

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LILIANE CLAUDINO FERREIRA

POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA
FORMULAÇÃO DE MASSA DE CERÂMICA VERMELHA PARA A FABRICAÇÃO
DE BLOCOS DE VEDAÇÃO

CURITIBA
2012

LILIANE CLAUDINO FERREIRA

POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NA FORMULAÇÃO
DE MASSA DE CERÂMICA VERMELHA PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE
VEDAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Urbano e Industrial da Universidade
Federal do Paraná com parceria da Universidade
de Stuttgart e SENAI, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dra. Patricia Charvet
Coorientadora: Me. Marielle Feilstrecker

CURITIBA
2012

RESUMO

A utilização de resíduos na composição de massa cerâmica já é usual no Brasil, como alternativa de reutilização de alguns resíduos industriais. O presente trabalho visa verificar a potencialidade de uso de alguns resíduos industriais na fabricação de blocos de vedação. A metodologia seguida foi a aplicada em laboratórios de prestação de serviços para a indústria de cerâmica vermelha, considerando o ponto de vista ambiental e suas características físicas. A adição de 10%, 20% e 30% de resíduos em massa foi estudada, sendo os resíduos adicionados separadamente. Os resíduos utilizados foram: pó de pedra do beneficiamento de granito, cinza de caldeira de biomassa e lodo de estação de efluente da fabricação de papel e celulose. As análises foram realizadas considerando a classificação de resíduos segundo a norma NBR 10004/04. Ensaio físicos de retração linear, absorção, perda ao fogo, tensão de ruptura e cor após queima foram realizados. Os resultados foram comparados com a norma de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação (NBR 15270-1). Os resultados obtidos indicam que apenas o resíduo de pó de pedra, possui potencial de uso na fabricação de blocos de vedação. Os outros dois resíduos não atenderam ao quesito de absorção e somente o lodo de ETE não atendeu à resistência a tensão exigida pela mesma norma. No quesito ambiental, todas as misturas não apresentaram grau de periculosidade. Os dados apontados a partir do presente estudo apontaram que resíduos industriais podem ser aproveitados na fabricação de blocos de vedação. Entretanto, foram constatadas limitações quanto ao atendimento de norma correspondente a aplicação de blocos cerâmicos de vedação.

Palavras-chave: resíduos sólidos, cerâmica vermelha, bloco de vedação.

ABSTRACT

The use of waste in the composition of ceramic mass is already usual in Brazil, as an alternative to reuse some industrial wastes. This study aims to verify the potential use of some industrial waste in the manufacturing of bricks. The methodology was applied in laboratories that provide services to the red ceramic industry, considering the environmental point of view and their physical characteristics. Addition of 10%, 20% and 30% residue in mass was studied, and the residue was added separately. The residues used were: stone powder processing of granite, biomass boiler ash and sludge station effluent from pulp and paper manufacturing. The analyzes were carried out considering the classification of waste according to NBR 10004/04, in addition to linear shrinkage, absorption, loss on ignition, breakdown resistant and color after firing. The results were compared with standard ceramic blocks for masonry seal (NBR 15270-1). The results indicate that only the residual stone powder, has potential use in the manufacture of bricks. The other two residues did not attend to the question of absorption and only the ETE sludge did not meet the required tensile by the same standard. On the issue of environment, all mixtures showed no degree of dangerousness. The data pointed from the present study show that industrial waste can be utilized in the manufacture of bricks. However, limitations were noted regarding the fulfillment of the corresponding standard application of sealing ceramic blocks.

Keywords: solid waste, red ceramic, sealing blocks.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	-	RELAÇÕES ENTRE MINERAIS PRIMÁRIOS FORMADORES DE ROCHA E OS ARGILOMINERAIS PRODUZIDOS POR ELES POR INTEMPERISMO.....	19
FIGURA 2	-	FLUXOGRAMA DE PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA.....	21
FIGURA 3	-	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	26
FIGURA 4	-	FLUXOGRAMA RESUMIDO DA PESQUISA.....	40
FIGURA 5	-	PROCESSO DE HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO DAS CINZAS DE QUEIMA DE BIOMASSA.....	42
FIGURA 6	-	AMOSTRAS DE LODO DE ETE DA FABRICAÇÃO E PAPEL E CELULOSE.....	42
FIGURA 7	-	REALIZAÇÃO DA MISTURA DE PÓ DE GRANITO À ARGILA, EM MISTURADOR MOTORIZADO.....	43
FIGURA 8	-	EXTRUSORA UTILIZADA NA CONFORMAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	44
FIGURA 9	-	ESQUEMA DE IDENTIFICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA..	45
FIGURA 10	-	CORPOS DE PROVAS CRUS, COM MARCAÇÃO DE TIPO DE MISTURA, QUANTIDADE E PREPARO PARA ENSAIO RETRAÇÃO.....	45
FIGURA 11	-	PRENSA UTILIZADA NOS ENSAIOS DE RESISTENCIA.....	49
FIGURA 12	-	UMIDADE DAS AMOSTRAS DOS MATERIAIS.....	50
FIGURA 13	-	UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA.....	51
FIGURA 14	-	RETRAÇÃO LINEAR NA QUEIMA À 850°C.....	52
FIGURA 15	-	RETRAÇÃO LINEAR NA QUEIMA À 950°C.....	53
FIGURA 16	-	GRÁFICO DOS RESULTADOS DA ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	55
FIGURA 17	-	GRÁFICO DOS RESULTADOS DE PERDAS AO FOGO.....	56
FIGURA 18	-	GRÁFICO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA.....	58

FIGURA 19 - (a) COR APÓS QUEIMA DAS MISTURAS DO RESÍDUO A;
(b) COR APÓS QUEIMA DAS MISTURAS DO RESÍDUO B; (c)
COR APÓS QUEIMA DAS MISTURAS DO RESÍDUO C..... 62

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1	- CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO A ORIGEM.....	23
QUADRO 2	- CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO A PERICULOSIDADE.....	24
QUADRO 3	- NOMECLATURA DOS MATERIAIS E CORPOS DE PROVAS.....	44
QUADRO 4	- RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 10.004/04.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUNS PAÍSES.....	29
TABELA 2	- MUNICÍPIOS QUE COLETAM LIXO INDUSTRIAL, E SUA DESTINAÇÃO.....	30
TABELA 3	- RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA.....	58
TABELA 4	- CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO DA SOLUBILIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	-	Resíduo de pó de pedra
A 10	-	Massa de argila com 10% de pó de pedra
A 20	-	Massa de argila com 20% de pó de pedra
A 30	-	Massa de argila com 30% de pó de pedra
ABCERAM	-	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	-	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
AL	-	Alagoas
B	-	Resíduos de cinza de caldeira de biomassa
B 10	-	Argila com 10% de resíduo de cinza de biomassa
B 20	-	Argila com 20% de resíduo de cinza de biomassa
B 30	-	Argila com 30% de resíduo de cinza de biomassa
BA	-	Bahia
C	-	Resíduo de lodo de estação de efluente da produção de papel e celulose
C 10	-	Argila com 10% de lodo de estação de efluente da produção de papel e celulose
C 20	-	Argila com 20% de lodo de estação de efluente da produção de papel e celulose
C 30	-	Argila com 30% de lodo de estação de efluente da produção de papel e celulose
CL50	-	Concentração letal que provoca a morte de 50% da amostra
CONAMA		Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	-	Centro de Tecnologia Cerâmica
CNEN	-	Comissão Nacional de Energia Nuclear
DL50	-	Dose letal de que provoca a morte 50% da mostra
CEMPRE	-	Compromisso Empresarial para Reciclagem
ETA	-	Estação de Tratamento de água
ETE	-	Estação de Tratamento de Efluente
ETENE	-	Escritório Técnico De Estudos Econômicos Do Nordeste

EUA	-	Estados Unidos da América
DNPM	-	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	-	Difração de Raio X
FEAM	-	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FINDES	-	Federação das Indústrias do Espírito Santo
IPT	-	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IBGE		Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	-	Instituto Brasileiro de Mineração
LABSENAI	-	Laboratório do Serviço de Nacional de Aprendizagem Industrial
LCV	-	Laboratório de Cerâmica Vermelha
MEV	-	Microscopia Eletrônica de Varredura
MG	-	Minas Gerais
MINEROPAR	-	Minerais do Paraná S/A – Serviço Geológico do Paraná
MME	-	Ministério de Minas e Energia
MS	-	Mato Grosso do Sul
NBR	-	Norma Brasileira
NTC	-	Núcleo de Tecnologia em Cerâmica Vermelha
PIB	-	Produto Interno Bruto
PR	-	Paraná
RCD	-	Resíduos de Construção e Demolição
RJ	-	Rio de Janeiro
RMC	-	Região Metropolitana de Curitiba
SENAI-CIC	-	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial da Cidade Industrial de Curitiba
SC	-	Santa Catarina
SP	-	São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos:.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1	CERÂMICA VERMELHA.....	16
2.1.1	Processo de fabricação de blocos cerâmicos.....	19
2.2	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	22
2.2.1	Definição de resíduos sólidos.....	22
2.2.2	Classificações dos resíduos sólidos.....	23
2.2.3	Crterios de classificação NBR 10.004/2004.....	24
2.2.4	Visão geral da geração de resíduos sólidos.....	27
2.3	RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS INSERIDOS NA MASSA CERÂMICA 31	
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	39
3.2	PROCEDIMENTOS.....	39
3.2.1	Seleção e preparo de amostras.....	40
3.2.2	Homogeneização e quarteamento.....	41
3.2.3	Preparo dos corpos de provas.....	42

3.2.4	Classificação de resíduos segundo a NBR 10.004 de 2004	46
3.2.5	Umidade dos materiais	46
3.2.6	Quantidade de resíduos.....	46
3.2.7	Absorção de água.....	47
3.2.8	Perda ao fogo (P.F.)	47
3.2.9	Retração	48
3.2.10	Resistência à ruptura	48
3.3	CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA SEGUNDO A NBR 10.004/04	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	UMIDADE DOS MATERIAIS.....	50
4.2	UMIDADE DA MISTURA.....	50
4.3	RETRAÇÃO APÓS QUEIMA	52
4.4	ABSORÇÃO	54
4.5	PERDA AO FOGO	56
4.6	TENSÃO DE RUPTURA	57
4.7	CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 10.004/04.....	59
4.8	OUTRAS CONSIDERAÇÕES.....	61
5	CONCLUSÃO	63
6	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

As questões ambientais não são apenas modismo, o desequilíbrio da natureza, o aumento da poluição, a limitação dos recursos naturais, são sinais de alerta, que já estão sendo ouvidos pela população, governantes e empresários.

Os resíduos industriais podem apresentar em sua composição vários elementos perigosos, além de serem gerados em grande quantidade, sendo foco de constante atenção por parte dos órgãos de fiscalização ambiental e de saúde pública, em função dos comprovados riscos que oferecem (REIS, 2007).

As empresas, não podem mais se dar ao luxo de ter suas matérias primas utilizadas em seus processos produtivos jogados fora em forma de resíduos, ou simplesmente descartados em áreas autorizadas ou não, como se os mesmos não tivessem valor. Os processos não podem mais serem focados somente no produto final, desprezando os fatores, como subprodutos, balanço energético e impacto ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, deixando a existência da empresa frágil devido à sua insustentabilidade (JACOBI, 2006).

A atual expansão do setor de industrial aumenta consideravelmente a produção e na mesma proporção a quantidade de resíduo gerada. Por outro lado, temos a evolução da preocupação da população com as questões ambientais, e cada vez mais a legislação ambiental está mais restritiva em nosso país (MARTINI, 2005).

A lei federal nº. 12305 de 2012 sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece a logística reversa dos resíduos e produtos, a resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil são exemplos de legislação ambiental mais restritiva e exigente.

A reciclagem dos rejeitos gerados pelas indústrias para uso como matérias-primas alternativas não é nova, e tem sido efetuada com sucesso em vários países. As razões que motivam esses países, em geral, são: o esgotamento das reservas

confiáveis; a conservação de fontes não renováveis; melhoria da saúde e segurança da população (ENBRI, 1994).

A indústria mineral é expressiva no Brasil, pois, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) estima que o país possua 7.932 empresas de mineração. Em 2011 a produção de minerais no país bateu um novo recorde com a produção equivalente a 50 bilhões de dólares o que representa um crescimento de 28% deste setor, em relação ao ano anterior (IBRAM, 2012).

Entre a industrialização de minerais, que também está em expansão, incluem-se aquelas usadas na indústria cerâmica, onde a argila é um ingrediente básico como matéria-prima nos processos de fabricação de blocos. Além de vários tipos de argila e argilito, nas massas cerâmicas são usadas combinações em proporções variáveis de: areia/arenito, caulim, talco, feldspato, e outros. Nas formulações cerâmicas, cada um dos componentes deve cumprir requisitos básicos em termos de especificações industriais (parâmetros de qualidade), sendo importante, além disso, manter a homogeneidade de suas características (CRUZ, 2009).

Vários parâmetros físicos das argilas retiradas dos depósitos fonte de matéria-prima cerâmica precisam ser tecnicamente conhecidos abrangendo todo depósito, para guiar os trabalhos de produção em geral. Por vezes, minas são abertas com base apenas em características médias dos parâmetros, provenientes de somente algumas análises realizadas, tornando difícil antecipar o desempenho do material a ser extraído nos processos cerâmicos posteriores. Frequentemente, a falta de análises do depósito traz surpresas desagradáveis durante a exploração ao longo da vida útil da jazida, pois, muitas vezes encontramos materiais com outras propriedades em pontos próximos (STANGLER, 2010). A cerâmica vermelha apresenta representatividade expressiva na economia do país, movimentando aproximadamente 6 bilhões de reais ao ano, e isto significa aproximadamente 1% do produto interno bruto - PIB (PASCHOAL, 2003).

A média de número de empresas de cerâmica vermelha no Brasil é da ordem de cinco mil e quinhentas e a tendência é que continue aumentando, sendo que, a cerâmica vermelha possui uma representatividade expressiva na economia do país (REINALDO, 2010). A região sul apresenta mais de 3000 olarias, contribuindo

significativamente para a produção nacional de tijolos e telhas (ABCERAM, 2005). A argila só está atrás do ferro, agregados, areia e brita, em termos de produção ficando com a 4ª maior produção da mineração brasileira (MME, 2010).

Os resíduos industriais, em sua maioria, necessitam ser dispostos em locais adequados, com todo o cuidado para não poluir o meio, carecendo de grandes áreas de disposição em função do grande volume gerado, pois, sua decomposição ou percolação pode causar impactos maléficos ao meio ambiente (ALVES, 2005).

As indústrias de modo geral procuram diminuir a geração, transformando seus resíduos em matéria prima de novos produtos, se adequando as exigências legais ambientais, e diminuindo seus impactos e despesas com resíduos (MARTINI, 2005).

O aproveitamento dos rejeitos através de estudos capazes de detectar suas potencialidades e viabilizar sua seleção preliminar é encarado hoje como atividade complementar, que pode contribuir para diversificação dos produtos, diminuição dos custos finais, além de resultar em novas matérias-primas para uma série de setores industriais (ALVES, 2005).

Uma forma de fazer isto é usá-los com matéria prima em fabricação de blocos de vedação. O uso de resíduos industriais é utilizado pela indústria cerâmica, em função de sua grande produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos, pois, a mesma se realça na reciclagem de resíduos devido à sua capacidade de neutralizar e estabilizar vários resíduos tóxicos. Fato primordial que faz com que o uso de resíduos na composição de seus produtos, seja um destaque para a reciclagem de resíduos sólidos (MENEZES, 2002).

A argila é considerada como matéria prima de baixo custo, sendo utilizada em larga escala no processo de construção civil no Brasil (CRUZ, 2009). Por outro lado, esta matéria prima utilizada na produção de blocos, é um recurso não renovável. A possibilidade de utilização de resíduos em sua composição permitiria que o bloco fosse constituído de menos argila, retirando-se assim menos deste recurso não renovável do meio ambiente.

A utilização de resíduos sólidos industriais na composição da matéria prima, para produzir blocos de construção, é de grande interesse para as empresas que

geram o resíduo, para os fabricantes deste produto e para o meio ambiente, desde que viável financeiramente e comercialmente (LÉBEIS, 2003).

A incorporação de resíduos industriais em cerâmica vermelha está sendo muito usada nos últimos anos. A caracterização destes resíduos é uma ferramenta indispensável para que se consigam resultados confiáveis e se conheça tecnicamente o resíduo estudado juntamente com a avaliação das propriedades tecnológicas dos tijolos fabricados (SILVA, 2010).

