

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Fabírcia M. S. Ramos

Engenheira Química, UEM, 2006.

Orientadora: Prof^a. Dra. Célia Regina G. Tavares

Dissertação de Mestrado
submetida à Universidade
Estadual de Maringá, para
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química, área de
Gestão, Controle e Preservação
Ambiental.

Maringá – PR - Brasil

Fevereiro de 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por Fabrícia Maribondo da Silva Ramos perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia Química em 16 de fevereiro de 2009.

COMISSÃO JULGADORA

Prof.^a Dr.^a Célia Regina Granhen Tavares

Orientadora

Dr.^a Cláudia Telles Benatti

Co-orientadora

Prof. Dr. José Aparecido Canova

Membro

Prof.^a Dr.^a Rosângela Bergamasco

Membro

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

R175t Ramos, Fabrícia Maribondo da Silva
Tratamento de resíduos sólidos da indústria têxtil /
Fabrícia Maribondo da Silva Ramos. -- Maringá : [s.n.],
2009.
113 f. : il.

Orientadora : Profa. Dra. Célia Regina G. Tavares.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá. Programa de Pós-graduação em Engenharia
Química, 2009.

1. Resíduos sólidos - Indústria têxtil. 2. Resíduos
têxteis - Tratamento. 3. Solubilização/estabilização -
Desenvolvimento de processos - Método. 4. Blocos
cerâmicos. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa
de Pós-graduação em Engenharia Química. II. Título.

Cdd 21.ed. 660.0286

*Aos meus pais, pelo apoio e incentivo
Ao meu amor, Marlon, pela paciência e compreensão*

AGRADECIMENTOS

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

À minha família, razão de toda minha força interior, que sempre me motivou nas minhas conquistas;

Ao Marlon, pelo seu constante incentivo, orientação e força dada nas horas mais desanimadoras e difíceis, além de todo amor recebido;

À orientadora, Célia Regina G. Tavares, pela oportunidade de realizar este projeto e por sua orientação durante o trabalho;

À co-orientadora Cláudia Telles Benatti, pelas discussões, ajudas e conselhos;

Ao Prof. Ervim Lenzi, do Departamento de Química, pelo grande apoio e atenção;

Ao amigo Oswaldo, fundamental no desenvolvimento deste trabalho;

Às alunas de iniciação científica Marina e Bruna, pelo grande apoio durante todo o trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Química que me auxiliaram em diversas situações;

Aos funcionários e amigos do laboratório de Controle e Preservação Ambiental;

À CAPES, pelo suporte financeiro;

Às amigas Grá, Carla, Cris, Rê, Mi, Camila e Pri pelo apoio e amizade, além dos momentos divertidos que vivemos neste período;

E, por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para meu crescimento pessoal e profissional.

“Afinal a escolha é nossa... Não podemos mais aceitar os conselhos daqueles que dizem que deveríamos atulhar nosso mundo com produtos químicos venenosos; temos que olhar à nossa volta e procurar um novo caminho.”

Rachel Carson

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Autora: Fabrícia Maribondo da Silva Ramos

Orientadora: Prof^a Dr^a Célia Regina G. Tavares (DEQ/UEM)

Co-orientadora: Dr^a Cláudia Telles Benatti

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, Bloco E-46, Sala 09; CEP 87020-900 – Maringá-PR-Brasil, defendida em 16 de fevereiro de 2009.

RESUMO

Devido ao progressivo desenvolvimento tecnológico, a quantidade de indústrias no mundo vem crescendo e, conseqüentemente a quantidade de lodos e resíduos industriais gerados, tornando-se um problema comum em várias partes do Brasil e do mundo. Assim, é de fundamental importância o desenvolvimento de métodos alternativos e mais eficazes, em substituição à simples disposição destes em aterros sanitários industriais. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da incorporação do resíduo têxtil, em massa cerâmica, pelo processo de solidificação/estabilização (S/E), para produção de blocos cerâmicos de vedação. Foi realizada, inicialmente, a caracterização do resíduo têxtil e da argila, utilizada como matriz para produção de blocos cerâmicos de vedação. A composição química deste resíduo têxtil é variada, contendo Alumínio, Ferro, Manganês, Sódio, Chumbo, Cobre, Cromo e Zinco, oriundos do processo têxtil e do tratamento do efluente gerado no processo. Sua classificação se enquadra como um resíduo não perigoso e não inerte, segundo a NBR 10004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Com base em trabalhos publicados, foram realizados ensaios preliminares com incorporação de 10% de resíduo têxtil em blocos cerâmicos com o objetivo de avaliar a metodologia de queima, bem como sua influência na resistência mecânica e absorção de água dos blocos cerâmicos. Desta forma decidiu-se na continuidade da pesquisa, trabalhar com processo de secagem lenta e queima dos blocos em forno industrial para blocos cerâmicos (durante 72 horas, com temperatura variando entre 850 a 1000°C). Posteriormente, foram preparados blocos cerâmicos com composição, 5, 10, 15, 20 e 25%, em massa, de resíduo têxtil. A mistura foi feita proporcionalmente, em porcentagem de massa seca. Para análise comparativa das características químicas, físicas e mecânicas

desses blocos cerâmicos, foram produzidos ainda, blocos somente com argila. As concentrações dos metais analisados, nos extratos lixiviados e solubilizados dos blocos cerâmicos, em todas as proporções de incorporação do resíduo têxtil, ficaram abaixo dos limites definidos pela NBR 10004/2004 – Resíduos Sólidos, classificando-os como não perigosos e inertes, ou seja, não oferecendo riscos de futura contaminação do solo durante a sua vida útil, bem como quando os mesmos forem dispostos em aterros depois de utilizados. Resultados relacionados à resistência mecânica dos blocos cerâmicos mostraram que, em todas proporções de incorporação, foram atendidos os requisitos mínimos exigidos pela norma NBR 15270-3/2005. Além disso, foi possível observar que, com até 20% de resíduo têxtil incorporado à massa cerâmica, os requisitos exigidos pela referida norma, com relação ao índice de absorção de água, foram obedecidos. A proporção de 15% de incorporação de lodo têxtil na massa cerâmica, foi considerada aquela que garantia as melhores condições técnicas de produção, neste sentido, foi realizado nos blocos cerâmicos fabricados nesta proporção, uma avaliação estatística da possível ocorrência da volatilização dos metais durante o processo de queima e, com uma confiabilidade estabelecida em 95%, foi possível observar que não houve volatilização dos metais durante a etapa de queima dos blocos cerâmicos. Assim, pode-se concluir que, o processo de Solidificação/Estabilização foi capaz de imobilizar de forma eficaz, nos blocos cerâmicos, os metais presentes no resíduo têxtil.

Palavras-chaves: Argila, blocos cerâmicos, resíduo têxtil, solidificação/estabilização.

SOLID WASTE TREATMENT IN TEXTILE INDUSTRY

Author: Fabrícia Maribondo da Silva Ramos

Supervisor: Prof. Dr. Célia Regina G. Tavares (DEQ/UEM)

Co-supervisor: Dr. Cláudia Telles Benatti

Master Thesis; Chemical Engineering Graduate Program; State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, Bl. E46 – 09; CEP 87020-900 – Maringá – PR, Brazil, presented on February 16th 2009.

SUMMARY

Due to the progressive technological development, a number of industries in the world are growing and consequently the quantity of sludge and industrial waste generated, making it a common problem in many parts of Brazil and the world. Therefore, it is important the development of an alternative and more effective process to replace the simple disposal of these wastes in industrial landfills. Thus, this study aimed to evaluate the incorporation of textile waste in clay matrices for the production of ceramic blocks with no structural function through the solidification / stabilization (S/S) process. Initially, the textile waste and clay characterization, used as matrices for the production of the ceramic blocks, was carried out. The chemical composition of textile waste varies, and contains Al, Fe, Mn, Na, Pb, Cu, Zn and Cr, from the textile process and the treatment of sewage generated in the process. The waste was classified as a not dangerous and not inert residue, according to NBR 10004/2004 of the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Based upon published studies, preliminary tests were performed with addition of 10% of textile waste in ceramic blocks to evaluate the method of burning and its influence on the mechanical strength and water absorption of ceramic blocks. It was decided to continue the research,

working with slow process of drying and burning process of the blocks in industrial kiln for ceramic blocks (for 72 hours, with temperatures ranging from 850 to 1000 ° C). Subsequently, blocks with compositions of 5, 10, 15, 20 and 25% of textile waste were prepared. The mixture was made proportionately with a percentage of dry mass. For comparative analysis of the chemical characteristics of these blocks incorporated with textile waste, ceramic blocks only with clay were produced. Experimental results indicated that concentrations of analyzed metals in both leached and solubilized extracts from ceramic blocks with incorporation of textile waste were below the limits set by the NBR 10004/2004 ABNT – Solid Residue. Thus they can be classified as non-hazardous and inert, offering no risk of future contamination of soil during their lifetime, as well as when disposed in landfill after their use. Experimental results related to the brick compressive strength showed that all the proportions of incorporation met the requirements of NBR 15270-3/2005 from ABNT. Results also showed that, with up to 20% of textile waste added to the bricks, water absorption met the requirements of NBR 15270-3/2005 from ABNT. The proportion of 15% of incorporation of textile sludge in the ceramic body, was considered one that guarantees the best technical conditions of production, this way, a statistical evaluation of the possible occurrence of metals volatilization during burning process was carried out, and with a reliability set at 95%, it was possible to observe that there was no metal volatilizing during the ceramic blocks firing stage. That way, it can be observed that the S / S process was able to effectively immobilize the metals present in the textile waste into the ceramic blocks.

Keywords: Clay, ceramic blocks, textile waste, solidification / stabilization.

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	01
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
II.1. Resíduos sólidos urbanos.....	04
II.1.1. Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.....	05
II.2. Legislação.....	09
II.3. Classificação dos resíduos sólidos.....	16
II.4. Resíduos sólidos industriais.....	20
II.4.1. Resíduos na indústria têxtil.....	23
II.4.2. Processo produtivo.....	24
II.4.3. Geração dos resíduos têxteis.....	34
II.4.4. Gerenciamento dos resíduos industriais.....	36
II.5. Tecnologias de tratamentos disponíveis.....	36
II.5.1. Tecnologia de solidificação/estabilização.....	42
II.5.2. O uso da técnica de solidificação/estabilização para reaproveitamento de resíduos como materiais de construção.....	45
III. MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
III.1. Introdução.....	50
III.2. Coleta e beneficiamento das matérias-primas.....	52
III.3. Caracterização das matérias-primas.....	53
III.3.1 Caracterização do resíduo (lodo) têxtil.....	53
III.3.2. Caracterização da argila.....	59
III.4. Definição da metodologia de queima dos blocos cerâmicos.....	65
III.4.1. Mistura e produção dos blocos cerâmicos – ensaios preliminares.....	65
III.4.2. Secagem e queima dos blocos cerâmicos – ensaios preliminares.....	66
III.4.3. Caracterização dos blocos cerâmicos – ensaios preliminares.....	66
III.5. Produção dos blocos cerâmicos.....	69
III.5.1. Mistura e produção dos blocos cerâmicos.....	69
III.5.2. Secagem e queima dos blocos cerâmicos.....	70

III.6. Caracterização dos blocos cerâmicos.....	70
III.6.1. Análises químicas.....	70
III.6.2. Análises físicas.....	71
III.6.3. Análise mecânica.....	72
III.6.4. Análise de superfície.....	72
III.6.5. Análises estruturais.....	73
III.6.6. Avaliação da ocorrência da volatilização dos metais pesados.....	74
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
IV.1. Resultados - Caracterização das matérias-primas.....	76
IV.2. Avaliação da metodologia de queima.....	80
IV.2.1. Características de resistência mecânica das amostras.....	81
IV.2.2. Características de absorção de água das amostras.....	83
IV.3. Produção dos blocos cerâmicos.....	85
IV.3.1. Resultados - Caracterização dos blocos cerâmicos.....	86
V. CONCLUSÕES.....	100
VI. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	102
VII. REFERÊNCIAS.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1 - Municípios com serviços de saneamento.....	6
Figura II.2 - Configuração básica do processo produtivo têxtil.....	25
Figura II.3 - Países produtores de revestimentos cerâmicos.....	46
Figura III.1 - Fluxograma da metodologia do tratamento e aproveitamento de resíduo sólido da indústria têxtil.....	51
Figura III.2 - Limite de liquidez da argila.....	64
Figura III.3 - Desvio em relação ao esquadro – representação esquemática.....	71
Figura III.4 - Planeza das faces – representação esquemática.....	72
Figura IV.1 - Comparação gráfica do ensaio de resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos pelos dois processos de secagem e queima estudados.....	82
Figura IV.2 - Comparação gráfica do ensaio de absorção de água nos blocos cerâmicos produzidos nos dois processos de secagem e queima.....	85
Figura IV.3 - Índice de absorção de água em amostras dos blocos cerâmicos.....	88
Figura IV.4 - Resistência à compressão em amostras dos blocos cerâmicos.....	90
Figura IV.5 – Microscopia eletrônica de varredura. (a) MEV – bloco cerâmico controle; (b) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 5% de resíduo têxtil; (c) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 10% de resíduo têxtil; (d) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 15% de resíduo têxtil; (e) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 20% de resíduo têxtil; (f) MEV – bloco cerâmico com incorporação de	

25% de resíduo têxtil..... 91

Figura IV.6 – Análise termogravimétrica do bloco cerâmico incorporado com 15% de resíduo têxtil..... 93

Figura IV.7 – Difração de raio-X (DRX) do bloco cerâmico incorporado com 15% de resíduo têxtil..... 94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela II.1 - Responsabilidade do gerenciamento pelo resíduo gerado.....	11
Tabela II.2 - Resoluções do CONAMA sobre resíduos.....	14
Tabela IV.1 - Características do resíduo têxtil (lodo) e da argila.....	76
Tabela IV.2 - Características tóxicas do resíduo (procedimentos de lixiviação - NBR 10005/2004).....	78
Tabela IV.3 - Características tóxicas do resíduo (procedimentos de solubilização - NBR 10006/2004).....	78
Tabela IV.4 - Composição gravimétrica da argila.....	80
Tabela IV.5 - Limites de Plasticidade e de Liquidez da argila.....	80
Tabela IV.6 - Valores de resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos, com processo de secagem e queima no laboratório.....	81
Tabela IV.7 - Valores de resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos, com processo de secagem e queima na indústria.....	81
Tabela IV.8 – Valores de absorção de água nos blocos cerâmicos produzidos no processo de secagem e queima rápida.....	83
Tabela IV.9 - Valores de absorção de água nos blocos cerâmicos produzidos no processo de secagem e queima lenta.....	84
Tabela IV.10 - Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos (NBR 10005/2004).....	86

Tabela IV.11 - Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos (NBR 10006/2004).....	86
Tabela IV.12 - Retração nas amostras de blocos cerâmicos.....	89
Tabela IV.13 - Concentrações de metais totais dos blocos cerâmicos queimados (Q) e não queimados (NQ) incorporados com 15% de resíduo têxtil.....	95
Tabela IV.14 - Correção da concentração de metais dos blocos cerâmicos queimados incorporados com 15% de resíduo têxtil para a massa úmida.....	96
Tabela IV.15 - Teste de significância para o conjunto de dados amostrais.....	97

NOMENCLATURA

AA	Absorção de Água
a	Altura de queda das partículas, correspondente à leitura do densímetro, em cm.
H	Altura dos blocos cerâmicos reduzidos, em cm
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DRX	Análise por difração de raios-X
TGA	Análise termogravimétrica
n	Coefficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura do ensaio.
C	Comprimento dos blocos cerâmicos reduzidos, em cm
M.O Total (%)	Conteúdo de matéria orgânica total
S_{dados}	Desvio padrão dos dados amostrais
S_x	Desvio padrão para os dados como um todo
$\Delta\bar{x}$	Diferença entre as médias
$\Delta\bar{x}$	Diferença entre as médias do universo
L	Largura dos blocos cerâmicos reduzidos, em cm
l	Leitura do densímetro na suspensão
Ld	Leitura do densímetro no meio dispersor
LC	Limite de confiança
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
Mg	Massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm (gramas)
Mt	Massa total da amostra seca ao ar (gramas)
Ms	Massa total da amostra seca (sem umidade) (gramas)
Mi	Massa do material acumulado em cada peneira (gramas)
δ	Massa específica dos grãos do solo, em g/cm^3
δd	Massa específica do meio dispersor, à temperatura do ensaio, em g/cm^3
δc	Massa específica da água, em g/cm^3
Mh	Massa do material úmido submetido à sedimentação
mu	Massa úmida e de cada corpo-de-prova, expressa em gramas.
\bar{x}_1 e \bar{x}_2	Média de cada conjunto de dados amostrais
μ_1 e μ_1	Média do universo de cada conjunto de dados amostrais
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
n_1 e n_2	Números de amostras em cada conjunto de dados
P ₁	Peso da cápsula após 550 °C (gramas)
P ₂	Peso da amostra (gramas)
P ₃	Peso da cápsula com amostra após 110 °C (gramas)
P ₄	Peso da cápsula com amostra após 550 °C (gramas)
P	Peso do picnômetro vazio (gramas)
Pe	Peso da amostra seca (gramas)
Pa	Peso do picnômetro com água (gramas)
Psa	Peso do picnômetro com água e amostra (gramas)
Ph	Peso da amostra úmida + recipiente (gramas)
Ps	Peso da amostra seca + recipiente (gramas)

Pr	Peso do recipiente (gramas)
Qg	Porcentagem do material passante em cada peneira
Qs	Porcentagem em suspensão no instante de leitura do densímetro
N	Porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm
Qf	Porcentagem do material passante em cada peneira
S/E	Solidificação/estabilização
h	Umidade higroscópica do material passante na peneira de 2,0 mm
V	Volume da dispersão, em cm ³
t	Tempo de sedimentação, em segundos

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Nas últimas décadas, a expansão demográfica e o acelerado desenvolvimento industrial têm agravado de maneira considerável a geração de resíduos urbanos e industriais. Aliado a esses fatores e a crescente disputa por espaços produtivos, a preservação ambiental tem se tornado não apenas uma questão ecológica mas também uma variável econômica, acarretando em fatores de competitividade e grandes oportunidades de negócios. Dessa forma, a criação de um modelo de desenvolvimento auto-sustentável aponta como principal objetivo de uma sociedade ambientalmente consciente.

Assim, o estabelecimento de métodos que venham garantir a correta destinação destes resíduos, preservando a qualidade ambiental, torna-se um grande desafio para a sociedade de uma forma geral. Esta entretanto, não é uma tarefa fácil, uma vez que, estes resíduos são gerados em grandes quantidades e, em sua maioria, guardam características de periculosidade, associada geralmente à presença de metais pesados em sua constituição.

A disposição e o tratamento inadequados de resíduos em geral, pode causar grandes problemas ambientais, como degradação do solo, do lençol freático e de corpos receptores hídricos, por meio da disposição, escoamento superficial e/ou infiltração.

No Brasil, via de regra, os resíduos sólidos, sobretudo os industriais, são tratados e/ou dispostos de forma incorreta, em lixões, em aterros industriais não controlados, ou

simplesmente deixados a céu aberto. Esta prática inadequada tem trazido tanto problemas de ordem ambiental, quanto de ordem sanitária e de saúde pública.

O setor têxtil cresceu significativamente nos últimos anos, aumentando, dessa forma a quantidade de efluente gerada nos seus processos industriais. O processo de tratamento primário destes efluentes, gera um resíduo sólido na etapa de decantação, conhecido como 'lodo'; este lodo possui uma composição química variada e, segundo a NBR 10004/2004, se enquadra na classe II, dependendo da composição do efluente tratado, não podendo, portanto, ser depositado a céu aberto. Nesse sentido, a incorporação de resíduos industriais em matriz cerâmica para utilização na construção civil vem sendo amplamente estudada. Segundo Giffoni e Lange (2005) a construção civil é um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos.

Segundo Menezes, Neves e Ferreira (2002) o aproveitamento dos rejeitos industriais, como materiais alternativos não é novo, e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo. Algumas das principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais são, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis, bem como o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais.

O processo de solidificação/estabilização tem sido considerado uma solução alternativa para a disposição de resíduos sólidos contendo metais pesados, como é o caso do lodo gerado nos processos têxteis. Este processo possibilita melhorar as características físicas dos resíduos, diminuir a área superficial ou limitar a solubilidade dos constituintes perigosos. Segundo Malviya e Chaudhary (2006) o processo de Solidificação/Estabilização (S/E), utiliza formulações quimicamente reativas que, em conjunto com a água e outros componentes do lodo, formam sólidos estáveis. Ainda segundo Malviya e Chaudhary (2006) o material utilizado para Solidificação/Estabilização (S/E), além de solidificar o resíduo perigoso por meios químicos, insolubiliza, imobiliza, encapsula, destrói ou interage com os componentes do resíduo utilizado. Os resultados dessas interações são sólidos não-perigosos ou menos perigosos que o resíduo original.

Esses aspectos induziram ao desenvolvimento desse trabalho para que seja capaz de avaliar a viabilidade da produção de blocos cerâmicos incorporados com resíduo (lodo) de indústrias têxteis, para formação de um novo produto com características

semelhantes aos blocos cerâmicos confeccionados pelas indústrias cerâmicas que trabalham com argila pura.

Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o efeito da incorporação do resíduo (lodo) têxtil, em massa cerâmica, pelo processo de solidificação/estabilização, para fabricação de blocos cerâmicos.

E como objetivos específicos:

- Caracterização da argila e dos resíduos têxteis, a serem utilizados na composição da massa para a produção dos blocos cerâmicos, por meio da determinação de suas propriedades físicas e químicas.
- Determinação do teor ótimo de adição de resíduo têxtil à massa de argila, que possibilite a obtenção de blocos, cujas características correspondam às especificações técnicas, assim como a inertização de metais pesados existente no resíduo em questão.
- Caracterização do bloco cerâmico desenvolvido, por meio de testes mecânicos, físicos e químicos.
- Análise estatística para avaliação da ocorrência da volatilização dos metais pesados, durante o processo de queima dos blocos cerâmicos.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1. Resíduos sólidos urbanos

Ao longo dos tempos, a humanidade intensificou o processo de urbanização e o desenvolvimento industrial, sem se preocupar, entretanto, com o uso racional dos recursos naturais. A indiferença em relação ao tipo de material consumido gerou a “era do descartável”, o que resultou em um dos maiores problemas da atualidade (GOMES *et al.*, 2001).

Segundo a NBR 10004/2004, resíduo sólido é definido formalmente como:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades e 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”.

Sem dúvida alguma esta definição, de forma geral, é bastante ampla devido ao fato do agrupamento, tanto de resíduos sólidos urbanos, convenientemente denominado como lixo, quanto de lodos de Estação de Tratamento de águas (ETAs) e lodos de Estação de Tratamento de Efluentes (ETEs).

Entre os diversos problemas ambientais existentes, o dos resíduos sólidos urbanos tem se tornado um dos maiores desafios da atualidade. Com o crescimento acelerado da população, houve incremento na produção de bens e serviços. Estes, por sua vez, à medida que são produzidos e consumidos, acarretam uma geração cada vez maior de resíduos, os quais, coletados ou dispostos inadequadamente, trazem significativos impactos à saúde pública e ao ambiente (DEUS, 2004).

Segundo Neto (2004) a escassez de espaços disponíveis, faz com que os depósitos existentes se vejam obrigados a prolongar a sua vida útil, que realizado sem a técnica e os cuidados necessários, pode acarretar conseqüências danosas e imprevisíveis. Nos países mais desenvolvidos, tomando-se como exemplo o caso da Alemanha, após o ano de 2005 o lixo só poderá ser depositado se comprovadamente inerte.

Desta forma, Henriques (2004) afirma que os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são um dos resultados negativos, inerentes ao processo de desenvolvimento, resultantes das atividades comerciais e domésticas da população. Portanto, a eficácia do gerenciamento dos resíduos sólidos está vinculada à classificação destes, previamente ao seu tratamento e disposição final.

II.1.1. Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos

O gerenciamento de resíduos é visto como uma importante questão ambiental a ser solucionada, na medida em que sua má operação traz constantes riscos à saúde pública e ao ambiente. Some-se a isso a falta de processos de tratamento e a falta de critérios na escolha de locais adequados para a disposição final dos resíduos gerados (GOMES *et al.*, 2001).

Aguiar e Philippi (1999) afirmam que o gerenciamento dos resíduos sólidos domésticos, compreendendo a segregação, a coleta, armazenamento, transporte, tratamento final e disposição do mesmo, é uma responsabilidade e uma prerrogativa do Município. Isto está estabelecido na legislação brasileira. Por outro lado, a tendência de

privatização dos serviços públicos observados em diversos países, inclusive no Brasil, também abre portas para a participação de empresas privadas.

A Agenda 21 Global aponta para a necessidade de mudanças de hábitos e padrões de consumo, de forma a reduzir a quantidade de resíduos gerados, além da necessidade de priorizar a recuperação e a reciclagem de materiais. No vigésimo primeiro capítulo da Agenda 21, estão estabelecidas as diretrizes para o gerenciamento dos resíduos sólidos de forma compatível com a preservação ambiental.

A gestão dos resíduos sólidos não tem recebido a devida atenção por parte do poder público. Assim, cada vez mais se verifica a degradação dos recursos naturais bem como o comprometimento da saúde da população (FARIA, 2002).

A pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizada em 2000, revela que 97,9% dos municípios brasileiros têm serviço de abastecimento de água; 78,6% têm serviço de drenagem urbana e 99,4% têm coleta de lixo. A comparação com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 1989, quando havia 4.425 municípios, permite verificar a evolução da cobertura dos serviços de abastecimento de água por rede geral, de esgotamento sanitário e de coleta dos resíduos, como pode ser verificado na Figura II.1.

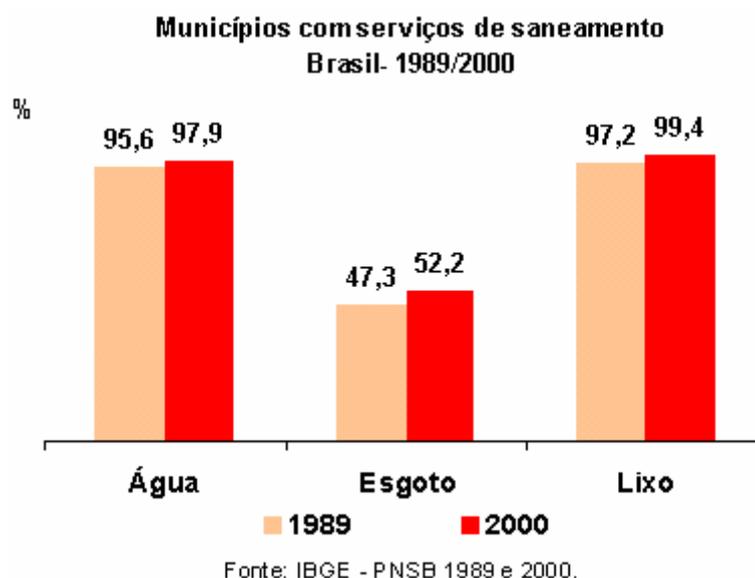


Figura II.1. Municípios com serviços de saneamento.

Dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026, ou seja, 73,1%, têm população até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões e em alagados. Tomando-se, entretanto, como referência, a quantidade de resíduo

gerado por esses municípios, em relação ao total da produção brasileira, a situação é menos grave, pois em conjunto coletam somente 12,8 % do total brasileiro (20.658 t/dia). Isto é, menos do que o gerado pelas 13 maiores cidades brasileiras, com população acima de 1 milhão de habitantes. Só estas, coletam 31,9 % (51.635 t/dia) de todo o resíduo urbano brasileiro, e têm seus locais de disposição final em melhor situação: apenas 1,8 % (832 t/dia) é destinado a lixões, o restante sendo depositado em aterros controlados ou sanitários.

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico (IBGE), em 2000, mostram ainda que, a situação de disposição e tratamento dos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSSS) melhorou, com 539 municípios encaminhando-os para aterros de resíduos especiais (69,9 % próprios e 30,1 % de terceiros), enquanto em 1989 apenas 19 municípios davam esse destino a esses resíduos sólidos. Em número de municípios, 2.569 depositam nos mesmos aterros que os resíduos comuns, enquanto 539 já estão enviando-os para locais de tratamento ou aterros de segurança. A pesquisa mostra, também, que, entre os municípios com mais de 500.000 habitantes que destinam o lixo séptico em vazadouros a céu aberto, estão Campo Grande (MS), São Gonçalo (RJ), Nova Iguaçu (RJ), Maceió (AL) e João Pessoa (PB).

Apesar desse quadro, a coleta do resíduo é o segmento que mais se desenvolveu dentro do sistema de limpeza urbana, e o que apresenta maior abrangência de atendimento junto à população, ao mesmo tempo em que é a atividade do sistema que demanda maior percentual de recursos por parte da municipalidade. Esse fato se deve à pressão exercida pela população e pelo comércio para que se execute a coleta com regularidade, evitando-se assim o incômodo da convivência com o resíduo nas ruas. Contudo, essa pressão tem geralmente um efeito seletivo, ou seja, a administração municipal, quando não tem meios de oferecer o serviço a toda a população, prioriza os setores comerciais, as unidades de saúde e o atendimento à população de renda mais alta. A expansão da cobertura dos serviços raramente alcança as áreas realmente carentes, até porque a ausência de infra-estrutura viária exige a adoção de sistemas alternativos, que apresentam baixa eficiência e, portanto, custo mais elevado (MANUAL GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2001).

Um dos maiores problemas ambientais, tema menos discutido pela população, é a disposição final e o manejo dos resíduos industriais. No Brasil, o poder público municipal não tem qualquer responsabilidade sobre essa atividade, prevalecendo o princípio do "*poluidor-pagador*". Segundo Ribeiro (2000) este princípio imputa custos,

e atribui ao poluidor a responsabilidade pelas despesas para que o ambiente permaneça em condições adequadas e postula, ainda, que o responsável original pelo prejuízo ambiental deve arcar com a compensação por tal dano.

Ribeiro (2000) ainda afirma, que a gestão ambiental nos países em que existe abundância de recursos, aplica o *princípio usuário-poluidor-pagador*, que ainda não é usual em países com escassez financeira. Em situações de pobreza, é preciso virar pelo avesso aquele conceito e aplicar os *princípios protetor-recebedor* e *não poluidor-recebedor*, que fundamentam esse tipo de incentivos e mostram-se eficazes na realidade concreta de sociedades que precisam resolver as carências de infra-estrutura de saneamento. Em contextos de escassez de recursos financeiros, a disposição a receber é mais alta do que a disposição a pagar. A aplicação desse princípio foi realizada pela lei que redistribuiu o ICMS - imposto sobre circulação de mercadorias no estado de Minas Gerais. Deram-se incentivos econômicos para governos locais investirem em disposição de resíduos sólidos e em estações de tratamento de esgoto. Municípios que operem estações de tratamento de esgoto para no mínimo 50% de sua população urbana, ou ao menos 70% da população urbana com sistema adequado de disposição de resíduos sólidos, recebem uma parcela maior do ICMS.

Este incentivo econômico é combinado com o sistema de licenciamento: para obtê-lo, os municípios precisam ter a licença ambiental das estações de tratamento, usinas de compostagem ou aterros sanitários.

Nos últimos anos no Brasil, verifica-se o aumento da terceirização no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, até então executados pela administração pública na maior parte dos municípios brasileiros.

Segundo o Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2001) a sustentabilidade econômica dos serviços de limpeza urbana, é um importante fator para a garantia de sua qualidade. Em quase todos os municípios brasileiros, os serviços de limpeza urbana, total ou parcialmente, são remunerados por meio da taxa cobrada na mesma guia do Imposto Predial e Territorial Urbano – IPTU. Assim, o montante arrecadado vai, primeiramente, para o Tesouro Municipal. Dessa maneira, dependendo das prioridades da administração municipal, o repasse à entidade de limpeza urbana pode se realizar ou não.

De acordo com Gomes *et al.* (2001) é corrente o emprego dos 3Rs no gerenciamento de resíduos sólidos, a qual é considerada a base da gestão de resíduos:

- **Reduzir:**
Consiste na redução de produção de resíduos como forma de evitar a ocorrência de problemas ambientais associados.
- **Reutilizar:**
Consiste na utilização de um produto mais de uma vez para o fim para o qual foi produzido ou para outro fim, ou seja, o seu reaproveitamento máximo. A utilização de materiais reutilizáveis diminui a quantidade de resíduos que têm que ser tratados / eliminados.
- **Reciclar:**
Consiste na valorização de alguns componentes dos resíduos, por meio da recuperação de diferentes materiais, para dar origem a novos produtos.

Em resumo, faz-se a necessidade do correto gerenciamento dos resíduos sólidos devido a vários fatores, tais como:

- A escassez de espaço para a destinação e o valor dos terrenos.
- A necessidade de reciclar materiais para a conservação dos recursos naturais não renováveis.
- A proteção ambiental dos recursos hídricos e cuidados com a saúde.

II.2. Legislação

O compromisso ambiental, no Brasil, teve início em 1972, quando o País participou da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, sediada em Estocolmo.

A preocupação em relação aos problemas ligados aos resíduos sólidos urbanos consta na Agenda 21 brasileira (1997), a qual segue as recomendações da CNUMAD (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), sediada no Rio de Janeiro em junho de 1992, conhecida como Eco 92. Indicando como estratégias para o gerenciamento adequado de resíduos sólidos:

- A minimização da geração de resíduos;
- A maximização de práticas de reutilização e reciclagem ambientalmente correta;

- A promoção de sistemas de tratamento e disposição de resíduos compatíveis com a preservação ambiental;
- A extensão de cobertura dos serviços de coleta e destino final.

Segundo trabalho elaborado pela Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados de Brasília/DF, o tratamento dado aos resíduos sólidos no Brasil pode ser bem avaliado a partir da própria dificuldade em obter informações confiáveis e detalhadas sobre o tema. Os dados existentes sobre o assunto são escassos, falhos e conflitantes, a começar pelas estimativas sobre a quantidade de resíduos gerados (JURAS, 2001).

Alguns autores definem como resíduo todo e qualquer resíduo resultante das atividades diárias do homem na sociedade. Estes resíduos são, basicamente, sobras de alimentos, papéis, papelões, plásticos, trapos, couros, madeiras, latas, vidros, lamas, gases, vapores, poeiras, sabões, detergentes e outras substâncias descartáveis de forma consciente (FARIA, 2002).

De acordo com Philippi JR. e Alves (2004) os resíduos sólidos começaram a ser efetivamente alvo de preocupação das autoridades só em 1951, quando foi editada a lei nº 1561-a, que disciplinou o Código de Normas Sanitárias do Estado de São Paulo, traçando as diretrizes da coleta pública de resíduos, transporte e destinação final.

Contudo, segundo Salek (2006) somente em 1981, com a Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida pela lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, que todo o arcabouço jurídico-ambiental se desenvolveu. Mas foi na Constituição de 1988, que os resíduos sólidos foram realmente abordados com maior destaque, recomendando-se maior fiscalização e atuação dos órgãos públicos e particulares responsáveis pela preservação do ambiente.

O problema decorrente do resíduo sólido urbano está respaldado em alguns artigos da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988:

- Artigo 182, o qual trata da política urbana;
- Artigo 24, I e VI, o qual trata da competência concorrente para legislar sobre o direito urbanístico e da competência concorrente para legislar sobre a proteção do ambiente e controle da poluição;
- Artigo 30, I, II e VIII, o qual trata da competência residual do Município, bem como da sua função de organizar e parcelar o uso urbano.

Segundo o artigo 225 da Constituição Federal:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e a coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

O direito ambiental está vinculado ao Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), por meio da lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, cujo objetivo é a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, com a finalidade de assegurar, no país, as condições adequadas ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da pessoa humana.

A Tabela II.1 apresenta, de forma esquemática, a quem cabe a responsabilidade pelo gerenciamento do lixo, segundo IPT / CEMPRE, 2001.

Tabela II.1. Responsabilidade do gerenciamento pelo resíduo gerado.

Origem do lixo	Responsabilidade
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura (< 50kg) e Gerador (> 50kg)
Público	Prefeitura
Serviços de Saúde	Gerador (hospital)
Industrial	Gerador (indústrias)
Portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários	Gerador (portos)
Agrícola	Gerador (agricultor)
Entulho	Gerador

Fonte: IPT / CEMPRE , 2001

No Brasil, o serviço de limpeza pública é cobrado da população por meio de um tributo denominado taxa, que é paga pelo contribuinte em função de um serviço posto a sua disposição, sendo devida mesmo que ele, contribuinte, não o utilize diretamente. Ou seja, a potencialidade do serviço é que gera a obrigatoriedade de seu pagamento. O valor da taxa refere-se ao valor presumido dos custos do serviço de limpeza pública prestado. A taxa tem como base de cálculo o IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). A tendência no mundo moderno é fazer com que cada cidadão "pague pelo que joga fora", ou seja, a cobrança seria feita a cada contribuinte pela real quantidade de resíduos, em peso ou volume, por ele gerado. Esse sistema, embora já implementado com sucesso em algumas cidades tanto da Europa (Viena, por exemplo) quanto dos Estados Unidos (Boston, Seattle, Pasadena, Berkeley e outras) implica a aplicação de uma série de medidas, tanto por parte do operador do serviço, como da comunidade

atendida, o que ainda suscita algum temor quanto à sua aplicação no Brasil (FARIA, 2002).

Esta situação em que se encontra o problema da disposição dos resíduos sólidos no Brasil, encontrar-se-ia em outro panorama caso fosse exigido o cumprimento, mínimo, da legislação ambiental em vigência.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, além de outras providências. Esta lei determina a obrigatoriedade de licenciamento ambiental junto ao órgão estadual para a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades que utilizem os recursos ambientais.

Quanto ao aspecto legal relacionado com a responsabilidade ambiental, está prevista na Lei Fundamentada Brasileira no artigo 225, em seu parágrafo terceiro:

“Art. 225, § 3º - As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos”.

É válido ressaltar a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, a qual dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao ambiente, além de outras providências; é relevante mencionar os Artigos 54 e 60 da Seção III, Da Poluição e outros Crimes Ambientais:

“Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:

Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa.

§ 2º Se o crime:

V - ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos:

Pena - reclusão, de um a cinco anos.”

“Art. 60. Construir, reformar, ampliar, instalar ou fazer funcionar, em qualquer parte do território nacional, estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes, ou contrariando as normas legais e regulamentares pertinentes:

Pena - detenção, de um a seis meses, ou multa, ou ambas as penas cumulativamente.”

Além do artigo 68 Seção V, Dos Crimes contra a Administração Ambiental:

“Art. 68. Deixar, aquele que tiver o dever legal ou contratual de fazê-lo, de cumprir obrigação de relevante interesse ambiental:

Pena - detenção, de um a três anos, e multa.”

No Paraná, a lei estadual 12.493, de 22 de janeiro de 1999, estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado, visando controle da poluição e a minimização de seus impactos ambientais.

Podem-se citar, também, algumas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) relacionadas com resíduos sólidos. As Normas Técnicas funcionam como complemento às leis regulamentadoras ou na ausência das leis como o próprio instrumento regulamentador:

- NBR 10.004/2004, a qual trata da classificação dos resíduos sólidos;
- NBR 10.005/2004, a qual trata de procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos;
- NBR 10.006/2004, a qual trata de procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos;
- NBR 10.007/2004, a qual trata da amostragem de resíduos sólidos;
- NBR 10.007/2004, a qual trata de procedimentos para amostragem de resíduos sólidos;
- NBR 12.235/1992, a qual trata do armazenamento de resíduos sólidos perigosos;
- NBR 13.221/2007, a qual trata do transporte terrestre de resíduos;
- NBR 11.175/1990, a qual trata do procedimento para incineração de resíduos sólidos perigosos;

- NBR 8.419/1992, a qual trata da apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos;
- NBR 8.849/1985, a qual trata da apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos.
- NBR 12.807/1993 e 12.808:1993, as quais tratam dos resíduos de serviços de saúde, bem como sua classificação;
- NBR 12.810/1993, a qual trata da coleta de resíduos de serviços de saúde;
- NBR 8.418/1984, a qual trata de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos;
- Entre outros.

Segundo Garcia (2006) o CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), tem editado uma série de resoluções que visam regulamentar algumas questões relacionadas aos resíduos, conforme pode ser visto na Tabela II.2.

Tabela II.2. Resoluções do CONAMA sobre resíduos.

Resoluções do CONAMA sobre resíduos		
Resolução nº e ano	Ementa	Artigos
01/86	Dispõe sobre licenciamento ambiental e estudo prévio de impacto ambiental, exigido para aterros sanitários.	Art. 2º, X.
05/93	Dispõe sobre os resíduos de saúde.	Íntegra.
09/93	Dispõe sobre o destino final dos óleos lubrificantes.	Íntegra.
237/97	Dispõe sobre licenciamento ambiental; atividades ou empreendimentos sujeitos ao licenciamento.	Anexo I.
23/96	Classificação dos resíduos e dá outras providências.	Íntegra.
257/99	Destino final de pilhas e baterias usadas.	Íntegra.
273/2000	Dispõe sobre o licenciamento de postos de gasolina.	Art. 5º, I, h.
275/2001	Estabelece as cores padrões para a coleta seletiva e dá outras providências.	Íntegra.
283/2001	Dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde.	Íntegra.
307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil.	Íntegra.

308/2002	Licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.	Íntegra.
313/2002	Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais.	Íntegra.
316/2002	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.	Íntegra.
358/2005	Dispõe sobre o tratamento e disposição final dos resíduos dos serviços de saúde.	Íntegra.
362/2005	Dispõe sobre o rerrefino de óleo lubrificante.	Íntegra.

Fonte: Garcia, 2006.

Para o apropriado tratamento ou disposição do resíduo sólido (aterro sanitário, reciclagem, aproveitamento energético, outros), faz-se necessário a obtenção da licença de tratamento concedida pelo órgão ambiental competente (FARIA, 2002).

A dificuldade no gerenciamento, de forma eficaz, da prestação dos serviços está vinculada à inexistência de uma política brasileira de resíduos sólidos, bem como a falta de capacitação técnico-profissional, além da constante descontinuidade política e administrativa e, em especial, a limitação financeira decorrente, entre outros fatores, da cobrança pelos serviços ser feita, em geral, sob forma de imposto ou taxa.

II.3. Classificação dos resíduos sólidos

Segunda a NBR 10.004/2004 a classificação de resíduos, envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características. Esta Norma classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. A mesma classifica os resíduos sólidos da seguinte maneira:

- resíduos classe I - Perigosos;
- resíduos classe II – Não perigosos;
 - resíduos classe II A – Não inertes;
 - resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos definidos como classe I ou Perigosos são aqueles que podem apresentar características de periculosidade, ou seja, aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas podem apresentar:

- a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao ambiente, quando os resíduos forem gerenciados de forma inadequada.

Bem como características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduos definidos como classe II, ou Não perigosos, são os resíduos de restaurantes, ou seja, restos de alimentos; resíduos de madeira; resíduos de materiais têxteis, sucata de metais ferrosos e não ferrosos; resíduos de papel e papelão; resíduos de borracha; entre outros desde que não estejam contaminados por substâncias tóxicas ou agudamente tóxicas, e que não apresentem características de periculosidade, conforme relacionadas no anexo H da NBR 10004/2004.

Os resíduos classificados como classe II A ou Não inertes são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos de classe I ou Perigosos ou de resíduos de classe II B ou Inertes, nos termos da Norma NBR 10004/2004. Sendo classificados como quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a NBR 10007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da NBR 10004/2004. Os resíduos de classe II A, ou Não inertes, podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Outras normas foram criadas para auxílio da NBR 10004/2004, quais sejam:

- *NBR 10005/2004 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*: Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004 como classe I – perigosos - e classe II – não perigosos.
- *NBR 10006/2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos*: Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar

os resíduos classificados na NBR 10004 como classe II A - não inertes – e classe II B – inertes. Estabelece os critérios para a realização do ensaio de solubilização, visando tornar uma amostra de um resíduo solúvel em água e avaliar a concentração dos elementos ou materiais contidos no extrato;

- *NBR 1000/2004 - Amostragem de resíduos sólidos*: Esta Norma fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos, que será analisada como representativa de um todo. O objetivo da amostragem é a coleta de uma quantidade representativa de resíduo, visando determinar suas características quanto à classificação, métodos de tratamento etc.

Segundo o Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2001) elaborado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), a origem do resíduo sólido é o principal elemento para sua caracterização. Assim, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes, a saber:

- Doméstico ou residencial: são os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.
- Comercial: são os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida. Este pode ser dividido em subgrupos chamados de "pequenos geradores", que corresponde ao estabelecimento que gera até 120 litros de lixo por dia e "grandes geradores", que corresponde ao estabelecimento que gera um volume de resíduos superior a esse limite.
- Público: são os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.
- Resíduo domiciliar especial: é o grupo que compreende os:
 - Entulho de obras
 - Pilhas e baterias
 - Lâmpadas fluorescentes
 - Pneus

- Resíduo de fontes especiais: são os resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final.

Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque:

- *Resíduos industriais*: são os resíduos gerados pelas atividades industriais. São resíduos muito variados que apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado.
- *Resíduos radioativos*: resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do lixo radioativo está a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.
- *Resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários*: compreende o lixo de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários.
- *Resíduos agrícolas*: formado basicamente pelos restos de embalagens impregnados com pesticidas e fertilizantes químicos, utilizados na agricultura, que são perigosos.
- *Resíduos de serviço de saúde*: compreendendo todos os resíduos gerados nas instituições destinadas à preservação da saúde da população.

A Norma NBR 12.808/1993 – Resíduos de Serviços de Saúde – Classificação, subdivide os resíduos de serviços de saúde nas seguintes classes:

- *Classe A – Resíduos Infectantes*
 - *Tipo A.1: Biológico*: cultura, inóculo, mistura de microorganismos e meio de cultura inoculado proveniente de laboratório clínico ou de pesquisa, vacina vencida ou inutilizada, filtro de gases aspirados de áreas contaminadas por agentes infectantes e qualquer resíduo contaminado por estes materiais;
 - *Tipo A.2: Sangue e hemoderivados*: com prazo de validade vencido ou sorologia positiva, bolsa de sangue para análise, soro, plasma e outros subprodutos;

- *Tipo A.3: Cirúrgico, anatomopatológico e exsudato:* tecido, órgão, feto, peça anatômica, sangue e outros líquidos orgânicos resultantes de cirurgia, necropsia e resíduos contaminados por estes materiais;
 - *Tipo A.4: Perfurante ou cortante:* agulha, ampola, pipeta, lâmina de bisturi e vidro;
 - *Tipo A.5: Animal contaminado:* carcaça ou parte de animal inoculado, exposto a microorganismos patogênicos, ou portador de doença infecto-contagiosa, bem como resíduos que tenham estado em contato com estes;
 - *Tipo A.6: Assistência a pacientes:* secreções e demais líquidos orgânicos procedentes de pacientes, bem como os resíduos contaminados por estes materiais, inclusive restos de refeições.
- *Classe B -Resíduos Especiais*
- *Tipo B.1: Rejeito radioativo:* material radioativo ou contaminado com radionuclídeos, provenientes de laboratório de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia;
 - *Tipo B.2: Resíduo farmacêutico:* medicamento vencido, contaminado, interditado ou não utilizado;
 - *Tipo B.3: Resíduo químico perigoso:* resíduo tóxico, corrosivo, inflamável, explosivo, reativo, genotóxico ou mutagênico.
- *Classe C -Resíduos Comuns*
- Todos aqueles que não se enquadram nos tipos A e B e que, por sua semelhança aos resíduos domésticos, não oferecem risco adicional à saúde pública.

Além da NBR 12.808/1993, existe a Resolução Nº 358, de 29 de abril de 2005, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que dispõe sobre o tratamento e

a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde, bem como a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004, que dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.

Especificamente, no que se refere aos resíduos sólidos de serviços de saúde (RSSS), verifica-se ainda uma ausência de orientação técnico-científica consolidada, em que as discussões sobre os riscos potenciais, bem como as possibilidades de manejo e tratamento dessa categoria de resíduos, são entrecortadas por estereótipos e escassa disponibilidade de dados e informações com rigor científico, especialmente no que tange à forma de tratamento e destinação final (MACHADO e MORAES, 2004).

II.4. Resíduos sólidos industriais

Segundo Gadêlha (2005) na história da humanidade, a natureza determinava as condições de sobrevivência e conseqüentemente a mobilidade do ser humano sobre a terra. O desenvolvimento tornou possível a transformação da natureza para a produção de bens vitais ao ser humano, eliminando os deslocamentos e permitindo o surgimento do conceito de propriedade da terra. Desta forma, determinou-se suas relações com o espaço físico de sua área de influência, caracterizando o que se entende por espaço social, o qual é tão dinâmico quanto as transformações por que tem passado a sociedade ao longo dos tempos.

Assim, de acordo com Pinto (2004) dentre os diversos problemas ambientais que a humanidade enfrenta, desde o início das sociedades tecnológicas, ou seja, a partir da Revolução Industrial, no século XVIII (que correspondeu à revolução do processo produtivo, pois se deixou de produzir por meio da manufatura e passou-se para a mecanização ou, mais especificamente, para a maquinofatura), a geração de resíduos sólidos industriais cresce e se diversifica, em virtude da criação de substâncias, e conseqüentemente a geração de resíduos, requerendo soluções criativas e menos onerosas para a solução do problema.

Como cita Flohr *et al.* (2005), os resíduos sólidos resultam das diversas atividades humanas, dentre elas a atividade industrial a qual gera resíduos em quantidades e com características tais, que necessitam de disposição final adequada.

A geração de resíduos constitui um grande desperdício em termos de materiais, água e energia, bem como das instalações e do trabalho realizado, pois também estão

sendo utilizados para gerá-los. Resíduos e emissões precisam ser tratados e dispostos adequadamente o que, na maioria das vezes, agrega custos e não valor. Além disso, constituem risco potencial à saúde pública e ao ambiente, uma vez que estes, quando manuseados, tratados, transportados e/ou dispostos inadequadamente, podem levar a graves acidentes ou à geração de passivos ambientais. Aos poucos as empresas estão se dando conta de que a geração de resíduos e emissões é sinônimo de perdas econômicas significativas, o que afeta diretamente a competitividade (GOSSEN, 2005).

