no lodo quando da queima dos corpos de prova.

Na Figura 10 encontra-se os resultados obtidos dos testes de retração linear nas formulações das duas argilas AT e AST, em duas temperaturas de queima para cada tipo de argila.

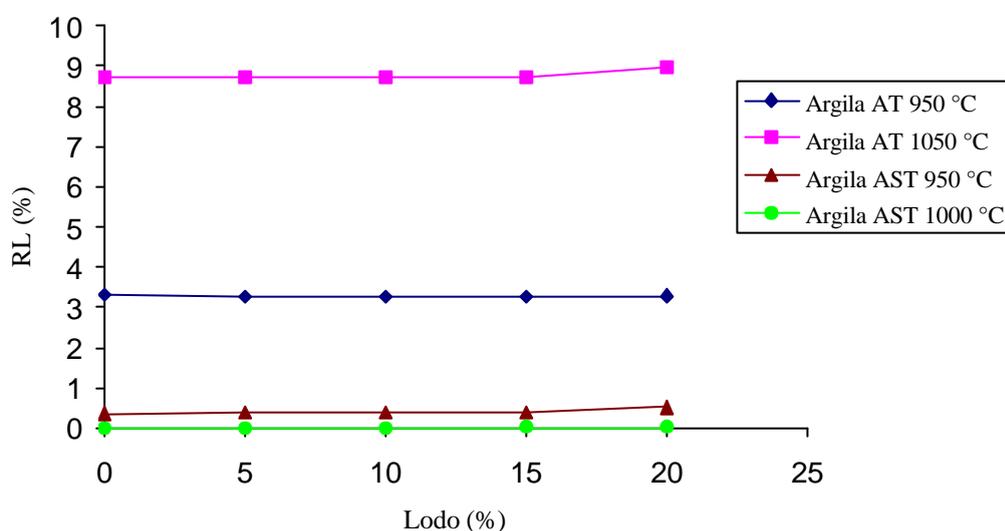


Figura 10 - Retração Linear (RL) com diferentes temperaturas de queima em diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.

Os resultados da retração linear (Figura 10), em função da temperatura de queima e porcentagem de lodo, mostram que a RL dos corpos de prova com formulações da AST, não sofreram variações significativas com o aumento da temperatura e nem com o aumento na porcentagem de lodo, sendo inferior a 0,6%. Já para os corpos de prova com formulações da argila AT, a RL aumentou com o aumento

da temperatura de queima. Isto se deve ao maior grau de vitrificação (formação da fase vítrea), que contribui para maior densificação dos corpos de prova e com isso maior RL.

A RL é fundamental para a determinação das dimensões do produto final. A manutenção do valor da RL garante a obtenção de um produto classificado dentro de uma faixa estrita de tamanho, o que se reverte em redução no custo de produção, (CASAGRANDE, 2002, p.46).

A Figura 11 mostra o efeito da absorção d'água em função da temperatura para as formulações estudadas neste trabalho.

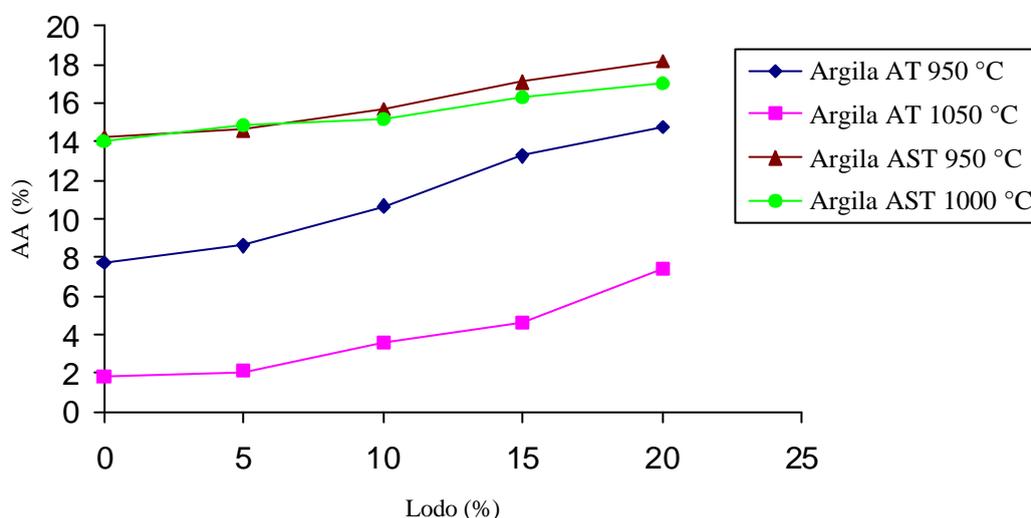


Figura 11 - Absorção da Água (AA) em diferentes temperaturas de queima com diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.

Os testes de AA (Figura 11) estão associados às propriedades e ao tipo de microestrutura formada no material quando da queima e seu controle implica em uma forma simplificada de controle da porosidade, que pode interferir em outras propriedades do produto acabado. É observado nos corpos de prova que têm em sua composição a argila AST, a ocorrência de pouca variação nos valores de absorção da água, com o aumento da temperatura de 950°C para 1000°C. Já nos resultados de absorção da água do material que têm em sua composição a argila AT ocorreu uma

diminuição considerável com o aumento da temperatura de 950°C para 1050°C, em todas as formulações da argila AT. Isto se deve ao resultado do aumento na densificação do material, tendo um maior contato partícula-partícula. Já em relação ao aumento da porcentagem de lodo nos corpos de prova, para as duas argilas AST e AT, pode se observar que não há praticamente variação na absorção da água nas amostras padrão e na de 5% de lodo. No entanto, para as demais porcentagens de 10%, 15% e 20% de lodo, há um aumento considerável na absorção da água, bem como um aumento gradativo com o aumento da porcentagem do lodo na formulação. Este resultado indica um aumento na porosidade do material que aumenta com a concentração do lodo. A porosidade é formada provavelmente pela combustão da matéria orgânica do lodo na queima do material.