A capacidade de neutralizar resíduos tóxicos pela indústria cerâmica é alta. Em função disto diversas pesquisas deste tema já foram realizadas no Brasil, com resultados interessantes, mas ainda não estão sendo aplicada pelas empresas, por não fazer parte de sua cultura das empresas geradoras e dos fabricantes de blocos cerâmicos. Ainda são necessárias maiores pesquisas, para que se reciclem de forma prática os resíduos industriais em composição de massa cerâmica no Brasil (MENEZES, 2002).

O estudo aqui apresentado busca analisar o resultado da incorporação de três resíduos sólidos industriais gerados em empresas da Região Metropolitana de Curitiba, (em massas de argila vermelha da mesma região), para uso em blocos de vedação. Ainda, foram analisadas as vantagens e desvantagens de cada mistura e qual a maior porcentagem de resíduos utilizada, que não afete a qualidade do produto segundo as normas vigentes no país, comparando os resultados de todas as composições entre si.

O que dificulta que alguns destes estudos entrem em prática, muitas vezes é o custo do transporte dos mesmos. Dessa forma, nesse trabalho selecionou-se tanto os resíduos gerados como a argila na região de Curitiba que estejam próximos às indústrias cerâmicas lá existentes.

A revisão da literatura apresentada neste trabalho, evidência que já existem estudos da introdução de resíduos em massa cerâmica, porém, a grande maioria de forma isolada, utilizando somente um resíduo, ou ainda, vários resíduos na mesma massa cerâmica. O diferencial da presente pesquisa apresentada é a comparação dos resultados da mistura de várias composições, quando utilizamos resíduos diferentes e a análise considerando a periculosidade do produto de acordo com as

normas ambientais. Sempre fazendo considerações sobre a viabilidade da produção em escala industrial.

A incorporação de resíduos em escala industrial pode aumentar a vida das jazidas e dos aterros industriais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as potencialidades de utilização de resíduos industriais, como matéria prima alternativa na produção de blocos cerâmicos na região de Curitiba.

1.1.2 Objetivos específicos:

- a. Classificar a amostra de argila, e resíduos utilizados na presente pesquisa;
- b. Realizar várias composições de misturas e efetuar as mesmas análises realizadas na argila, comparando-as, para avaliar as suas potencialidades;
- c. Realizar ensaios de solubilidade segundo a NBR 10.004 de 2004 nas amostras de argila e de misturas potenciais, para verificar a classe da mistura com a argila padrão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CERÂMICA VERMELHA

O costume da obtenção de produtos de argila é muito antigo, começou em lugares onde existia esta matéria em abundância, primeiro por cozimento ao sol e depois com cozimento ao forno. É tão antigo, que sua existência foi mencionada na Bíblia, como material utilizado como bloco cerâmico na construção da Torre de Babel (PETRUCCI, 2007).

Segundo Petrucci (2007) a argila é formada pela desintegração de rochas ígneas, sendo o feldspato a sua origem mais comum, podendo ainda ser formada de micaxistos e gnaisses. Também é constituída de compostos minerais, que contém fundamentalmente silicatos de alumínio hidratados.

Cruz (2009) classifica as argilas conforme sua funcionalidade na produção industrial, segundo três subgrupos:

- a) Argilas utilizadas na fabricação de cerâmica vermelha como bloco e telha;
- b) Argilas empregadas na fabricação de cerâmica branca como louça e porcelana;
- c) Argilas destinadas à fabricação de materiais refratários.

As argilas para cerâmica vermelha geralmente são submetidas a temperaturas de queima entre 850 e 950°C, ao passo que as argilas para cerâmica branca podem ser tratadas entre 1050°C e 1250°C. As argilas refratárias, devido às suas peculiaridades, são tratadas a temperaturas próximas a 1450°C (LOYOLA, 2000).

Cerâmica vermelha compreende-se como os produtos produzidos por matérias-primas argilosas, que após a queima se caracterizam pela sua cor vermelha, representados por tijolos, blocos, telhas, tubos, lajes para forro, lajotas, vasos ornamentais, agregados leve de argila expandida e outros (FINDES, 2009).

A argila é a principal matéria prima da cerâmica vermelha, trata-se de um recurso natural de textura fina e terrosa e que adquire plasticidade, suficiente para poder ser moldada, quando úmida. Esta característica é perdida temporariamente

pela secagem, e perda quando adquire rigidez ao secar e dureza ao ser queimada (LOYOLA, 2000).

As argilas comuns ou de queima vermelha se destacam entre as substâncias minerais, pois, são produzidas e consumidas em grande volume, sendo especialmente utilizadas na produção de cerâmica vermelha e de revestimento. Por se tratar de matérias-primas de baixo valor, é inviável o transporte a longas distâncias, condicionando a produção o mais próximo possível das jazidas e área de consumo (FINDES, 2009).

Os materiais argilosos utilizados na indústria de cerâmica vermelha são comercialmente e vulgarmente denominados de “barro” e que são também conhecidos como: barro gordo quando abundante de plasticidade ou, barro magro quando contem certa quantidade de silte e areia fina dando um contato áspero ao tato. As argilas utilizadas em telhas e blocos são gordas, pois, possuem em torno de 80% de substâncias argilosas (LOYOLA, 2009).

Segundo o FINDES (2009), no Brasil as reservas de argila para cerâmica vermelha são de grande porte e distribuídas praticamente todas as regiões do país, representando entre 40 a 50% das substâncias minerais produzidas no país.

As jazidas de argila utilizadas para fabricação de bloco e telhas estão em várias regiões do Paraná atingindo mais de cem municípios do estado. O estado tem a vantagem de ser bem capilarizado em termos de distribuição, sendo o material mais distribuído entre as substâncias mineradas no Paraná. A produção é da ordem de 1,2 milhões de toneladas/ano correspondendo a cerca de três milhões de dólares (MINEROPAR, 2011).

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC), onde foram coletadas as amostras deste estudo, encontra-se no primeiro planalto paranaense, onde as características de argilas são provenientes de rochas do embasamento cristalino afloradas. A maioria das empresas desta região utilizam-se argilas provenientes das várzeas do rio Iguaçu. Em menor volume, as olarias utilizam argilas provenientes da alteração de rochas graníticas ou assemelhadas (LOYOLA, 2000).

Estudo da Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) aponta que 49% das argilas mineradas no Paraná são da RMC representando 765 mil toneladas ao ano, mas que só representa 3% em valor, dos minerais extraídos na região (MINEROPAR, 2004).

A massa utilizada na indústria cerâmica possui vários componentes plásticos ou não plásticos, permitindo vários resíduos em sua composição, até com porcentagens significantes (MENEZES, 2002).

Na grande maioria das vezes as argilas possuem certas impurezas, que se misturam durante a sua formação. Enquanto uns são constituídos de resíduos minerais de rochas originais, outros se juntaram às argilas durante o seu transporte, pelas águas, ou ainda trazidos pelas águas de infiltração. Esses minerais são o quartzo, os feldspatos, os calcários, pirita, ilita, hematita entre outras. Essas impurezas agem alterando certas características como: cor, retração, dilatação, resistência mecânica e plasticidade das argilas. (MONTEIRO, 2007).

Na verdade as massas são compostas de diferentes hidrossilicatos de alumínio, consideradas como puras e chamadas de “materiais argilosos”. Apesar de serem muitos os materiais argilo minerais apenas três tem importância para a fabricação dos produtos utilizados na construção civil, são eles: a caulinita, montmorilonita e a ilita. (PETRUCCI, 2007).

A relação entre os minerais e as composições de rochas de que a da argila é formada está representada na FIGURA 1.

Segundo esta figura, que a caulinita ocupa posição central, onde quase todos os caminhos levam a caulinita. Em princípio o tipo do argilomineral produzido é determinado em partes pela natureza do mineral primário e em partes, pelo intemperismo químico que eventualmente leva a formação do caulinita, podendo ainda ser alterada pelos processos do ambiente que está depositada (BROWN, 1995).

A variedade granulométrica é grande nas impurezas encontradas em argilas, bem como suas quantidades, encontrando-se desde fragmentos grandes, até os muito pequenos, que dificilmente são separáveis por processos mecânicos.

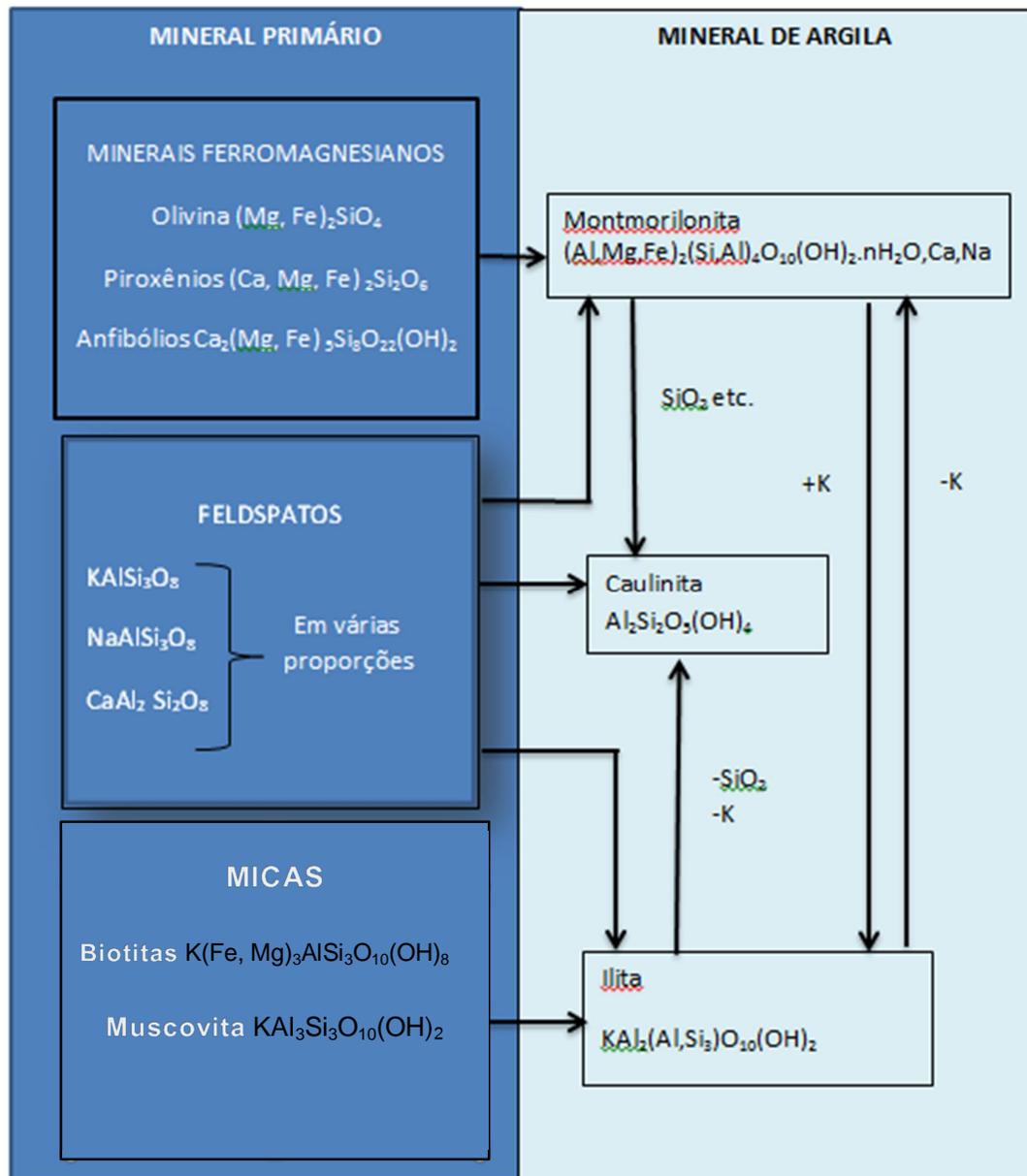


FIGURA 1 - Relações entre minerais primários formadores de rocha e os argilominerais produzidos por eles por intemperismo.

Fonte: Adaptado de *The open university* (1995)

2.1.1 Processo de fabricação de blocos cerâmicos

O processo de fabricação de blocos, mais comumente chamados de tijolo, começa pelo sazonalamento da argila, que nada mais é do que deixar a argila estocada a céu aberto por um período de seis meses, para que a mesma aumente sua plasticidade, elimine os sais solúveis e decomponha a matéria orgânica

presente. Na etapa seguinte é feita a dosagem da matéria prima, que se resume em misturar duas ou mais argilas e seus aditivos, dirigindo-se para moagem. A etapa de moagem tem o objetivo de diminuir os grãos aumentando a área de contato, para se obter um melhor empacotamento (MONTEIRO, 2007).

Em seguida a massa de argila entra no laminador, onde sofre destorroamento, e passa para um misturador onde a água de adsorção é ajustada, para assegurar o necessário grau de plasticidade de modo que os tijolos possam ser conformados pela maromba por compressão ou extrusão. A dosagem de água é importante neste processo, pois, pouca água torna-se difícil o processo de moldagem da massa, porém, com muita água, a massa perde sua forma e gasta-se mais combustível para ser eliminada durante a secagem e queima, podendo ainda podendo causar encolhimento irregular (BROWN, 1995).

Na moldagem deve-se tomar cuidado com a entrada de ar na massa, pois, estas bolhas se expandem na queima, causando o fendilhamento da peça. A retirada do ar é feita durante a moldagem, onde se emprega bomba à vácuo nos processos mecanizados, e os blocos são moldados em marombas com boquilhas seguida de corte (PETRUCCI, 2007).

A umidade de extrusão é retirada na etapa de secagem, por convecção do ar, evapora-se a umidade das peças, obtendo-se teores menores do que 3%. As peças cerâmicas possuem uma boa resistência mecânica e suportam as altas temperaturas, sem quebrar ou trincar, o que é causada pela presença de umidade (MONTEIRO, 2007).

Em função da necessidade de combustível, a queima é a etapa mais cara do processo produtivo de blocos cerâmicos. O combustível mais utilizado hoje é a biomassa proveniente de madeira. A queima realiza muitas mudanças nos materiais cerâmicos produzidos, tais como, por exemplo: na cor, tamanho, aumento da resistência à compressão, resistência à infiltração, etc. (MONTEIRO, 2007).

O processo de produção da indústria cerâmica é apresentado no fluxograma da FIGURA 2.

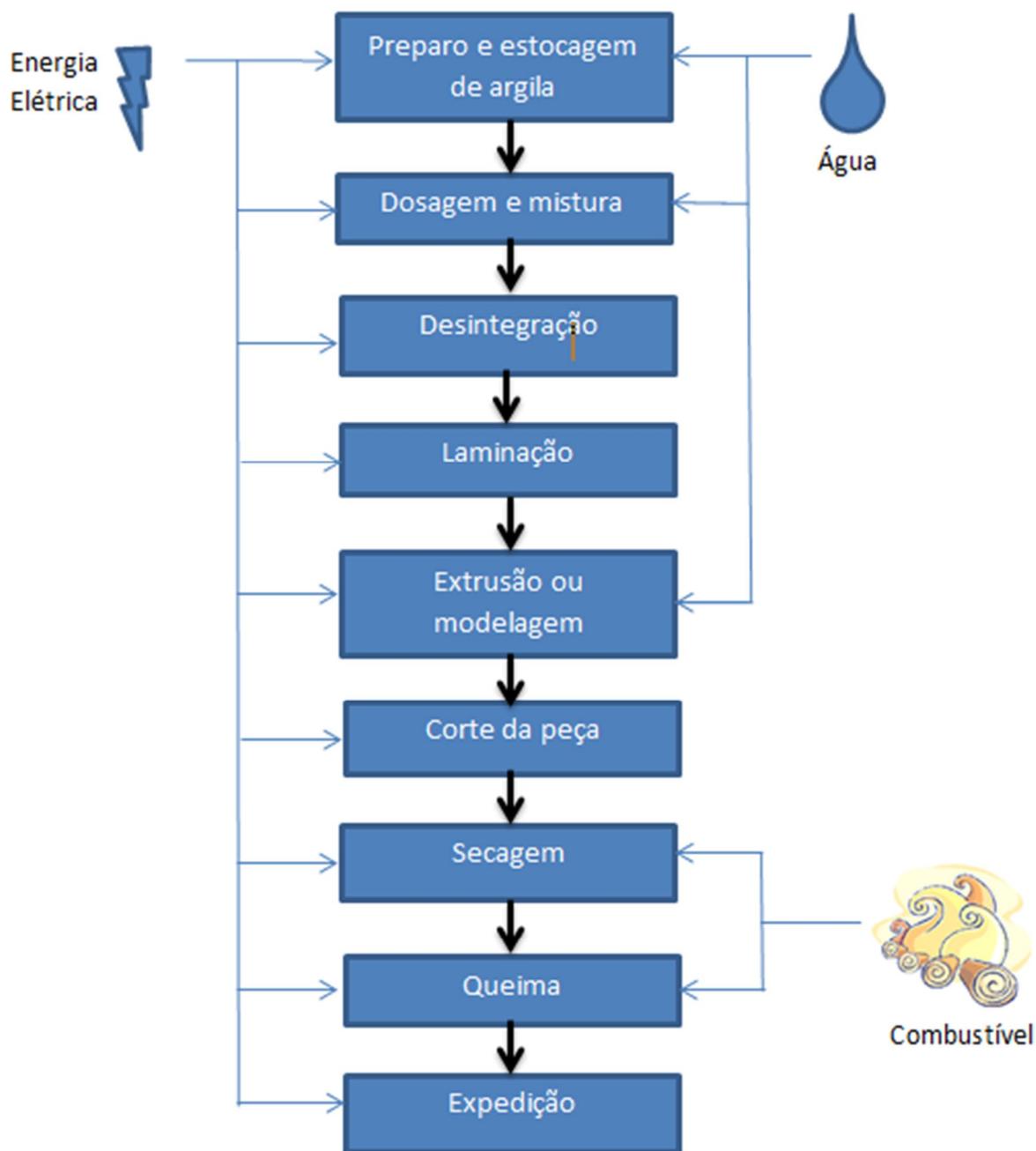


FIGURA 2 – Fluxograma de processo de produção de cerâmica vermelha
FONTE: Adaptado de Manual para a Indústria Cerâmica (SEBRAE f2, 2005).