Pinto (2004) cita que a legislação ambiental determina que o gerador é responsável pelos resíduos industriais, desde a sua geração até o destino final, impondo responsabilidade civil, criminal e administrativa pelos danos causados ao homem e ao ambiente, em virtude da gestão e do gerenciamento de maneira não ambientalmente adequada dos resíduos sólidos industriais. Dessa forma, a Ecologia Industrial é um novo conceito que considera as interações dos sistemas industriais com todos os demais sistemas presentes no ambiente nos quais estes estão inseridos. O conceito requer uma visão sistêmica do ciclo total produtivo, considerando todas as interações envolvidas, desde que a matéria-prima é extraída da natureza, até a disposição final do produto industrializado, enfatizando a necessidade da otimização dos recursos naturais, energia e capital. Assim, o industrial consciente, com inteligência, opta pela aplicação de estratégias tecnológicas em benefício do uso racional das matérias-primas e da redução de resíduos gerados na produção.

A atividade agrícola, os esgotos sanitários e os resíduos domésticos contribuem de maneira importante com o processo de poluição, mas as atividades das refinarias de petróleo, indústrias químicas, têxteis e papeleiras, têm um lugar de destaque, principalmente em função dos grandes volumes de resíduos produzidos e da diversidade de sua composição (MORAIS, 1999).

A elevada quantidade de águas residuárias, provenientes dos altos volumes de água utilizados para a produção de tecido é uma característica do efluente têxtil (SANTOS & SANTAELLA, 2002). Segundo Marques (2003) essa modalidade industrial é tipicamente uma das maiores consumidoras de água, tendo em vista que a maior parte dos seus processos ocorre por via úmida.

De acordo com Silva (2005) as indústrias têxteis constituem fator de grande importância na economia brasileira, e são agrupadas em três categorias principais de fibras: tecidos de algodão, de lã e sintéticos.

Ainda segundo o mesmo autor, o setor têxtil produz uma diversidade de produtos incluindo artigos de mesa, banho, cortinas, tapetes, lonas industriais, jeans, entre outros. Sendo cada um destes produzidos de forma distinta, gerando uma gama considerável de fluxos produtivos. O perfil do setor se caracteriza por empresas de porte pequeno e médio, cujas tecnologias adotadas comparadas com as dos países desenvolvidos ainda necessitam implementar melhorias tecnológicas. São utilizados oxidantes, alvejantes à base de hipoclorito e processos de mercerização, sem a devida recuperação da soda cáustica. Além disso, nota-se um uso excessivo de água nos processos, nos quais ainda se adotam na etapa de tingimento, equipamentos tipo Barcas, que se caracterizam como grandes consumidores de água.

Segundo Immich (2006) na indústria têxtil, as atividades empregadas nos seus processos acabam gerando problemas devido à eliminação de rejeitos tóxicos, provenientes dos subprodutos gerados na indústria. Os efluentes destas indústrias, se não tratados convenientemente antes de serem lançados em águas naturais, são capazes de atingir reservatórios e estações de água, sendo esta a preocupação ecológica mais emergente.

II.4.1. Resíduos na indústria têxtil

A indústria têxtil brasileira constitui uma atividade tradicional, tendo sido peça fundamental na estratégia de desenvolvimento da política industrial brasileira. Por meio desta indústria, o Brasil iniciou seu processo de industrialização (IMMICH, 2006). Segundo Pôrto (2002) esta indústria, quando envolve processo de beneficiamento têxtil, como tingimento, estampagem e acabamento, caracteriza-se por um uso intensivo de água e conseqüentemente por uma elevada geração de efluentes líquidos e, por conseqüência, resíduos sólidos.

Ainda segundo Pôrto (2002) apesar dos processos de beneficiamento têxtil variarem sobremaneira, algumas características são comuns aos despejos deste tipo de indústria. Várias dessas características dificultam o tratamento dos despejos têxteis, principalmente quando se empregam sistemas biológicos:

- Lenta biodegradabilidade;
- Elevada presença de sais dissolvidos;

- Elevada presença de corantes sintéticos;
- Alto teor de detergentes;
- Presença de substâncias tóxicas.

Diante de todos esse problemas ambientais decorrentes desses despejos industriais, Filho (2005) cita que a natureza tem demonstrado os efeitos da ação exploradora do homem, indicadores que devem ser considerados para a correção do rumo. Alinha-se neste sentido, a utilização de co-produtos industriais em materiais e componentes de construção. Esta tendência mundial é adotada por empresas geradoras destes sub-produtos, empresas produtoras de novos materiais e também materiais reciclados pelo próprio setor de construção civil. O setor público começa a incentivar a reciclagem de co-produtos industriais por meio de políticas públicas.

A reciclagem de resíduos decorrentes da fabricação de produtos industrializados é maneira inteligente da indústria gerir estes efeitos colaterais, tornando-os co-produtos que se transformam, por exemplo, em materiais de construção. O co-produto assim transformado, viabiliza-se quando apresenta custo competitivo com aquele produto que pretende substituir, mas, outros fatores também são considerados: sociais, técnicos, ambientais e econômicos. Em caso de risco ambiental, este parâmetro é preponderante ao fator econômico. Outras vantagens antecedem à questão econômica, como a diminuição de consumo de recursos naturais, menos consumo de energia e o custo de disposição do resíduo, entre outros. Persistem entretanto, o fator custo na concorrência com o produto original, para motivar a sua aceitação e, em decorrência, a reciclagem (JOHN, 2002; ÂNGULO, ZORDAN, JOHN, 2001 apud FILHO, 2005).

Diante do exposto, o estudo do processo produtivo e das operações industriais constitui um fator de grande importância para se prever a origem, quantidade e características dos poluentes industriais.

II.4.2. Processo Produtivo

Conforme cita Immich (2006) o processo produtivo da cadeia têxtil inicia-se com a matéria-prima – fibras, indo para a fiação, seguindo para a tecelagem plana ou para a malharia e, por último, para o acabamento. Após o acabamento, o tecido é submetido a uma inspeção para detectar defeitos de tecelagem que, quando possível, são

corrigidos. Ao final da inspeção são iniciados os processos a úmido, que compreendem: mercerização, alcalinização, purga, alveamento químico e tingimento.

Os processos das indústrias têxteis podem ser identificados como secos e úmidos. Os processos chamados secos incluem a fabricação dos fios, malharia e tecelagem. Porém, a tecelagem apresenta uma etapa, a engomagem do fio, que é um processo úmido. De modo geral o beneficiamento dos fios ou tecidos são compostos de processos úmidos (SILVA, 2004).

Santos (2006) afirma que o processo produtivo têxtil é um conjunto de etapas consecutivas, nas quais são transformados e transferidos diversos insumos. Como pode ser observado na Figura II.2.

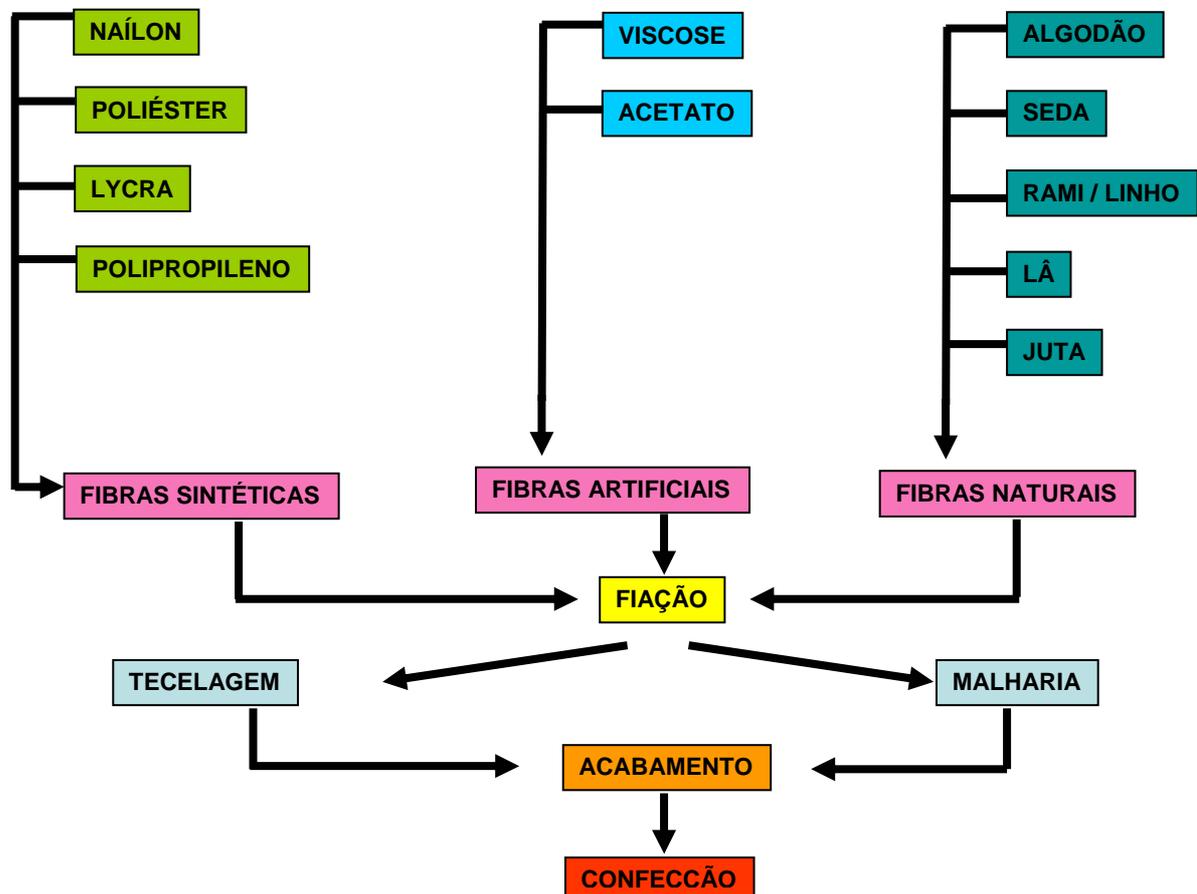


Figura II.2. Configuração básica do processo produtivo têxtil (SEBRAE/2000).

As fibras processadas na indústria têxtil são classificadas em naturais, artificiais e sintéticas. As fibras naturais são aquelas existentes na natureza, como por exemplo, o algodão, o linho, a juta, a lã e o rami. As fibras artificiais são aquelas fabricadas a partir

da regeneração de fibras naturais, como por exemplo, a viscose e o acetato. As fibras sintéticas são fabricadas a partir de derivados do petróleo, como a poliamida (náilon), o poliéster, o elastano (lycra) e o polipropileno (PÔRTO, 2002).

Segundo Oliveira (2006) as cargas poluidoras variam de acordo com o processo produtivo, e podem ser avaliadas em termos de DQO (Demanda química de oxigênio). As maiores quantidades de cargas vêm da etapa de tingimento, na qual grande parte dos corantes não se fixam às fibras do tecido, contribuindo para as altas cargas poluidoras nos despejos têxteis.

Fiação

Segundo Alcantara e Daltin (1996) esta é a etapa na qual os fios são transformados em tecidos. O processo de fiação é a produção de fios, a partir de fibras naturais e artificiais.

A fiação de fibras naturais inclui operações nas quais as fibras se prendem uma às outras pelo atrito.

A fiação de fibras artificiais compreende etapas de extrusão, resultando em filamentos que são endurecidos por meio da operação de solidificação.

Tecelagem e Malharia

Segundo Pôrto (2002) esta é a etapa de transformação de fios em tecido plano. Alcantara e Daltin (1996) citam que devido à velocidade dos teares, os fios sofrem atrito durante a tecelagem podendo arrebentar. Dessa maneira é necessário reforçá-los submetendo-os à engomagem antes da tecelagem.

Ainda segundo o mesmo autor, a engomagem é o processo pelo qual passam os fios visando aumentar a sua resistência mecânica, para resistir aos esforços nos teares e resultando em um tecido mais encorpado na etapa da confecção. As gomas utilizadas são próprias para cada tipo de fio, se o objetivo é um tecido mais firme coloca-se uma solução de goma mais concentrada. Geralmente são utilizados dois tipos básicos de goma: a goma de fécula de mandioca; e gomas sintéticas, a base de poliácrlato, carboximetilcelulose e álcool polivinílico (PVA).

Neste segmento, Alcantara e Daltin (1996) afirmam que há vários tecidos obtidos por diferentes processos:

- Tecido
 - Plano
 - Simples
 - Composto
 - Felpudo
 - Jacquard
 - Malha
 - Nonwoven (não-tecidos)

A malharia surgiu da mecanização do processo de tricotagem, conhecido há bastante tempo. A malha é formada por laçadas de fios que são atravessadas por novas laçadas. Um tear de malha se baseia em um conjunto de agulhas que formam e passam as laçadas, o que confere ao tecido de malha maior flexibilidade e elasticidade.

Beneficiamento

De acordo com Pôrto (2002) o beneficiamento é a etapa de preparação do tecido para seu uso final, podendo envolver os processos de tingimento, estampagem e acabamento.

Segundo Alcantara e Daltin (1996) a etapa de beneficiamento primário é a etapa de preparação do tecido para a aplicação de outros processos químicos como o tingimento, amaciamento etc.

No beneficiamento primário os tecidos passam por tratamentos para eliminar óleos, ceras, pigmentos, marcações e sujeiras adquiridas durante os processos de fiação e tecelagem. Após essa etapa, o produto têxtil está limpo, brilhante, alvo e hidrofílico. Dessa forma são iniciados os processos a úmido, que compreendem: desengomagem, mercerização, purga e alveamento químico (IMMICH, 2006):

- *Desengomagem:* é a primeira etapa de beneficiamento e visa a remoção da goma, tornando o material mais absorvente. Esta etapa depende totalmente da escolha da formulação da engomagem. Se forem usados apenas produtos solúveis em água, como a carboximetilcelulose, o

carboximetilamido ou o poliacrilato, a desengomagem se resume a uma simples lavagem do tecido com tensoativos. Este processo é conhecido por ensaboamento. Já a goma com base de amido deve ser atacada por enzimas (amilase) que destroem o amido, ou por oxidação com peróxidos, para torná-lo solúvel. A desengomagem enzimática é muito eficiente mas, apresenta um alto grau de poluição pois o amido apresenta uma alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que reduz o nível de oxigenação dos rios onde é lançado.

- *Mergerização*: é o tratamento com solução de hidróxido de sódio (soda cáustica) concentrado a frio, máximo 18°C, que é aplicado, sob tensão, aos fios e tecidos de algodão. A solução de soda é removida por lavagens, ainda sob tensão, após o tratamento. A soda que permanece no tecido é neutralizada com ácido acético ou clorídrico, a frio, seguido de enxágüe para remoção do ácido. Esse tratamento proporciona ao material celulósico brilho acentuado, maior afinidade aos corantes, toque mais macio, maior resistência mecânica, maior absorção e encolhimento. A solução de soda cáustica promove a expansão da fibra, que se rompe após a retirada desse álcali, assumindo uma seção circular. Esse rearranjo interno da estrutura cristalina das fibras da celulose é que confere as características do tecido mercerizado. A alcalinização, também chamada de caustificação ou lixiviação, proporciona ao material têxtil encolhimento, espessamento, aumento da resistência e do poder de absorção dos corantes, assim como a mercerização.
- *Purga*: esta etapa objetiva retirar impurezas naturais do tecido ou fio, como óleos, gorduras e lubrificantes adicionados à fibra na tecelagem. Os tecidos sintéticos são submetidos apenas a uma purga leve para eliminação de gomas. A remoção das impurezas se processa a quente, podendo ocorrer perda de peso do tecido, de 3 a 7%, dependendo da quantidade de impurezas e das condições de extração e lavagem. Os produtos químicos utilizados neste processo incluem álcalis, para saponificar óleos naturais, e surfactantes para emulsionar e suspender impurezas não saponificáveis. A purga torna a fibra mais absorvente, o que melhora a eficácia dos tratamentos subsequentes, como alvejamento

e tingimento. Após o banho de purga, o tecido é submetido a lavagens a quente e a frio, a fim de que o álcali residual seja removido.

- *Alvejamento químico*: O alvejamento é um processo químico que elimina cor indesejável de fibras, fios ou tecidos. Vários tipos de produtos químicos são utilizados como alvejantes e a seleção depende do tipo de fibra e do tratamento subsequente. O processo de alvejamento envolve as seguintes etapas:
 - O tecido é saturado com o alvejante, ativador, estabilizador e outros produtos necessários;
 - A temperatura é elevada ao valor recomendado para a fibra específica e mantida durante o tempo requerido para o processo;
 - O tecido é lavado.

Atualmente, o reagente alvejante mais utilizado é o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo ainda importante o uso de hipoclorito de sódio ($NaClO$), clorito de sódio ($NaClO_2$) e dióxido de enxofre (SO_2).

Tingimento

Segundo Quadros (2005) esta etapa refere-se aos processos que tem como objetivo colorir os substratos têxteis de forma homogênea e permanente, mediante a aplicação de corantes. A princípio, o mecanismo de tingimento pode ser dividido em três etapas em que ocorrem os seguintes mecanismos físico-químicos:

- *Difusão*: um dos mecanismos consiste na difusão do corante no banho em direção à superfície da fibra. O corante deve ser atraído pela fibra (substantividade, afinidade), mas isto depende do tipo de corante e da natureza da fibra. Por exemplo, um corante ácido, forma em meio ácido um ânion com carga negativa, enquanto as fibras de lã e de náilon em meio levemente ácido, possuem sítios catiônicos. Entretanto, os corantes reativos são aniônicos e as fibras celulósicas se carregam negativamente (Potencial Zeta); neste caso torna-se necessária a adição de eletrólito e de álcali no banho de tingimento.

- *Adsorção*: Outro mecanismo consiste na adsorção do corante nas camadas superficiais do substrato têxtil. Na superfície da fibra forma-se uma concentração alta deste, e conseqüentemente um gradiente entre a superfície e o interior da fibra.
- *Difusão-fixação*: A difusão-fixação consiste na difusão do corante adsorvido para o interior da fibra e na fixação nela por meio de ligações de hidrogênio, interações iônicas, forças de Van der Waals ou ligações covalentes, propriamente ditas. O tingimento é uma modificação físico-química do substrato, de forma que a luz refletida provoque a percepção de cor. Além do corante, os auxiliares têxteis empregados neste processo são umectantes, eletrólitos (NaCl ou Na₂SO₄), álcalis, ácidos, dispersantes, carrier, igualizantes, agentes anti-quebradura, dependendo da natureza da fibra e do corante.

Acabamento

Nesta etapa, também chamada de acabamento final ou beneficiamento terciário, conforme cita Immich (2006), os tecidos são submetidos a uma série de processos com o objetivo de conferir aspecto que atenda aos desejos do consumidor, além de garantir diversos tipos de resistência ao uso. Após o tingimento, o substrato passa por um processo de lavagem para eliminação do corante hidrolisado, ou seja, segundo Alcantara e Daltin (1996), para retirada do corante hidrolisado.

Ainda segundo Alcantara e Daltin (1996), esta última etapa consiste em um banho a quente com detergentes, o qual elimina todo o corante não-fixado seguido pelo enxágüe que, geralmente, é feito com banhos correntes. Este processo evita que o corante que não se ligou à fibra, venha a se soltar no momento em que o tecido fique umedecido novamente, com suor, durante o uso da roupa ou na lavagem, manchando outras roupas no mesmo banho.

Confecção

O final da cadeia têxtil é composta pelo segmento da confecção, que se caracteriza por uma grande diversidade de produtos, principalmente os do ramo do vestuário. É bastante linear, sendo o último elo o da confecção, o mais próximo do

consumidor. Observa-se uma dependência recíproca bastante acentuada entre o setor têxtil e da confecção, ressaltando a importância do tecido, na produção das confecções e na composição dos custos (Estudo Setorial, Gov. de SP, 2002; SEBRAE, 2000 apud SANTOS, 2006).

II.4.2.1. Corantes Têxteis

De acordo com Silva (2004) o fascínio do ser humano pelas cores é tão intensa, que parece impossível imaginar a indústria têxtil sem corantes. A origem dos corantes é incerta, mas há indicações de seu uso pelo homem desde os primórdios das civilizações, sendo que sua presença foi detectada em amostras de tecidos de tumbas egípcias e antigos hieróglifos datados de 2500 a.C.

Até metade do século IX, de acordo com Guaratini e Zanoni (2000), só existiam corantes naturais derivados de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e de substâncias extraídas de animal. Embora a indústria de corantes têxteis tenha se originado na Europa desde o século VI, o primeiro corante sintético foi descoberto em 1856 na Inglaterra. Com a intensa inovação tecnológica ao redor de 1915, a Alemanha manteve monopólio sobre a produção de corante sintético até a Segunda Guerra Mundial. Hoje a indústria de corantes nos Estados Unidos é a maior fonte exportadora destes produtos, colocando no mercado aproximadamente 2000 tipos de diferentes corantes sintéticos.

Aproximadamente 10.000 diferentes corantes e pigmentos são usados industrialmente, o que representa um consumo anual de cerca de 7×10^5 tons no mundo e 26.500 tons somente no Brasil (KUNZ *et al.*, 2002).

Ainda segundo Kunz *et al.* (2002) a molécula do corante utilizada para tingimento da fibra têxtil, pode ser dividida em duas partes principais, o grupo cromóforo e a estrutura responsável pela fixação à fibra. Existem vários grupos cromóforos utilizados atualmente na síntese de corantes. No entanto, o grupo mais representativo e largamente empregado pertence a família dos azocorantes, que se caracteriza por apresentar um ou mais grupamentos $-N=N-$ ligados a sistemas aromáticos. Os azocorantes representam cerca de 60 % dos corantes atualmente utilizados no mundo, sendo extensivamente utilizados no tingimento de fibras têxteis. A outra parte da molécula do corante, ligada ao grupo cromóforo, é responsável pela

fixação do corante à fibra. Existem atualmente várias classes de corantes classificados segundo sua fixação, como por exemplo, ácido, direto, básico, de enxofre e reativos, sendo este último o mais utilizado em nível mundial.

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo e etc.), ou de acordo com o método pelo qual é fixado à fibra têxtil. Os principais grupos de corantes classificados pelo modo de fixação são mostrados a seguir Alcantara e Daltin (1996):

- *Corantes reativos*: são corantes contendo um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos amino das poliamidas. Este grupo de corantes apresenta como característica uma alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente entre o corante e a fibra, cuja ligação confere maior estabilidade na cor do tecido tingido.
- *Corantes diretos ou substantivos*: este grupo de corantes caracteriza-se como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através de interações de Van Der Waals. São compostos aniônicos que produzem cores escuras e brilhantes, que variam enormemente quanto à solidez à luz. A resistência à lavagem é limitada e o uso de fixadores químicos pode aumentar sua resistência à umidade. A grande vantagem desta classe de corantes é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüente diminuição do conteúdo do corante nas águas de rejeitos.
- *Corantes azóicos ou naftóis*: são compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. De acordo com Immich (2006) são constituídos de dois compostos quimicamente reativos, que são aplicados à fibra em dois estágios, produzindo pigmento insolúvel dentro da fibra. Produzem tonalidades brilhantes e escuras de amarelo, laranja, vermelho, marrom, preto e azul. O corante apresenta boa solidez à luz e resistência ao peróxido e outros alvejantes. No entanto, seu uso tem declinado nos últimos anos devido aos custos de aplicação e suspeitas quanto à possível presença de naftilaminas carcinogênicas no efluente.

- *Corantes ácidos*: este termo corresponde a um grande grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. Estes grupos substituintes ionizáveis tornam o corante solúvel em água, e têm vital importância no método de aplicação do corante em fibras protéicas (lã, seda, etc.) e em fibras de poliamida sintética. De acordo com Immich (2006), as cores são, geralmente, brilhantes e o material tingido apresenta resistência de boa a excelente. Esta classe de corante inclui os metais: cromo, cobre, estanho e alumínio, e em função de problemas ambientais, seu uso vem decrescendo continuamente, não sendo praticamente usado nos EUA.
- *Corantes à cuba ou à tina*: É considerada uma das classes mais antigas de corantes, segundo Silva (2005), há pelo menos 5000 anos foi extraído de plantas na Índia. São subdivididos em dois grupos: os Indigóides e os Antraquinônicos. Possuem como característica química a presença de um grupo cetônico, sendo essencialmente insolúveis em água. A sua solubilização se dá por redução em solução alcalina, o qual passa a ser solúvel em água e o corante passa a ter afinidade química com a fibra celulósica. A maioria dos corantes à tina atualmente existente no mercado pode ser classificada como derivados da Antraquinona.
- *Corantes de enxofre*: Estes compostos têm sido utilizados principalmente na tingimento de fibras celulósicas, conferindo cores como preto, verde oliva, azul marinho, marrom, apresentando boa fixação. O uso destes corantes tem diminuído devido aos resíduos tóxicos contendo sulfetos, gerados nos processos de tingimento.
- *Corantes dispersivos*: Constitui uma classe de corantes insolúveis em água, tem sido utilizada principalmente para tinturas de fibras sintéticas, tais como: acetato celulose, nylon, poliéster e poliacrilonitrila.
- *Corantes pré-metalizados*: São úteis principalmente para tingimento de fibras protéicas e poliamidas. Os corantes são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. A desvantagem ecológica deste tipo de corantes está associada ao alto conteúdo de metal nas águas de rejeito.