A Figura 12 ilustra os resultados obtidos dos testes de porosidade aparente nas formulações das duas argilas AT e AST, em duas temperaturas de queima para cada tipo de argila.

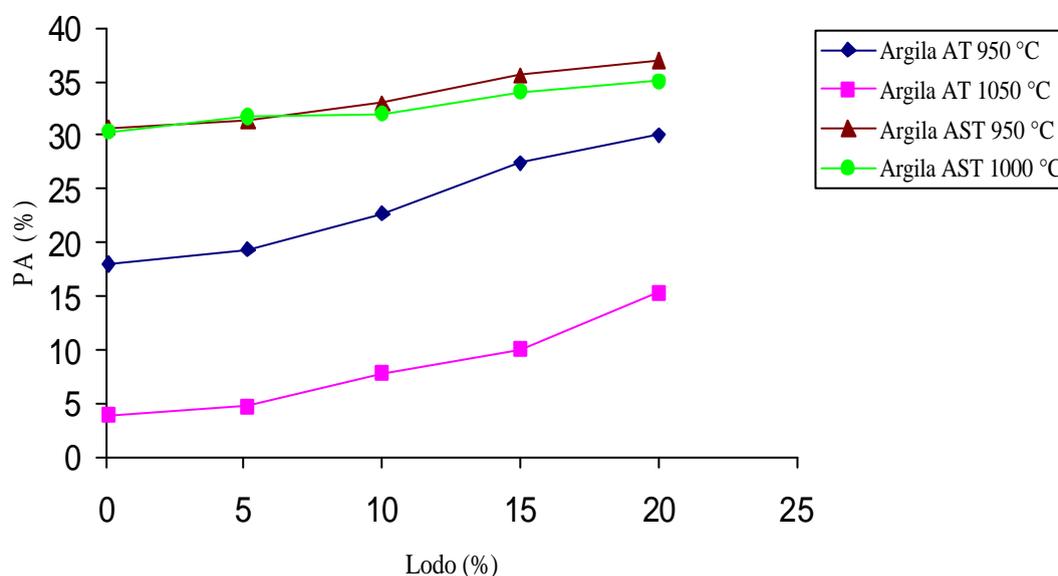


Figura 12 - Porosidade Aparente (PA) em diferentes temperaturas de queima com diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.

A Figura 12 mostra que os corpos de prova com formulações da argila AST possuem uma porosidade elevada não tendo variação significativa com o aumento da

temperatura. Já para os corpos de prova com formulações da argila AT, há uma diminuição na porosidade aparente com o aumento da temperatura 950°C para 1050°C. Com relação à avaliação da composição das porcentagens das argilas AT e AST, nos corpos de prova, pode-se observar que há pouca variação na porosidade aparente para as amostras padrão 100% argila e com 5% de lodo. No entanto, para as demais porcentagens de 10%, 15% e 20% de lodo, há aumento gradativo na porosidade aparente com o aumento da porcentagem do lodo.

A Figura 13 apresenta os resultados da MEA das formulações estudadas em diferentes temperaturas.

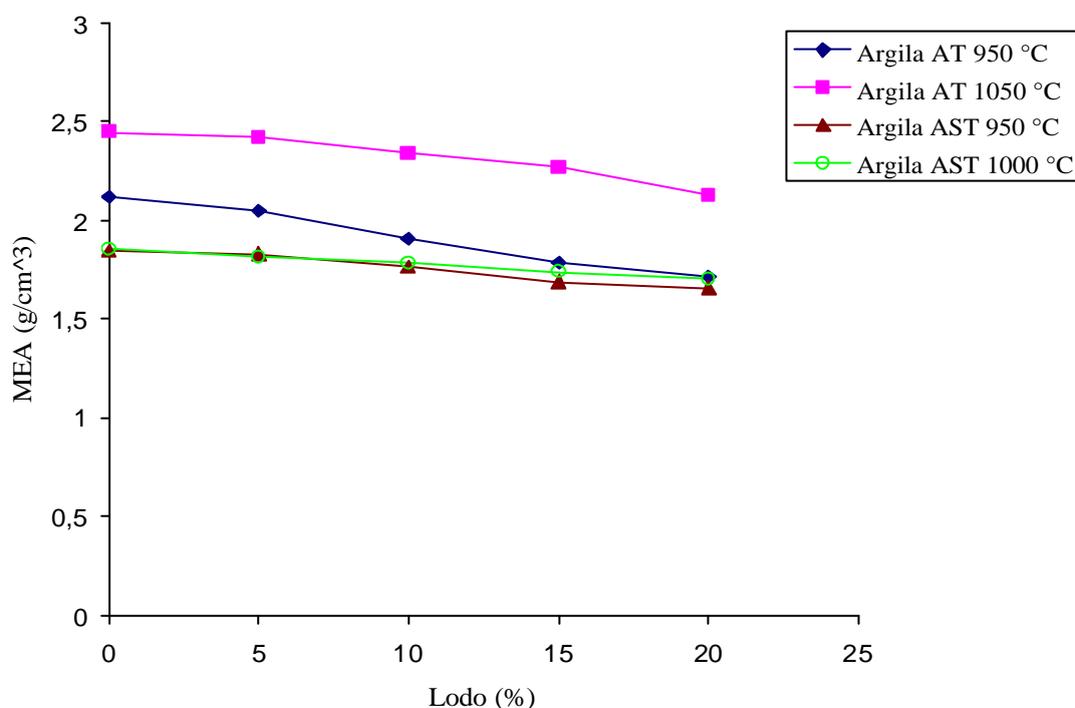


Figura 13 - Massa Específica Aparente (MEA) em diferentes temperaturas de queima e diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT