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

2.2.1 Definição de resíduos sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei federal nº. 12305 de 2012, em seu capítulo II define resíduo sólido como:

“Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Concomitante com Ribeiro (2009) que define resíduo como “coisas” indesejadas provenientes do consumo ou produção de bens. Já Barbieri (2007) define lixo ou resíduo, como o que sobra da atividade humana, pois, no meio natural não existem resíduos, normalmente eles se decompõe voltando ao ciclo natural (FERREIRA, 2009).

Muitas vezes a definição de resíduos parece óbvia e as pessoas são tentadas a pensar, que resíduo é aquilo que aparece nas lixeiras, porém, eles podem assumir formas menos visíveis, como um lote de produto defeituoso, embalagens, água de lavagem, líquidos provenientes de tratamento de superfícies entre outros (ALVES, 2005).

A Norma Brasileira de Regulamentação NBR-10.004 (ABNT, 2004 p.1) que classifica os resíduos sólidos industriais, define-os como:

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

A norma mencionada acima, portanto, considera os resíduos líquidos não tratáveis como resíduo sólido, pois, quando não se consegue tratá-los, eles recebem

os mesmos cuidados e disposições que os resíduos que se encontram em estado sólido (ABNT,2004).

2.2.2 Classificações dos resíduos sólidos

A Classificação de resíduos é feita de várias formas e maneiras; quanto às características físicas, características químicas, origem, periculosidade, sendo as mais usuais quanto a origem de geração ou natureza e quanto a sua periculosidade (FEAM, 1995).

No QUADRO 1 apresenta-se a classificação quanto a origem que Monteiro (2001) sugere, podendo ter origem urbana, doméstica especiais, de fontes especiais:

Urbano	Doméstico	São os gerados em residências como casa, apartamentos, condomínios e moradias em geral.
	Comercial	Provenientes das atividades de comércio como, supermercados, lojas, shopping,
	Público	Os gerados em logradouros públicos, como rua, praças e demais locais públicos.
Doméstico especial	Entulho de obras	São especiais por necessitarem de destinação especializada para o resíduo
	Pneus	
	Pilhas e baterias	
	Lâmpadas fluorescentes	
Fontes especiais	Radioativos	No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo estão a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. São os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais.
	Industrial	Provenientes de atividades industriais e classificados segundo a NBR 10.004.
	Agrícola	Formado essencialmente de embalagens de pesticidas e fertilizantes.
	De serviço de saúde	Gerados nas instituições de saúde como clínicas, hospitais, consultórios, farmácias entre outros
	Portos, aeroportos e terminais rodo ferroviários	Gerados tanto nos terminais como nos veículos. A periculosidade está no risco de transmissão de doenças que também pode se dar através de cargas eventualmente contaminadas, tais como: animais, carnes e plantas.

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO A ORIGEM
 FONTE - Adaptado do Manual gerenciamento integrado de resíduos sólidos (MONTEIRO, 2001).

Já quanto à periculosidade os resíduos são classificados segundo a norma NBR 10.004 – 2004. Esta norma é indicada apenas para resíduos industriais, mas por falta de outra norma, tem sido utilizada para os demais resíduos. A classificação quanto à periculosidade está mostrada no (QUADRO 2) a seguir.

Classificação dos resíduos quanto à periculosidade		
Classe I	Classe II	
Perigosos	Não perigosos	
Podem acarretar riscos a saúde pública ou meio ambiente	A – Não inerte	B – Inerte

QUADRO 2: CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SEGUNDO A PERICULOSIDADE.
 FONTE: adaptado da norma ABNT NBR 10.004(2004).

2.2.3 Critérios de classificação NBR 10.004/2004

Na mesma norma NBR 10.004/2004, as características que conferem periculosidade ao resíduo são: Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade; Patogenicidade.

A NBR 10.004/2004 também dispõe de uma listagem de substâncias que conferem periculosidade ao resíduo conforme sua fonte não específica ou de fontes específicas – Listagem A e B, sendo que as substâncias presentes nesta listagem são aquelas que, com certeza, são tóxicas, ou corrosivas, ou inflamáveis, ou reativas aos seres vivos e ao homem.

A listagem C identifica as substâncias que conferem periculosidade aos resíduos. A listagem D disponibiliza substâncias agudamente tóxicas, tais substâncias repassam a periculosidade para suas embalagens.

Com relação à concentração do contaminante no resíduo, a norma estabelece limites para alguns parâmetros analisados no extrato obtido no Ensaio de Lixiviação (Listagem F).

O ensaio de lixiviação foi estabelecido considerando que de maneira geral, durante a decomposição do resíduo sólido ocorre a geração de compostos que acidificam o meio e promovem a solubilização de várias substâncias, entre as quais as consideradas perigosas (metais, matéria orgânica, etc.). A precipitação pluviométrica propicia o arraste destas substâncias para o solo, podendo atingir o lençol freático (FERREIRA, 2009).

O ensaio de lixiviação reproduz a condição ácida da decomposição do resíduo sólido através da adição de ácido até obtenção de uma condição estável de pH 5,0 +/- 0,2. O resíduo sólido é mantido em suspensão em água destilada, em pH 5,0 +/- 0,2 e em constante agitação por um período mínimo de 24 horas, estabelece-se condição para a solubilização máxima de seus constituintes. O extrato é filtrado e posteriormente analisado sendo que a listagem F da NBR 10.004 estabelece valores limites para alguns parâmetros analisados no lixiviado – basta um parâmetro com concentração acima do limite para os resíduos classificar-se como Classe I Perigoso. (o procedimento para realização deste ensaio é estabelecido pela NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos).

O ensaio de solubilização utiliza massa seca da amostra bruta, a qual é colocada em contato estático com água destilada durante sete dias. A seguir, procede-se a filtração e o extrato obtido é denominado de solubilizado. A listagem G da NBR 10.004 estabelece valores limites para alguns parâmetros analisados no solubilizado. Portanto, se o solubilizado apresentar-se com características de potabilidade, com exceção dos itens já definidos, podemos considerar o resíduo inerte - basta um valor acima do limite para os resíduos classificar-se como Classe II A - Não Inerte (o procedimento para realização deste ensaio é estabelecido pela NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos) (FERREIRA, 2009).

O processo das etapas de caracterização dos resíduos segue a NBR 10.004/2004, e está representado na figura a seguir (FIGURA 3) em forma de fluxograma.

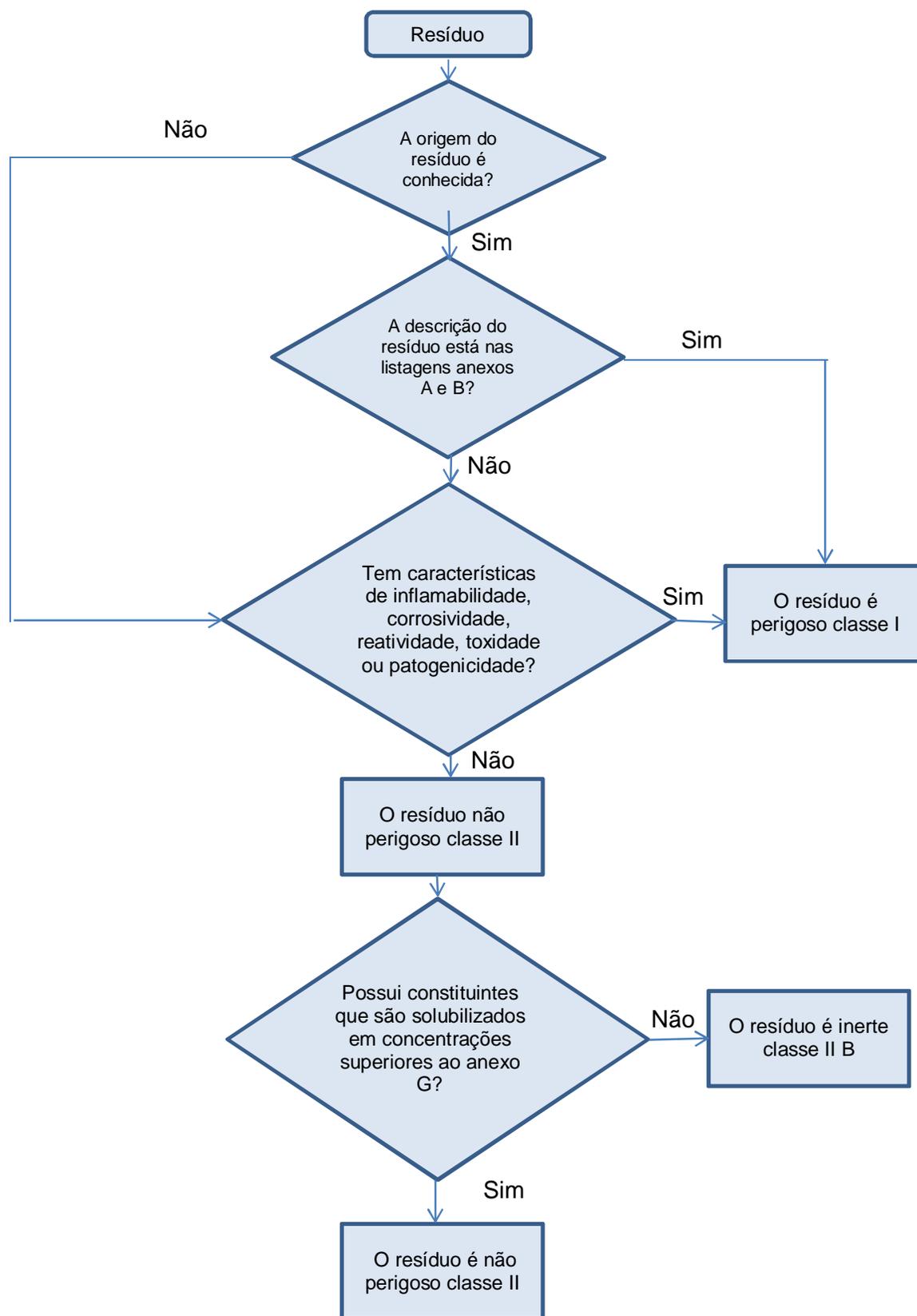


FIGURA 3 - CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
FONTE: Adaptado da ABNT 10.004 (2004)

2.2.4 Visão geral da geração de resíduos sólidos

A problemática decorrente da geração de resíduos sólidos abrange vários aspectos relacionados não apenas com a origem e com a produção desses mesmos resíduos, mas também com o errôneo conceito de inesgotabilidade dos recursos naturais (RODRIGUEZ, 1999).

As sociedades industriais tendem a aumentar sucessivamente sua produção, que por sua vez aumenta também outras atividades, tais como: agrária, mineral, urbana. Este modelo social implantou o modelo “usar e descartar” que nos leva a era dos descartáveis, produzindo quantidades impensáveis de resíduos há pouco mais de um século (ALVAREZ, 2007).

Um dos fatores que contribui para essa problemática é o crescimento da população mundial que se multiplica em ritmo acelerado. Isso implica na expansão automática da industrialização, uma vez que maiores quantidades de alimento e de bens de consumo serão necessários para atender a essa nova e surpreendente demanda, o que gerará, inevitavelmente, considerável volume de resíduos (RODRIGUEZ, 1999).

O crescimento populacional no Brasil entre 1992 e 2000 foi de 16,4%, índice bem menor do que o do crescimento da geração de resíduos que foi de 49% no mesmo período (RIBEIRO, 2009) .

A grande questão gira em torno dos resíduos sólidos gerados. Aos poucos se percebe que é difícil encontrar um local que disponha de todas as características necessárias para a correta disposição desses resíduos: distante de local habitado, economicamente viável na questão do transporte, distante de nascentes, e outros requisitos mais. Gradativamente o homem se conscientiza de que o lugar onde ele poderia depositar resíduos sólidos sem causar transtornos ao meio ambiente e ao ser humano não existe. Haverá sempre prejudicados, população e/ou ecossistemas, na questão da destinação final de resíduos sólidos (FERREIRA, 2009).

Na última pesquisa realizada pelo IBGE em 2000, levantou-se que apenas 10% dos municípios brasileiros controlam o destino de resíduos industriais, e ainda 68% dos resíduos sólidos gerados pelas grandes cidades brasileiras são jogados em

lixões ou alagados (IBGE/PNSB – 2000). No caso dos resíduos industriais, apenas 22% têm tratamento adequado (ABETRE, 2007).

Os resíduos sólidos, nas últimas décadas, mudaram a composição de que se constituem. Hoje, o resíduo sólido tem não somente microrganismos causadores de doenças, mas também substâncias tóxicas e perigosas (resinas, tintas, pesticidas, microrganismos resistentes, metais pesados, e tantas outras.). Isso torna cada vez mais perigosa a disposição final inadequada dos resíduos, os quais podem contaminar o solo, a água e o ar, de maneira a atingir a cadeia alimentar, uma vez que animais e vegetais absorverão os elementos tóxicos, e, em curto prazo, a disposição inadequada dos resíduos poderá alimentar organismos vivos, como ratos, baratas, moscas, vermes, bactérias, fungos e vírus transmissores de graves problemas epidemiológicos (PEREIRA NETO, 1998).

A despeito dos vários problemas ocorridos ao longo da história, até o ano de 1996, em nenhum momento a questão dos resíduos foi tratada com seriedade, o que, de certa forma, provocou um aumento gradativo dos problemas a eles associados (FIGUEIREDO, 1996). Atualmente, por representar uma ameaça real ao meio ambiente e, conseqüentemente, ao próprio homem, os resíduos vêm conquistando a crônica mundial e o Brasil tem lançado leis cada vez mais exigentes no quesito de geração e destinação de resíduos, como por exemplo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010.

O Brasil procura amenizar os impactos gerados pelos resíduos sólidos. A despeito disso, foram criadas as leis 11.445/07 e 12.305/10. A primeira tratando das diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. E a segunda tratando da Política Nacional de Resíduos Sólidos onde estabelece responsabilidade compartilhada aos fabricantes, distribuidores e comerciante e prevê a logística reversa como solução para minimização de resíduos.

O acelerado processo de transformação pelo qual passa a sociedade contemporânea apresenta conseqüências ambientais que só recentemente começaram a ser objeto de maior atenção por parte dos governos e das

organizações comunitárias, decorrentes dos impactos ambientais e do comprometimento da qualidade de vida (CALDERONI, 2003).

Os resíduos se constituem em parte significativa dos ciclos da natureza e da economia; há sempre uma perda de matéria ou de energia. A industrialização, no entanto, aumentou a quantidade de resíduos aumentou em tamanhas proporções que a natureza não mais suporta todos os resíduos em seu ciclo natural. Além disso, a industrialização modifica também os resíduos domésticos: antes eram quase exclusivamente orgânicos; agora, outros componentes inorgânicos tornam difícil o trabalho natural de reciclagem (BARROS, 1993).

A geração de resíduos sólidos industriais perigosos no Brasil gira em torno de 2,9 milhões de toneladas por ano, sendo que somente 600 mil de tonelada são dispostos corretamente. Os 78% restantes são depositados indevidamente, sem qualquer tipo de tratamento (ABETRE, 2007).