- *Corantes branqueadores*: As fibras têxteis no estado bruto, por serem compostas primariamente de materiais orgânicos, apresentam como característica uma aparência amarelada por absorver luz, particularmente na faixa de baixo comprimento de onda. A diminuição dessa tonalidade tem sido diminuída na indústria ou na lavanderia pela oxidação da fibra com alvejantes químicos ou utilizando os corantes brancos também denominados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes.

Assim, a utilização destes corantes no beneficiamento têxtil, bem como de outros produtos químicos adicionais, acaba gerando grandes quantidades de efluentes tóxicos e, por consequência resíduos sólidos com alta carga de toxicidade.

II.4.3. Geração dos resíduos têxteis

Kunz *et al.* (2002) em seu artigo citam que, nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao desmedido crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. A economia de água em processos produtivos vem ganhando especial atenção devido ao valor agregado que tem sido atribuído a este bem, por meio de princípios como consumidor pagador e poluidor pagador, recentemente incorporados na legislação brasileira. Dentro deste contexto, o setor têxtil apresenta um especial destaque, devido a seu grande parque industrial instalado gerar grandes volumes de efluentes e por consequência a geração de lodo, os quais, quando não corretamente tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental.

De acordo com Moraes (1999) o potencial poluidor da indústria têxtil abrange cinco campos distintos:

- Efluentes líquidos;
- Emissões gasosas;
- Resíduos sólidos;
- Odores;
- Ruídos.

A quantidade de lodo gerado em estações de tratamento é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos líquidos. A disposição final do lodo é

problemático e pode representar até 60% dos custos operacionais de uma unidade de tratamento de efluentes (SANEPAR, 1999).

Guaratini e Zanoni (2000) citam que cerca de 15% da produção mundial de corantes é perdida para o ambiente durante a síntese, processamento ou aplicação de corantes. Isso é alarmante, considerando-se que representa um lançamento de cerca de 1,20 ton por dia, dessa classe de composto para o ambiente. A principal fonte desta perda corresponde à incompleta fixação dos corantes (10-20%), durante a etapa de tingimento das fibras têxteis.

Um grande número de substâncias químicas orgânicas sintéticas é lançado ao ambiente devido à atividade industrial. Os efluentes têxteis contêm uma gama extensiva de combinações não-polar e polar, mas as polares são predominantes. Eles incluem substâncias que são usadas como insumos e produtos auxiliares em processos têxteis, que muitas vezes não são removidos dos tecidos pelas águas de lavagem. Estes poluentes orgânicos polares em efluentes têxteis podem dar origem a problemas, devido ao fato que eles são não biodegradáveis e a sua eliminação é incompleta, e, além disso, alguns contaminantes têm um efeito tóxico às bactérias aplicadas no processo de tratamento biológico dos efluentes têxteis (CASTILLO e BARCELÓ, 2000 apud TWARDOKUS, 2004).

Segundo Hassemer e Sens (2002) os efluentes gerados pelas unidades industriais, normalmente são tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais (coagulação química e lodos ativados), os quais apresentam bons resultados na redução carbonácea, mas têm como inconveniente a alta produção de lodo, e a necessidade de disponibilização de grandes áreas para implantação do processo de tratamento e de aterros sanitários industriais para disposição deste resíduo. A quantidade de resíduo sólido está relacionada com a eficiência do tratamento físico-químico utilizado.

II.4.4. Gerenciamento dos resíduos industriais

Os resíduos provenientes das atividades industriais crescem em importância no cenário ambiental, uma vez que são gerados por vários tipos de processos, representando uma produção de milhões de toneladas por dia em todo o mundo. A

antiga visão de que a questão ambiental se concentrava nos recursos hídricos e atmosféricos foi ampliada quando a disposição adequada de resíduos passou a ser primordial para a preservação ambiental. Daí a necessidade de se desenvolver mecanismos para promover a conscientização e a busca de soluções para a implantação de tecnologias capazes de, a um só tempo, minimizar os impactos decorrentes da disposição destes resíduos no ambiente e reduzir os custos envolvidos nesta atividade (GIFFONI e LANGE, 2005).

O aproveitamento dos rejeitos industriais para uso como materiais alternativos não é novo, e tem dado certo em vários países do Primeiro Mundo, sendo três as principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais; primeiro, o esgotamento das reservas de matérias-primas confiáveis; segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupam o espaço e degradam os recursos naturais e, terceiro, a necessidade de compensar o desequilíbrio provocado pelas altas do petróleo (MENEZES, NEVES, FERREIRA, 2002).

A racionalização do uso da água na indústria têxtil é possível ser conseguida com a modernização dos equipamentos e incremento tecnológico nos processos e produtos, visando uma menor utilização desse recurso natural tão escasso. Para minimizar o consumo de água é necessário o monitoramento dos desperdícios diários no processo produtivo, do mesmo modo que se procede com outros insumos como o ar comprimido, energia térmica ou energia elétrica, visando a contenção de despesas na indústria têxtil (TWARDOKUS, 2004).

O desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento destes resíduos tem sido objeto de grande interesse nos últimos tempos devido ao aumento da conscientização e rigidez das leis ambientais.

II.5. Tecnologias de tratamentos disponíveis

Com o desenvolvimento tecnológico, o número de indústrias no mundo vem crescendo a cada dia e com elas a quantidade de lodos e resíduos industriais. A maior parte destes tem destino incerto e na maioria das vezes ficarão expostos ao ambiente, contaminando-o. Este problema é comum em várias partes do Brasil e do mundo.

Hoje, com as novas leis de proteção ao ambiente, e a crescente e progressiva implantação de novas e exigentes diretrizes na gestão de lodos e resíduos para as

sociedades industrializadas, na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, faz-se necessário desenvolver métodos alternativos e eficazes em substituição ao simples descarte desses em aterros sanitários ou industriais. Em vista disto, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos no sentido de valorizar lodos e resíduos de diferentes naturezas, utilizando-os como matéria prima para produção de um material utilizável (MOREIRA e OLIVEIRA, 2001).

Define-se por tratamento de resíduos sólidos qualquer processo que altere as características, composição ou propriedade do resíduo, de maneira a tornar menos impactante sua disposição no solo, ou simplesmente sua destruição. Os métodos de tratamento de resíduos podem envolver uma ou mais das seguintes formas de processamento: conversão dos constituintes agressivos em formas menos perigosas ou insolúveis; destruição química dos produtos indesejáveis; separação da massa de resíduos dos constituintes perigosos, com a conseqüente redução do volume a ser disposto; alteração da estrutura química de determinados produtos, tornando mais fácil sua assimilação pelo ambiente (GOMES, 2003).

Segundo Pinto (2004) diversos processos de tratamento de resíduos são hoje conhecidos, os quais podem ser enquadrados nas seguintes classes:

- Tratamentos físicos, que englobam vários métodos de separação de fases, bastante úteis para redução de volumes ou recuperação de materiais passíveis de reaproveitamento e processos de solidificação;
- Tratamentos químicos, que se baseiam essencialmente em transformações químicas, promovendo reações para destoxificar ou recuperar constituintes específicos;
- Tratamentos biológicos, dirigidos à degradação de compostos orgânicos pela ação de microrganismos;
- Tratamentos térmicos, voltados à destruição de determinados compostos, redução de volume ou recuperação de energia.

Segundo Campos, Braga e Carvalho (2002) dentre os tratamentos químicos pode-se citar:

- Neutralização
- Descromação
- Oxidação

A Neutralização consiste em adequar o pH de um resíduo aos padrões legais vigentes de emissão, torná-lo menos agressivo e corrosivo ao ambiente, ou torná-lo passível de outros tratamentos tais como o *landfarming* (tratamento no solo). A Descromação é a redução, do cromo hexavalente dos resíduos para cromo trivalente menos tóxico, pela utilização de um composto redutor, como por exemplo, o sulfato ferroso. A Oxidação, genericamente, é um processo no qual o oxigênio combina-se quimicamente com outra substância. Um exemplo típico de oxidação é o empregado para a destruição de cianetos.

Pinto (2004) ainda cita a secagem e desidratação de lodos, os quais são processos que consistem basicamente de sistemas que permitem a remoção de parte da água presente nos resíduos semi-sólidos ou pastosos.

Os lodos gerados nos diversos processos industriais resultantes de operações, tais como filtração, decantação, destilação, armazenamento, entre outras, e nas instalações de tratamento de efluentes líquidos ou gasosos apresentam um teor de umidade alto, freqüentemente superior a 90 ou 95%. Estes lodos necessitam ser tratados e/ou dispostos em aterros industriais ou sanitários, dependendo de suas características, uma vez que podem apresentar elevadas concentrações de metais ou substâncias tóxicas outras. A sua disposição em aterros, entretanto, deve ser precedida de secagem e desidratação, haja vista que os aterros só devem receber resíduos com baixo teor de umidade e com certa capacidade de suporte e que não apresentem líquidos livres, visando a limitar a quantidade de percolado a ser gerada pela liberação da fase líquida do resíduo, bem como garantir a qualidade operacional e estabilidade física do aterro (CETESB, 1993 apud PINTO, 2004).

Ampessan (2004) cita que, a secagem tem como objetivo primário evaporar a água presente no resíduo, enquanto que a desidratação é a retirada da umidade presente no resíduo, podendo ser feita por transferência de calor ou secagem por processos físicos, como por exemplo, a prensagem. A secagem pode resultar na redução de volume, remoção de compostos voláteis, combustíveis e matéria orgânica volátil, entretanto, esse tratamento tem como objetivo principal a remoção de água, principal veículo de disseminação de poluentes que se encontram agregados aos resíduos.

Segundo Gomes (2003) um dos processos de tratamento, envolvendo reações químicas e operações físicas, é a solidificação, que consiste na estabilização (ou fixação) dos resíduos perigosos a fim de transformá-los em materiais menos poluentes, por meio da adição de aglomerantes e produtos químicos. Com isso, busca-se eliminar a

capacidade de solubilização desses contaminantes, reduzindo a toxicidade do resíduo e tornando-o inócuo ou menos deletério ao ambiente. Existem inúmeras técnicas de solidificação de resíduos perigosos. As principais são:

- Solidificação com cimento
- Solidificação com outros materiais pozolânicos
- Solidificação com materiais termoplásticos
- Solidificação com polímeros orgânicos
- Auto-solidificação de resíduos
- Vitrificação
- Incorporação com materiais cerâmicos

Assim, considerando-se a conveniência de minimização de custos na área de tratamento de resíduos, bem como a possibilidade de reaproveitamento e reciclagem dos mesmos, processos alternativos de utilização dos mesmos em outros processos industriais foram desenvolvidos, como por exemplo, na indústria cerâmica.

Segundo Oliveira (2003) o uso desta técnica, promove uma redução na quantidade de resíduos a serem dispostos, e por outro lado, constitui-se em uma fonte alternativa de matéria-prima de baixo custo para a indústria cerâmica. Contudo, tais processos devem vir sempre acompanhados de uma avaliação ambiental devido a possíveis impactos provenientes tanto da produção, como da utilização dos diversos materiais.

Dentre os tratamentos biológicos, Pinto (2004) cita a compostagem, tratamento no solo (landfarming), entre outros.

Segundo a NBR 13.591 de 1996 compostagem é o processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.

Pinto (2004) afirma que as vantagens da compostagem são:

- Diminuição do material que vai para o aterro;
- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;

- Eliminação de patógenos.

“Landfarming” é a denominação para um método de tratamento em que o substrato orgânico de um resíduo é degradado biologicamente, na camada superior do solo e os íons metálicos, liberados nessa degradação, ou presentes nos resíduos, são incorporados nessa camada de forma a não promover a contaminação das águas do lençol freático (CETESB, 1985 apud AMPESSAN, 2004, pág. 15). Em outras palavras, sistemas *Landfarming*, *land application*, *sludge farming*, *land disposal* ou *soil cultivation*, são sistemas de tratamento de resíduos que, por meio das propriedades físicas e químicas do solo, e da intensa atividade microbiana existente neste meio, promovem a biodegradação, a destoxificação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados, minimizando os riscos de contaminação ambiental (PINTO, 2004). Este sistema consiste em um método de tratamento no qual o componente orgânico de um resíduo, é degradado biologicamente na camada superior do solo (15-20 cm), sendo necessário o fornecimento adequado de oxigênio e nutrientes para os microrganismos aeróbios. Quando os resíduos são adicionados ao solo, acontecem os seguintes processos: degradação biológica, incorporação na matriz do solo, volatilização, percolação e lixiviação superficial.

Quanto aos tratamentos térmicos, Campos, Braga e Carvalho (2002) afirma que a incineração é usada para tratar resíduos recicláveis ou não reutilizáveis, de tal maneira que os resultados são:

- Tornar inerte qualquer resíduo perigoso, minimizando simultaneamente as emissões para a atmosfera.
- A destruição de contaminantes orgânicos e a concentração de contaminantes inorgânicos.
- A minimização de resíduos destinados à disposição final, especialmente seu volume.
- Recuperar a temperatura dos resíduos para conservar fontes de energia.
- Outros.

A NBR 11.175/1990 define incineração como sendo o processo de oxidação a alta temperatura que destrói ou reduz o volume ou recupera materiais ou substâncias.

A incineração, considerada por alguns como forma de disposição final é, na realidade, um método de tratamento utilizado para resíduos altamente persistentes,

tóxicos e muito inflamáveis. Estão incluídos solventes, óleos não passíveis de recuperação, defensivos agrícolas halogenados, produtos farmacêuticos, bifenilas policloradas (PCB), entre outros (PINTO, 2004).

Dentre as formas de destinação final de resíduos sólidos industriais, incluem-se a disposição em aterros de resíduos não perigosos (para resíduos Classe II A – Não inertes e resíduos Classe II B – Inertes); aterros para resíduos perigosos (para resíduos Classe I – Perigosos); a injeção em poços profundos; disposição em minas abandonadas; descargas nos oceanos, entre outras (CETESB, 1993 apud PINTO, 2004).

Os aterros são áreas planejadas, destinadas à disposição adequada dos resíduos. Nos aterros o terreno é impermeabilizado, de modo a evitar o vazamento do chorume (líquido gerado na decomposição dos resíduos). Os gases liberados são captados para evitar a poluição do ar e o resíduo é coberto por terra, impedindo que fique exposto (HEREK, 2006).

No Brasil, a disposição final dos resíduos em aterros é a mais adotada, e a alternativa de destinação e de tecnologia mais conhecida, constituindo-se, muitas vezes, na alternativa economicamente mais viável. Sua construção, entretanto, deve obedecer a critérios de engenharia, de acordo com normas operacionais específicas, adequando o confinamento dos resíduos sólidos na menor área possível, sem causar danos ou riscos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais decorrentes dessa disposição no solo (LORA, 2002 apud PINTO, 2004). Ressalta-se que esta opção só deve ser considerada após terem sido descartadas as possibilidades de reciclar, reprocessar ou tratar os resíduos.

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

O reaproveitamento de resíduos provenientes de processos industriais para obtenção de produtos cerâmicos na construção civil é uma das soluções para o problema

ambiental associado ao descarte de resíduos poluentes (OLIVEIRA e HOLANDA, 2004).

Vários são os resíduos industriais absorvidos pela indústria cerâmica, podendo-se citar os resíduos de mineração, da indústria do papel e celulose, têxteis, metalúrgica etc. que, independente de sua origem, têm utilização cada dia maior, como matérias-primas alternativas na indústria cerâmica. As massas utilizadas na indústria de cerâmica tradicional são de natureza heterogênea, geralmente constituídas de materiais plásticos e não plásticos, com um vasto espectro de composições, motivo pelo qual permitem a presença de materiais residuais de vários tipos, mesmo em porcentagens significativas.

Desta forma, a reciclagem e a reutilização de resíduos provenientes de diferentes processos industriais, como novas matérias-primas cerâmicas, têm sido objeto de pesquisas em diversas instituições (MENEZES *et al.*, 2002).

II.5.1. Tecnologia de solidificação/estabilização

Segundo Bidone e Povinelli (1999) a estabilização é um processo de pré-tratamento, que induz trocas químicas no constituinte de um resíduo, transformando-o em formas menos solúveis e tóxicas, por meio de reações químicas que fixam elementos ou compostos tóxicos em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis. Por outro lado, a solidificação é um processo de pré-tratamento que produz uma massa sólida monolítica de um resíduo, melhorando a sua integridade estrutural e suas características físicas, permitindo que o material possa ser facilmente manuseado e transportado.

Wiles (1989) afirma que os principais processos inorgânicos utilizam como agente solidificante o cimento, a cal, os materiais pozolânicos, o gesso e os silicatos. Nos processos orgânicos, os materiais até então experimentalmente testados, incluem resinas epóxi, Poliéster, asfalto, poliolefinas (primeiramente polietileno e polietileno-polibutadieno) e uréia-formaldeído. Combinações de ambos os processos, inorgânicos e orgânicos, têm sido utilizados, incluindo diatomáceos com cimento e poliestireno, poliuretano e cimento, géis polímeros com silicatos, cal e cimento.

A técnica de Solidificação/Estabilização (S/E) é umas das formas de tratamento e disposição dos resíduos industriais. Segundo Malviya e Chaudhary (2006) o processo de Solidificação/Estabilização (S/E), utiliza formulações quimicamente reativas que, em conjunto com a água e outros componentes do lodo, formam sólidos estáveis. Ainda segundo Malviya e Chaudhary (2006) o material utilizado para

Solidificação/Estabilização (S/E), além de solidificar o resíduo perigoso por meios químicos, insolubiliza, imobiliza, encapsula, destrói ou interage com os componentes do resíduo utilizado. Os resultados dessas interações são sólidos não-perigosos ou menos perigosos que o resíduo original.

Segundo Weng *et al* (2003) a técnica de utilização de lodo, como um aditivo em materiais de construção civil, incluindo blocos cerâmicos, não somente converte os resíduos em materiais utilizáveis, mas também alivia os problemas de disposição. Os benefícios do uso de resíduos como aditivos cerâmicos incluem a imobilização de metais pesados na matriz queimada, oxidação da matéria orgânica e destruição de qualquer organismo patogênico durante o processo de queima.

Segundo Ampessan (2004) os métodos de solidificação/estabilização dividem-se em sete tipos diferentes:

- Técnicas baseadas em termoplásticos
- Técnicas que utilizam polímeros orgânicos
- Técnicas de auto-solidificação
- Técnicas de vitrificação
- Técnicas de encapsulamento
- Técnicas baseadas em materiais pozolânicos
- Técnicas baseadas em cimento

A solidificação/estabilização com termoplásticos, segundo HEREK (2006), é considerado um processo de microencapsulamento no qual os resíduos não reagem quimicamente com o material encapsulante.

Para Pinto (2004) nas técnicas baseadas em termoplásticos, comumente são empregados o betume, o asfalto e o polietileno para solidificar os resíduos. Estes são polímeros orgânicos que, quando submetidos respectivamente ao aquecimento e resfriamento, amolecem e endurecem com facilidade, estabilizando os resíduos. CETESB (1993) afirma que, normalmente, o resíduo é seco, aquecido e disperso no termoplástico aquecido, sendo a mistura posteriormente resfriada e solidificada.

Nas técnicas à base de polímeros orgânicos, segundo CETESB (1993), utilizam-se polímeros tal como uréia-formaldeído, poliéster e butadieno para a solidificação dos resíduos no processo de polimerização. Esses polímeros orgânicos termofixos são obtidos por meio da adição de um catalisador pré-polímero.

No sistema uréia-formaldeído, a polimerização ocorre em batelada, no qual os resíduos, secos ou úmidos, são misturados com um pré-polímero em um recipiente. Adiciona-se em seguida o catalisador, misturando até que esteja totalmente disperso. A mistura termina antes que o polímero se forme. O material polimerizado não se combina, mas, forma uma massa esponjosa que captura as partículas sólidas. A massa necessita ser seca antes da disposição final.

Segundo Pinto (2004) na solidificação à base de cimento, a maioria dos resíduos na forma de lamas pode ser misturada diretamente com o cimento, e os sólidos suspensos serão incorporados na matriz rígida do concreto endurecido. Este processo é particularmente eficiente para resíduos com elevados teores de metais tóxicos, uma vez que no pH da mistura diversos cátions de múltiplas valências são convertidos em hidróxidos e carbonatos insolúveis.

Um exemplo típico é a utilização de lodos de estações de tratamentos de efluentes industriais, que contêm metais pesados, tais como: galvanoplastia, curtumes, tingimento de fios e tecidos, entre outros. Os blocos de cimento formados, junto com os resíduos, são encaminhados para um aterro de resíduos Classe I – Perigosos ou para um aterro de resíduos Classe II A – Não inertes ou de resíduos Classe II B – Inertes; geralmente este tipo de pré-tratamento transforma o resíduo Perigoso em Não inerte ou Inerte.

Os processos de utilização da cal, silicatos, argilas, transformação em vidro, produção de minerais sintéticos ou cerâmicas para estabilização/solidificação apresentam-se semelhantes aos processos com o cimento.

Nas técnicas de encapsulamento superficial, os resíduos prensados, aglomerados ou postos em tambores são revestidos superficialmente com materiais, tais como: poliuretanos, resinas de fibra de vidro ou mistura destes. Tais materiais atuam como uma forma de proteção, uma barreira física entre o resíduo e o ambiente (CETESB, 1993; FREEMAN, 1998; GRASSO, 1993; LAGREGA et alii, 2001; LIU e LIPATÁK, 1997; LIU e LIPATÁK, 2000; LORA, 2002 apud PINTO, 2004, pág. 87).

Segundo Herek (2006) as técnicas baseadas em argilas organofílicas, denominadas complexo organo-mineral (CAM), possuem como característica principal a afinidade com moléculas orgânicas. O uso de argilas organofílicas para estabilizar resíduos orgânicos, antes da solidificação com cimento, tem recebido cada vez mais atenção em anos recentes. Essa tecnologia parece ser muito promissora em termos de aglomerante para resíduos orgânicos. Entre os mecanismos químicos de interação estão

a complexação, as pontes de hidrogênio, a capacidade de troca iônica e a oxidação, que produzem um radical catiônico livre, no qual os produtos são estabilizados pela argila, agindo como um catalisador para a reação. Sua principal vantagem é a capacidade de reter os compostos orgânicos.

II.5.2. O uso da técnica de solidificação/estabilização para reaproveitamento de resíduos como materiais de construção

Os processos de incorporação de resíduos sólidos em matriz cerâmica vermelha vêm sendo amplamente estudado. Atualmente estes resíduos vêm sendo aproveitados em misturas para fabricação de blocos cerâmicos, que poderão ser utilizados na construção civil. As misturas de resíduos na matriz cerâmica são de diversas proporções e, após vários ensaios consegue-se estabelecer misturas dentro de padrões aceitáveis (COSIN *et al.*, 2002).

A produção de revestimentos cerâmicos vem a cada ano aumentando o seu volume, fato este motivado pelo crescimento de vendas, tanto no mercado interno, como no mercado externo, por consequência também do aumento da produtividade, originada pelas inovações tecnológicas. A produção brasileira de revestimentos cerâmicos em 2007 foi de 637,1 milhões m², as vendas internas de 534,7 milhões m² e as exportações de 102,1 milhões m² (ANFACER, 2008). A Figura II.3 apresenta dados sobre os países produtores de revestimentos cerâmicos.



Figura II.3. Países produtores de revestimentos cerâmicos (ANFACER, 2007.).

Segundo ANFACER (2008) o Brasil é um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos cerâmicos. Possui o segundo maior mercado consumidor (534,7 milhões de m²), é o quarto maior exportador (102 milhões de m²), e ocupa a terceira posição no ranking mundial de produtores. A indústria brasileira possui uma capacidade instalada de 698 milhões de m², devendo atingir, em 2008, 726 milhões de m².

O setor de cerâmica vermelha (estrutural) tem aproximadamente o mesmo perfil em praticamente todos os estados do Brasil. Este perfil mostra um grande potencial, aliado a empresas de pequena capacidade tecnológica e de investimentos e, conseqüentemente, com a fabricação de produtos (blocos) de baixa qualidade. Ao mesmo tempo encontram-se, praticamente em todas as regiões, jazidas de argila em qualidade e quantidade suficientes para justificar investimentos econômicos e científicos na área.

Para o estado do Paraná, não foram encontrados dados exclusivos sobre a produção total de blocos e tijolos. A MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A (2008), uma empresa de economia mista vinculada à Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e do Turismo, publica dados referentes à extração da matéria-prima: em 1999 foram 1.518.793 toneladas de argila. E ainda não foram publicados dados mais recentes.

Segundo os dados disponíveis nos bancos de dados da MINEROPAR (2008), 713 empresas paranaenses registraram a extração de argila para utilização na fabricação de cerâmica vermelha entre 1989 e 1991. Segundo os dados do Sindicato das Indústrias de Cerâmica Vermelha (Sincepar), no Estado do Paraná há cerca de 1.300 estabelecimentos de transformação da argila, sejam eles formais (devidamente registrados) ou informais (clandestinos).

Segundo Giffoni e Lange (2005) a construção civil é um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos. De acordo com John (1999) a construção civil é o setor responsável pelo consumo de maior volume de recursos naturais, em estimativas que variam entre 15 e 50% dos recursos extraídos, além de seus produtos serem grandes consumidores de energia, e por estas razões, é de fundamental importância o desenvolvimento de materiais alternativos que atendam à construção civil.