De acordo com os resultados apresentados na Figura 13, para as formulações que continham em sua composição argila AT, a MEA aumentou à medida que aumentou a

temperatura. Isto ocorreu devido à densificação do material no processo de sinterização, ainda analisando a argila AT com a queima à 1050°C. Observou-se que há pouca variação na MEA para amostra padrão (100% argila) até 5% de lodo. No entanto, para as demais porcentagens de 10%, 15% e 20%, há diminuição considerável na MEA com o aumento da porcentagem do lodo. Já para as formulações da argila AST, a MEA praticamente não se altera com o aumento da temperatura; no entanto há uma pequena diminuição com o aumento na porcentagem de lodo.

Outra importante propriedade do produto final, intimamente ligada à absorção da água, porosidade e massa específica aparente, é a resistência mecânica (RM). Sua importância está relacionada à classificação do produto em termos de solicitações mecânicas em uso estrutural. A Figura 14 apresenta os resultados obtidos na RM em função da temperatura para as formulações estudadas.

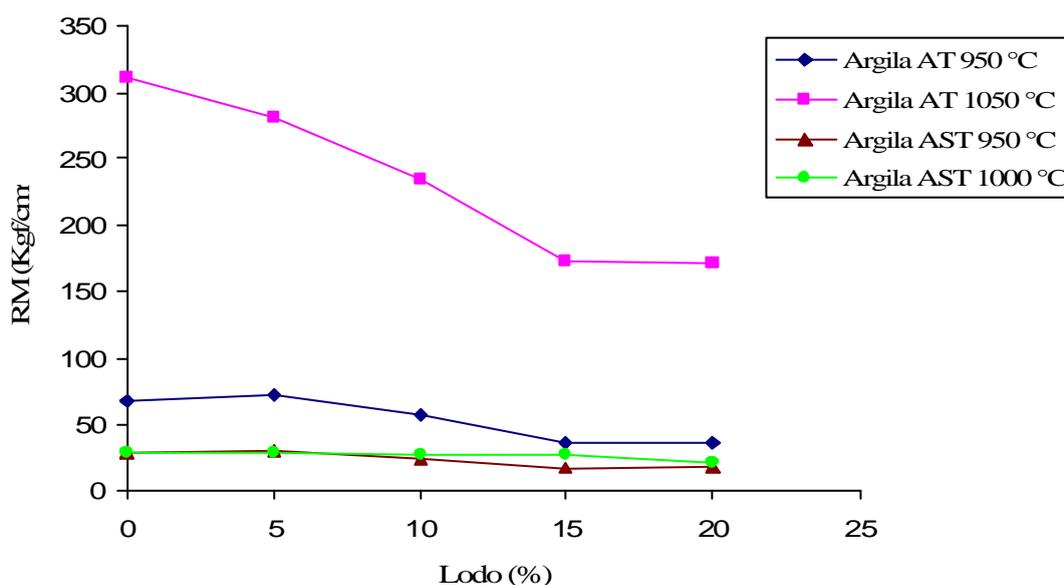


Figura 14 - Resistência Mecânica (RM) em diferentes temperaturas de queima em diferentes porcentagens de lodo e com as argilas AST e AT.

Os corpos de prova produzidos com formulações com a argila AST praticamente não apresentaram variação na RM (Figura 14), nem com o aumento da temperatura e nem com o aumento da porcentagem de lodo. Já para os corpos de prova produzidos com formulações da argila AT, ocorreu um aumento considerável com o aumento da temperatura, apresentando uma diminuição com o aumento da porcentagem de lodo até 15%, e mantendo-se no mesmo valor para a amostra com 20% de lodo. Os resultados para a temperatura de queima de 1050°C para os corpos de prova com formulações da argila AT tiveram um decréscimo muito maior com o aumento da porcentagem de lodo, quando comparado ao de queima de 950°C da formulação com argila AT.

A Figura 15 mostra os resultados de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente na queima a 950°C, com formulações da argila AST.

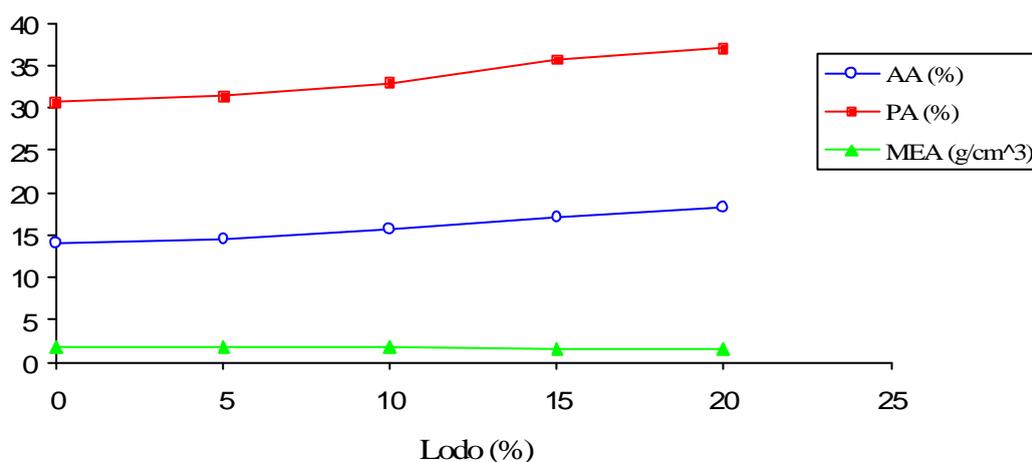


Figura 15 - AA, PA, MEA na queima a 950°C com formulações da argila AST.