No campo da industrialização, dependendo do grau de desenvolvimento de cada país, há variação na quantidade de resíduo produzido por habitante, como se verifica na TABELA 1.

TABELA 1- GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ALGUNS PAÍSES.

Alemanha	0,81 kg/hab/dia
Espanha	0,81 kg/hab/dia
França	0,86 kg/hab/dia
Itália	0,96 kg/hab/dia
Inglaterra	1,13 kg/hab/dia
Suécia	1,13 kg/hab/dia
Japão	1,13 kg/hab/dia
Suíça	1,27 kg/hab/dia
Holanda	1,45 kg/hab/dia
Canadá	1,72 kg/hab/dia
EUA	2,00 kg/hab/dia
Brasil	0,70 kg/hab/dia

FONTE: Adaptado de CEMPRE, 2001.

Os dados da TABELA 1 constataam que quanto mais desenvolvido e industrializado é um país, maior se torna a geração de resíduos. O Brasil, dentre os países em desenvolvimento, destaca-se como um dos que mais gera resíduo (CEMPRE 2001).

No entanto, ainda são tímidas as iniciativas existentes para a destinação correta de resíduos sólidos urbanos e industriais. Em todo o Brasil existem apenas seis aterros industriais (PR, SP, RJ), sete incineradores (SP, RJ, BA, AL) e sete unidades de co-processamento (PR, SP, RJ e MG) (CEMPRE, 2001). Mesmo quando há a possibilidade, a ausência de conscientização por parte da população e da indústria ainda impede que muitos resíduos sejam ainda adequadamente destinados.

No caso dos resíduos sólidos industriais, a situação é ainda pior, uma vez que, dos 5.507 municípios brasileiros, apenas 674 coletam resíduos sólidos industriais. A TABELA 2 mostra a situação da destinação final dos principais municípios do Brasil.

TABELA 2 – MUNICÍPIOS QUE COLETAM LIXO INDUSTRIAL, E SUA DESTINAÇÃO.

Grandes regiões, unidades da federação, regiões metropolitanas e municípios das capitais.	Municípios que coletam lixo industrial									
	Total	Destinação do lixo industrial								
		Por incineração		No mesmo local dos demais resíduos		Aterro de resíduos especiais		Pátio de estocagem	Outra	Sem declaração
		Em Incineradores	Incinerado a céu aberto	Vazadouro	Aterro	Próprio	De terceiros			
Brasil	674	8	37	275	288	40	18	6	24	6

Fonte: Adaptado da pesquisa IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.

Nota: Um mesmo município pode apresentar mais de uma unidade de destinação do lixo industrial.

Entre 674 municípios que coletam resíduos sólidos industriais, 275 destinam seus resíduos industriais a vazadouros e 288 a aterros não específicos para a disposição desse tipo de resíduo (IBGE, 2000).

2.3 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS INSERIDOS NA MASSA CERÂMICA

Conforme Cabral (2005) o crescimento populacional, o aumento de pessoas nos centros urbanos, a considerável variação do consumo de bens e serviços e o sempre constante incremento de novas tecnologias, os resíduos se tornaram graves entraves urbanos compondo um gerenciamento custoso e complexo considerando massa e volume acumulados.

Ângulo (2001) constatou que os principais obstáculos se configuram pela escassez de espaço de deposição de resíduos ocasionada pela ocupação e valorização de áreas urbanas, significativas consequências sociais na administração destes resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental.

De acordo com John (2000) a utilização de resíduos industriais para compor a produção de materiais de construção civil gera inúmeros benefícios, tais como: economia no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados, aumento da vida útil dos aterros e redução da poluição.

Alguns trabalhos de adição de resíduos em massa cerâmica já foram realizados no Brasil sendo sua participação muito pequena em termos de pesquisa, ainda que a produção de resíduos é muito grande em nosso país, poderiam haver mais trabalhos com resíduos diferenciados. Estes trabalhos estão mais concentrados na Europa e em alguns países do continente asiático como o Japão (MENEZES, 2002).

Com intuito de proporcionar uma visão dos trabalhos realizados, que de certa forma, tem ligação ou semelhança com esta pesquisa, abaixo se apresenta uma breve descrição dos mesmos.

Os pesquisadores Domínguez e Ullman (1996) como objetivo de testar a utilização de pó de aço em formulação de massa de argila para fabricação de blocos produziram um protótipo de tijolo comercial incorporando pó de aço a 20%. Este produto atende ao padrão de regulamentos comerciais, sendo inerte para os testes ambientais de lixiviação e o processo cerâmico tem baixa emissão de gases perigosos.

Elwan (1998) estudou a possibilidade de utilizar a argila combinados com produtos de resíduos industriais, tais como escória de alto forno e escória de convertedor de ar arrefecido por água para a fabricação de tijolos. As propriedades cerâmicas foram medidas. Os resultados mostraram que a substituição de 10% de argila por escória de alto forno, cozida a 900°C e 1000°C, melhora a resistência à compressão e a densidade aparente, mas a substituição pela escória de convertedor diminui essas propriedades. Elwan conclui que a escória granulada é adequada para fazer tijolo enquanto que a escória de convertedor é inadequada.

O estudo da adição de borra de petróleo à 0, 5, 10, e 20% em massa cerâmica, com análises de difração de raio X, granulometria e limites de Atterberg, q (um método de avaliação da natureza de solos criado por Albert Atterberg. Através duma série de testes e ensaios é possível definir o Limite de liquidez, o Limite de plasticidade e o Limite de contração de um solo). O estudo detectou a diminuição da plasticidade da massa, ficando com a cor de queima vermelha apropriada, apresentando um potencial de uso desta borra na massa cerâmica estrutural (VIEIRA, 2006).

Já Oliveira (2004) adicionou resíduo de siderurgia à 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0% em massa. Também realizou análise de difração de raios X, distribuição de tamanho de partículas e limites de Atterberg, bem como os ensaios físicos e mecânicos. Os resultados demonstraram a possibilidade de uso da massa obtida na mistura.

Godinho (2004) fez um estudo da introdução de vários tipos de vidros, inclusive tubos de TVs na fabricação de telhas cerâmicas. Obtendo uma mistura com resultado promissor, pois, com ela, os estudos das propriedades físicas, atingiram resultados satisfatórios, mas para tal requer que o vidro esteja na forma de pó. Os cacos de vidro de tubo de TV são mais espessos, se gasta mais tempo e energia na sua moagem, aumentando os custos de produção.

Andrade (2005) pesquisou os impactos causados pela incorporação de resíduos de lodo de ETA, no processo produtivo de uma indústria cerâmica, desde o armazenamento do resíduo no pátio até pós-consumo do bloco, concluindo que a

utilização do resíduo em referência neste processo produtivo, não causa impactos significativos ao meio ambiente e ao trabalhador.

Campregher (2005) misturou lodo primário e secundário de estação de efluente da produção de papel e celulose em 5, 10, 15, 20% em massa. A mistura reteve na queima com a massa cerâmica os elementos metálicos e inorgânicos potencialmente perigosos contidos no rejeito. Ela ainda utilizou a energia química contida na fração orgânica do lodo, com economia de energia na queima; produzindo um produto com retorno econômico. Os resultados satisfatórios foram com as misturas de 5% e 10% de lodo, em função da expansão dos corpos de provas.

Morete et al. (2006) estudaram a incorporação de resíduos proveniente de sondagem à 5 e 10%, resíduo este, com alto teor de ferro. Tal incorporação aumentou a retração linear de queima, e aumentou a resistência dos corpos de prova, sendo indicando seu uso.

Mello (2006) adicionou lamas do beneficiamento de mármore e granito, concluindo que as de granito são melhores aceitas na massa cerâmica, em função de resistência à ruptura, e da quantidade dos poros no corpo de provas ser menor do que a do granito. Indicando a massa com adição de 40% de granito e até 16% de mármore, para fabricação de artefatos de cerâmica vermelha.

Em 2006 foram realizadas várias misturas de poeira de jateamento de vidro, resíduos de areia de fundição e argila, onde chegou-se no mix de 10% da microesferas de vidro, 25% de argila e 65% de areia de fundição, como um novo tipo de massa argilosa para fabricação de tijolos, telhas, lajotas na construção civil, sendo patenteada como um novo tipo de cerâmica (TOLEDO, 2006).

A análise da co-utilização de resíduo do beneficiamento de caulim e serragem de granito na produção de blocos e telhas cerâmicas, através de: difração de raios-X, análise térmica diferencial, gravimétrica. Ensaio pós a queima: absorção e ruptura, mostrou que é possível a adição destes resíduos até 50% da massa, para a produção de blocos maciços, furados e telhas (Menezes et. al., 2007).

No mesmo ano Menezes et al. (2007), fez o mesmo estudo citado anteriormente utilizando somente caulim e obteve a mesma conclusão do estudo anterior, onde pode-se adicionar até 50% de resíduos na massa de fabricação dos produtos de cerâmica vermelha.

Conforme Silva (2007a) a adição de 25% de serragem de granito em massa para produção de cerâmica de revestimento, favoreceu a obtenção de corpos de prova com as melhores propriedades tecnológicas, trazendo inúmeros benefícios ao meio ambiente, considerando a economia da quantidade de recursos naturais, prolongando a vida útil de jazidas, diminuindo os custos finais além de dispor de novas matérias-primas para o setor.

Reis (2007) adicionou quatro resíduos à massa cerâmica, sendo eles: resíduo de escória de alto-forno, resíduo de efluente da indústria cerâmica de revestimento e da indústria de reciclagem de vidros, e também a mistura do lodo de efluente e resíduo de vidro na mesma massa. As análises físicas, químicas e inclusive das emissões gasosas foram realizadas. A possibilidade dos resíduos serem utilizados foi definida como viável. A metodologia utilizada foi considerada eficiente.

A queima da adição de resíduos no processo de produção cerâmico pode causar impactos no meio ambiente. Souza (2007) analisou os gases emitidos nesta produção. Diferentes concentrações de escória de aciaria, e de lama de estação de tratamento d'água (ETA) foram utilizadas, queimados em forno tubular de laboratório, com controle digital, até 1100°C. Em relação à escória de aciaria, se conclui que o teor máximo deste resíduo a ser incorporado à argila foi de 10%. O estudo afirmou que a adição de resíduos é inversamente proporcional à emissão dos gases poluentes na faixa de 200 a 500°C. Já a incorporação da lama à argila aumenta a emissão dos gases poluentes, devido à presença da caulinita, que abre os poros, favorecendo a liberação dos gases. O impacto ambiental adicionando este resíduo na massa cerâmica pode aumentar.

Um estudo mais voltado às características mecânicas das misturas, procurando otimizar as propriedades físico-mecânicas do produto final, obteve como resultado a incorporação de 15% em peso de rejeitos cerâmicos, propriedades superiores as da argila, nas temperaturas entre 900°C e 1000°C (SANTOS, 2007).

Medeiros (2007) comprovou a viabilidade técnica da adição de cinza de alto forno cerâmico em formulações de massa para cerâmica estrutural. No estudo foram utilizadas duas argilas (plástica e não-plástica), assim como a cinza provinda da lenha utilizada no processo de queima de cerâmica estrutural. Das composições estudadas com cinza, a que apresentou melhor desempenho foi a massa de argilas com 10 % de cinza, na temperatura de 1150°C, com a menor absorção de água, menor porosidade aparente, massa específica aparente pouco acima das outras e maior resistência mecânica à flexão.

O reaproveitamento de resíduos de construção civil composto de areio, concreto, cimento e tijolos vermelhos foram estudados na adição de massa cerâmica objetivando minimizar os impactos causados pela construção civil. As concentrações de 0% a 50% em peso de resíduo foram utilizadas nos corpos de prova, sendo sinterizadas nas temperaturas de 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C e 1150°C, e submetidas a ensaios de absorção de água, retração linear, resistência à flexão, porosidade aparente, massa específica, DRX e MEV. Concluindo que é possível a incorporação de até 50% de resíduo nas massas cerâmicas, para fabricação de blocos, sem perdas significativas na resistência mecânica, apresentando melhores resultados para a incorporação de 30% de resíduos na massa de fabricação de peças cerâmicas como telhas, tijolos de alvenaria e furados (SILVA, 2007b).

Pinheiro et. al. (2008) avaliaram a microestrutura de massa com a incorporação de até 10% em peso de resíduo proveniente da produção de papel. Indicando que é viável tecnicamente, para concentração de resíduo de 3%, para não aumentar demasiadamente a porosidade, que aumenta a quantidade de água que por sua vez decresce a resistência mecânica.

Em (2008) Kaminata estudou a incorporação de resíduos de lodo de tratamento de efluente de lavanderia têxtil, em percentuais de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em massa, avaliando através de ensaios de resistência à compressão, absorção de água, capacidade de retenção de metais pesados, medida por meio de ensaios de lixiviação e solubilização. Os resultados chegaram a uma porcentagem de 15% de resíduos adicionados na massa cerâmica, sem prejudicar as características exigidas em blocos de vedação.

Silva (2008a) realizou sua tese de doutorado analisando o efeito da incorporação do resíduo de gesso para revestimento, proveniente da construção civil, na formulação de massas para cerâmica vermelha. As formulações em percentuais de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% foram caracterizadas. As amostras foram sinterizadas às temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C, submetendo-as a ensaios, como retração linear de queima, absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência mecânica à flexão. Os melhores resultados foram à temperatura de 950°C, nas formulações que possuem na faixa de 0% a 15% de resíduo incorporado.

Duarte (2008) introduziu lodo de estação de tratamento de esgoto na massa cerâmica, constatando que se perdeu a resistência à compressão, e aumentou-se a porosidade com perda de massa do tijolo. A dosagem máxima de lodo que atende aos requisitos técnicos e ambientais é de 20% em função da periculosidade do produto obtido.

Asquini et al. (2008a) fizeram uma composição com três tipos diferentes de lamas da indústria do papel moídos e queimados, para misturar ainda com pó de vidro em proporções variáveis. Os resíduos em pó foram em seguida secos, peneirados, por prensagem uniaxial em amostras de ar e sinterizadas. A densidade, absorção de água, retração de queima, resistência, dureza foram medidas e realizou-se a investigação de microestrutura, resultando que algumas amostras sinterizadas mostraram boas propriedades físicas e mecânicas como consequência de sua microestrutura porosa e baixo residual.

Tartari (2008) estudou a adição de lodo da ETA de Foz de Iguaçu como matéria-prima para produção de cerâmica vermelha de peças artesanais. Concluindo que não pode ser usado como componente majoritário em massas cerâmicas. No entanto, este resíduo pode ser usado em pequenas quantidades em massas argilosas, onde as argilas usadas podem ser da mesma região como sugerido nessa pesquisa.

Margem (2008) pesquisou a introdução de lodo da operação de limpeza dos tanques de decantação de ETA. As amostras com até 10% em peso de resíduo, aumentou a absorção de água e diminuiu a resistência mecânica após a fase de

queima da cerâmica. Isto ocorreu devido à elevada perda de massa do resíduo durante a etapa de queima. A reciclagem deste tipo de resíduo de ETA em cerâmica vermelha deve ser realizada em pequenas quantidades para não prejudicar a qualidade da cerâmica.

Asquini et al (2008b) mostraram através de pesquisa que a adição de resíduos proveniente de corte de granito e mármore na massa de argila vermelha industrial, já está em uso na fabricação de telhas. As amostras que contêm até 30% em peso, com os resultados obtidos, explicam o efeito que o rejeito de mármore e granito tem sobre o comportamento de mistura de argila. O qual pode ser melhorado, com a possibilidade de utilizar temperaturas inferiores de queima.

ARAUJO (2008) estudou a influência da incorporação de 25% de lodo de estação de tratamento de esgoto, à massa para produção de corpos cerâmicos na temperatura de queima de 1.200°C, não sendo viável a fabricação de outros produtos em temperaturas inferiores, pois, não apresentaram valores de tensões de ruptura à flexão inferior aos mínimos exigidos, para a fabricação de blocos em temperaturas até 1.100°C.

Sutcu (2009) adicionou resíduos do processo de fabricação papel como aditivo na massa de tijolo de barro para produzir poros, com intuito de diminuir a condutibilidade térmica. Os resultados obtidos mostraram que o uso de resíduos de processamento de papel, diminui a densidade de queima dos tijolos até 1,28 g/cm³. A resistência à compressão das amostras foram maiores do que o exigido pelas normas. A condutividade térmica do tijolo poroso produzido neste estudo (<0,4 W / m K) mostrou uma redução de mais de 50% em relação ao local de tijolo com a mesma composição (0,8 W / m K). Concluindo que este produto para um tijolo perfurado pode reduzir a sua condutividade térmica para valores muito baixos.