Contudo, como citado por Giffoni e Lange (2005), a importância de incentivar a reciclagem deste tipo de resíduo, por exemplo, em setores cerâmicos, que englobam em

grande parte a construção civil, pode contribuir para diversificar a oferta de matérias-primas para produção de componentes cerâmicos e reduzir os custos da construção civil, o que é de vital importância, principalmente em um país com elevado déficit habitacional como o Brasil. Dentre os produtos fabricados pela indústria cerâmica vermelha, destacam-se os blocos cerâmicos (tijolos), telhas, lajotas para piso e forro e tubos cerâmicos. Diversos estudos para o reaproveitamento de resíduos industriais na indústria cerâmica, sobretudo para a fabricação de blocos cerâmicos, já foram realizados com sucesso, podendo-se citar a utilização de lamas de Estações de Tratamento de Efluentes, cinzas de usinas hidrelétricas, areias de fundição, refugos de mineração, escórias de fornos, resíduos de serragem de granito, entre outros.

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

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

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

Weng *et al.* (2003) utilizaram lodo de uma planta de tratamento de água residuária industrial para produção de blocos cerâmicos. A pesquisa demonstrou que é possível produzir blocos com qualidade de engenharia.

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

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

Ambrósio *et al.* (2004) obtiveram blocos cerâmicos porosos utilizando argilas caulínicas e agentes formadores de poros, no caso, poliestireno expandido e resíduo de

celulose e serragem. Os materiais produzidos têm aplicação como isolante em termo acústico.

Na área dos materiais de construção foi efetuado o desenvolvimento de produtos cerâmicos (tijolo de construção e agregado leve) com a utilização de resíduos como matérias-primas alternativas. Na produção de blocos cerâmicos foi incorporado 5% de lodo primário e biológico e 95% de argila cerâmica; esse teste foi efetuado com sucesso. O produto obtido apresentou propriedades acústicas e térmicas marginalmente superiores às apresentadas pelo produto tradicional, apesar destas não se traduzirem em mais-valias comerciais (ARROJA *et al.*, 2005).

Em seu trabalho, Lima (2002) pesquisou a incorporação da lama da lavagem de minério de ferro, em material cerâmico, queimado a temperaturas de 800, 1000, 1150 °C. Os resultados mostraram que, dentro das proporções de mistura estudadas, podem ser utilizadas as lamas como adição nas argilas para fabricação de produtos cerâmicos, principalmente na chamada cerâmica vermelha.

Herek (2006) estudou o processo de Estabilização/Solidificação, no tratamento do lodo gerado em estações de tratamento de efluente de lavanderias incorporado em argila. Os testes de resistência à compressão, absorção de água e as análises de lixiviação e solubilização apresentaram valores que atendem aos estabelecidos pelas normas para os blocos confeccionados com 10% de lodo.

Ampessan (2004) estudou a solidificação/estabilização do lodo da indústria de couro em material cerâmico, obtendo resultados satisfatórios, uma vez que a adição de lodo não prejudicou as propriedades inerentes do material de construção, podendo-se utilizar uma massa cerâmica com até 25% de lodo, sem perda considerável de resistência à compressão.

Em estudos realizados na confecção de blocos cerâmicos, foi observado que dois fatores são determinantes na produção dos mesmos, um deles é a temperatura de queima e o outro é a proporção de lodo utilizado. O aumento no conteúdo do lodo resulta em uma diminuição do encolhimento do bloco, absorção de água e na força de compressão. Os resultados indicaram que o peso do bloco cerâmicos é menor e a ignição foi o principal fator atribuído ao conteúdo de matéria orgânica contida no lodo (CHIH-HUANG WENG *et al.*, 2003 apud CAMPREGHER, 2005).

A absorção da água reflete o grau de sinterização alcançado pelo material durante a queima, é também um importante fator que interfere na durabilidade do bloco, pois está relacionada com a resistência aos ataques químicos e físicos do ambiente. Os

ensaios de absorção de água mostram que o aumento da temperatura de queima, não variando a concentração da mistura lodo e argila, provoca sua diminuição e com o aumento da concentração observa-se seu aumento (COSIN *et al.*, 2002).

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

Estes resultados demonstram o grande potencial do processo de solidificação/estabilização, para o tratamento de resíduos sólidos industriais, bem como a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que levem à otimização das condições operacionais do processo.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

III.1. Introdução

No presente trabalho, foi feito o estudo da incorporação de resíduos de indústrias têxteis em matriz cerâmica para utilização na construção civil. O resíduo (lodo) utilizado foi proveniente da mistura e homogeneização de resíduos provenientes de 12 indústrias têxteis da região de Maringá-PR. Estes resíduos são derivados do processo de tratamento do efluente de lavanderias têxteis, apresentando-se como lodo de consistência pastosa, ao ser retirado dos decantadores nos processos físico-químicos, e dos tanques de aeração nos processos de tratamento biológico. Os resíduos (lodos) recolhidos foram depositados em leitos de secagem, previamente construídos em alvenaria ao ar livre, para secagem por evaporação. Dessa forma tinha-se a formação de um material granular rígido com tamanhos variados. Para obtenção de uma amostra representativa, estes resíduos foram coletados em estado semi-seco e, misturados e homogeneizados em quantidades iguais determinadas em porcentagem de massa seca.

Inicialmente, ensaios preliminares foram realizados com o intuito de detectar possíveis falhas nas etapas de produção do bloco cerâmico. Desta forma, utilizou-se dois processos distintos de secagem e queima para a mesma mistura, verificando nos blocos cerâmicos, a resistência mecânica e absorção de água, de acordo com NBR 15270-3/2005. No primeiro processo, os blocos recém produzidos, com 10% de lodo, tiveram secagem rápida em estufa a 105 °C, durante 24 horas e queima em mufla à 850 °C durante 2 horas. No segundo processo, a secagem foi efetuada em local fechado e

arejado, em temperatura ambiente durante 7 dias e queimados em forno de industrial à 850 - 1000 °C, durante 72 horas.

Em seguida, foram confeccionados em extrusora de laboratório, blocos cerâmicos, com 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, em massa, de resíduo têxtil. Para análise comparativa das características químicas e físicas, foram produzidos blocos somente com argila.

A metodologia adotada no presente trabalho está apresentada na Figura III.1.

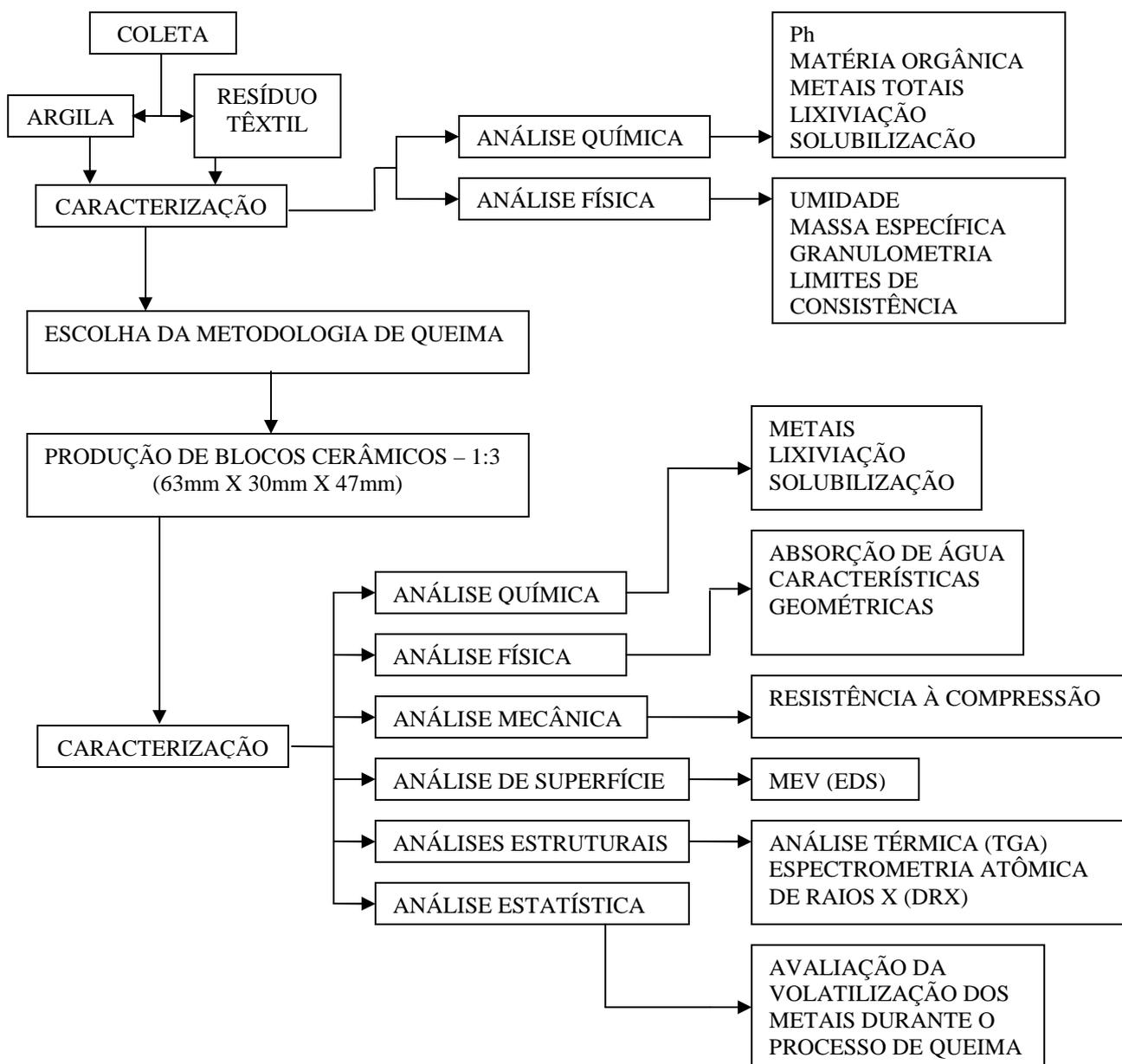


Figura III.1. Fluxograma da metodologia do tratamento e aproveitamento de resíduo sólido da indústria têxtil.

O trabalho experimental, desta forma, foi subdividido nas seguintes etapas:

- 1º ETAPA: Coleta e beneficiamento das matérias-primas;
- 2º ETAPA: Caracterização das matérias-primas;
- 3º ETAPA: Escolha da metodologia de queima;
- 4º ETAPA: Produção dos blocos cerâmicos em escala reduzida;
- 5º ETAPA: Caracterização dos blocos cerâmicos;
- 6º ETAPA: Definição da proporção ideal de incorporação de resíduo têxtil na massa cerâmica;
- 7º ETAPA: Avaliação da ocorrência da volatilização dos metais pesados, presentes no resíduo têxtil, durante o processo de queima dos blocos cerâmicos.

III.2. Coleta e beneficiamento das matérias-primas

Os resíduos (lodos) utilizados foram, inicialmente, moídos utilizando-se moinho de barras cilíndrico, com capacidade para 30 kg, adaptado com motor elétrico de 2 Hp e redutor para 30 rpm.

Os materiais moídos, posteriormente, foram passados pela peneira com malha de 2mm para evitar eventuais obstruções na boquilha (peça para moldagem do bloco cerâmico) da extrusora durante a produção dos blocos. O mesmo moinho, sem as barras de trituração, foi utilizado para a mistura desses 14 resíduos (referente aos resíduos das 12 indústrias têxteis, sendo que duas delas possuíam os dois processos de tratamento de efluente – biológico e físico-químico) das diferentes indústrias, de forma a se obter uma mistura completamente homogeneizada.

Nesse processo de mistura, levou-se em consideração, a massa equivalente em peso seco de cada resíduo, para obtenção de uma amostra representativa.

A argila utilizada foi proveniente de uma olaria situada na cidade de Japurá/PR, localizada a 50 Km de Maringá, às margens do rio Ivaí. Esta argila é formada por sedimentação aluvial.

As características da argila variam de acordo com a profundidade na qual se encontra. No entanto, para que esse fato não interfira na qualidade do produto cerâmico, tem-se adotado a mistura da mesma durante seu processo de extração, de forma que, a escavação seja realizada abrangendo todas as camadas heterogêneas constituintes da jazida. Esse processo de mistura também é realizado durante o transporte da argila para o depósito à céu aberto, o qual se encontra próximo ao local de utilização, em que a

escavadeira mecânica faz o trabalho de homogeneização, revolvendo o material para que fique menos adensado, portanto mantendo alto índice de porosidade.

A disposição natural da argila na jazida, encontra-se em camadas com profundidade variando entre 0,50 e 4,00 metros, sendo a camada superior constituída de solo arenoso pouco argiloso, mais conhecido como saibro. As camadas argilosas apresentam variações de tonalidade, notando-se nitidamente a presença de matéria orgânica na parte superior, formada pelo processo de percolação hídrica associado ao material biológico.

A matéria orgânica é um componente indesejado na argila para utilização em cerâmica. Dessa forma, é feita a mistura durante a extração na jazida, efetuando o transporte desse material misto para o pátio da indústria e então, armazenado durante 8 anos. Este período é necessário para que a matéria-prima se torne mais coesa, pela degradação do material orgânico, não prejudicando a qualidade dos produtos cerâmicos, segundo o proprietário.

A argila coletada foi secada em temperatura ambiente, moída e peneirada, semelhantemente ao processo realizado com os resíduos têxteis.

Após a etapa de moagem e peneiramento, a argila e o resíduo têxtil foram armazenados em sacos plásticos fechados, de tal forma que a umidade não variasse.

III.3. Caracterização das matérias-primas

III.3.1. Caracterização do resíduo (lodo) têxtil

O lodo foi caracterizado quanto ao teor de umidade e matéria orgânica total, massa específica, pH, concentração de metais e quanto suas características tóxicas relacionadas aos procedimentos de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004).

III.3.1.1. Determinação de umidade e matéria orgânica total

A determinação de umidade e matéria orgânica total foi realizada seguindo o procedimento recomendado por KIEHL (1985).

Inicialmente, lavou-se uma cápsula de porcelana com água destilada e levou-se à mufla a 550°C por 30 minutos, em seguida colocou-se no dessecador até resfriamento total. Determinou-se sua massa, obtendo-se P_1 .

Análise do conteúdo de umidade:

Pesou-se a amostra, obtendo-se P_2 . Em seguida, levou-se a cápsula contendo a amostra à estufa (100-110°C), durante um período mínimo de 16 horas. Deixou-se esfriar no dessecador por 30 minutos e pesou-se, obtendo-se P_3 .

O conteúdo de umidade (porcentagem) é calculado por meio da Equação III.1.

$$Umidade(\%) = \frac{(P_2 - P_3) \times 100}{(P_2 - P_1)} \quad (III.1)$$

Análise de matéria orgânica total:

Levou-se a cápsula com o material de análise de umidade à mufla mantendo-se a porta entreaberta, proporcionando aeração. A amostra deve ser aquecida lentamente para ser queimada sem inflamar, evitando a perda do material com a formação de labaredas. Fechada a porta e alcançada a temperatura de 550°C, manteve-se nessa temperatura por 1 hora. Retirou-se a cápsula e resfriou-a em dessecador. Pesou-se, obtendo-se P_4 .

O conteúdo de matéria orgânica total é calculado por meio da Equação III.2.

$$M.O._{TOTAL}(\%) = \frac{(P_3 - P_4) \times 100}{(P_3 - P_1)} \quad (III.2)$$

III.3.1.2. Determinação da massa específica

A massa específica foi determinada por meio do método do picnômetro, recomendado por KIEHL (1985).

Inicialmente pesou-se o picnômetro vazio (P). Pesou-se cerca de 1 a 2 gramas de amostra de matéria seca (P_e) em vidro de relógio de tara conhecida. Após, encheu-se o

picnômetro com água, colocando-se a tampa e enxugando-se com papel de filtro a água que transbordou do aparelho e pesou-se, obtendo-se Pa. Em seguida, retirou-se cerca da metade da água do picnômetro e passou-se cuidadosamente a amostra de matéria seca para o seu interior, completando-se o volume do picnômetro com água destilada. Colocou-se a tampa e pesou-se, obtendo-se Psa. A massa específica é calculada por meio da Equação III.3.

$$\rho = \frac{\rho_{H_2O} \cdot (Pe - P)}{(Pe - P) - (Psa - Pa)} \quad (\text{III.3})$$

Em que,

ρ = massa específica da amostra;

ρ_{H_2O} = massa específica da água na temperatura da determinação;

Pe = peso da amostra seca;

P = peso do picnômetro;

Pa = peso do picnômetro com água;

Psa = peso do picnômetro com água e amostra.

O método do picnômetro fundamenta-se no fato de que a matéria seca adicionada ao aparelho irá ocupar um volume, que será conhecido pela massa de água deslocada. Conhecendo-se a massa de água que corresponde ao volume de amostra e sabendo-se sua massa específica, tem-se o volume da amostra.

III.3.1.3. Determinação do pH

É usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade da amostra. A determinação do pH (potencial hidrogeniônico) da amostra se faz, preferivelmente, a partir de material recentemente colhido e com sua umidade natural. Para determinação deste parâmetro, utilizou-se o método eletrométrico.

Procedimentos Analíticos

- 1- Ferver 150 ml de água destilada e deixar esfriar (isenta de CO₂);
- 2- Pesar 10 g da amostra in natura em becker de 100 ml;
- 3- Colocar 50 ml de água fervida;
- 4- Aguardar entre 3 e 12 horas (até temperatura ambiente);
- 5- Calibrar o pHmetro com as soluções tampões 7,0 e 4,86;
- 6- Fazer a leitura do pH.

III.3.1.4. Determinação de metais totais

O procedimento utilizado para determinação de metais foi extração ácida a quente com ácido fluorídrico e água régia.

Para determinação dos elementos químicos do extrato da digestão ácida foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

Preparo da mistura para extração:

Preparou-se uma solução de água régia na proporção 1:3 (v/v) de HNO₃ e HCl. Pesou-se cerca de 0,200g de resíduo e coloca-se em frasco de Teflon. Em seguida, adicionou-se 0,5 mL de água régia e 3 mL de ácido fluorídrico. Colocou-se o sistema em uma chapa de aquecimento.

O volume deverá ser reduzido até significativamente, ou seja, até que a amostra esteja solubilizada. Retirou-se o sistema da chapa e esperou-se esfriar (em banho maria). Após, adicionou-se 10 mL de água, 5 mL de H₃BO₃ 4% e 1 mL de HCl concentrado (fumegante) e levou-se o sistema novamente ao aquecimento até a solução adquirir um aspecto límpido. Ao final, resfriou-se o sistema e transferiu-se para um balão volumétrico de 100 mL completando o volume.

Deve-se utilizar os balões de volumétricos o mais breve possível para evitar a solubilização do silício, proveniente do vidro, devido a utilização do ácido fluorídrico e, utilizar recipiente de plástico p/ armazenar o extrato.

III.3.1.5. Determinação das características tóxicas

Estes ensaios foram conduzidos seguindo o protocolo recomendado pela norma NBR 10004/2004 por meio dos ensaios de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004) permitindo classificar o resíduo têxtil em função de suas periculosidades.

Para determinação dos elementos químicos dos extratos lixiviados e solubilizados foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

Procedimento de lixiviação:

Inicialmente a amostra foi moída, até que passasse pela peneira de 9,5 mm, como proposto pela NBR 10005/2004.

Em seguida, foi realizado o procedimento para determinação da solução extratora, a qual consiste em:

- a) pesar uma pequena quantidade do resíduo e reduzir o tamanho das partículas ≤ 9 mm de diâmetro e transferir 5,0 g para um béquer;
- b) adicionar 96,5 mL de água desionizada, cobrir com vidro de relógio e agitar vigorosamente por 5 min com agitador magnético;
- c) medir o pH. Se o pH for $\leq 5,0$, utilizar a solução de extração nº 1;
- d) se o pH for $> 5,0$, adicionar 3,5 mL de HCl 1 N, homogeneizar a solução, cobrir com vidro de relógio, aquecer a 50°C durante 10 min;
- e) esfriar a solução e medir o pH. Se o pH for $\leq 5,0$, utilizar a solução de extração nº 1 e se for $> 5,0$ a solução de extração nº 2.

Desta forma, o procedimento de lixiviação foi realizado da seguinte maneira:

1. Pesar ($100 \pm 0,1$) g de amostra preparada.
2. Transferir a amostra para o frasco de lixiviação.
3. Utilizar uma quantidade de solução de extração, nº 1 ou nº 2, estabelecida conforme o procedimento para sua determinação, igual a 20 vezes a massa pesada.
4. Fechar o frasco e mantê-lo sob agitação durante (18 ± 2) h à temperatura de até 25°C com uma rotação de (30 ± 2) rpm no agitador rotatório. Dependendo da amostra, pode ocorrer aumento de pressão interna. Abrir o frasco após períodos de 15 min, 30 min e 1 h de agitação.
5. Após este período, filtrar a amostra utilizando-se aparelho de filtração pressurizado ou a vácuo, com filtro de fibra de vidro isento de resinas e com porosidade de 0,6 μm a 0,8 μm . Caso seja necessário, pode-se trocar o filtro, para facilitar a filtração. Para análise de metais, os filtros devem ser lavados com solução de HNO₃ 1,0N.
6. O filtrado obtido é denominado extrato lixiviado.
7. Após obtenção do extrato lixiviado, deve ser determinado o pH.
8. Retirar alíquotas e preservá-las de acordo com os parâmetros a analisar, conforme estabelecido no AWWA - APHA – WPCI - Standard methods for

the examination of water and wastewater ou USEPA - SW 846 - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods.

9. No caso de análise de metais, deve ser feita a acidificação numa pequena alíquota. Caso ocorra a precipitação, não proceder à acidificação no restante da amostra. Utilizar parte do extrato não acidificado e analisar imediatamente.

Procedimento de solubilização:

Inicialmente, secar a amostra a temperatura de até 42°C, utilizando uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão ou estufa a vácuo, e determinar a percentagem de umidade. Se a amostra passar em peneira de malha 9,5 mm, ela estará pronta para a etapa de extração; caso contrário, ela deve ser triturada.

Dessa forma, o procedimento de solubilização foi realizado da seguinte maneira:

1. Colocar uma amostra representativa de 250 g (base seca) do resíduo em frasco de 1500 mL. Pode-se utilizar o resíduo não seco, desde que ele represente 250 g de material seco; para isto, fazer a compensação de massa e volume.
2. Adicionar 1000 mL de água destilada, desionizada e isenta de compostos orgânicos e agitar a amostra em baixa velocidade, por 5 min.
3. Tampar o frasco e deixar em repouso por 7 dias, em temperatura de até 25°C.
4. Filtrar a solução com aparelho de filtração guarnecido com membrana filtrante com 0,45 µm de porosidade.
5. Definir o filtrado obtido como sendo o extrato solubilizado.
6. Determinar o pH após a obtenção do extrato solubilizado.
7. Retirar alíquotas e preservá-las de acordo com os parâmetros a analisar, conforme estabelecido no Standard methods for the examination of water and wastewater ou USEPA - SW 846 - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods.
8. No caso de análise de metais, deve ser feita a acidificação numa pequena alíquota. Caso ocorra a precipitação, não proceder à acidificação no restante da amostra. Utilizar parte do extrato não acidificado e analisar imediatamente.

III.3.2. Caracterização da argila

A argila utilizada no presente trabalho foi analisada quanto aos seguintes parâmetros: teor de umidade e matéria orgânica total, pH, análise granulométrica, limite de plasticidade, limite de liquidez, índice de plasticidade, índice de contração, massa específica e concentração de metais.

III.3.2.1. Determinação de umidade e matéria orgânica total

A determinação de umidade e matéria orgânica total foi realizada seguindo o procedimento adotado para a caracterização do resíduo (lodo) têxtil, recomendado por KIEHL (1985).

III.3.2.2. Determinação do pH

O pH foi determinado segundo o mesmo procedimento adotado para a caracterização do resíduo (lodo) têxtil, recomendado por APHA (2005).

III.3.2.3. Determinação da granulometria da argila

A granulometria da argila foi determinada seguindo procedimento recomendado pela NBR 7181/84 - *Solo – Análise Granulométrica*.

Para o ensaio de determinação granulométrica da argila, bem como para os ensaios de limite de plasticidade e liquidez, é necessário realizar a preparação da amostra.

A norma utilizada para a preparação das amostras de solo foi a NBR 6457/86 - *Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização*. Conforme prescreve a norma, a preparação foi feita com secagem prévia ao ar. Espalhou-se a amostra sobre uma superfície, para retirar o excesso de umidade. Após isso cerca de 1 a 1,5 kg de amostra foi destorroada, a fim de obter-se uma quantidade mínima de amostra com partículas menores que 5 mm para determinação do ensaio de granulometria. Após fez-se a amostra passar pela peneira de 0,42 mm, obtendo-se cerca de 200 gramas de argila para os ensaios de Limite de Liquidez (LL) e de Limite de Plasticidade (LP).

Desta forma, uma parcela de aproximadamente 250 g de amostra foi obtida passando-se a argila pela peneira 2,00 mm. Da parcela passante, foi realizada uma duplicata para a determinação da umidade pelo método da estufa. Esse valor foi usado para ajustar a massa da amostra total utilizada, pois todo o procedimento foi feito considerando a amostra sem umidade.