A Figura 16 mostra os resultados de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente na queima a 1000°C, das formulações com argila AST.

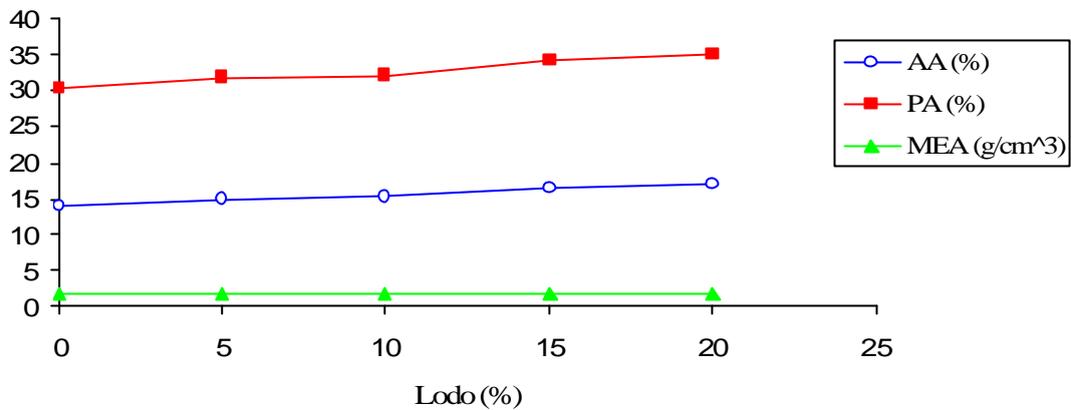


Figura 16 - AA, PA, MEA na queima a 1000°C com formulações da argila AST.

As Figuras 15 e 16 referem-se à AA, PA, MEA nas formulações da argila AST em duas temperaturas de queima, 950°C e 1000°C respectivamente, onde pode ser visto que quanto maior AA, menor é a MEA e maior é a PA. Isto indica que há uma influência entre os parâmetros; que estão ligados entre si pela sinterização no efeito de consolidações das partículas dentro do produto, onde quanto menos denso (menor densidade) mais poros abertos (maior porosidade) e com isso mais absorção de água no produto (maior absorção de água).

Nas Figuras 17 e 18 são apresentadas a AA, PA, MEA nas formulações da argila AT, nas duas temperaturas de queima 950°C e 1050°C.

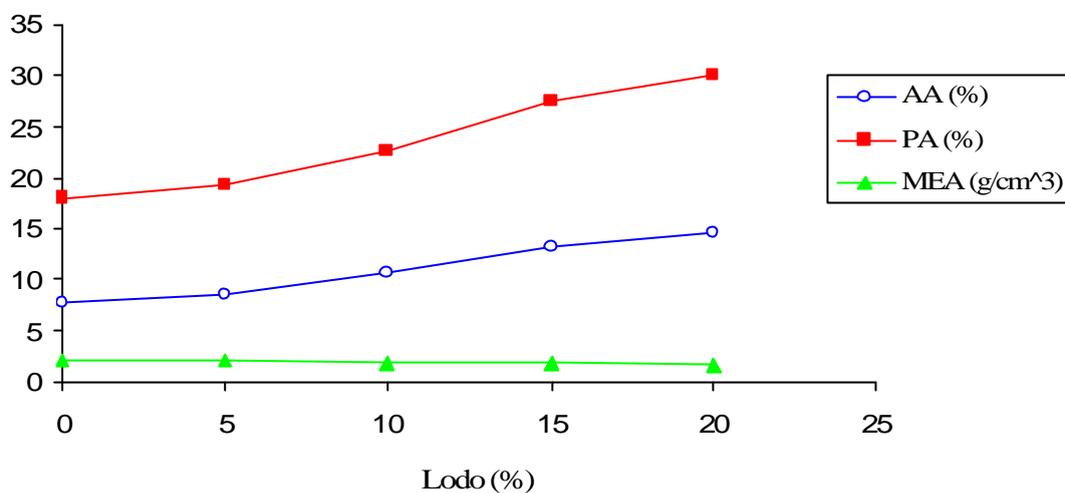


Figura 17 - AA, PA, MEA na queima a 950°C com formulações da argila AT.

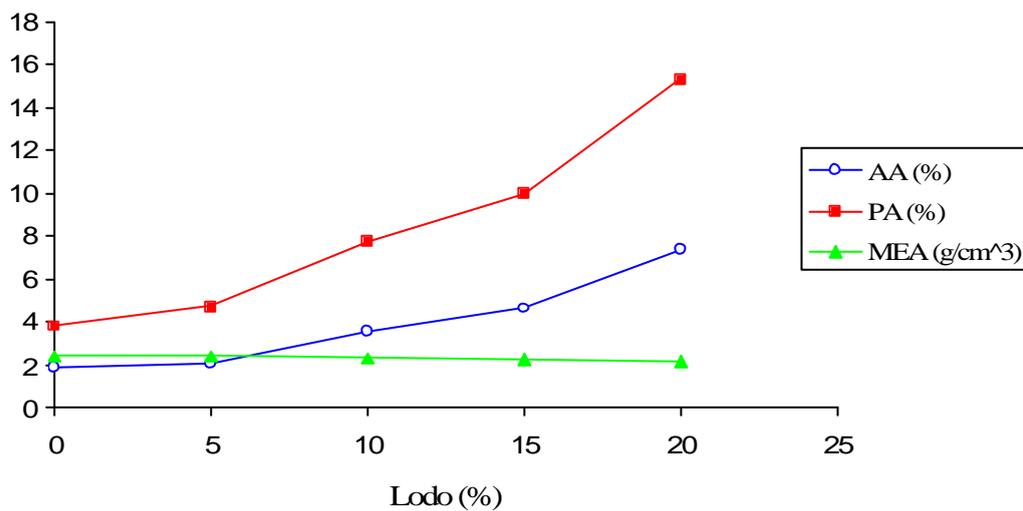


Figura 18 - AA, PA, MEA na queima a 1050°C com formulações com argila AT.