Silva (2010) introduziu lodo de efluente do tratamento de superfície de uma empresa metalomecânica, neste caso os corpos de prova foram extrusados com 5, 10 e 15% de resíduo em massa. A mistura ficou muito plástica, e obtêm-se um bom resultado apenas para as misturas de 5% e 10%.

Araújo (2010) montou um modelo estatístico que analisou o efeito da adição de caulim, feldspato potássico e quartzo em duas formulações padrão para

produção de telhas no estado do Rio Grande do Norte, através do efeito da temperatura de sinterização na retração linear de queima, absorção de água e tensão de ruptura a flexão. Os corpos de prova com adição somente de caulim apresentaram melhoria na absorção de água, retração linear e resistência a ruptura à flexão.

Medeiros (2010) objetivou a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, lodo de ETA- Estação de Tratamento de Água e cinza de lenha em massa cerâmica. Uma mistura entre os três resíduos foi estudada e concluindo-se que se pode utilizar até 25% de resíduo em relação à massa cerâmica, atingindo uma temperatura de até 1150 °C, sem comprometer as características desejadas no produto cerâmico.

Klitzke (2011) desenvolveu um novo método de utilização de lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de produção de papel, adicionando vidro residual na mistura com material argiloso, para produção de cerâmica vermelha. Comprovando que a utilização destes resíduos pode ser realizada no processo de fabricação de produtos cerâmicos, ficando ainda restrita a absorção de água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Quanto à natureza ou finalidade a pesquisa é classificada como aplicada, pois se trata da aplicação de quantidade de resíduos em massa cerâmica, para verificar se resulta em soluções dos problemas de destinação de resíduos industriais, um problema genérico da indústria de produção (SANTOS A., 2002).

A abordagem da pesquisa é tanto de cunho qualitativo quanto quantitativo, pois, se procurou levantar a quantidade de resíduos que pode ser incorporado, bem como se verificou a qualidade dos corpos de provas seguindo as normas da ABNT aplicáveis, estes dados foram coletados em laboratório (CHIZZOTTI, 2001).

3.2 PROCEDIMENTOS

A FIGURA 4 mostra um fluxograma dos ensaios realizados durante a pesquisa, onde primeiramente houve o preparo das amostras, classificação segundo a NBR 10.004 de 2004, cálculo da umidade, misturas de massa, conformação dos blocos de provas, secagem e queima, ensaios físicos e classificação da periculosidade dos resíduos após a mistura e queima.

A metodologia de análise de matéria prima, para a fabricação de blocos de vedação ainda não está normatizada, mas segue os procedimentos do Laboratório de Ensaio Cerâmicos do Senai Mario Amato em Itu - SP, do Núcleo de Tecnologia em Cerâmica Vermelha (NTC) do Senai de Três Rios no Rio de Janeiro, do LABSENAI – Cerâmica Rio Verde no MS, do laboratório Centro de Tecnologia Cerâmica em Criciúma (CTC) SC e do Laboratório de Cerâmica Vermelha (LCV) do Senai de Ponta Grossa no PR. Estes laboratório são qualificados pela Anicer sendo que o de SP, SC e RJ também são certificados pelo Inmetro.

Os ensaios físicos e conformação de corpos de prova foram realizados no LCV, em Ponta Grossa.

Estes laboratórios, não costumam realizar os ensaios de estrutura de difração de raio X e fluorescência, bem como a composição química dos constituintes dos resíduos, simplesmente analisam os efeitos físicos das misturas.

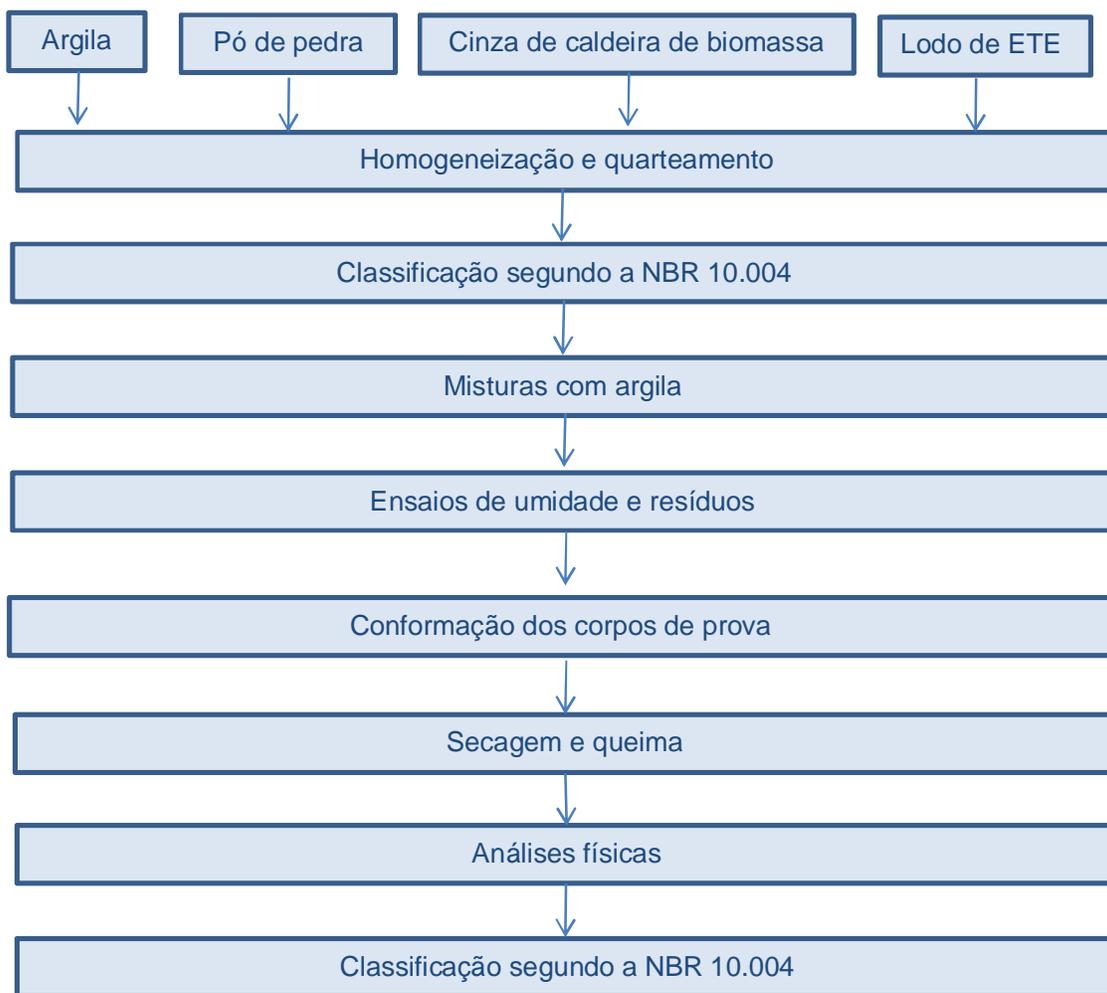


FIGURA 4 – FLUXOGRAMA RESUMIDO DA PESQUISA

3.2.1 Seleção e preparo de amostras

Uma amostra de argila e amostras de três resíduos industriais de características diferenciadas foi selecionada, abaixo descrita:

- Cinza de caldeira de queima de biomassa, proveniente de uma empresa de papel e celulose localizada em Araucária no Paraná;

- Lodo do tratamento de efluente de indústria de papel e celulose, também localizada em Araucária no Paraná;
- Pó de pedra proveniente de lama abrasiva de serragem de granito, originário do polimento e serragem de rocha ornamental, em uma indústria de beneficiamento da Região Metropolitana de Curitiba no Paraná;
- Argila utilizada no processo produtivo de cerâmica vermelha de uma indústria do bairro de Umbará localizada em Curitiba. A coleta foi realizada após a passagem no laminador, para facilitar a homogeneização.

Considerando a viabilidade da pesquisa, e que a mesma possa ser aplicada na prática, foi coletada argila de indústria cerâmica da região de Curitiba, próximos de onde também se encontram os geradores de resíduos, em função das despesas com transporte destes resíduos não tornarem seu uso inviável.

O maquinário da indústria cerâmica e suas limitações, também foram considerados, para garantir posteriormente a viabilidade da mistura em escala industrial, sem conduzir à erros, pois, a produção de blocos de vedação utiliza material pesado, sem muita precisão na realização das misturas, sendo assim, não podemos fazer misturas muito sensíveis, de difícil precisão de formulação por maquinários pesados.

3.2.2 Homogeneização e quarteamento

As amostras de argila, cinza de queima de biomassa e pó de pedra foram homogeneizadas, utilizando pilhas longitudinais, realizando sucessivas misturas das alíquotas dos resíduos e da argila separadamente. A construção das pilhas longitudinais é realizada distribuindo-se o material, longitudinalmente com velocidade constante, sobre o chão ou lona, como mostrado na FIGURA 5. As extremidades da pilha construída devem ser retomadas e novamente espalhadas sobre seu centro, quarteadas pelo mesmo método. A seguir secou-se as alíquotas finais foram secadas, em estufa à 70°C por 24h, com exceção da argila, onde foi seca apenas 1000g de amostra, com o intuito de calcular a umidade das amostras.



FIGURA 5 - PROCESSO DE HOMOGENEIZAÇÃO E QUARTEAMENTO DAS CINZAS DE QUEIMA DE BIOMASSA.

Os lodos de efluente foram coletados de duas lagoas de deposição, portanto foram misturados e homogeneizados com auxílio do misturador mecânico, para compor uma amostra única e ser quarteada. As amostras de lodo de efluente de papel e celulose, em função da grande quantidade de orgânicos, foram secas em estufa à uma temperatura mais baixa de 50°C por 24h.



FIGURA 6 - AMOSTRAS DE LODO DE ETE DA FABRICAÇÃO E PAPEL E CELULOSE.

Antes de realizar as misturas, foram realizadas as análises de classificação dos resíduos segundo a NBR 10.004/2004, para verificação de periculosidade, e podermos caracterizá-los, comparando-os com o produto final da mistura e se foi possível a inertização dos compostos existentes nos resíduos.

3.2.3 Preparo dos corpos de provas

Em função do maquinário da indústria cerâmica ser grande e pesado, impossibilitando de se fazer misturas com porcentagens baixas de resíduos, ou, muito sensíveis, com a precisão requerida na prática, escolheram-se intervalos de pelo menos 10%, para simular o estudo em laboratório.

As porcentagens de misturas foram baseadas nas porcentagens usuais na indústria cerâmica que tem uma sensibilidade de pelo menos 10% e na literatura que não ultrapassam os 40%, chegando a alíquotas de 10, 20 e 30% de resíduos nas massas cerâmicas.

Um misturador motorizado foi utilizado (FIGURA 7), para realização das misturas, onde foi acrescentando os resíduos à argila aos poucos, até a massa ficar bem homogênea. Foram compostas nove misturas utilizando-se da seguinte nomenclatura nos corpos de prova:

- argila com 10% de pó de pedra (A1);
- argila com 20% de pó de pedra (A2);
- argila com 30% de pó de pedra (A3);
- argila com 10% de cinza de caldeiras (B1);
- argila com 20% de cinza de caldeiras (B2);
- argila com 30% de cinza de caldeiras (B3);
- argila com 10% de lodo de estação de efluentes de Papel e celulose (C1);
- argila com 20% de lodo de estação de efluentes de Papel e celulose (C2);
- argila com 30% de lodo de estação de efluentes de Papel e celulose (C3).



FIGURA 7 - REALIZAÇÃO DA MISTURA DE PÓ DE GRANITO À ARGILA, EM MISTURADOR MOTORIZADO.

Os corpos de provas foram conformados com uso de extrusora de laboratório, conhecida popularmente como maromba e mostrada na FIGURA 8, a mesma possui bomba á vácuo, para evitar a formação de bolhas nos corpos de prova.



FIGURA 8 - EXTRUSORA UTILIZADA NA CONFORMAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.

A massa cerâmica passou por um laminador para homogeneização da mistura e quebra de torrões, logo após, foi extrusado, formando corpos de provas de aproximadamente 10 cm x 3 cm x 2 cm.

A nomenclatura dos corpos de prova, conforme a mistura estão representadas no QUADRO 3, para facilitar a visualização.

	Sem mistura	10% de resíduos	20% de resíduos	30% de resíduos
Argila padrão	P	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Argila padrão + pó de pedra	A	A1	A2	A3
Argila padrão + Cinza biomassa	B	B1	B2	B3
Argila padrão + lodo de ETE	C	C1	C2	C3

QUADRO 3 – NOMECLATURA DOS MATERIAIS E CORPOS DE PROVAS

De cada mistura produziu-se 20 corpos de provas conformados, obtendo-se o total de 200 corpos de provas, para diferenciá-los, cada corpo também recebeu a numeração de ordem crescente de 1 ao 20. Destes 20, apenas dois foram utilizados para análise somente a seco, nove para queima à 850°C e nove 950°C. A FIGURA 9 indica que no lado esquerdo do corpo de provas temos a identificação do resíduo da composição da mistura, ou a argila padrão, seguida do número

correspondente a porcentagem de mistura. No lado direito do corpo de prova temos o número do corpo de prova daquela composição.

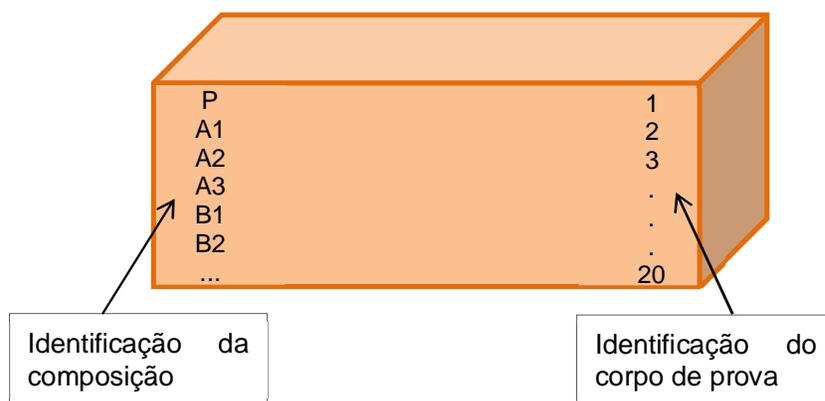


FIGURA 9 - Esquema de identificação dos corpos de prova

A numeração está representado na FIGURA 10 , onde se mostra parte dos corpos de provas formados somente de argila, chamados de corpos padrão durante o presente estudo.

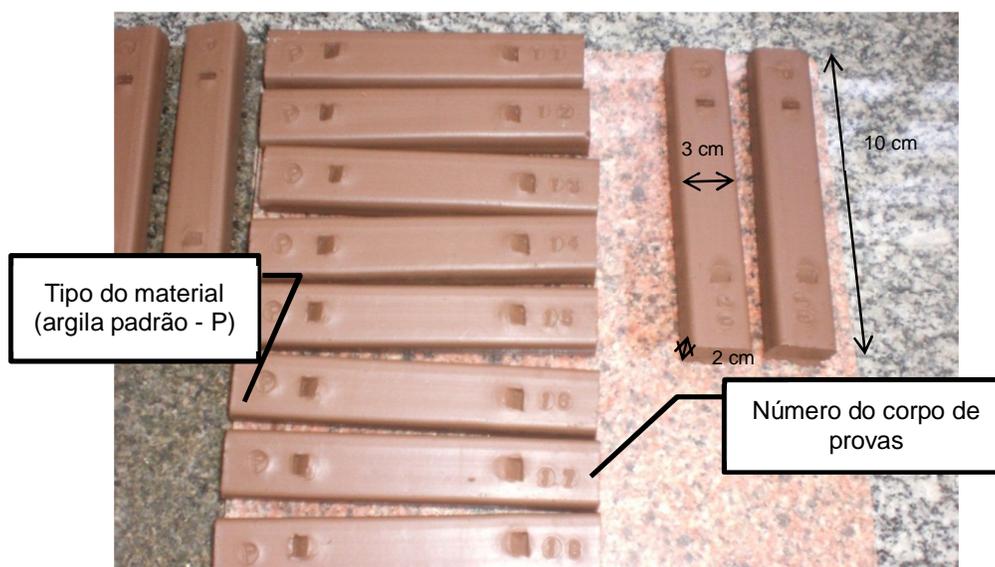


FIGURA 10 - Corpos de provas crus, com marcação de tipo de mistura, quantidade e preparo para ensaio retração.

Uma parte dos corpos de provas passou por análises físicas de: absorção de água, retração, resíduos, densidade aparente, perda ao fogo e tensão de ruptura.