A massa total da amostra seca foi calculada pela Equação III.4:

$$M_s = \left[\frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \right] \times 100 + M_g \quad (\text{III.4})$$

Em que:

M_s = massa total da amostra seca (sem umidade)

M_t = massa total da amostra seca ao ar

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm

h = umidade higroscópica do material passante na peneira de 2,0 mm

Com a parcela retida na peneira 2,00 mm foi realizado o ensaio de granulometria pelo peneiramento grosso. Antes de qualquer procedimento a amostra foi lavada para a retirada de materiais aderentes, sendo em seguida seca em estufa, antes da passagem da amostra pelo jogo de peneiras prescritos na norma. Antes desse último procedimento cada amostra, obtida em cada peneira, foi pesada, a fim de obter-se o peso real da fração de solo retida em cada uma das peneiras.

As massas retidas foram somadas com as massas obtidas na sedimentação e peneiramento fino, e foi obtida a relação de cada uma, considerando a massa total de solo seco utilizado. Os resultados foram expressos em percentagem passante, que representa a massa passante em relação à massa total, cujos diâmetros são menores que o calculado.

As porcentagens de materiais passantes no conjunto de peneira com abertura acima de 2,0 mm são calculadas por meio da Equação III.5:

$$Q_g = \left[\frac{(M_s - M_i)}{M_s} \right] \times 100 \quad (\text{III.5})$$

Em que:

Q_g = porcentagem do material passante em cada peneira

M_s = massa total da amostra seca

M_i = massa do material acumulado em cada peneira

Para a parcela passante, isto é para os grãos finos, utilizou-se o método de sedimentação para determinação da granulometria fina da argila. O método de sedimentação consiste em misturar cerca de 70 g de argila com 125 ml de defloculante (hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g do sal por 1.000 ml de solução) agitando até que todo o material fique imerso e deixar em repouso, no mínimo 12 horas. Posteriormente a amostra foi vertida num corpo de dispersão e submetido a ação do aparelho dispersor durante 15 minutos. Em seguida a amostra foi transferida para uma proveta de 1000 ml e acrescentado água destilada até o traço correspondente a 1000 ml. Após a amostra foi submetida a uma agitação com o auxílio de um bastão. O densímetro foi mergulhado na solução, iniciando-se assim as leituras no densímetro observando rigorosamente os intervalos de tempo determinados pela norma.

As porcentagens do material em suspensão foram calculadas por meio da Equação III.6:

$$Q_s = N \times \left[\frac{\delta}{\delta - \delta d} \right] \times \frac{[(V \times \delta c \times (l - Ld))]}{\left[\frac{Mh}{(100 + h)} \right]} \times 100 \quad (\text{III.6})$$

Em que:

Q_s = porcentagem em suspensão no instante de leitura do densímetro

N = porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm^3

δd = massa específica do meio dispersor, à temperatura do ensaio, em g/cm^3

V = volume da dispersão, em cm^3

δc = massa específica da água, em g/cm^3

l = leitura do densímetro na suspensão

Ld = leitura do densímetro no meio dispersor

Mh = massa do material úmido submetido à sedimentação

h = umidade higroscópica do material passante na peneira de 2,0 mm

Os diâmetros das partículas do solo em suspensão foram calculados por meio da Equação III.7:

$$d = \sqrt{\frac{1800}{\delta - \delta d} \times \frac{a}{t}} \quad (\text{III.7})$$

Em que:

d = diâmetro máximo das partículas, em mm

n = coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura do ensaio.

a = altura de queda das partículas, correspondente à leitura do densímetro, em cm.

t = tempo de sedimentação, em segundos.

δ = massa específica dos grãos do solo, em g/cm^3

δ_d = massa específica do meio dispersor, à temperatura do ensaio, em g/cm^3

A parcela usada no peneiramento fino foi obtida por meio do despejo da suspensão sobre a peneira de 0,074 mm, sendo que essa massa foi lavada e levada para estufa.

Após a secagem em estufa a amostra foi colocada em um jogo de peneiras padronizadas pela norma, e a massa de argila retida em cada uma das peneira foi calculada. As porcentagens dos materiais retidos nas peneiras entre 0,075 e 2,0 mm foram calculados por meio da Equação III.8:

$$Q_f = \frac{[Mh \times 100 - M_i \times (100 + h)]}{Mh \times 100} \times N \quad (\text{III.8})$$

Em que:

Q_f = porcentagem do material passante em cada peneira

Mh = massa do material úmido submetido ao peneiramento fino

h = umidade higroscópica do material passante na peneira de 2,0 mm

M_i = massa do material retido acumulado em cada peneira

N = porcentagem do material que passa na peneira de 2,0 mm

Com os dados obtidos elaborou-se um gráfico relacionando os diâmetros das partículas com as porcentagens passantes em um conjunto de peneiras. Adjunto ao gráfico da distribuição foi relacionado uma escala que separa os tipos de solo citados anteriormente, com as suas respectivas porcentagens. Por meio desse gráfico foi possível analisar a forma de granulometria e a faixa granulométrica predominante.

III.3.2.4. Determinação do limite de plasticidade da argila

O limite de plasticidade (LP) da argila foi determinado seguindo procedimento recomendado pela NBR 7180/1984 *Solo – Determinação do Limite de Plasticidade*.

O ensaio consiste em umedecer uma amostra de argila, previamente preparada conforme descrito no item 3.3.2.3, com água destilada até se obter uma pasta homogênea de consistência plástica. Com aproximadamente 10 gramas desta amostra e formar cilindros rolando o material sobre uma placa de vidro com o uso das mãos, de forma a obter um cilindro com 3mm de diâmetro e 100 mm de comprimento (o que se verifica como gabarito de comparação), sem fragmentação. De cada rolo foram determinadas a umidade em estufa, resultando num total de quatro valores que foram utilizados para a determinação da média, que expressa o LP.

A Equação III.9 apresenta a fórmula da umidade usada para a determinação do Limite de Plasticidade:

$$h(\%) = \frac{(Ph - Ps)}{(Ps - Pr)} \quad \text{(III.9)}$$

Em que:

h = umidade expressa em porcentagem;

Ph = peso da amostra úmida + recipiente (gramas);

Ps = peso da amostra seca + recipiente (gramas);

Pr = peso do recipiente (gramas).

III.3.2.5. Limite de liquidez da argila

O limite de liquidez (LL) da argila foi determinado seguindo procedimento recomendado pela NBR 6459/1984 *Solo – Determinação do Limite de Liquidez, foi adotada para a determinação do Limite de Liquidez.*

Após a preparação descrita no item anterior (*NBR 6457/86 - Preparação do Solo*), a amostra foi levemente umedecida com água destilada em uma cápsula de porcelana e continuamente revolvida com o auxílio de uma espátula, durante pelo menos 30 minutos. Após, a amostra foi transferida para a concha do aparelho Casagrande, moldando-a de forma que na parte central a espessura atingisse no máximo 10 mm. Uma ranhura foi aberta na parte central da amostra com o auxílio de um cinzel, dividindo a massa de solo em duas partes.

Em seguida, seguiu-se a determinação no aparelho Casagrande, cujo ensaio consiste em submeter à concha a um determinado número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento aproximadamente.

Esse limite foi determinado, então, por meio de um gráfico que relaciona o número de golpes com a umidade de cada amostra, determinando depois um valor de umidade equivalente a 25 golpes, correspondente ao valor de LL. No total foram efetuadas cinco medidas, resultando em cinco pontos, que foram usados para plotar a Figura III.2.

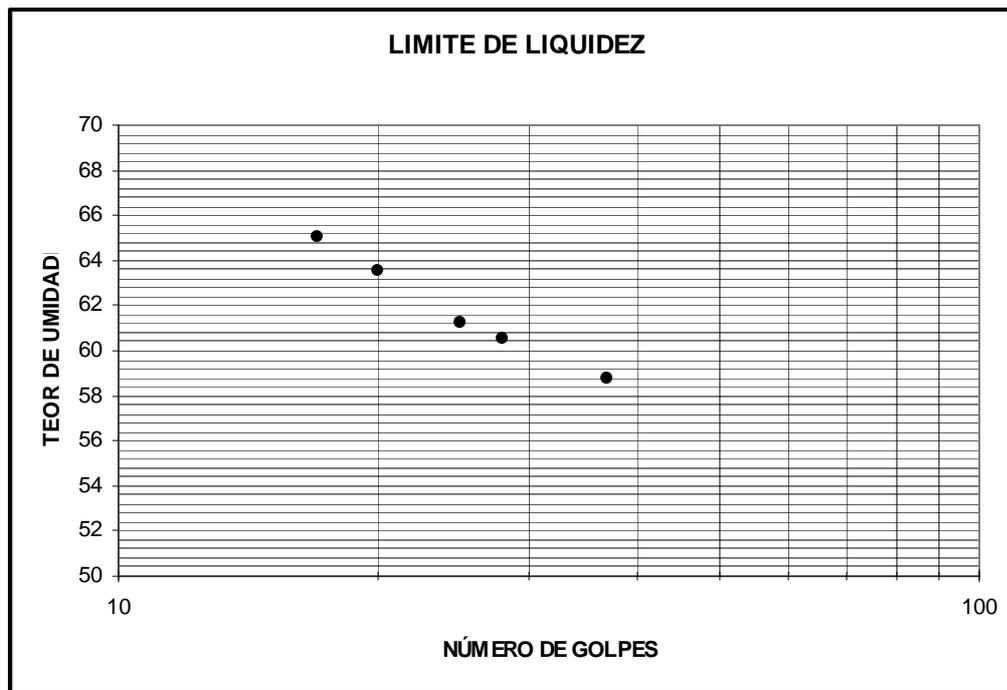


Figura III.2. Limite de liquidez da argila.

III.3.2.6. Índice de plasticidade

Com os valores dos limites de liquidez e plasticidade (LL e LP), que representam teores de umidade, foi determinado o índice de plasticidade (IP), simplesmente pela diferença aritmética entre o LL e o LP, lembrando que o LL representa o teor limite de umidade de passagem do estado plástico, em que a argila se apresenta trabalhável, para o estado líquido, em que não há mais resistência e trabalhabilidade alguma, e o LP o teor limite de umidade da passagem do estado semi-sólido, em que a argila sofre variação de volume com mudança da umidade, apresentando difícil trabalhabilidade, para o estado plástico. Com esses dados avaliou-se a faixa de trabalhabilidade da argila.

A Equação III.10 é usada para determinação do índice de plasticidade:

$$IP(\%) = LL - LP \quad (\text{III.10})$$

III.3.2.7. Determinação da massa específica

A massa específica foi determinada por meio do método do picnômetro, recomendado por KIEHL (1985), semelhante ao método utilizado para determinação da mesma no resíduo (lodo) têxtil.

III.3.2.8. Determinação de metais totais

O procedimento utilizado para determinação de metais na argila foi extração ácida a quente com ácido fluorídrico e água régia, semelhante ao procedimento utilizado para determinação dos mesmos no resíduo (lodo) têxtil.

III.4. Definição da metodologia de queima dos blocos cerâmicos

Esta etapa teve o objetivo de avaliar a possibilidade da incorporação de resíduo sólido proveniente do setor têxtil, em massas argilosas para a produção de blocos de vedação com seis furos na posição horizontal. Inicialmente, foi avaliada a qualidade dos blocos cerâmicos de vedação, em escala reduzida (1:3), com incorporação, em massa, de 10 % de lodo têxtil em 90 % de argila, quanto às suas características de resistência mecânica e absorção de água. Além disso, com o objetivo de se estudar o efeito da secagem e queima dos blocos em suas características mecânicas, foram avaliados dois processos de secagem (em estufa e à temperatura ambiente) e queima (em mufla e em forno industrial).

III.4.1. Mistura e produção dos blocos cerâmicos – Ensaio preliminar

A argila e o resíduo foram triturados em moinho de barras cilíndrico com capacidade para 100 litros, com movimento de 30 rotações por minuto, passando em seguida pela peneira nº 10 com malha de 2,5 mm para posterior homogeneização. A homogeneização do resíduo e argila foi realizada com auxílio do misturador cilíndrico,

equipado com motor de 2 Hp e redutor com 30 rotações por minuto. Após a homogeneização, a mistura resíduo/argila foi transferida para recipiente de amassamento, adicionando água de forma gradativa, até formar uma massa consistente com plasticidade, a ponto de abastecer a extrusora de marca Gerenski modelo MVIG-05. Dessa forma, foram produzidos blocos cerâmicos com incorporação de 10 % de lodo têxtil em 90 % de argila em escala reduzida (1:3), ou seja, paredes e septos de 2,5 mm, largura de 33 mm, altura de 50 mm e comprimento de 67 mm. Para o controle da análise dos blocos, foram produzidos também blocos utilizando apenas argila.

III.4.2. Secagem e queima dos blocos cerâmicos – Ensaio preliminar

Neste ensaio preliminar foram estudados dois processos de secagem e queima dos blocos cerâmicos incorporados com 10% de resíduo têxtil.

Parte dos blocos produzidos foi secada em estufa à 105°C durante 24 horas, em seguida queimada em mufla marca Quimis, à temperatura de 850°C durante 2 horas. Outra parte foi secada em temperatura ambiente em local fechado e ventilado, durante 7 dias, em seguida, queimada em forno industrial à 850°C durante 72 horas.

No processo de queima dos blocos em forno industrial, observou-se cuidados com a manutenção da temperatura do forno. A temperatura manteve-se constante durante 48 horas, com aquecimento gradativo nas primeiras 12 horas, e desaquecimento gradativo durante as últimas 12 horas.

III.4.3. Caracterização das propriedades dos blocos cerâmicos – Ensaio preliminar

As propriedades investigadas neste estudo foram avaliadas por experimentos de laboratório, realizadas departamento de engenharia civil da Universidade Estadual de Maringá. As caracterizações realizadas nos blocos cerâmicos, quanto à Absorção de Água NBR 15270-3/2005 e Resistência Mecânica NBR 15270-3/2005 foram normalizadas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Para o ensaio de resistência mecânica, foi utilizada a prensa modelo CBR 109 com capacidade para 4000 Kg. Para os ensaios de absorção de água foram utilizados estufa Quimis para 105°C e balança Gerraka modelo 2000.

No ensaio de resistência à compressão e absorção de água, foram utilizadas 20 amostras de blocos cerâmicos de controle produzidos apenas com argila e 20 blocos cerâmicos com 10 % de lodo têxtil e 90 % de argila, observando recomendações da norma.

III.4.3.1. Ensaio de Absorção de Água (NBR 15270-3/2005 Anexo B)

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

Dessa forma, o ensaio de absorção de água foi realizado seguindo procedimento recomendado pela NBR 15270-3/2005 *Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio ANEXO B*.

Inicialmente os blocos cerâmicos foram identificados e limpos. Em seguida, os mesmos foram submetidos à secagem em estufa (105 ± 5)°C e determinou-se a massa individual, em intervalos de 1h, até que duas pesagens consecutivas de cada um deles diferissem em no máximo 0,25%, pesando-os imediatamente após a remoção da estufa.

A massa seca (m_s) dos blocos foi determinada após a estabilização das pesagens, expressando-a em gramas.

Após a determinação da massa seca (m_s), os blocos foram resfriados no desssecador e, então colocados em um recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos, durante 24h.

Dessa maneira, os blocos cerâmicos saturados foram removidos e colocados em bancada para permitir o escoamento do excesso de água. A água remanescente foi removida com auxílio de um pano limpo e úmido, observando-se que o tempo decorrido entre a remoção do excesso de água na superfície e o término das pesagens não deveriam ser superior a 15 minutos. Assim, a massa úmida (m_u), expressa em gramas, foi determinada pela pesagem de cada bloco cerâmico saturado.

O índice de absorção de água (AA) de cada bloco cerâmico foi determinado pela Equação III.11:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (\text{III.11})$$

Em que,

m_u = massa úmida de cada bloco cerâmico, expressa em gramas.

m_s = massa seca de cada bloco cerâmico, expressa em gramas.

III.4.3.2. Ensaio de Resistência Mecânica (NBR 15270-3/2005 Anexo C)

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

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

Dessa forma, o ensaio de resistência à compressão foi realizado seguindo procedimento recomendado pela NBR 15270-3/2005 *Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio* ANEXO C.

Inicialmente os corpos-de-prova foram identificados e limpos. Em seguida foi aferida a largura (L), altura (H) e o comprimento (C) dos blocos. É necessário regularizar as faces de trabalho dos blocos cerâmicos, para isso deve-se utilizar pastas de cimento ou argamassas com resistências superiores às resistências dos blocos na área bruta. Essa regularização, chamada capeamento, deve apresentar-se plana e uniforme no momento do ensaio, não sendo permitidos remendos e não devendo exceder 3 mm de espessura. Feito a regularização com a pasta (ou argamassa) e após endurecimento, retirou-se com espátulas o excesso de pasta existente, obteve-se, assim, um bloco cerâmico com duas faces de trabalho devidamente regularizadas e paralelas. Após o

endurecimento das camadas do capeamento, imergiu-se os blocos cerâmicos em água no mínimo durante 6 horas.

Os blocos cerâmicos foram ensaiados na condição saturada, de modo que a carga fosse aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante seu emprego, sempre perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento. O mesmo deve ser colocado na prensa de modo que o seu centro de gravidade esteja no eixo de carga dos pratos da prensa, devendo regular os comandos da prensa, de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área bruta se eleve progressivamente à razão de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s.

III.5. Produção dos blocos cerâmicos

A partir da definição da metodologia de queima, processo de secagem e queima lenta em forno industrial, foram confeccionados em extrusora de laboratório do departamento de engenharia civil da Universidade Estadual de Maringá, blocos cerâmicos nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, em massa, de resíduo têxtil, além de blocos de referência, fabricados somente com argila.

III.5.1. Mistura e produção dos blocos cerâmicos

A argila e o resíduo foram triturados em moinho de barras cilíndrico, com capacidade para $0,1 \text{ m}^3$, com movimento de 30 rotações por minuto, passando em seguida pela peneira nº 10 com malha de 2,5 mm, para posterior mistura, em porcentagem de massa seca, e homogeneização.

O peneiramento foi necessário para que as partículas sólidas não obstruíssem a boquilha da extrusora, comprometendo a qualidade dos blocos.

Foram confeccionados em extrusora de laboratório, blocos cerâmicos nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, em massa, de resíduo têxtil, como mencionado anteriormente.

Para análise comparativa das características químicas desses blocos cerâmicos, foram produzidos blocos somente com argila (blocos de referência).

Após a mistura e homogeneização, a massa foi transferida para recipiente de amassamento, adicionando-se água de forma gradativa, até formar uma massa

consistente com plasticidade a ponto de abastecer a extrusora de marca Gerenski modelo MVIG-05.

Dessa forma, foram produzidos blocos de vedação em escala reduzida de 1:3, ou seja, paredes e septos de 2,5 mm, largura de 33 mm, altura de 50 mm e comprimento de 67 mm.

III.5.2. Secagem e queima dos blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos foram secos em temperatura ambiente em local fechado e ventilado, durante 7 dias, para evaporação da água absorvida. Em seguida, queimados em forno industrial à 850°C durante 72 horas.

Nesse processo, observou-se cuidados com a manutenção da temperatura do forno, mantendo-se constante durante 48 horas, sendo gradativo o aquecimento inicial nas primeiras 12 horas, e gradativo também o desaquecimento durante as últimas 12 horas.

Posteriormente, os blocos foram resfriados com ventilação forçada (durante 12 horas), até alcançar a temperatura ambiente para o recolhimento do material pronto para análise.

III.6. Caracterização das propriedades dos blocos cerâmicos

III.6.1. Análises químicas

A caracterização dos blocos cerâmicos foi feita por meio da determinação de metais totais e quanto às suas características tóxicas, relacionadas aos procedimentos de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004).

III.6.1.1. Determinação de metais totais

O procedimento utilizado para determinação de metais nos blocos cerâmicos foi extração ácida a quente com ácido fluorídrico e água régia, semelhante ao procedimento utilizado para determinação dos mesmos no resíduo (lodo) têxtil e na argila.

III.6.1.2. Determinação das características tóxicas

Estes ensaios foram conduzidos seguindo o protocolo recomendado pela norma NBR 10004/2004, por meio dos ensaios de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004), permitindo classificar os blocos cerâmicos em função de suas periculosidades, semelhante ao procedimento utilizado para determinação dos mesmos no resíduo (lodo) têxtil.

III.6.2. Análises físicas

A caracterização dos blocos cerâmicos referentes às análises físicas foi feita por meio dos ensaios de Absorção de água, semelhante ao método utilizado para determinação da mesma na caracterização dos blocos cerâmicos na definição da metodologia de secagem e queima, e por meio dos ensaios de determinação das características geométricas, determinação do desvio em relação ao esquadro e planeza das faces, de acordo com procedimento descrito pela NBR 15270-3/2005 *Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio* ANEXO A.

Assim, para determinação das características geométricas, os blocos cerâmicos foram identificados e limpos. Em seguida, os mesmos foram colocados sobre uma superfície plana e indeformável e foram aferidos os valores da largura (L), altura (H) e comprimento (C).

Para a determinação do desvio em relação ao esquadro (D) foi medido o desvio entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco, conforme Figura III.3, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica.

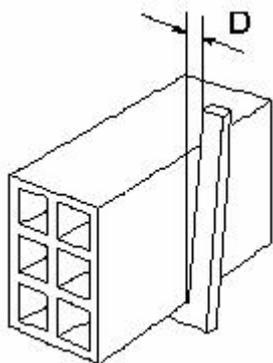


Figura III.3. Desvio em relação ao esquadro – representação esquemática.

Para determinação da planeza das faces (F) foi determinado a planeza de uma das faces destinadas ao revestimento por meio da flecha formada na diagonal, conforme Figura III.4, empregando-se o esquadro metálico e a régua metálica.

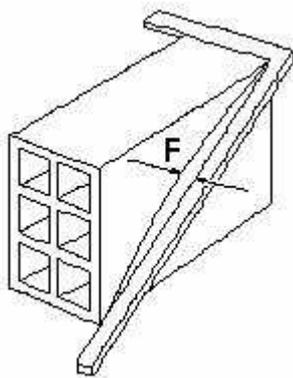


Figura III.4. Planeza das faces – representação esquemática.

III.6.3. Análise mecânica

A caracterização dos blocos cerâmicos referentes à análise mecânica foi feita por meio do ensaio de Resistência a compressão, semelhante ao método utilizado para determinação da mesma na caracterização dos blocos cerâmicos na definição da metodologia de secagem e queima.

III.6.4. Análise de superfície

A caracterização dos blocos cerâmicos referente à análise de superfície foi feita por meio do ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

O Microscópio Eletrônico de Varredura permite a observação e análise microestrutural de objetos sólidos. Portanto, por meio deste ensaio é possível obter as seguintes informações:

- Morfologia ou estado cristalino das partículas;
- Detecção de pequenos teores de elementos e compostos não detectáveis pela difração de raios-X;
- Presença de materiais e minerais amorfos;

O aparelho só detecta compostos com número atômicos superior a 12, ou seja, acima do carbono. A habilidade do microscópio à varredura em fornecer as informações descritas acima, depende da preparação da amostra.

Dessa forma, as amostras foram previamente recobertas com uma fina camada de ouro por vaporização a vácuo. Após as amostras foram inseridas no Microscópio Eletrônico a Varredura modelo SS-550 da marca SHIMADZU, a qual detecta os elementos químicos presentes na amostra através de fótons de raios-X.

III.6.5. Análises estruturais

A caracterização dos blocos cerâmicos referentes às análises estruturais foi feita por meio da análise termogravimétrica (TGA) e análise por difração de raios-X (DRX).

TGA é uma técnica em que a mudança de massa de uma substância é registrada como função da temperatura ou do tempo. O equipamento necessário é uma balança de precisão com um forno programado para aumentar a temperatura linearmente com o tempo, o que permite o registro das variações de massa em função da temperatura (BASSET *et al.*, 1981)

O ensaio do material de partida foi realizado no equipamento Netzsch, modelo STA 409, com razão de aquecimento de 10°C por minuto no intervalo de temperatura de 25 a 1000°C, sob atmosfera de N₂.

A análise por difração de raios-X tem como função a determinação mineralógica qualitativa do material, principalmente da fase cristalina, de modo rápido e eficiente. Em certos casos, pode ser útil para analisar os hidratos mal cristalizados.

O ensaio consiste em gerar um feixe de raios-X fazendo-o atingir a amostra. O feixe assim obtido é detectado e de acordo com sua intensidade são registrados graficamente. A identificação das substâncias cristalinas contidas na amostra analisada, é feita por meio de um software inserido no aparelho. Os gráficos obtidos são comparados com a carta padrão que faz parte do programa, e permite fazer a identificação das substâncias presentes.

As amostras foram analisadas em um difratômetro de raios-X da marca PHILIPS modelo X'PERT, utilizando radiação de cobre (Cu-K_α) e ângulo 2θ variando entre 10 e 70°. Para a identificação das substâncias utilizou-se o banco de dados JCPDS (Joint Committee Powder Diffraction Standards).

III.6.6. Avaliação da ocorrência da volatilização dos metais pesados

Após a definição da proporção ideal de incorporação de resíduo têxtil na massa cerâmica, foi realizada, no bloco cerâmico de proporção ideal escolhida, uma avaliação estatística da possível ocorrência da volatilização dos metais, durante o processo de queima.

III.6.6.1. Análise estatística

A avaliação da volatilização dos metais pesados, presentes no bloco cerâmico com incorporação de resíduo (lodo) têxtil, durante o processo de queima foi realizado por meio do teste de significância.

Este teste avalia o limite de confiança na diferença entre duas médias, tomando como hipótese que dois dados amostrais pertencem ao mesmo universo (PETERS, HAYES e HIEFTJE, 1974).