Analisando-se as Figuras 17 e 18, pode-se, verificar que há um aumento significativo nos parâmetros de AA, PA e uma diminuição na MEA com o aumento da porcentagem do lodo nos corpos de prova. Avaliando os três parâmetros de AA, PA e MEA (Figura 17 e 18), pode-se observar que quanto maior AA, menor é a MEA e maior é a PA.

Para classificar os resultados obtidos dentro das normas de materiais cerâmicos estruturais e de revestimento, adotou-se as seguintes normas: tijolo maciço cerâmico (NBR 7170/1983), blocos cerâmicos (tijolo furado - NBR 7171/1992) e a de classificação dos materiais de revestimento cerâmico (NBR-NBR 13817/1997). Nas Tabelas 18, 19 e 20 são apresentadas as classificações dos resultados obtidos através dos corpos de prova comparados aos dados exigidos pelas normas.

Nos corpos de prova com formulações da argila AST, tanto para a queima de 950°C como de 1000°C, os resultados mostraram (Tabela 18) que as formulações com 0 e 5% de lodo tiveram as mesmas classificações. Já para resultados mostrados na Tabela 19, as amostras com 5, 10, 15 % de lodo tiveram uma classificação igual à amostra padrão que é constituída de 100% de argila.

Tabela 18 - Classificação dos corpos de prova AST-950°C de acordo com as normas NBR 7171/1992 e NBR 7170/1983.

Amostra AST – 950°C		NBR 7170/1983 – Tijolo maciço cerâmico		NBR 7171/1992 – Blocos cerâmicos (tijolo furado)	
Lodo (%)	RM Kgf/cm ²	RM Kgf/cm ²	Classificação	RM Kgf/cm ²	Classificação
00	29,98	25 < 40	Classe-B	25 < 45	Classe-25
05	31,81	25 < 40	Classe-B	25 < 45	Classe-25
10	24,67	15 < 25	Classe-A	15 < 25	Classe-15
15	18,35	15 < 25	Classe-A	15 < 25	Classe-15
20	18,66	15 < 25	Classe-A	15 < 25	Classe-15

Tabela 19 - Classificação dos corpos de prova AST-1000°C de acordo com as normas NBR 7171/1992 e NBR 7170/1983.

Amostra AST – 1000°C		NBR 7170/1983 – Tijolo maciço cerâmico		NBR 7171/1992 – Blocos cerâmicos (tijolo furado)	
Lodo (%)	RM Kgf/cm ²	RM Kgf/cm ²	Classificação	RM Kgf/cm ²	Classificação
00	29,06	25 < 40	Classe-B	25 < 45	Classe-25
05	31,08	25 < 40	Classe-B	25 < 45	Classe-25
10	28,96	25 < 40	Classe-B	25 < 45	Classe-25
15	27,63	25 < 40	Classe-B	25 < 45	Classe-25
20	22,74	15 < 25	Classe-A	15 < 25	Classe-15

A Tabela 20 mostra que a produção de corpos de prova com 5% lodo e 95% de argila AT na temperatura de queima 950°C, apresentou melhor resultado que a própria amostra padrão 100% argila, conforme a norma NBR 7171/ 1992 de blocos cerâmicos.

Tabela 20 – Classificação dos corpos de prova AT-950°C segundo a norma NBR 7171/1992 de blocos cerâmicos.

Amostra AT – 950°C		NBR 7171/1992 – Blocos cerâmicos (tijolo furado)		
Lodo (%)	RM - (Kgf/cm ²)	RM - (Kgf/cm ²)	Classificação	
0	68,83	60	Classe-60	
5	72,50	70	Classe-70	
10	58,02	45	Classe-45	
15	36,91	25	Classe-25	
20	36,91	25	Classe-25	

Segundo a NBR 7171/1992 de blocos cerâmicos, as especificações de AA é de 8 a 25%. E segundo a NBR 7170/1983 - Tijolos maciços, não há uma especificação para o

teste de absorção da água. Observou-se (Figura 11) que as formulações das duas argilas AST e AT na temperatura de queima de 950°C, independente da porcentagem de lodo, incluindo a amostra padrão, apresentaram valores de absorção d'água dentro da faixa de especificações (8 – 25%).

Para classificar os resultados obtidos dentro das normas de materiais cerâmicos para revestimento usou-se a norma da ABNT-NBR 13817 (1997). A Tabela 21 apresenta a classificação dos resultados obtidos pela referida norma.

Tabela 21 – Classificação dos corpos de prova AT–1050°C segundo a norma ABNT-NBR 13817 (1997).

Amostra AT – 1050°C			Classificação dos materiais revestimentos Cerâmicos (ABNT-NBR 13817 (1997))			
Lodo (%)	AA (%)	RM (Kgf/cm ²)	Grupos	AA (%)	RM (kgf/cm ²)	Definição do produto
0	1,84	311,22	BIb	0,5 < AA = 3	300 a 450	Grés
5	2,08	281,24	BIIa	3 < AA = 6	220 a 350	Semi-grés
10	3,57	233,41	BIIa	3 < AA = 6	220 a 350	Semi-grés
15	4,66	172,33	BI Ib	6 < AA = 10	150 a 220	Semi-poroso
20	7,39	171,82	BI Ib	6 < AA = 10	150 a 220	Semi-poroso

Os resultados obtidos nos corpos de prova com as formulações da argila AT na temperatura de queima 1050°C, podem ser relacionados aos resultados de classificação para definição do produto. As formulações com 5 e 10 % de lodo podem ser usadas para piso e parede. Já para 15 e 20 % de lodo, o seu uso está recomendado só para paredes.