Outros corpos de provas foram moídos, para então fazer novamente a análise de classificação de resíduos.

3.2.4 Classificação de resíduos segundo a NBR 10.004 de 2004

As análises e laudos de classificação foram realizados pelo Laboratório Senai – CIC, onde seguiu-se a metodologia indicada na NBR 10.004 de 2004. Foi medido o pH em água, umidade à 105°C, e na amostra solubilizada mediu-se Cloretos, fenóis totais, sulfato, metais por absorção atômica, e realizado o laudo de classificação.

3.2.5 Umidade dos materiais

Uma alíquota de cada material foi seca em estufa à 110°C durante 24h, seus pesos foram medidos antes da secagem (peso úmido) e depois da secagem (peso seco). A porcentagem de umidade contida nestes materiais foi calculada pela equação 1 (SOUZA; RAFULL; VIEIRA, 2000).

$$h = \frac{Peso_{umido} - Peso_{seco}}{Peso_{seco}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h é o teor de umidade em porcentagem.

3.2.6 Quantidade de resíduos

O resíduo é composto pelas impurezas minerais presentes nas argilas, que possuem granulometria maior que estas. O ensaio de resíduos pode avaliar qualitativamente as impurezas, estimar o grau de sinterização após a queima e o comportamento das argilas durante as fases de conformação e secagem das peças cerâmicas (MONTEIRO, 2007).

O ensaio de quantidade de resíduos, ainda foi realizado nos materiais e misturas antes de conformataada, onde foi passada por peneira #325, lavou-se, passou-se o resíduo para capsula de alumínio e secou-se à 110°C. Após seco passou-se por um conjunto de peneiras de #100,#150, #200 e #325. O material retido foi pesado M_{retida} em cada peneira e calculando o resíduo (R) pela fórmula 2 (MONTEIRO, 2007):

$$\% R = \frac{M_{retida}}{M_{seca\ inicial}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

%R é a porcentagem de resíduos, $M_{seca\ inicial}$ é o peso inicial e M_{retida} é o que ficou retido na peneira #325.

3.2.7 Absorção de água

O cálculo de absorção de água foi obtido através da metodologia baseada na ABNT NBR 15270-3 e descrita a seguir:

Os corpos de provas foram secos em estufas até massa constante, pesados em balança elétrica obtendo-se a massa seca (M_s). Posteriormente os corpos foram imersos em água durante 2h à temperatura de 98°C. O excesso de água é tirado por um pano e pesa-se novamente, para obter a massa do corpo saturado (M_u). No cálculo de absorção é utilizada a fórmula 3 (ABNT NBR 15270-3, 2005):

$$\% \text{ Absorção de água} = A_a = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

3.2.8 Perda ao fogo (P.F.)

Abaixo considerando a nomenclatura do item anterior, e que M_q é a massa do corpo de prova após queima a perda ao fogo á calculada pela fórmula 4(Silva, 2008b).

$$\% \text{ P.F.} = \frac{(M_u - M_q)}{(M_s)} \times 100 \quad (4)$$

3.2.9 Retração

Os corpos de prova foram acomodados em bandeja de mármore, para evitar o empenamento, deixando para secar por 72 horas em temperatura ambiente, levados então para secar em estufas a 110° C por 24 horas.

Retração linear após queima é a retração provocada pela eliminação de: água de constituição, matéria orgânica e CO₂ da decomposição dos carbonatos.

A retração linear de queima (Rq) foi calculada através da equação (6)(SILVA, 2007b):

$$\%Rq = \frac{C_i - C_q}{C_q} \times 100 \quad (6)$$

Onde: %Rq = Retração após queima.

C_i = Comprimento do corpo medido após conformatação.

C_q = Comprimento final do corpo de prova medido após queima a temperatura T (850 e 950°C).

3.2.10 Resistência à ruptura

A resistência a ruptura foi realizada por prensas pneumáticas (EMIC DL 20) de 200 kN (quilonewton), ou seja 20 toneladas, que foram acopladas em computadores, os quais registraram a força submetida no momento da ruptura, a mesma está mostrada na FIGURA 11.

Os corpos de provas foram secos em estufa à 110°C e depois queimados à 850°C e 950°C.

Em função destes resultados pode-se avaliar a melhor composição de massa e o efeito da mistura no produto final.



FIGURA 11 – PRENSA UTILIZADA NOS ENSAIOS DE RESISTENCIA.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA SEGUNDO A NBR 10.004/04

As melhores composições foram definidas, através dos resultados dos ensaios, foram realizadas análises dos corpos de provas destas misturas conforme a NBR 10.004.

Neste caso todos os corpos de prova devem ser classificados como não perigosos, para confirmar a utilização destas massas na produção de materiais de cerâmica vermelha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 UMIDADE DOS MATERIAIS

Os cálculos das umidades das amostras pela equação 1 indicaram uma variação de 37,1% à 355,5%, os resultados estão representados na FIGURA 12.

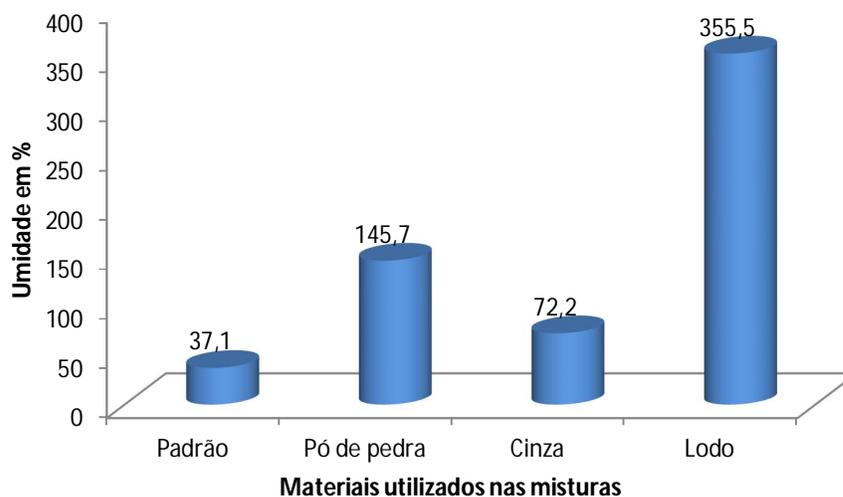


FIGURA 12 – UMIDADE DAS AMOSTRAS DOS MATERIAIS

A umidade de alguns resíduos foi muito alta em relação a massa padrão de argila. Nos casos dos resíduos de pó de pedra e lodo de ETE que apresentam uma quantidade de água muito maior do que de resíduos sólidos secos, podem implicar em inviabilidade econômica na prática. Isto se explica, considerando que nas análises em laboratório, o resíduo é seco em estufa com facilidade, por se tratar de pequena quantidade, não existindo problemas e despesas significativas para a pesquisa. Entretanto, para aplicar em grandes quantidades na indústria, deve-se verificar a viabilidade técnica e econômica da secagem destes resíduos, para uso na fabricação de blocos de vedação.

4.2 UMIDADE DA MISTURA

A umidade da mistura foi medida nos corpos de prova já conformados, e estão representados no gráfico representado na FIGURA 13.

O gráfico demonstra a umidade requerida para obter a plasticidade da mistura, para que a mesma possa ser moldada. A massa que possui cinza na sua composição foi a que requereu maior quantidade de água, inclusive aumentando proporcionalmente a quantidade de resíduo adicionado à massa. Considerando que as amostras destes resíduos foram secas em estufa, poderíamos fazer um estudo, apenas para diminuir a umidade antes da mistura, e não secá-la totalmente, para que na prática não se gaste com a secagem, para depois adicionar água novamente.

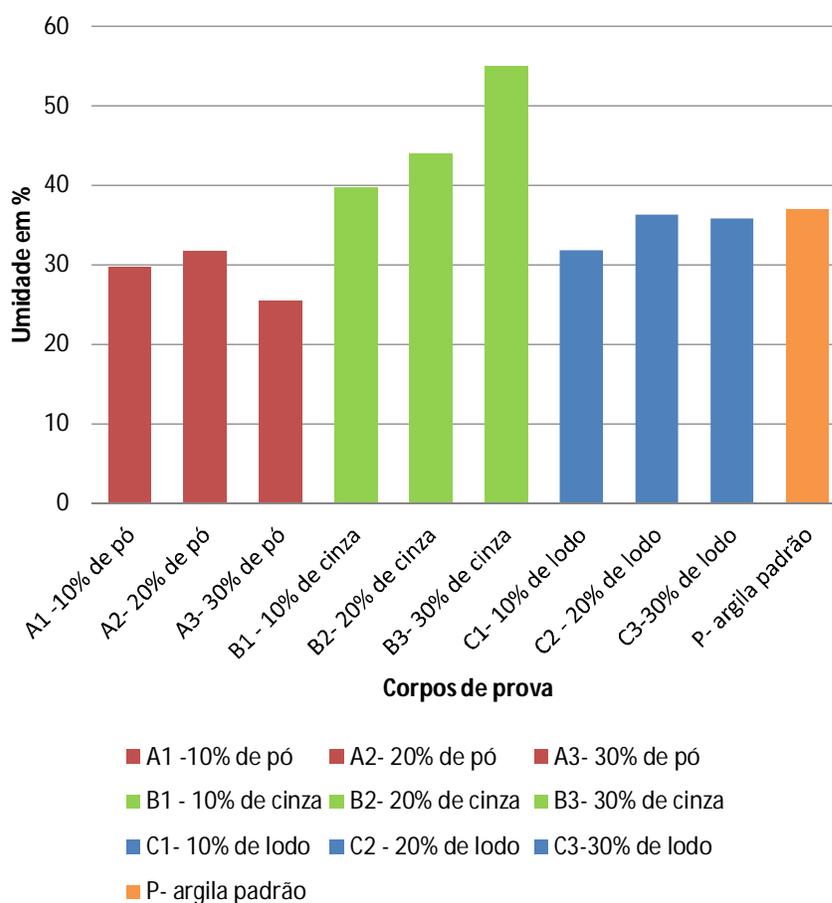


FIGURA 13 – UMIDADE DOS CORPOS DE PROVA

As peças cerâmicas com excesso de umidade na conformação, no caso acima de 30% podem acarretar em trincas durante o processo de secagem e após queima (RODRIGUES, 2002).

Apesar das umidades serem relativamente altas nas misturas, os corpos de provas após queima não apresentaram trincas ou fissuras significativas.

4.3 RETRAÇÃO APÓS QUEIMA

A retração linear ou contração avalia o encolhimento das massas argilosas quando perdem águas coloidal e residual durante o processo de secagem e queima. O resultado da contração pode-se estimar a composição granulométrica da argila, isto é, maior contração indica granulometria muito fina que, por sua vez, exige mais água para o amassamento.

Através da contração podem ser avaliadas algumas propriedades físicas das argilas, como a plasticidade, a resistência mecânica a cru e os comportamentos na secagem e na queima. O ensaio de contração das massas nos permite dimensionar os elementos de formação das peças, como estampo e boquilha e controlar as dimensões das peças queimadas.

A retração linear não está sujeita a normalização, mas é um parâmetro importante, pois, através dele saberemos quais as dimensões dos blocos no momento da conformação, para que após a queima venham à atender as dimensões exigidas na NBR 15270 -1. O ensaio prévio da retração pode-se dimensionar os equipamentos utilizados na conformação dos blocos, como as boquilhas, por exemplo.

Os resultados obtidos na retração linear são diferentes, conforme a temperatura de queima. A FIGURA 14 apresenta a retração linear das misturas de massas, queimadas à 850°C e a FIGURA 15 à 950°C.

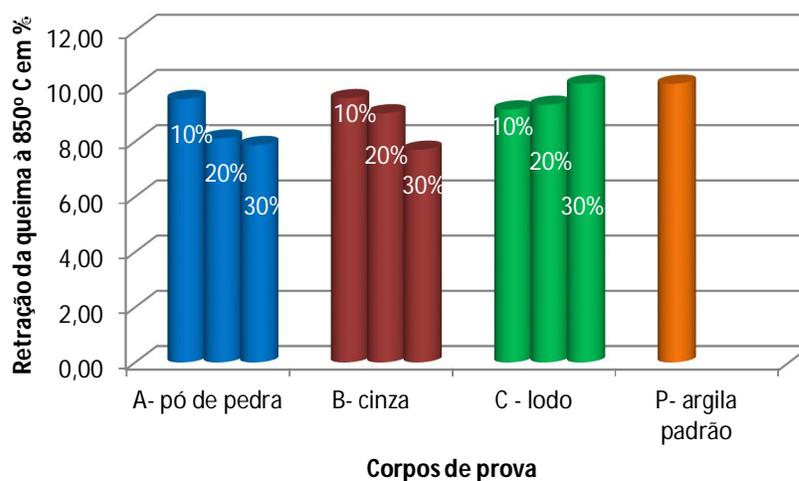


FIGURA 14 - Retração linear na queima à 850°C.

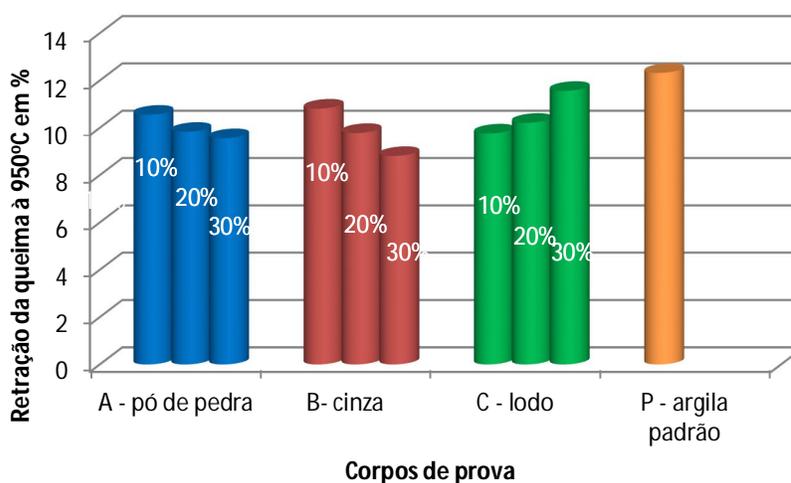


FIGURA 15 - Retração linear na queima à 950°C.

A FIGURA14 comparada com a FIGURA15 nota-se que a retração à 950°C foi maior que a 850°C, o que se esperava comparado com os estudos já existentes de Klitzke (2011).

As duas primeiras misturas diminuíram a retração, conforme sua dosagem foi aumentando, isto é, as grandezas são inversamente proporcionais. Entretanto nas misturas com o resíduo de lodo de ETE, quanto maior foi a concentração de lodo na argila maior foi o resultado da retração linear de queima, fato que concorda com o estudo de Klitzke (2011).

A matéria orgânica presente no lodo foi decomposta com o aumento de temperatura. Esta decomposição cria espaços vazios entre os materiais mais refratários que vão sendo preenchidos pelos materiais menos refratários gerando a retração no corpo de prova (SILVA, 2010).

Todas as misturas diminuíram a retração em relação à argila padrão. Isto ocorre devido a substituição de material plástico por não plástico. As retrações elevadas não são desejadas, pois, quanto maior a retração mais difícil é o controle das dimensões das peças de blocos cerâmicos de vedação.

4.4 ABSORÇÃO

O índice de absorção de água segundo a NBR 15270-1, que firma os requisitos físicos e mecânicos exigíveis em bloco de vedação, não deve estar no intervalo de 8 a 22%.

Na FIGURA 16 estão demonstrados os gráficos montados a partir dos resultados das análises de absorção.

Os resultados indicam que apenas as misturas com pó de pedra à 10%, 20% e 30% estariam dentro das exigências da NBR 15270-1. Quando estes tipos de misturas forem indicados, para fabricação de blocos de vedação, quanto ao quesito absorção.

A uma temperatura constante, os valores de absorção se elevaram proporcionalmente a adição da quantidade de lodo e cinza presente na mistura, pois, quanto maior a quantidade destes resíduos maior é o teor de material orgânico presente na massa, logo a quantidade de poros existente na peça cerâmica será maior e por consequência a absorção de água (KLITZKE, 2011).