A média é calculada para cada dado amostral, \bar{x}_1 e \bar{x}_2 , e cada média é uma estimativa de uma média de seu universo, μ_1 e μ_2 . É inteiramente possível que \bar{x}_1 e \bar{x}_2 possam diferir, isto é, $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = \Delta\bar{x} \neq 0$, simplesmente devido à dispersão randômica dos dados. Esta diferença pode ocorrer mesmo se os dois dados amostrais forem extraídos de um mesmo universo, ou seja, $\mu_1 = \mu_2$. Assim, $\Delta\bar{x}$ é uma estimativa de $\Delta\mu$. Portanto, se o limite de confiança para $\Delta\bar{x}$ for maior que o próprio $|\Delta\bar{x}|$ existe uma boa chance de que o $\Delta\bar{x}$ seja zero e que $\Delta\mu = 0$.

Em geral, o limite de confiança para um conjunto de dados é definido por:

$$\text{Limite de confiança (LC) dados} = \pm t_{\alpha, \varphi} \cdot S_{\text{dados}} \quad (\text{III.12})$$

Em que os dados φ tem graus de liberdade.

No estudo em questão, o interesse está no limite de confiança para $\Delta\bar{x}$, o qual é definido por:

$$\Delta\bar{x} = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \quad (\text{III.13})$$

O desvio padrão para um conjunto de dados é definido como:

$$S_{\text{dados}} = S_{\Delta\bar{x}} = S_x \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad (\text{III.14})$$

Em que n_1 e n_2 são o número de amostras em cada conjunto de dados e S_x é o desvio padrão para os dados como um todo.

Dessa forma, a equação (III.12) é reescrita como:

$$\text{Limite de confiança (LC) para } \Delta\bar{x} = \text{CL} = \pm t_{\alpha,\varphi} \cdot S_{\Delta\bar{x}} = \pm t_{\alpha,\varphi} \cdot S_x \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2} \quad (\text{III.15})$$

Em que $\varphi = n_1 + n_2 - 2$, pois duas constantes (\bar{x}_1 e \bar{x}_2) foram calculadas dos dados, neste caso.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1. Caracterização das matérias-primas

A Tabela IV.1 apresenta os resultados da caracterização do lodo e da argila.

Tabela IV.1. Características do resíduo têxtil (lodo) e da argila.

PARÂMETROS	LODO	ARGILA
Aspecto	pastoso	seco
pH	7,8	5,3
Densidade (g/cm³)	1,95	2,8
Matéria Orgânica Total (%)	41,0	5,0
Umidade (%)	21,5	6,5
Metais (mg/Kg)		
Al	62.966,7	67.823,9
Pb	174,7	47,9
Cu	287,5	40,3
Cr	195,0	69,5
Fe	35.172,4	32.136,4
Mn	1.106,1	890,9
Na	33.275,3	7.045,8

Zn	294,4	151,2
Ag	n.d	n.d
Ba	n.d	n.d
Cd	n.d	n.d
As	n.d	n.d
Ba	n.d	n.d
Hg	n.d	n.d
Se	nd	n.d

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Esses resultados mostram que o lodo proveniente da indústria têxtil, contém uma grande quantidade de alumínio, ferro, manganês e sódio. Provavelmente estes metais são resultado do processo de tratamento dos efluentes têxteis, que na maioria das indústrias objeto do presente trabalho, é feito por processo de coagulação/floculação, utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como agentes coagulantes. De acordo com ROSA (2004) devido às impurezas inerentes à matéria-prima têxtil, ou seja, aquelas oriundas dos processos de fiação e tecelagem, bem como de produtos auxiliares ou corantes, que possam ser eliminados durante as diferentes etapas de acabamento, há a ocorrência de contaminantes, os quais podem estar relacionados com a presença de Pb, Cu, Cr e Zn encontrados na análise química do resíduo bruto.

Dentre os metais analisados, arsênio, bário, mercúrio e selênio não foram detectados no resíduo em questão.

Os metais contidos na argila podem ter origem nos processos naturais, como a decomposição de rochas ou minerais. A quantidade destes metais pode ser determinada pelo teor dos mesmos, presentes nas rochas, e pelo grau de intemperização que essas rochas possam sofrer.

O conteúdo de matéria orgânica, assim como a umidade, também são parâmetros importantes, pois estes podem influenciar na qualidade final dos blocos cerâmicos. Os resultados apresentados na Tabela IV.1, permitem verificar que, o resíduo têxtil em questão contém 41% de matéria orgânica, e a argila utilizada no processo contém 5%. A importância da quantificação do conteúdo de matéria orgânica deve-se ao processo de queima dos blocos cerâmicos, ocasionando a volatilização da mesma, causando, desta forma, perda de massa, formação de poros ou blocos com baixa densidade, o que pode influenciar na resistência e qualidade dos blocos cerâmicos.

As Tabelas IV.2 e IV.3 apresentam os resultados das análises de caracterização tóxica, relacionadas aos procedimentos de lixiviação (NBR 10005/2004) e solubilização (NBR 10006/2004) do resíduo têxtil, respectivamente.

Tabela IV.2. Características tóxicas do resíduo (procedimentos de lixiviação - NBR 10005/2004).

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo F)
Arsênio	n.d	1,0
Bário	n.d	70,0
Cádmio	n.d	0,5
Chumbo	n.d	1,0
Cromo	n.d	5,0
Mercúrio	n.d	0,1
Prata	n.d	5,0
Selênio	n.d	5,0

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

A análise do extrato lixiviado visa a diferenciar os resíduos classificados pela NBR 10004/2004 como classe I – perigosos - e classe II – não perigosos. De acordo com CETESB (1993) este teste, permite avaliar o grau de imobilização dos contaminantes quando em contato com soluções aquosas, que podem ser encontradas em um aterro.

Os metais relacionados na NBR 10004/2004 (anexo F), não foram detectados no extrato lixiviado, podendo este resíduo ser classificado, portanto, como um resíduo de classe II, ou não perigoso.

Tabela IV.3. Características tóxicas do resíduo (procedimentos de solubilização - NBR 10006/2004).

METAIS	Concentração (mg/L)	Lim. Máx. (mg/L) NBR 10004/2004 (Anexo G)
Arsênio	n.d	0,01
Bário	n.d	0,7

Cádmio	n.d	0,005
Chumbo	0,07	0,01
Cromo	0,05	0,05
Mercúrio	n.d	0,001
Prata	n.d	0,05
Selênio	n.d	0,01
Alumínio	0,3	0,2
Cobre	n.d	2,0
Ferro	n.d	0,3
Zinco	0,06	5,0
Manganês	4,2	0,1
Sódio	285,3	200,0

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

A análise do extrato solubilizado visa a diferenciar os resíduos classificados na NBR 10004/2004 (anexo G), como classe II A - não inertes – e classe II B – inertes.

Os resultados das concentrações dos metais presentes no extrato solubilizado (NBR 10006/2004), mostram que, Al, Pb, Mn e Na, foram encontrados em concentrações acima dos limites estabelecidos pela referida norma, demonstrando que no resíduo têxtil há ocorrência de metais que solubilizam em quantidades superiores aos permitidos pela NBR 10004/2004, o que leva a classificá-lo como um resíduo de classe IIA, ou não inerte.

Ressaltando-se que estes elementos são originários, muito provavelmente, do processo de tratamento de efluentes, bem como dos processos têxteis.

Os resultados de caracterização do lodo mostram que este resíduo não pode ser descartado em aterros comuns, devendo sofrer um processo de tratamento ou ser disposto em aterros industriais.

Para o caso da região de Maringá, isto se torna um problema uma vez que não há aterros industriais, o que encarece de forma substancial os procedimentos de disposição destes resíduos, aliado a isto há ainda a questão da co-responsabilidade do gerador de resíduos, com respeito à sua destinação.

As Tabelas IV.4 e IV.5 apresentam os resultados da composição gravimétrica e os limites de plasticidade e de liquidez da argila, respectivamente.

Tabela IV.4. Composição gravimétrica da argila.

AMOSTRA	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA FINA (%)	AREIA GROSSA (%)
Argila Bruta	50	35	10	5

Tabela IV.5. Limites de Plasticidade e de Liquidez da argila.

PARÂMETRO	ARGILA
Limite de Plasticidade – LP (%)	26
Limite de Liquidez – LL (%)	61
Índice de Plasticidade – IP (%)	35

A amostra de argila utilizada apresenta características físicas apropriadas para produção de materiais cerâmicos de boa qualidade, visto que, por meio da análise composicional gravimétrica, verificou-se que 50% da argila bruta refere-se à fração argila, ou seja, trata-se de um material extremamente coeso, contendo principalmente, partículas da fração argila e silte, que são preponderantes para formação da rigidez durante a queima em forno, à temperatura de 850 °C.

A argila estudada pode ser considerada um material de alta plasticidade (LP > 15%). Segundo TEIXEIRA (2001) o limite de plasticidade indicado para cerâmica vermelha, varia entre 17,2 e 32% e, para o processo de extrusão, este limite tem que estar entre 26 e 32%. Assim, a argila utilizada é aplicável para a produção de blocos cerâmicos por extrusão.

O limite de liquidez (LL) foi superior a 50%, o que indica que esta argila apresenta uma alta compressibilidade. De acordo com CAMPOS *et al.* (1999) no caso específico da tecnologia cerâmica, para moldagem de blocos cerâmicos furados por extrusão, a faixas de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP), recomendadas para argilas plásticas, correspondem a: LL variando de 26,50% a 71,60% e IP variando de 4,00% a 47,70%.

IV.2. Avaliação da metodologia de queima

Com base em trabalhos publicados, foram realizados ensaios preliminares com incorporação de 10% de resíduo (lodo) têxtil em blocos cerâmicos de vedação com o

objetivo de avaliar a metodologia de queima, bem como sua influência na resistência mecânica e absorção de água dos blocos cerâmicos.

IV.2.1. Características de resistência mecânica das amostras

Na Figura IV.1 é apresentada a comparação gráfica dos resultados dos ensaios de resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos pelos dois processos de secagem e queima estudados. Os resultados mostraram que o método de secagem lenta e queima em forno industrial para bloco cerâmico produziu blocos com resistência acima daquela recomendada pela norma, não ocorrendo o mesmo com os blocos produzidos com método de secagem rápida e queima em mufla, com resultados abaixo do recomendado.

De acordo com os ensaios realizados, verificou-se que a secagem foi um dos fatores determinantes na qualidade dos blocos produzidos. Durante a secagem, deve-se evitar a exposição dos blocos em ambientes ensolarados e ventilados, uma vez que esta exposição pode acarretar fissuras microscópicas, pela rápida retração da camada superficial, causada pela evaporação acelerada da água contida na massa mais externa do bloco.

O tempo de secagem é um fator preponderante, influenciando diretamente na qualidade dos blocos durante a queima. Quando submetidos à secagem lenta de 7 dias ou mais, em temperatura ambiente e em local fechado e ventilado, ocorrerá evaporação lenta e constante da água absorvida. Com a saída de água, durante a secagem dos blocos, haverá também a retração lenta e uniforme da massa, não ocorrendo, deste modo, defeitos no bloco.

A umidade relativa do ar influencia no processo de secagem, podendo, este, superar o período médio de 7 dias. Durante a queima, ocorre uma pequena retração dos blocos, causada pela eliminação da água higroscópica contida na massa, não implicando com isso em má qualidade do bloco cerâmico.

Dessa forma, da análise da Figura IV.1 é possível verificar que o processo de secagem dos blocos tem influenciado, sobretudo, nas características de resistência à compressão, sendo maiores nos blocos secados de forma lenta.

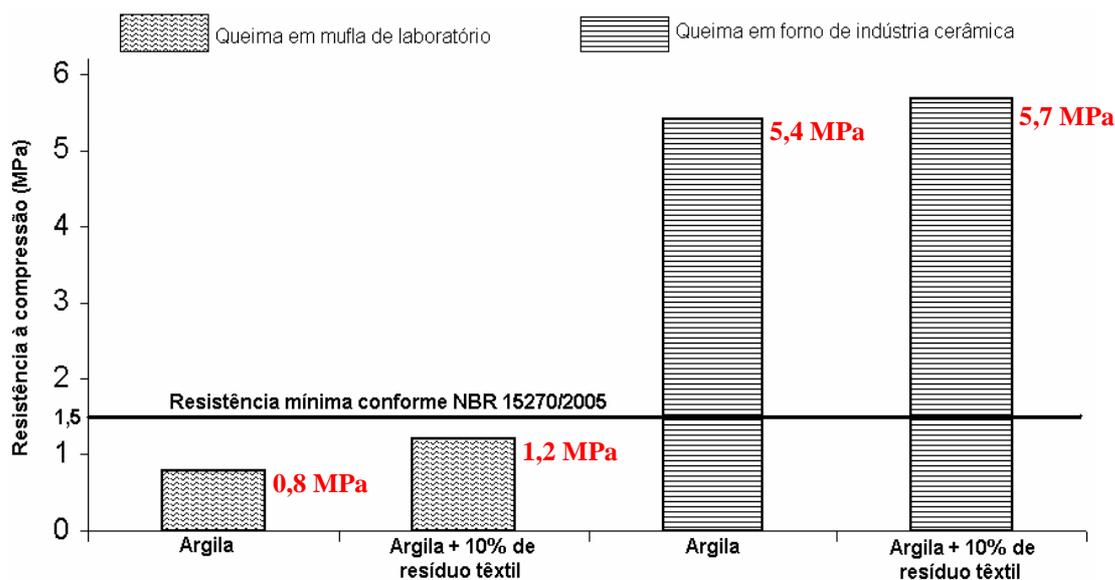


Figura IV.1. Comparação gráfica do ensaio de resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos pelos dois processos de secagem e queima estudados.

A secagem das amostras em estufa à 105°C durante 24 horas, e queima em mufla à 850°C durante 2 horas, levou a resultados insatisfatórios quanto à resistência mecânica, com média de 0,8 Mpa, para blocos apenas com argila e 1,2 Mpa, para blocos com 10 % de resíduo têxtil incorporado, valores, estes, abaixo do mínimo exigido pela norma NBR 15270-3/2005, que é de 1,5 MPa.

Amostras com secagem lenta em temperatura ambiente, durante 7 dias e queimadas em forno industrial para bloco cerâmico em temperatura de 850°C, durante 72 horas, apresentaram valores de resistência à compressão cinco vezes acima do mínimo estabelecido pela referida norma.

IV.2.2. Características de absorção de água das amostras

A Figura IV.2 apresenta a comparação gráfica dos resultados dos ensaios de absorção de água pelos blocos cerâmicos, obtidos pelos dois processos de queima.

Pode-se observar que, os blocos cerâmicos incorporados com 10 % de resíduo têxtil, apresentaram acréscimo de 7 % na capacidade de retenção de umidade, comparados com os blocos de referência, fabricados somente com argila, nos dois processos de queima. Tal fato pode ter ocorrido devido ao aumento de porosidade no bloco fabricado com o lodo têxtil, causada pela volatilização da matéria orgânica contida no neste lodo, durante o período de queima à 850°C.

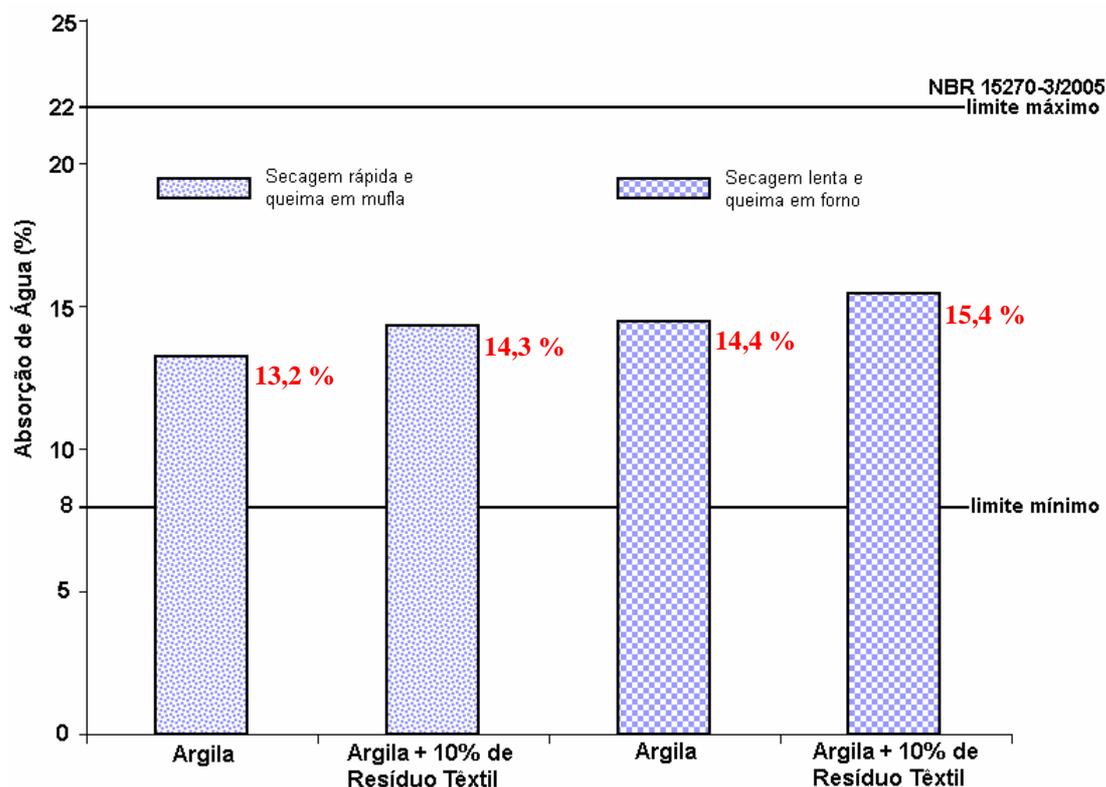


Figura IV.2. Comparação gráfica do ensaio de absorção de água nos blocos cerâmicos produzidos nos dois processos de secagem e queima.

Observa-se que os valores entre 13,2 % e 15,4 %, obtidos em ambos processos, estão dentro dos limites estabelecidos na legislação, e não dependeram do processo de queima, nem do resíduo que foi incorporado, podendo estar diretamente relacionado com a qualidade da matéria prima utilizada. Nesse caso, muito provavelmente, a argila utilizada, contendo grande quantidade de partículas finas argilosas e siltosas, foram determinantes para manter os valores de absorção dentro dos limites estabelecidos por norma.

Desta forma decidiu-se na continuidade da pesquisa, trabalhar com processo de secagem lenta e queima dos blocos em forno industrial.

IV.3. Produção dos blocos cerâmicos

A partir da definição da metodologia de queima, processo de secagem e queima lenta em forno industrial, foram confeccionados em extrusora de laboratório, instalada no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, blocos cerâmicos nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%, em massa, de resíduo têxtil,

Cobre	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	2,0
Cromo	n.d	0,001	0,002	0,003	0,009	0,024	0,05
Ferro	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,3
Manganês	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,1
Mercúrio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,001
Prata	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,05
Sódio	1,9	4,5	6,6	6,9	7,8	45,1	200,0
Zinco	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	5,0
Selênio	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,01

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Esses resultados mostram que as concentrações dos metais nos extratos lixiviados e solubilizados dos blocos cerâmicos, em todas as proporções de incorporação de resíduo, estão abaixo dos limites estabelecidos na NBR 10004/2004 – Resíduos Sólidos. Estes blocos, quando de sua utilização e descarte poderão ser classificados como não perigosos e inertes, ou seja, os elementos químicos contidos no resíduo têxtil, foram incorporado na massa cerâmica e permanecerão imobilizados no material cerâmico, sem haver prejuízos ou riscos de futura contaminação do solo durante a sua vida útil, bem como quando o mesmo for descartado, após sua vida útil. Dessa forma, pode-se observar que o processo de Solidificação/Estabilização (S/E) foi capaz de imobilizar de forma eficaz os metais nos blocos cerâmicos.

IV.3.1.2. Análise Física

A Figura IV.3 refere-se aos resultados da determinação do índice de absorção de água dos blocos cerâmicos de referência, bem como daqueles preparados com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo têxtil.

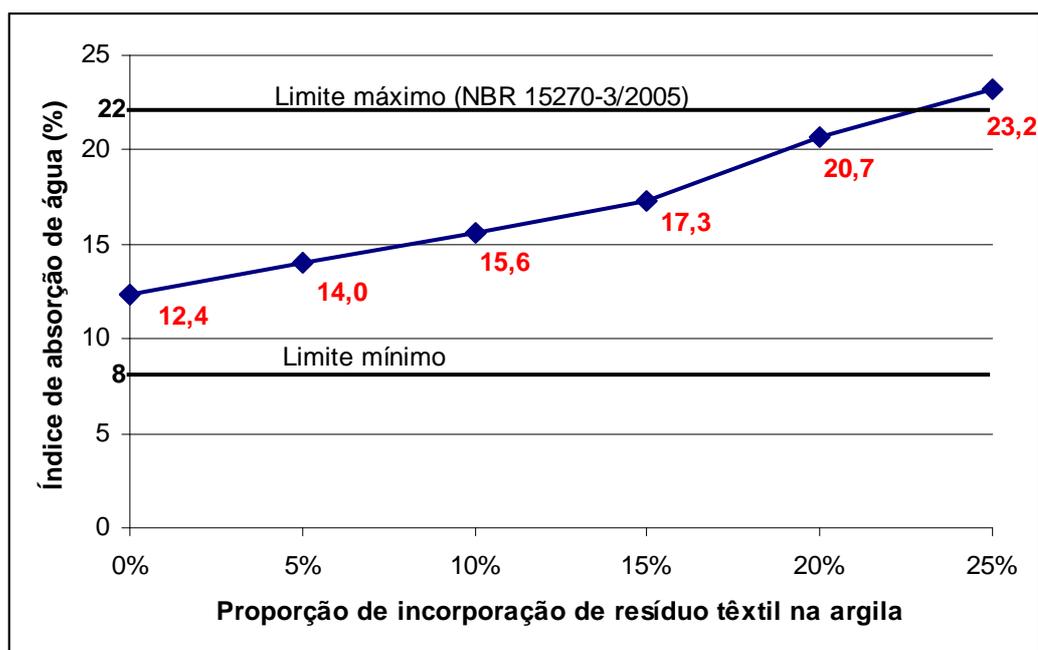


Figura IV.3. Índice de absorção de água em amostras dos blocos cerâmicos.

O objetivo do ensaio de determinação do índice de absorção de água é a verificação da porcentagem de água absorvida no período de 24 horas, à temperatura ambiente, e está diretamente relacionada com o índice de vazios da massa estrutural do bloco cerâmico, isto é, quanto maior a quantidade de água absorvida, maior a porosidade existente na massa cerâmica. De acordo com norma (NBR 15270-3/2005), o índice de absorção de água não deve ser inferior a 8%, nem superior a 22%.

Pode-se observar na Figura IV.3 que, o aumento do teor de resíduo têxtil, levou a um aumento no índice de absorção de água, chegando-se a um limite de 20% de resíduo, sem que se ultrapassasse o limite estabelecido na norma da ABNT. No entanto, o valor da absorção de água para esse teor de resíduo na massa cerâmica ficou muito próximo do limite máximo estabelecido.

De acordo com INMETRO (2008) paredes construídas com esses blocos cerâmicos, podem sofrer aumento de carga quando expostas à chuva, podendo acarretar problemas de deterioração. Esse problema fica mais evidente quando se observa casas populares que, devido à condição econômica precária de seus moradores, permanecem "cruas", ou seja, sem qualquer revestimento que proteja suas paredes. Além disso, paredes de blocos cerâmicos de vedação com alta absorção de água, apresentam problemas na aderência da argamassa de reboco, pois a água existente na composição da argamassa é absorvida, resultando em uma massa seca sem poder de fixação.

Os resultados das análises da porcentagem de retração linear dos blocos cerâmicos produzidos, encontram-se na Tabela IV.8.

Tabela IV.8. Porcentagem total de retração nas amostras de blocos cerâmicos.

Descrição	Blocos					
	referência (Argila)	5% Resíduo	10% Resíduo	15% Resíduo	20% Resíduo	25% Resíduo
Comprimento (C)	10,9	11,1	10,0	10,1	10,8	10,9
Largura (L)	14,6	15,6	13,1	14,6	14,9	16,4
Altura (H)	14,5	15,2	14,0	14,2	14,7	15,6

Na prática, uma vez que as camadas exteriores do bloco cerâmico secam mais rapidamente que as camadas interiores, essas regiões contraem-se primeiro, produzindo uma redução nas dimensões do corpo, e conseqüentemente no seu volume. Esta redução no volume do corpo representa, em alguns casos, exatamente a perda de água evaporada do mesmo, mas fatores como, o tipo de argila e sua granulometria, influenciam no processo de retração.

Segundo fabricantes cerâmicos, quanto mais argila e menos areia, maior é a retração, pois considerando que as áreas superficiais das partículas de argila são bem maiores, dessa forma, envolvendo maior volume de água, e em conseqüência a perda desse volume, há uma certa retração na massa. Por outro lado, havendo areia em excesso, haverá redução da plasticidade, coesão e retração da massa umidificada, reduzindo também a resistência mecânica nos blocos cerâmicos após a queima.