O teste de lixiviação foi feito com os corpos de prova que tinham em sua composição 10% de lodo e 90% de argila Taguá com a temperatura de queima de 1050°C, conforme resultados mostrados na Tabela 22.

Tabela 22 - Classificação dos corpos de prova, segundo ABNT NBR 10004:2004, considerando o teste de lixiviação.

Parâmetros	Resultados	Limite Máximo no Lixiviado
Arsênio mg/L	0,037	1,0
Cádmio mg/L	ND	0,5
Chumbo mg/L	ND	1,0
Cromo Total mg/L	ND	5,0
Mercúrio mg/L	ND	0,1
pH Inicial	6,7	NA
pH Final	4,9	NA

Fonte:UNESC – IPAT, 2005

Observações: ND = Não Detectado

NA = Não Aplicável

A análise dos resultados apresentados na Tabela 22 mostra que os parâmetros analisados de arsênio, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, não ultrapassam os limites máximos permitidos pela norma, sendo classificado como resíduo não perigoso pertencente á classe II (**Limites constantes no anexo F da ABNT NBR 10004:2004**). Neste caso ainda foram analisados os parâmetros de massa específica aparente = 2,26 g/ml e Sulfeto = 0,06 %.

5.2.1. Resultados obtidos da queima a 1100 e 1150°C das formulações com argila AT.

Nos corpos de prova com formulações da argila AT, que foram queimados a 1100°C, houve uma expansão pirolástica considerável, aumentando gradativamente com o aumento da porcentagem de lodo. Por outro lado, a amostra padrão (100% argila) não apresentou expansão pirolástica, como era de se esperar.

O teste de queima a 1150°C apresentou, em todos os corpos de provas, incluindo a amostra padrão, uma expansão pirolástica elevada aumentando com o aumento da porcentagem de lodo nas amostras. A expansão pirolástica pode ser vista na Figura 19.



Figura 19 - Corpos de prova das formulações da argila AT queimados à 1150°C.

O efeito da expansão pirolástica pode ser interpretado como sendo devido à formação e desprendimento de gases no interior da peça pela oxidação de compostos orgânicos, que não conseguem escapar devido à formação da camada vítrea da parte externa da amostra. Nessas amostras foi observada ainda a presença de “coração negro” no seu interior que é também causado pela matéria orgânica.

A expansão pirolástica da argila Taguá com adições de lodo indica a possibilidade de produção de agregado leve com esse material. Como os agregados leves são produzidos em temperaturas em torno de 1250°C, isto significa possibilidades de obtenção de agregados leves em temperaturas um pouco inferior a esta, com sensível economia de energia na queima. No entanto, esta possibilidade deverá ainda ser comprovada com novos testes específicos para agregado leve. Envolvendo a temperatura de queima e adição de lodo a mesma argila Taguá.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, é possível afirmar que a incorporação de lodo da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico nas condições descritas nesse trabalho teve às seguintes conclusões:

- A avaliação das porcentagens de lodo adicionado na argila para produção dos corpos de prova nos testes de queima a 950°C demonstrou que a produção dos corpos de prova com 5% de lodo e 95 % de argila AT tiveram uma melhor classificação como produto de bloco cerâmico do que a própria amostra padrão 100% argila AT conforme apresenta NBR 7171; já para o teste de queima a 1050°C, com a mesma formulação de argila AT, houve um melhor resultado para a amostra padrão (100% argila AT) do que as formulações com lodo. No entanto, para os corpos de prova produzidos com as formulações com argila AST e lodo, os melhores resultados demonstrados na RM foram os que tinham em suas formulações 5% de lodo, tanto para os corpos de prova que sofreram queima a 950°C, como para os que foram queimados a 1000°C, tendo sido classificado pelas normas vigentes iguais a amostra padrão.
- Através dos resultados obtidos com as duas argilas AT e AST nos corpos de prova, pode-se concluir que a mais adequada foi a argila AT, com os melhores resultados nos testes de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência mecânica, resultando com isso em uma melhor classificação nos corpos de prova. Quanto aos resultados dos parâmetros de perda de massa e retração linear, a argila denominada argila AST teve melhores resultados.
- O aumento da temperatura nos testes de queima de 950°C para 1000°C nos corpos de prova com as formulações da argila AST e lodo não provocou alterações significativas, pois através das análises pode-se verificar que os mesmos apresentaram parâmetros semelhantes. No entanto, para os corpos de prova com formulações da argila AT e lodo, percebeu-se que com o aumento da temperatura de 950°C para 1050°C, houve uma alteração significativa apresentando melhores resultados. Para os testes de queima à 1100°C nos corpos de prova das formulações com a argila AT, ocorreu uma expansão piropiástica acentuada nos corpos de prova, que continham em sua composição porcentagens diferenciadas de lodo, aumentando

gradativamente a expansão, conforme o aumento da porcentagem do lodo. No entanto, os corpos de prova padrão (100% argila AT) não apresentaram expansão pirolástica. Já para os testes de queima à temperatura de 1150°C, todos os corpos de prova, inclusive o da amostra padrão, tiveram expansão pirolástica, sendo que o aumento gradativo da porcentagem de lodo, nas formulações dos corpos de prova, provocou um aumento na expansão. A expansão pirolástica é um indicador da possibilidade de produção de agregado leve. Os agregados leves têm diversas propriedades específicas, tendo como uma das principais a baixa massa específica aparente. Os testes mostraram uma massa específica aparente alta que pode ser diminuída, no caso da argila AT, com o aumento da temperatura de queima de 1100 a 1150°C, nos corpos de prova.