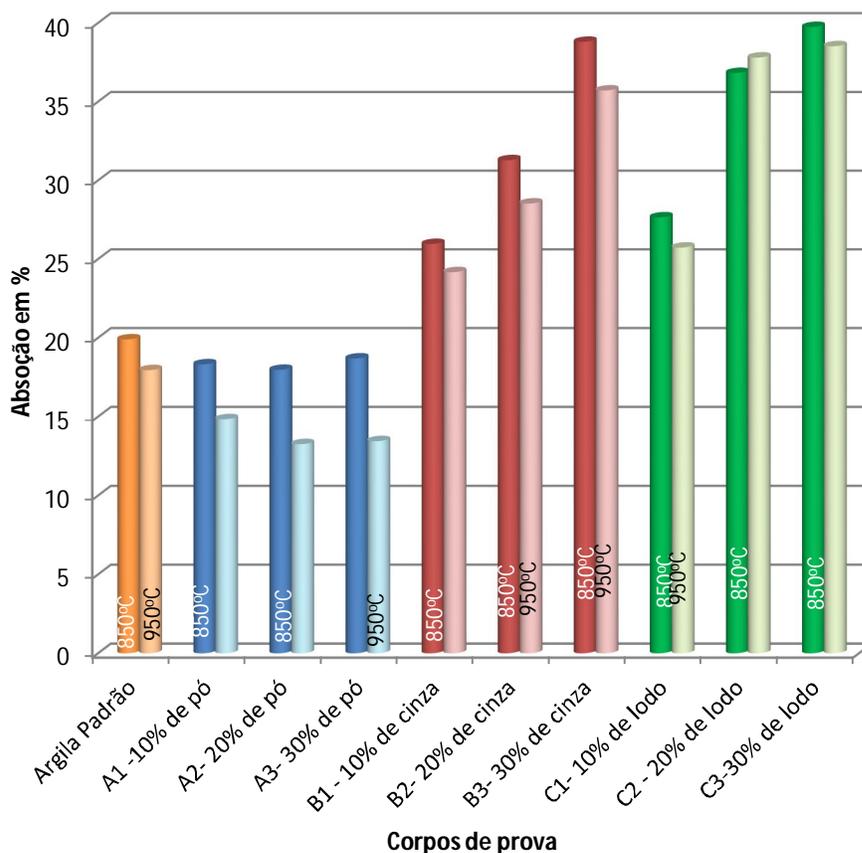


FIGURA 16 – Gráfico dos resultados da absorção de água

Fixando a quantidade de resíduos, mas com aumento de temperatura, notou-se que a absorção diminuiu, isso devido à diminuição da tensão superficial dos poros, os quais ajudam no processo de implosão e conseqüentemente, preenchimento dos poros (vazios) e na densificação dos corpos cerâmicos (SILVA, 2007a)

As misturas de cinza à 10%, 20% e 30% e de lodo à 10%, 20% e 30% não foram indicadas devido ao seu alto poder de absorção.

O alto poder de absorção em blocos cerâmicos de vedação pode causar riscos e problemas na absorção da água da argamassa no momento da utilização, deixando a argamassa seca e prejudicando sua aderência, bem como pode ocasionar problemas de infiltração das paredes compostas por estes materiais (KAMINATA, 2008).

4.5 PERDA AO FOGO

As análises de perda ao fogo indicam à diferença de massa em porcentagem devido à perda de compostos voláteis durante a queima. Os resultados estão ilustrados no gráfico da FIGURA 17.

As misturas com o resíduo de lodo de ETE tiveram os resultados de perda ao fogo maiores, conforme a adição de lodo. Esta proporcionalidade de perda ao fogo em relação à porcentagem de lodo na mistura pode ser explicada em função da queima dos carbonatos existentes no lodo, que interferem diretamente na perda de massa em altas temperaturas (SILVA, 2010).

A perda ao fogo também pode causar o aumento dos poros e consequentemente diminuição da resistência à ruptura, o que podemos confirmar com os resultados da FIGURA 18, onde verificamos que as tensões de ruptura para as misturas com lodo à 10%, 20% e 30% foram menores dos demais corpos de provas.

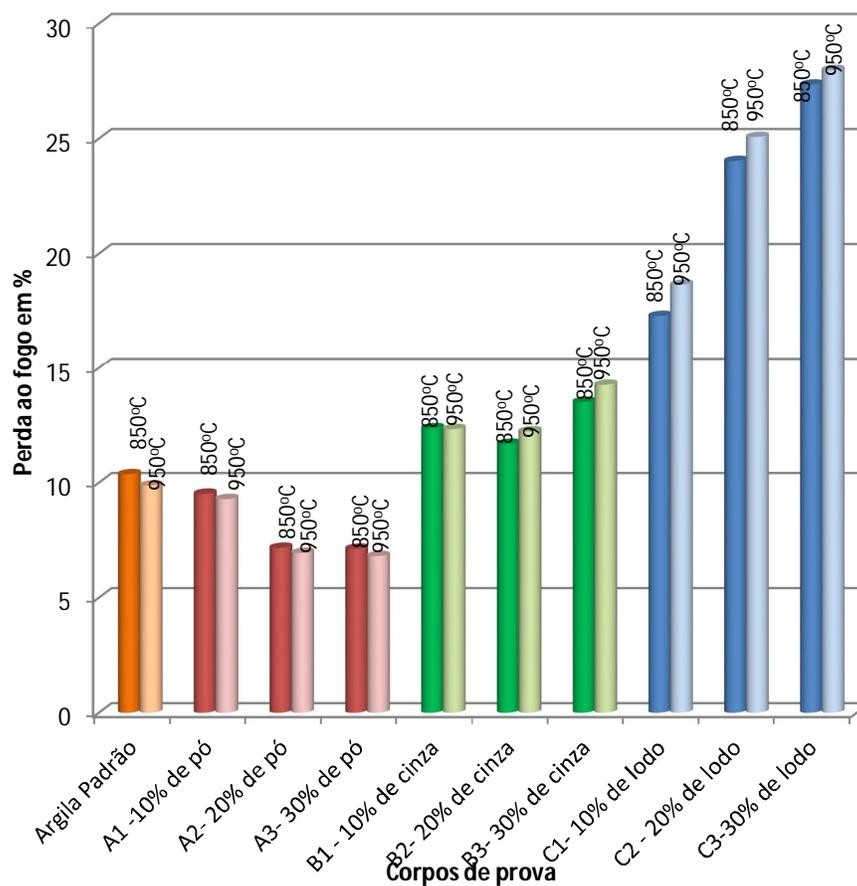


FIGURA 17- GRÁFICO DOS RESULTADOS DE PERDA AO FOGO

4.6 TENSÃO DE RUPTURA

A tensão de ruptura em blocos e vedação, segundo a NBR 15270-1, para blocos com furos na horizontal deve ser maior ou igual à 1,5M Pa, já com furos na vertical deve suportar no mínimo 3MPa.

Nesta avaliação considerou-se o pior caso, exigindo-se no mínimo 3,0 MPa. Na TABELA 3 e FIGURA 18 representam-se os resultados obtidos durante a pesquisa e mostra que a mistura com pó de pedra satisfaz este requisito em todas as porcentagens de resíduos adicionados à mistura.

TABELA 3 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA (MPa)

Corpo de prova	SECO	850°	950°
P	4,0	5,7	4,9
A1	3,8	6,3	6,2
A2	4,0	7,2	8,8
A3	3,4	6,7	8,1
B1	3,2	4,7	5,4
B2	3,0	3,0	4,1
B3	2,3	2,5	3,2
C1	5,2	3,3	5,0
C2	5,5	2,1	2,2
C3	5,1	1,9	2,0

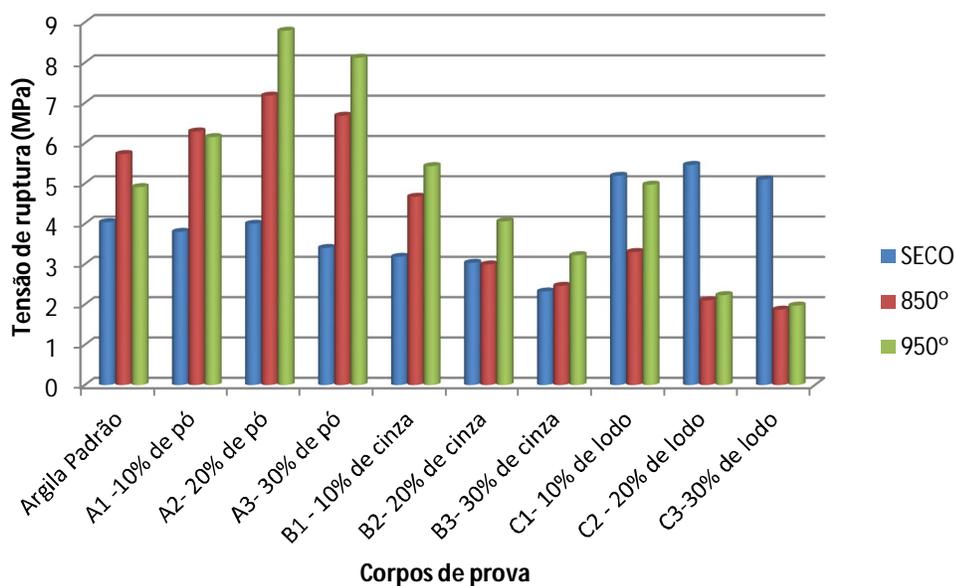


FIGURA 18 – GRÁFICO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA

A mistura com cinza demonstrou que a resistência é inversamente proporcional a quantidade de resíduos existente na composição de massa. E que cinza à 30% quando queimado à 850°C, não possui resistência suficiente para blocos de vedação.

A resistência baixa destas peças, provavelmente se deve à maior quantidade de poros, causada pela queima da matéria orgânica existente nos resíduos de cinza e de lodo de ETE (LUCENA, 2007).

O resíduo de lodo de ETE (C), também demonstrou sua inversão com a resistência, ficando somente a mistura com 10% de lodo (C1) dentro dos padrões estabelecidos pela norma de blocos de vedação.

4.7 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 10.004/04

A NBR 10.004/04 estabelece através do anexo F os limites para alguns elementos obtidos após o lixiviado: caso a concentração de algumas substâncias presente no resíduo sólido esteja superior aos limites estabelecidos neste anexo, o resíduo é considerado perigoso, ou seja, Classe I.

Quando os resíduos não contém nenhum elemento que confira periculosidade, ou quando atende os limites do anexo F da norma NBR 10.004/04, deve-se realizar a pesquisa para a definição se o mesmo é Classe II A ou Classe II B. Para esta definição, a NBR estabelece limites para extrato solubilizado através do anexo G, quando atende este anexo é classificado como Classe II B – Inerte. Se não atender, como Classe II a – Não inerte.

As análises de classificação de resíduos foram realizadas apenas nas amostras com maior índice de resíduos que atendem os requisitos físicos, apresentados anteriormente. No caso das misturas com o resíduo de lodo, onde nenhuma das porcentagens estudadas atendeu as exigências, foi escolhida a com menor índice de mistura (10%), para termos apenas um parâmetro de comparação.

A análise de classificação das matérias primas mostrou que apenas a argila padrão e o pó de pedra, não possuem concentrações acima dos parâmetros da tabela G da NBR 10.004, sendo assim, as mesmas são classe II – não inerte.

Concomitante a este resultado, a mistura destes dois resíduos continuaram dentro dos parâmetros da mesma tabela, sendo esta mistura classificada da mesma forma, como classe II- Inerte.

A mistura de argila com cinza de caldeira de biomassa tiveram os parâmetros de alumínio e manganês superiores aos limites definidos pelo anexo G, sendo considerado como classe II – não inerte.

A amostra de argila mais lodo de ETE, já possui os parâmetros de sulfato e manganês acima dos limites, também considerado Classe II- não inerte.

Os detalhes dos resultados obtidos estão demonstrados na tabela 4. Os resultados em negrito da TABELA 4 referem-se aos que estão acima dos limites indicados na NBR 10.004/04, para ensaio de solubilização. As amostras que estão acima destes limites são classificadas como classe B- não inerte.

TABELA 4 - CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO DA SOLUBILIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Parâmetro	Padrão	Pó de pedra	Cinza	Lodo	Pó de pedra 30%	Cinza 20%	Lodo 10%	Limites da NBR 10004/04
Caracterização da amostra bruta								
pH em água 1:1	7,23	9,73	8,12	6,08	7,56	7,36	6,54	2,0-12,5
Umidade à 105°C	0,18%	0,33%	54,20%	7,89%	0,14%	0,83%	0,43%	---
Caracterização do solubilizado (mg/L)								
Cloretos	2,16	7,62	<2,00	5,80	3,85	4,57	<2,0	250
Fenóis totais	0,006	0,008	0,004	0,468	0,008	0,006	0,008	0,01
Sulfato	8,15	<5,00	19,40	763,50	31,64	88,63	263,67	250
Alumínio	0,12	0,18	0,26	3,02	0,14	0,80	0,10	0,20
Bário	<0,50	<0,5	<0,50	0,67	<0,50	<0,50	<0,50	0,70
Cádmio	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,005
Chumbo	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,01
Cobre	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	2,00
Cromo total	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
Ferro	<0,10	<0,10	<0,10	4,81	<0,10	<0,10	<0,10	0,30
Manganês	<0,10	<0,10	<0,10	11,11	<0,10	0,58	3,65	0,10
Sódio	<10,00	35,70	<10,00	62,68	<10,00	<10,00	<10,00	200
Zinco	<0,10	<0,10	<0,10	0,51	<0,10	<0,10	<0,10	5,00

A classificação dos resíduos segundo a NBR 10.004/04 conforme as análises da tabela 4 são colocadas no QUADRO4.

Amostra	Classificação
P – Argila padrão	Classe II B – Inerte
A – pó de pedra	Classe II B – Inerte
B - cinza	Classe II A – não inerte
C - lodo	Classe II A – não inerte
A3 - pó de pedra 30%	Classe II B – Inerte
B2 – cinza 20%	Classe II A – não inerte
C1- lodo 10%	Classe II A – não inerte

QUADRO 4- RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A NBR 10.004/04

Em função dos resultados encontrados como não inertes, tem-se que tomar muito cuidado ao usar estes resíduos em materiais de construção civil, pois, até então os resíduos de blocos cerâmicos, são considerados inertes conforme Maia (2009) e Zordan (2006). Neste caso, pode haver necessidade de outro tipo de destinação e ou aproveitamento dos resíduos proveniente da demolição, bem como do processo construtivo das obras com tijolos de vedação constituídos por estes resíduos.

4.8 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Na queima dos corpos de prova com o resíduo de lodo, sentiu-se um cheiro muito forte devido a presença de compostos orgânicos e hidrocarbonetos.

A coloração avermelhada dos produtos como blocos, telhas, lajotas, tubos, entre outros, devido a presença de óxidos de ferro, que caracterizam o seguimento como sendo indústria de cerâmica vermelha (MOTTA, 2001).

As cores de queima das misturas com o resíduo de pó de pedra foram satisfatórios, pois, chegou ao tom vermelho desejado em materiais constituídos por cerâmica vermelha. As misturas em cinza apresentaram um tom acinzentado que aumenta com a quantidade de resíduo e diminui em função da temperatura de queima. Na queima a 850°C somente o corpo de prova com cinza à 10% apresentou cor satisfatória. Já na queima 950°C, os blocos com cinza à 10 e 20% apresentaram cor satisfatória.

Nas misturas com o resíduo de lodo, nenhum corpo de prova apresentou a cor satisfatória, pois, todos apresentaram tons de preto após queima, podendo

causar uma má impressão, ou até mesmo rejeição por parte do consumidor, em blocos de vedação produzidos com esta mistura.

A FIGURA 19 demonstra as cores dos corpos de prova após a queima dos corpos de provas com misturas dos resíduos de pó de pedra (A), cinza(B) e lodo(C).



FIGURA 19 – (a) Cor após queima das misturas do resíduo A; (b) Cor após queima das misturas do resíduo B; (c) Cor após queima das misturas do resíduo C.

5 CONCLUSÃO

O pó de pedra de serraria de granito como componente em massa cerâmica apresentou potencial para fabricação de blocos de vedação. Os corpos de provas suportaram a tensão de 6,2 MPa, possuem absorção abaixo de 19%, retração em torno de 10%, perda ao fogo menor do que a massa padrão, composta apenas de argila, e cor de queima aceitável. Os seus corpos de provas com 30% de resíduo, foram classificados como classe II B - inerte, demonstrando a não periculosidade do produto produzido com este resíduo.

Apesar da utilização de cinzas de caldeira de biomassa a 20% apresentar boa resistência e não apresentar periculosidade ao produto final, os resultados obtidos não recomendam o seu uso devido a absorção de água após queima ser superior a 22%, máximo recomendado pela NBR15270-1, e devido à todas as dosagens sua cor não possuir um aspecto visual agradável. Neste caso a norma segue uma exigência coerente, pois, com o aumento da absorção, a cura da argamassa é muito rápida, causando trincas e pouca aderência das mesmas na alvenaria.

As misturas realizadas com lodo de ETE de papel e celulose também não apresentaram periculosidade, mas somente a mistura a 10% obteve a resistência mínima exigida pela norma de blocos de vedação, e todos eles possuem absorção acima dos 22%, o que não é recomendável pela mesma norma, bem como sua cor apresentou várias áreas escurecidas. Considerando que os blocos são somente para vedação e não desenvolve função estrutural, os limites estabelecidos pela NBR 15.270-1 são sujeitos a uma revisão.

Os corpos de provas com misturas de cinzas e lodo de ETE foram classificados como Classe II A - não perigosos e não inertes. Os blocos de argila comum são classificados como Classe II B – Inertes. A troca de classe na caracterização pode influenciar na forma de uso destes materiais na construção civil. A adequada disposição dos resíduos gerados, bem como do seu manuseio deve ter outros cuidados dos que os blocos comuns por possuir outra classificação.

A metodologia utilizada na pesquisa pode somente indicar ou não o potencial de uso do resíduo na massa cerâmica de blocos de vedação. Não se

podem sugerir readequações de traço da massa, com adição de aditivos ou pré-tratamento dos resíduos utilizado, porque, para isto é necessário conhecer quimicamente a sua composição.

6 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Avaliar menores quantidades de adição de resíduos de lodo de ETE e suas emissões atmosféricas geradas pela adição dos resíduos em estudo, principalmente quando se trata da mistura com lodo de ETE, em função do odor forte emitido durante a queima.

Estudo detalhado da viabilidade financeira da utilização, considerando-se a secagem dos resíduos em grandes quantidades, pode ser muito dispendioso, em função da secagem dos resíduos úmidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Disponível em: <http://www.aberam.org.br> acessado em 14 de abril de 2011.

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais **Brasil trata apenas 22% dos resíduos industriais perigosos**. 2007. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/noticia_completa.asp?NOT_COD=373. > acessado em 30 de novembro de 2009.

ALEXANDRE, J. **Análise de matéria-prima e composições de massa utilizada em cerâmicas vermelhas**. 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense - Campos dos Goytacazes (RJ), 2000.

ALVES, C. A. T. **A gestão eficiente de resíduos**. Coleção guias técnicos sobre meio ambiente. Porto. Portugal. Editora Publindustria, edições técnicas. 2005.

ALVAREZ, R. F. Gestão de resíduos domésticos. Funiber- Livro do programada de mestrado em Gestão Ambiental vol. II Engenharia de valorização e tratamento de resíduos. Florianópolis. 2007.

ANDRADE, P.S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso**. Dissertação de mestrado. Mestrado em engenharia civil- área de concentração: Saneamento e meio ambiente. Unicamp. Campinas 2005.

ÂNGULO, S. C. et al. **Construction and demolition waste management in Brazil. Waste Management World**. Março/Abril, 2001. p.54-57.

ASQUINI L., FURLANI E., BRÜCKNER S., MASCHIO S. **Production and characterization of sintered ceramics from paper mill sludge and glass cullet**, Magazine Chemosphere, volume 71, Issue 1, 2008, Pages 83-89

ARAÚJO, F. S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fabricação de cerâmica vermelha**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais. UFGN. Natal, 2008.

ARAÚJO, J. F. **A influência da adição de caulim, quartzo e feldspato potássico na formulação de massas cerâmicas para telhas: Modelo Estatístico**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. UFRN. Natal, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 –Resíduos Sólidos – Classificação**. ABNT, RJ, 63p, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005 – Resíduos Sólidos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**”. ABNT. RJ. 16p, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 10.006 – Resíduos Sólidos – Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólido**. ABNT. RJ. 3p, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007 Resíduos Sólidos – Amostragem de resíduos sólidos**. ABNT. RJ. 21p, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.270-1** Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação- Terminologia e requisitos. ABNT. RJ. 11p, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.270-3** Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. ABNT. RJ. 27p, 2005.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva 2007

BARROS, R.T. de V. **A problemática bioeconômica dos dejetos**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, (17:1993:Natal). Trabalhos Técnicos Tomo III. Natal. ABES, v.2, p.197-211, 1993.

BROWN, G et al. THE OPEN UNIVERSITY. **Os recursos físicos da terra-Materiais de construção e outras matérias brutas**. Tradução Luiz Augusto Milani Martins. Campinas. SP. Editora UNICAMP,1995

CABRAL, G.L.L. **Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia – Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4ed. São Paulo: Humanitas, 2003.346p.

CAMPREGHER, N. **Estudo de viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia química. UFSC. Florianópolis, 2005.

CEMPRE. **2º Seminário e Exposição sobre os Desafios Técnicos e Econômicos para a Reciclagem**. Recycleshow, 2001.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

CRUZ, A. S. **Avaliação do potencial de argilas para uso em cerâmica Vermelha na região dos Campos Gerais: relatório final**. Curitiba : Mineropar, 2009.p.109.

DOMÍNGUEZ, E.A ; ULLMAN, R. **Ecological bricks, made with clays and steel dust pollutants**. Applied Clay Science, Volume 11, Issues 2–4, December 1996, Pages 237-249

DUARTE, A. C. L.D. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia sanitária. UFRN. Natal, 2008.

ELWAN, M.M.; Hassan, M.S. **Recycling of some Egyptian industrial solid wastes in clay bricks**. Industrial Ceramics, Faenza, v.18, n.1, p.1-6, 1998.

ENBRI. Proposal to European Community BRITE EURAM. **Development of a framework for environmental assessment of building materials and components**.1994

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Como destinar os resíduos sólidos urbanos**, Belo Horizonte, 1995.

FERREIRA, L.C. **Produção mais limpa no plano gerenciamento de resíduos sólidos em empresas de reparação de veículos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia de produção. UFTPR. Ponta Grossa. 2009.

FIGUEIREDO, Paulo J. M. **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. Piracicaba: UNIMEP, 1996.

FINDES. **Diagnóstico Setorial da indústria de cerâmica vermelha e olarias do Espírito Santo**. 2009. Disponível em:
<[http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/75DBDE7F84BCE729832575F3004CCD00/\\$File/Diagn%C3%B3stico%20de%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha%20do%20ES-2009.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/75DBDE7F84BCE729832575F3004CCD00/$File/Diagn%C3%B3stico%20de%20Cer%C3%A2mica%20Vermelha%20do%20ES-2009.pdf)> Acessado em 10 de agosto de 2012.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

GODINHO, K. O. **Incorporação de resíduos de vidro em cerâmica vermelha.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia e ciências dos materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, RJ. 2004

IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/default.shtm>>. Acesso em: 11 de outubro de 2012.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 6ª edição. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/> Acessado em: 22 de setembro de 2012.

JACOBI, P. **Gestão compartilhada dos resíduos sólidos no Brasil. Inovação com inclusão social.**São Paulo. SP. Editora Anna Blume 2.006

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 102p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

KAMINATA, O. T. **Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria de lavanderia têxtil na produção de bloco de cerâmica vermelha.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia urbana. UEM. Maringá, 2008.

KLITZKE, W. **Utilização de lodo primário de indústria de papel na produção de cerâmica vermelha** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia – PIPE. UFPR. Curitiba, 2011.

LEÃO ,M. L.G. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais Perigosos. A Problemática da Região Metropolitana de São Paulo**. USP.1v. 159p. Mestrado.1999.- CAPES

LÉBEIS, V. D. Li. **Viabilidade do uso do resíduo de fabricação do Papel em argamassas. Dissertação de mestrado**. Programa de mestrado em engenharia civil da universidade de engenharia civil de campinas. 2003

LEFOND, S.J. (editor). **Industrial Minerals and Rocks. Volume 1. American Institute of Mining**, Metallurgical and Petroleum Engineers, Baltimore, 1983, 722p.

LOYOLA, L. **Perfil da indústria da indústria de cerâmica no estado do Paraná**. Curitiba, 2000. Mineropar. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/09_relatorios_concluidos.PDF>. Acessado em: 06 de maio de 2012.

LUCENA, M. M. **Efeito da introdução de resíduo de cinza de forno cerâmico em massa para cerâmica estrutural.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. UFRG. Natal, 2007.

MAIA, A. L. et.al. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos da construção civil.** Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, Belo Horizonte 2009.

MARGEM, J. I. **Caracterização e incorporação de lodo de decantação de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos Dos Goytacazes, 2008.

MARTINI, L. C. **Redução de resíduos industriais – como produzir mais com menos.** Rio de Janeiro, 2005. Editora Aquarius.

MEDEIROS, E. N. M. **Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA.** Dissertação (Doutorado) - Universidade de Brasília. Curso de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Tese De Doutorado Em Estruturas E Construção Civil, Brasília, 2010.

MEDEIROS, M. L. **Adição de cinza de alto forno cerâmico em formulações de massa para cerâmica estrutural.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. Natal 2007.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** Editora PINI. São Paulo. 1994.

MELLO, R. M. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha.** Dissertação de mestrado. Programa de mestre em ciências- na categoria nuclear. IPEN. São Paulo. 2006.

MENEZES, Romualdo R., NEVES, Gelmires de A. FERREIRA, Heber C. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2002, v.6, n.2, p.303-313.

MENEZES 1, R. R. et.al. **Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos.** Revista Cerâmica. Fascículo 53. 2007. Pag.192-199

MENEZES 2, R.R.et al. **Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos** Revista Matéria, v. 12, n. 1, pp. 226 – 236, 2007

MINEROPAR. **Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Curitiba.** Relatório final do PDM, CD Curitiba, 2004.

MME - Ministério de Minas e Energia - Secretaria de Geologia, Mineração e

Transformação Mineral. **Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não Metálicos**. Brasília: SGM, 2010.

MONTEIRO, J.H.P.et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200p. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>> Acessado em 03 de outubro de 2012.

MONTEIRO, C. M. O. L. et. al. **Noções Básicas do Processo Produtivo de Cerâmica Vermelha**. Centro de Tecnologia da Cerâmica “Wildson Gonçalves”. SENAI Piauí Teresina. 2007

MORETE, G.F. ;PARANHOS, R. P.R.; HOLANDA, J.N.F. **Avaliação de algumas propriedades físico-mecânicas de corpos cerâmicos incorporados com resíduo de escória de sondagem**. Revista Matéria v. 11, n. 3, pp. 232 – 237, 2006

MOTTA, José Francisco M., ZANARDO, Antenor, JÚNIOR, Marsis C. **As matérias-primas cerâmicas**. Parte I: O perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos. Cerâmica Industrial, v. 6, n. 2, p. 28-39, Março/Abril 2001.

NEVILLE, Adam Matthew. **Propriedades do Concreto**. 2° ed. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, G. E .**Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha**. LAMAV-CCT, *Universidade Estadual do Norte Fluminense Campos dos Goytacazes, RJ, 28013–602*

PASCHOAL, J.A.A. **Estudo de parâmetros de qualidade para cerâmica estrutural vermelha**. Dissertação de mestrado. Departamento de engenharia de materiais. Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, São Carlos- SP, 2003.

PEREIRA NETO, J.T. **Lixo Urbano; a reciclagem e a compostagem como solução**. *Saneamento Ambiental*, São Paulo, v.5, n.28, p. 24-25, 1998.

PETRUCCI, E. G. **Materiais de construção**. Editora Globo. São Paulo. 2007.

PINHEIRO, R.M. I; VIEIRA, C.M.F. I; RODRIGUEZ, R.S. I; MONTEIRO, S.N. **Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha** Revista Matéria, v. 13, n. 1, pp. 220 – 227, 2008

PORTAL DO CONCRETO. **Cimento: o que é o cimento**. 2005. [online]. Disponível em: <http://www.portaldoconcreto.com.br> [capturado em: 03 de jul. 2011].

READING, H.G. 1986. **Sedimentary Environments and Facies**. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 615p.

REINALDO, L. L e BEZERRA, F. D. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha ETENE** - Escritório Técnico De Estudos Econômicos Do Nordeste. Banco do Nordeste, 2010. Disponível em:

<http://www.bnb.gov.br/content/aplicacao/etene/etene/docs/ano4_n21_informe_setorial_ceramica_vermelha.pdf> Acessado em: 10 de outubro de 2012

REIS, Jaisson Potrich. **Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos**. Dissertação de mestrado Programa CCT/UEDESC. Joinville, 2007

RIBEIRO, V.R. e MORELLI, M.R. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?** Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2009.

RODRIGUES, et all. **Lixo: de onde vem? Para onde vai?** São Paulo : Moderna, 1999

RODRIGUES, M. M. B. **Proposta de modelo de qualificação evolutiva para empresa fabricantes de blocos e telhas de cerâmica vermelha**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002.

SANTOS, Antonio Raimundo dos Santos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 5ed Rio e Janeiro DP&A, 2002.

SANTOS, O. C. **Influência da adição de rejeitos cerâmicos nas propriedades de cerâmica vermelha da região do Recôncavo Baiano**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. UFRN. Natal, 2007

SEBRAE. **Manual para indústria cerâmica vermelha: meio ambiente e energia**. Fascículo 8, SEBRAE RJ 2005.

SEBRAE. **Manual para a indústria cerâmica vermelha: potencia de economia na fabricação de produtos cerâmicos**. Fascículo 2,SEBRAE. RJ 2005.

SILVA, B.J. **Incorporação de resíduo de granito em massa cerâmica para revestimento**. Dissertação de mestrado. Programa de pós graduação em engenharia química. UFCG, Campina Grande PB. 2007a.

SILVA, J. E. O. **Desenvolvimento de cerâmica vermelha utilizando rejeitos da construção civil**. Dissertação de mestrado Programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais. Universidade Federal do rio Grande do Norte 2007b. Natal – RN

SILVA, J. B. **Avaliação da potencialidade dos resíduos de gesso de revestimento incorporados em formulações de massas cerâmicas**. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação do Centro de Ciências Exatas e da Terra. UFGN. Natal, 2008a.

SILVA, D. F. **Estudo da adição do lodo gerado pela indústria metal mecânica na fabricação de tijolos cerâmica vermelha.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos. UNIVILLE. Joinville – SC, 2010.

SILVA, R. G. G. **Influência do resíduo de gesso na composição da massa cerâmica para fabricação de blocos e telhas.** Dissertação de mestrado. Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana – Bahia. 2008b.

SOARES, S. R., JÚNIOR, A. B. de C., MARTINS, A., BREITENBACH, F.E., LUPATINI, G. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos (revestimento, blocos e telhas) do Setor Cerâmico da Indústria de Construção Civil.** Relatório Parcial I/IV. 2002. Engenharia Sanitária-Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

SOUZA SANTOS, Pérsio de. **Ciência e tecnologia das argilas.** 2. ed. rev. atual. Volume 1. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1989. 496 p. II.

SOUZA, V. P. **Análise dos gases emitidos na produção de cerâmicas com adição de resíduos industriais.** Dissertação de mestrado. Programa de mestrado em Ciências Naturais. UENF. Campos dos Goytacazes, RJ. 2007

SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA L. B. **Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande/PB, v. 4, nº 3, p. 460-464, 2000.

SUCTU M., AKKURT S. **The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity.** Magazine Ceramics international, volume 35, Issue 7, September 2009, Pages 2625-2631

STANGLER, R. L. **Abordagem probabilística na avaliação de depósitos de argila cerâmica.** Dissertação (mestrado). UFRS. Programa de pós-graduação em engenharia de minas, metalúrgica e materiais. Porto Alegre, 2001.

TALLINI Jr., V.M. **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de lodo de estações de tratamento de água, micro esferas de vidro de jateamento, sais de neutralização de ácidos de baterias e areia de fundição.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais. UFPR, Curitiba, PR 2009, 83p.

TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água de Tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha.** Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia e ciência exatas. UNIOESTE. Toledo PR, 2008

TOLEDO, E. B. S. **Método de utilização de areia de fundição e resíduos de poeira de jateamento para produzir cerâmica vermelha.** Dissertação de

mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia e ciências dos materiais. UFPR. Curitiba, 2006

VERÇOZA, Enio José - **Materiais de Construção V.1 e 2** - 4a.Ed.Sagra, P.Alegre, 1987.

VERÇOZA, Enio José. **Agregados**. PUCRS – Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. 1991.

VIEIRA, Álvaro. Argila desenvolvida por militares barateia construção de estradas. **Folha de São Paulo** [online]. Rio de Janeiro. 31 mar. 2005. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u13159.shtml> [capturado em 9 de jun. 2011].

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Cerâmica Argilosa Incorporada com Resíduo Oleoso Proveniente do Setor Petrolífero**. Revista Matéria, v. 11, n. 3, pp. 217 – 222, 2006

ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção civil**. São Paulo. PCC. USP, 2006. Disponível em: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm
Acessado em: 9 de setembro de 2012.