- Neste trabalho, a prensagem foi a forma utilizada para conformação dos corpos de prova, mas outros métodos de conformação podem ser utilizados como a extrusão. A utilização do processo de extrusão na moldagem dos materiais cerâmicos estrutural permite o uso de maiores teores de umidade com provável melhoria dos resultados.
- Um dos pontos mais importantes que se deve levar em conta para viabilidade econômico na produção industrial deste produto, está na distância da indústria cerâmica ao ponto de coleta do lodo, que não deve ser muito maior que a distância da própria jazida da indústria.

A importância desse trabalho foi a de produzir materiais com qualidade e enquadrados dentro das normas brasileiras para materiais cerâmicos, adicionando aos mesmos, diferentes porcentagens de lodo. A principal vantagem na produção destes materiais está no benefício que esse produto trará ao meio ambiente, onde haverá menos resíduos descartados no ambiente, menor remoção de recursos naturais (argila) e menor gasto com disposição do lodo, resultando em benefícios ambientais devido a redução na disposição e conseqüentemente melhoria na qualidade de vida do homem.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas as principais sugestões para trabalhos futuros:

- Estudar a adição do lodo em outros tipos de argilas;
- Testar outros parâmetros de processo (pressão de compactação da prensagem, temperatura de queima e tempo de queima), tendo como objetivo a redução de custo de produção;
- Avaliar a produção de gases no processo de queima;
- Estudar a mistura de lodo mais a argila Taguá (AT) para a produção de agregado leve, em temperaturas na faixa de 1150 - 1250°C;
- Avaliar o consumo de energia na produção material cerâmico com adição de lodo.
- Testar o processo de extrusão para moldagem dos corpos de prova das formulações da argila Santa Terezinha.

8. REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos cerâmicos para alvenaria, especificação: NBR 7171/1992.**

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de resíduos, procedimento: NBR ISSO 10005 – 2004.**

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento, classificação: NBR ISSO 13817, ABR de 1997.**

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas cerâmicas para revestimento, especificação e métodos de ensaios: NBR ISSO 13818, ABR de 1997.**

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos, classificação: NBR ISSO 10004 - 2004.**

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos, classificação: NBR ISSO 10004 - 1987.**

AMBRÓSIO M. C. R.; SILVA F. T.; DUAILIBI J. Fh., **Blocos cerâmicos de alta porosidade**, Revista Cerâmica Industrial, 9 (2004), p. 40-46.

ARROJA L.; LOURO M.; CAPELA I, **Gestão integrada de resíduos em fábrica de pasta para papel em Portugal**, Revista O Papel / Aveiro, Ano V, nº 1, Abril de 2005, p. 48 – 55.

BATTISTELLE R. A. G; FARIA O. B; LOPES A. A, **Caracterização Química e Toxicológico de Resíduos Industriais de Celulose e Papel Empregados na Produção de Adobe**, VIII Simpep – Simpósio de Engenharia de Produção 1993.

<http://www.simpep.heb.unesp.br/anais8/ana8c.html>, Acessado em 29/09/05.

Boletim do WRM, **Os impactos da produção de celulose**, nº 83, junho, 2004.

<http://www.wrm.org.ay/boletim/83/cenario.html> , Acessado em 1/11/05.

BONI M. R.; D'APRILE L; CASA G., **Environmental quality of primary paper sludge**, Journal of Hazardous Materials, B 108 (2004), p.125-128.

BRACELPA www.bracelpa.org.br, Acessado em 12/05/05, 2005a.

BRACELPA www.bracelpa.org.br/br/index.htm, Acessado em 1/11/05, 2005b.

CAPUTO A.C.; PELAGAGGE P. M., **Waste-to-energy plant for paper industry sludges disposal: technical-economic study**, Journal of Hazardous Materials, B 81 (2001), p.265-283.

CASAGRANDE M. N., **Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002, UFSC, Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais.

CERAMICA RAINHA, Informação pessoal laboratorio@crainha.com.br, dados obtidos em 10 dezembro 2004.

CHIH-HUANG WENG; DENG-FONG LIN; PEN-CHI CHIANG, **Utilization of sludge as brick materials**, Advances in environmental research, 7 (2003), p.679-685.

CHIN-TSON LIAW; HUI-LAN CHANG; WEN-CHING HSU; CHI-RU HUANG, **A novel method to reuse paper sludge and co-geration ashes from paper mill**, Journal of Hazardous Materials, 58 (1998), p.93-102.

D'ALMEIDA M. L. O.; PHILIPP P., **Celulose e papel – Tecnologia de fabricação do papel**, V. II, 2º edição, editora IPT, 1988.

DIAS O. C. M.; PEREIRA B. C. M.; DIAS F. L. P.; VIRGÍNIO F. J, **Manual de Impactos Ambientais**, Banco do Nordeste, p.175-176, Fortaleza 1999.

DOS SANTOS A. H.; MELNICK V.; OLIVEIRA M. G.; RODRIGUEZ A. M.; BERG E. A. T.; PIANARO S. A., **Caracterização tecnológica de rejeitos industriais de xisto para fabricação de grês vermelho**, Revista Cerâmica Industrial, 10 (1) janeiro/fevereiro, 2005.

FERNANDES P. F.; **Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica**, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002, UFSC, Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais.

FERNANDES P. F.; OLIVEIRA A. P. N.; HOTZO D., **Reciclagem do lodo da estação de tratamento de efluente de uma indústria de revestimentos cerâmicos. Parte 1: ensaios em laboratoriais**, Revista Cerâmica Industrial, 8 (2), março/abril, 2003.

FONSECA J. A. V. M.; BARBOSA M.; PINTO N. O.; SALAN R. S.; DRAGONI SOBRINHO G.; BRITO N. N.; CONEGLIAN C. M. R.; TONSO S.; PELEGRINI R., **Tratamento de efluentes líquidos de indústria de papel e celulose**, Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP. III Fórum de estudos contábeis 2003.

GÖTTSCHING L; PAKARINEN H., **Recycled fiber and deinking**, editora TAPPI, livro 7^o, 2000.

INDÚSTRIA TROMBINI S/A, **Informação pessoal**, 2005.

INDÚSTRIA TROMBINI S/A, 2000.

JONES J. T.; BERARD M. F., **CERAMIC, Industrial Processing and Testing**, Library of Congress, Ames, Iowa, USA, 1985.

JONKER A.; POTGIETER J. H., **An evaluation of selecte waste resources for utilization in ceramic materials applications**, Journal of the Europcan Ceramic, Society, 25 (2005).

LIMA G.; BATISTA A.; MALHERIROS R.; LUCENA J. C.; CUNHA A.; PORTELA C.; ALVES R., **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização Indústria de Papel e Celulose**, Publicações Projeto CPRH, Recife 1998.

LIMA J. F., **Aproveitamento da lama de lavagem do minério de ferro: estudo de caso na mineração Urucum-Corumbá/MS**, Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Florianópolis 2002.

MELCHIADES F. G.; DEL ROVERI C.; SOTÉIRO J.; SILVA L. L.; BOSCHI A. O., **Controle dimensional e do formato de revestimento cerâmico. Parte I: Dimensões**, Cerâmica Industrial, 6 (5) setembro/outubro, 2001.

MENDES M. R., **Desenvolvimento de agregados leves a partir de subproduto da mineração de carvão e de lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria têxtil**, Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis 1998.

MENENGON G; DA LUZ G, **Tendências do mercado de matérias-primas para massas de revestimentos cerâmicos**, Cerâmica Industrial, 9 (2) março/abril, 2004.

MENEZES R. R.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C., **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v6, n2, p.303-313, (2002a).

MENEZES R. R.; FERREIRA H. S.; NEVES G. de A; FERREIRA H. C., **Uso de rejeitos de granitos como matéria-primas cerâmicas**, Cerâmica 48 (306) Abr/Mai/Jun,(2002b).

MONTEIRO S. N.; VIERA C. M. F., **Effect of oil addition to clay ceramic**, *Ceramics International* 31 (2005) 353-358.

MOREIRA A. H; OLIVEIRA R. M; LIMA P. D. S., **Efeito da adição de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção**, *Revista Cerâmica*, 47 (303) (2001), p. 158-162.

MORGADO A. F., **Caracterização cerâmica de algumas argilas e caulins de Santa Catarina**, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado em engenharia química, São Paulo, 1993.

NASSETTI G; PALMONARI C., **Moagem fina à seco granulação vs. moagem à úmido e atomização na preparação de massas de base vermelha para monoqueima rápida de pisos vidrados**, *Cerâmica Industrial* , 2 (5/6) setembro/dezembro, 1997.

OLIVEIRA G. E.; HOLANDA J. N. F., **Análise do Impacto Ambiental Causado Pela Utilização de Resíduo Sólido do Setor Siderúrgico em Cerâmica vermelha**, *Revista Cerâmica* 50, 2004, p. 185 -189.

PAPE L.; SARAIVA F., **Setor de celulose e papel – visão panorâmica sobre momento e perspectivas**, *Revista O Papel*, abril de 2004, p. 40 a 49.

PAULA G. R; QUINTEIRO E; BOSCHI A. O., **Efeito do teor de umidade e da pressão de prensagem sobre as características de revestimento cerâmicos**, *Cerâmica Industrial*, 2 (3/4) maio/agosto (1997), p. 28-31.

PERECIN L., **Reciclar é preciso**, *Revista O Papel*, outubro de 2005, p. 56 -58.

PIOTTO Z. C., **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel - Estudo caso**, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Tese Doutorado, Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2003, p.155, p.191.

REED S. J., **Principles of ceramics processing**, 2^o.ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

RICHERSON D. W., **Modern ceramic engineering**, Marcel Dekker, New York, 1982.

RIZZATTI E., **Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão**, Universidade Federal de Santa Catarina, Tese doutorado em Engenharia Civil, Florianópolis 2003.

SANCHEZ-MUNÕZ L; CAVA S. DA S; PASKOCIMAS C. A; CERISUELO E., LONGO E.; CARGA J. B., **Modelagem do processo de gresificação de massas cerâmicas de revestimento**, Revista Cerâmica 48 (308), outubro/novembro/dezembro, 2002.

SOUZA SANTOS P., **Ciência e tecnologia de Argilas**, Volume 2 Ed. V.1, Edgard Blücher LTDA, 1989.

SOUZA SANTOS P., **Ciência e tecnologia de Argilas**, Volume 2 Ed. V.2, Edgard Blücher LTDA, 1992.

STANDARD METHODS, **For the examination of water and wastewater**, 14th Edition, 1975.

UNESC – **Universidade do extremo Sul Catarinense**, IPAT – Instituto de Pesquisa Ambiental e Tecnológicas, Laboratório de Análises de solo e fertilizantes, 2005.

VIEIRA C. M. F.; SOUZA E. T. A; MONTEIRO S. N., **Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha**, Cerâmica 50 (2004), p.254-260.