Nesse sentido, foram aferidas as medidas de comprimento, largura e altura dos blocos cerâmicos logo após a saída da extrusora e as medidas de comprimento, largura e altura dos blocos cerâmicos após o processo de queima dos blocos. Dessa forma, foi obtido a porcentagem total de retração dos blocos cerâmicos. Assim, a partir dos resultados apresentados na Tabela IV.8, é possível verificar que a retração se manteve praticamente constante, em todas as formulações adotadas. As retrações no comprimento dos blocos foram menores em relação à largura e altura, as quais apresentaram valores equivalentes.

Houve ainda, uma redução na retração dos blocos durante a fase de secagem e queima pela presença de 18% de areia fina e 2% de areia média, diminuindo a ocorrência de fissuras que geralmente comprometem a qualidade dos produtos cerâmicos.

IV.3.1.3. Análise Mecânica

A Figura IV.4 refere-se aos resultados da determinação das características mecânicas dos blocos cerâmicos controle, e aqueles preparados com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo têxtil.

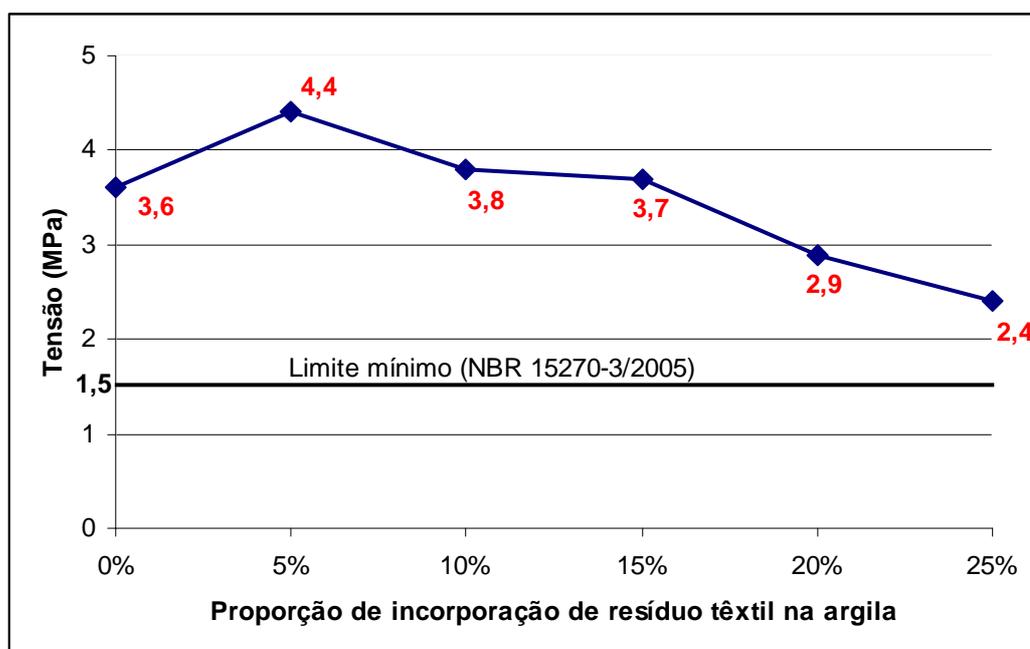


Figura IV.4. Resistência à compressão em amostras dos blocos cerâmicos.

O ensaio de resistência à compressão tem o objetivo de verificar a capacidade de carga que os blocos cerâmicos podem suportar, quando submetidos a uma força exercida perpendicularmente sobre suas faces opostas, determinando, dessa forma, se as amostras oferecem resistências mecânicas adequadas, simulando a pressão exercida pelo peso da construção sobre os blocos.

As amostras de blocos cerâmicos de vedação devem atender ao requisito mínimo de 1,5 Mpa, de acordo com a norma (NBR 15270-3/2005). O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos, indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais como rachaduras e, conseqüentemente, oferecerá riscos de desabamento da construção.

Verifica-se na Figura IV.4 que a adição de 5% de resíduo à massa cerâmica, levou um aumento de sua resistência, superando em 22% a resistência do bloco de referência. Nas proporções de 10% e 15% os valores de resistência foram superiores aos

blocos de referência produzidos apenas com argila, porém em menor proporção daquela obtida com os blocos incorporados com 5% de lodo. Amostras com 25% de resíduo, foram menos resistentes, cerca de 33% menor que a resistência do bloco somente com argila.

Verificou-se, no entanto, que a resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos, para todos os teores de incorporação de resíduo têxtil, atendeu aos limites mínimos especificados pela norma.

IV.3.1.4. Análise De Superfície

A Figura IV.5 refere-se à microscopia eletrônica de varredura (MEV) realizada nos blocos cerâmicos controle, e aqueles incorporados com 5%, 10%, 15%, 20% e 25% de resíduo têxtil.

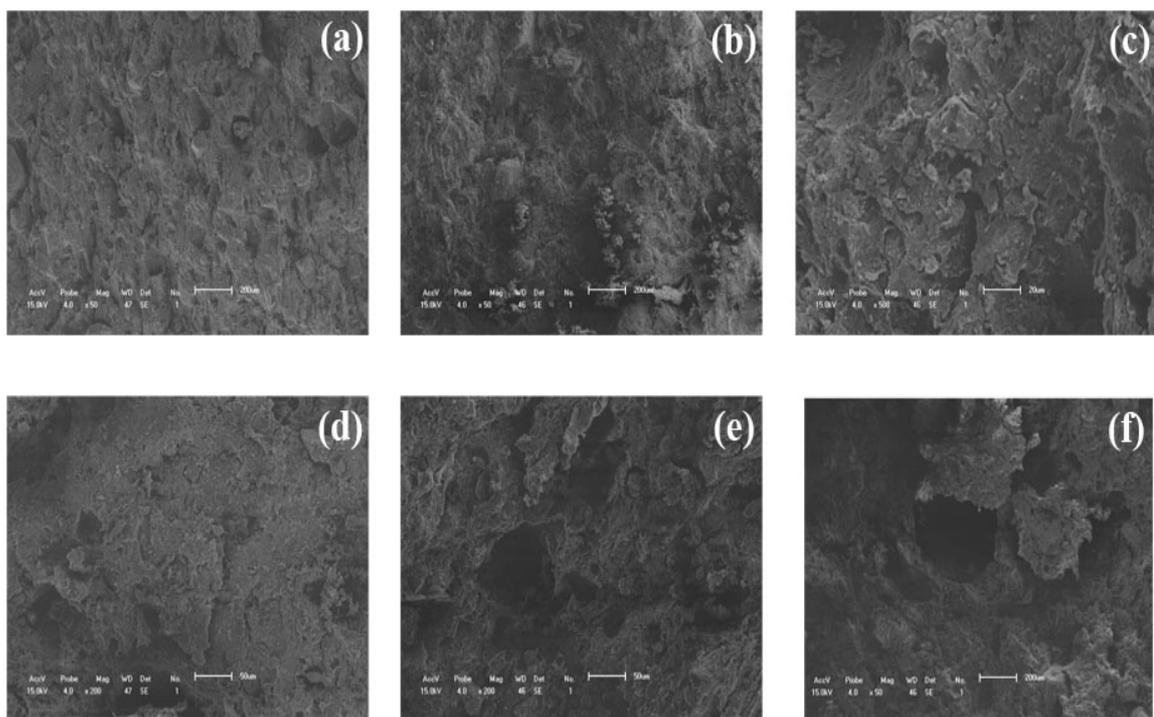


Figura IV.5. Microscopia eletrônica de varredura. (a) MEV – bloco cerâmico de referência (200x); (b) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 5% de resíduo têxtil (200x); (c) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 10% de resíduo têxtil (200x); (d) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 15% de resíduo têxtil (200x); (e) MEV

– bloco cerâmico com incorporação de 20% de resíduo têxtil (200x); (f) MEV – bloco cerâmico com incorporação de 25% de resíduo têxtil (200x).

Por meio destas micrografias, pode-se observar as diferenças nas estruturas formadas após a queima. Comparando-se a Figura IV.5.a, com as demais Figuras, observa-se que o bloco de referência, apresenta uma estrutura homogênea, enquanto que observa-se uma dimensão mais ampla dos poros formados na massa cerâmica dos blocos cerâmicos incorporados com o resíduo têxtil, justificada pela decomposição e volatilização da matéria orgânica, e umidade, presentes no resíduo (lodo) têxtil e argila, que resulta no desprendimento de gases que ficam retidos durante a queima devido provavelmente, à vitrificação inicial na parte externa dos blocos cerâmicos.

Os resultados obtidos permitiram verificar que é possível obter blocos cerâmicos, sem perda significativa de suas características, com incorporação de até 20% de resíduo têxtil, no entanto, sugere-se como medida de segurança, uma vez que alguns dos resultados obtidos com incorporação de 20% de lodo apresentaram-se muito próximos aos limites da norma, trabalhar com a incorporação de até 15% de resíduo têxtil, na massa cerâmica.

Neste sentido, as demais análises foram feitas somente para esta formulação.

IV.3.1.5. Análises Estruturais

A análise termogravimétrica (TGA) e o estudo mineralógico do material, realizado por meio de difração de raio-X (DRX), foram efetuados no bloco cerâmico incorporado com 15% em massa de resíduo (lodo) têxtil, cujos resultados podem ser observados nas Figuras IV.6 e IV.7.

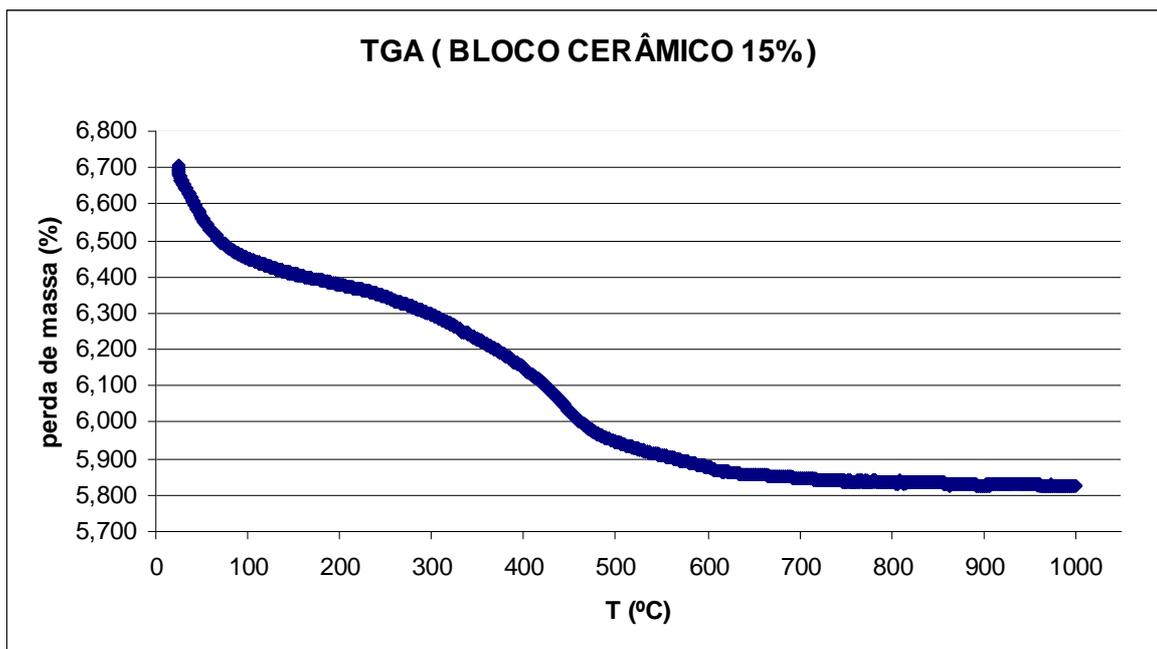


Figura IV.6. Análise termogravimétrica do bloco cerâmico incorporado com 15% de resíduo têxtil.

A Figura IV.6 mostra a variação de peso da amostra com o aumento da temperatura, em praticamente todo o intervalo de temperatura estudado, referenciando-se o peso inicial como 100%. É possível observar uma diminuição de massa, de cerca de 3,5%, em torno de 85 °C, que pode estar relacionado com a perda de água de hidratação. Após esta temperatura a massa permanece praticamente constante até cerca de 260 °C, sendo que nessa temperatura se inicia uma nova diminuição de massa, cerca de 11,5%, até 600 °C, que pode estar associado com a perda de água de constituição, bem como à eliminação da matéria orgânica. Após essa temperatura a massa permanece constante até 1000 °C, que foi a temperatura final de análise.

O difratograma de raios-X apresentado na Figura IV.7 sugere a existência da presença de quartzo, hematita, hidrohematita e carbanilida.

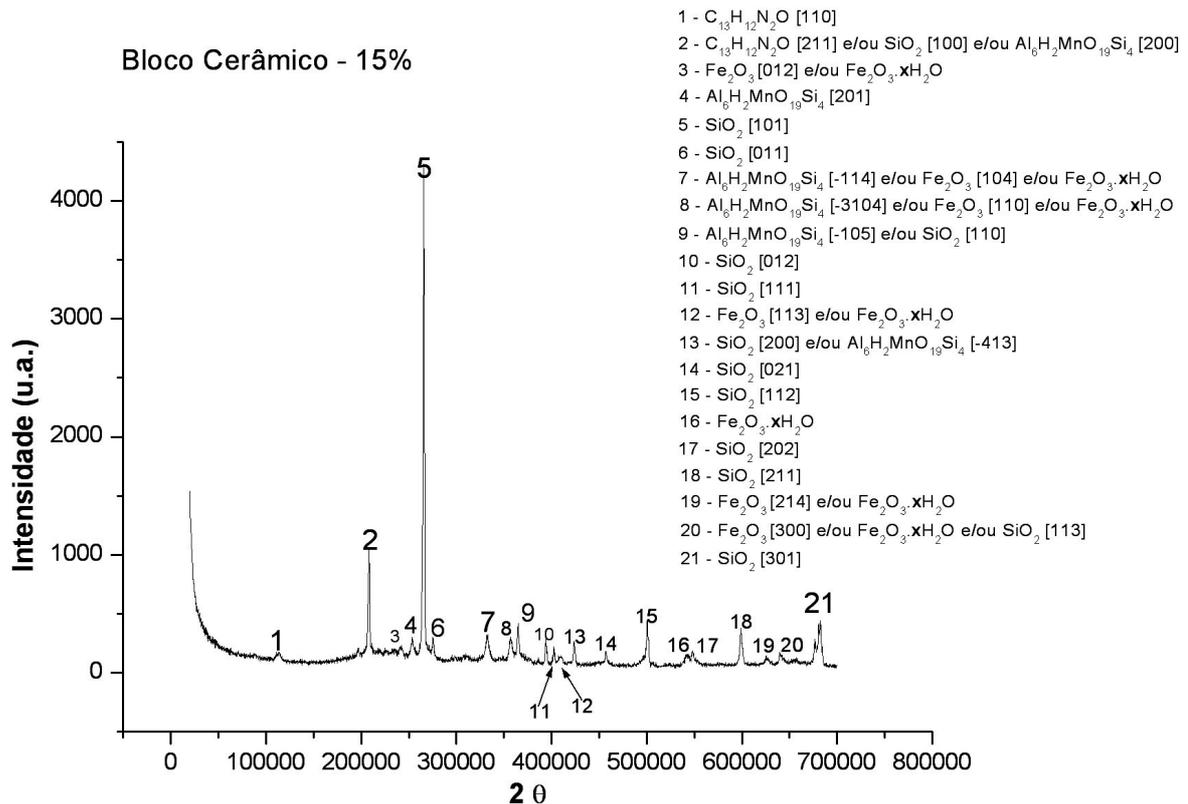


Figura IV.7. Difração de raio-X (DRX) do bloco cerâmico incorporado com 15% de resíduo têxtil.

Da presença de quartzo, resultam picos bem definidos e de grande intensidade. Segundo PEREZ *et al.* (2004) este fato dificulta a devida caracterização e identificação de outras fases presentes, em menor quantidade ou menos cristalizadas, como evidencia a má definição e o alargamento dos picos de difração de menor intensidade.

IV.3.1.6. Análise da Volatilização e Balanço Material no Bloco cerâmico incorporado com 15% de Resíduo Têxtil

Após a definição da proporção ideal de incorporação, foi realizada no bloco cerâmico com incorporação de 15% de resíduo têxtil na massa cerâmica, uma avaliação estatística da possível ocorrência da volatilização dos metais durante o processo de queima.

IV.3.1.6.1. Concentração de metais totais e análise de volatilização

A Tabela IV.9 apresenta os resultados da concentração de metais dos blocos cerâmicos, antes e após a queima, incorporados com 15% de resíduo (lodo) têxtil.

Tabela IV.9. Concentrações de metais totais dos blocos cerâmicos queimados (Q) e não queimados (NQ) incorporados com 15% de resíduo têxtil.

Metal	Bloco Cerâmico 15%	Concentração (mg/Kg)
Mn	Não queimado	894,2
		889,8
		901,7
	Média (NQ)	895,2
	Queimado	917,8
		909,6
915,9		
Média (Q)	914,4	
Fe	Não queimado	32.588,5
		28.219,5
		34.730,4
	Média (NQ)	31.846,1
	Queimado	36.137,9
		34.046,9
36.389,6		
Média (Q)	35.524,8	
Cr	Não queimado	89,1
		88,7
		87,7
	Média (NQ)	88,5
	Queimado	103,0
		103,3
102,1		
Média (Q)	102,8	
Pb	Não queimado	69,2
		67,7
		66,6
	Média (NQ)	67,8
	Queimado	77,5
		76,3
77,6		
Média (Q)	77,1	
Zn	Não queimado	181,8
		177,2
		177,6
	Média (NQ)	178,6
	Queimado	202,3
		201,4
203,4		

	Média (Q)	202,4
Cu	Não queimado	79,3
		84,4
		82,3
	Média (NQ)	82,0
	Queimado	96,9
		99,4
93,4		
	Média (Q)	96,5
Al	Não queimado	66.524,9
		68.145,9
		67.129,8
	Média (NQ)	67.266,9
	Queimado	74.037,5
		76.294,1
74.592,2		
	Média (Q)	74.974,9
Na	Não queimado	11.298,1
		11.139,7
		12.163,8
	Média (NQ)	11.533,8
	Queimado	15.596,5
		15.933,7
16.426,9		
	Média (Q)	15.985,6

A partir desses resultados, é possível inferir que, devido à volatilização da matéria orgânica e umidade presentes no bloco cerâmico antes de sua queima, os metais presentes, em todos os blocos queimados, se concentraram.

Antes da aplicação do teste de significância foi necessário fazer a correção dos resultados da concentração de metais para o bloco cerâmico queimado incorporado com 15% de resíduo têxtil, para a massa úmida, que era o valor de massa inicial em que os metais estavam presentes.

Dessa forma, a Tabela IV.10 apresenta as concentrações de metais dos blocos cerâmicos queimados, corrigidos para a massa úmida.

Tabela IV.10. Correção da concentração de metais dos blocos cerâmicos queimados incorporados com 15% de resíduo têxtil para a massa úmida.

Metal	Amostra	Concentração (mg/kg)	Concentração Corrigida (mg/kg)
Mn	Q₁	917,8	755,4
	Q₂	909,6	748,7

	Q ₃	916,0	753,9
Fe	Q ₁	36.137,9	30.014,7
	Q ₂	34.046,9	28.278,1
	Q ₃	36.389,6	30.223,8
Cr	Q ₁	103,0	84,8
	Q ₂	103,3	85,0
	Q ₃	102,1	84,0
Pb	Q ₁	77,5	63,8
	Q ₂	76,3	62,8
	Q ₃	77,6	63,9
Zn	Q ₁	202,3	166,5
	Q ₂	201,4	165,8
	Q ₃	203,4	167,4
Cu	Q ₁	96,9	79,7
	Q ₂	99,4	81,8
	Q ₃	93,4	76,8
Al	Q ₁	74.037,5	60.938,1
	Q ₂	76.294,1	62.795,4
	Q ₃	74.592,2	61.394,7
Na	Q ₁	15.596,5	12.837,0
	Q ₂	15.933,6	13.114,5
	Q ₃	16.426,9	13.520,5

Massa Média bloco queimado = **105,6 g**

Massa Média bloco não queimado = **128,3 g**

Assim, observa-se que os valores das concentrações de metais que foram corrigidas para o valor de massa úmida correspondem à concentração de metais que estavam presentes nos blocos cerâmicos antes da queima em forno.

O tratamento estatístico, dos dados amostrais corrigidos, da concentração de metais dos blocos cerâmicos queimados, e dos dados amostrais da concentração de metais dos blocos cerâmicos não queimados, por meio do Teste de Significância é apresentado na Tabela IV.11.

Tabela IV.11. Teste de significância para o conjunto de dados amostrais.

Metal	Amostra	Concentração (mg/kg)	\bar{x}	$ \Delta\bar{x} $	LC	Situação
Mn	Q ₁ corrigido	755,4		142,6	177,3	Não
	Q ₂ corrigido	748,7	752,6			Volatiliza.
	Q ₃ corrigido	753,9				
	NQ ₁	894,2	895,2			

	NQ ₂	889,8				
	NQ ₃	901,7				
Fe	Q ₁ corrigido	29.744,0				
	Q ₂ corrigido	28.023,0	29.239,4			
	Q ₃ corrigido	29.951,2		2.606,7	5.950,1	Não
	NQ ₁	32.588,5				Volatiliza.
	NQ ₂	28.219,5	31.846,1			
	NQ ₃	34.730,4				
Cr	Q ₁ corrigido	84,8				
	Q ₂ corrigido	85,0	84,6			
	Q ₃ corrigido	84,0		3,9	5,0	Não
	NQ ₁	89,1				Volatiliza.
	NQ ₂	88,7	88,5			
	NQ ₃	87,7				
Pb	Q ₁ corrigido	63,8				
	Q ₂ corrigido	62,8	63,5			
	Q ₃ corrigido	63,9		4,4	5,8	Não
	NQ ₁	69,2				Volatiliza.
	NQ ₂	67,7	67,8			
	NQ ₃	66,6				
Zn	Q ₁ corrigido	166,5				
	Q ₂ corrigido	165,8	166,6			
	Q ₃ corrigido	167,4		12,3	15,8	Não
	NQ ₁	181,8				Volatiliza.
	NQ ₂	177,2	178,9			
	NQ ₃	177,6				
Cu	Q ₁ corrigido	79,7				
	Q ₂ corrigido	81,8	79,5			
	Q ₃ corrigido	76,8		2,6	6,0	Não
	NQ ₁	79,3				Volatiliza.
	NQ ₂	84,4	82,0			
	NQ ₃	82,3				
Al	Q ₁ corrigido	60.938,1	61.709,4	5.557,4	7.134,8	Não

	Q ₂ corrigido	62.795,4				Volatiliza.
	Q ₃ corrigido	61.394,7				
	NQ ₁	66.524,9				
	NQ ₂	68.145,9	67.266,9			
	NQ ₃	67.129,8				
	Q ₁ corrigido	12.837,0				
	Q ₂ corrigido	13.114,5	13.157,3			
Na	Q ₃ corrigido	13.520,5		(1.623,5)	2.220,3	Não Volatiliza.
	NQ ₁	11.298,1				
	NQ ₂	11.139,7	11.533,8			
	NQ ₃	12.163,8				

Com uma confiabilidade estabelecida em 95%, é possível observar que não houve volatilização dos metais durante a etapa de queima dos blocos cerâmicos, visto que a situação de $LC > |\Delta\bar{x}|$ foi respeitada para todos os casos.

Estes resultados confirmam que o processo de Solidificação/Estabilização (S/E) foi capaz de imobilizar de forma eficaz os metais nos blocos cerâmicos. Segundo MALVIYA E CHAUDHARY (2006) o processo de Solidificação/Estabilização (S/E), utiliza formulações quimicamente reativas que, em conjunto com a água e outros componentes do lodo, são capazes de formar sólidos estáveis.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

O processo de Solidificação/Estabilização (S/E) para incorporação de resíduo têxtil à massa cerâmica mostrou-se bastante eficiente no sentido de reaproveitamento do mesmo em bloco cerâmico. Assim, é possível observar as seguintes vantagens:

- Esse processo beneficiará o gerador do resíduo têxtil, uma vez que o mesmo poderá se tornar uma alternativa eficaz de tratamento do resíduo;
- Este processo traz vantagens consideráveis para a indústria de cerâmica vermelha, considerando que haverá minimização do uso da argila como matéria-prima, sem comprometer a qualidade do produto final;
- Este processo também reduz os impactos negativos causados pelo extrativismo da argila, bem como riscos à saúde pública, com relação à disposição inadequada do resíduo têxtil.

Com relação aos processos de queima e secagem dos blocos cerâmicos, pode-se concluir que, o processo de secagem em estufa à 105°C durante 24 horas e queima em mufla à 850°C durante 2 horas, levou a uma baixa resistência mecânica nas amostras de blocos de vedação ensaiadas, tendo como causa o processo incorreto de secagem, com conseqüente eliminação brusca da umidade superficial dos blocos recém produzidos, sendo um dos principais efeitos negativos no processo de produção. Os ensaios de absorção de água, permitiram verificar que os processos de queima e secagem, não influenciaram esta propriedade, uma vez que foram obtidos valores de absorção dentro

dos limites estabelecidos pela norma brasileira.. As características físicas e mecânicas das amostragens de bloco com 10% de resíduo têxtil realizadas com o processo de secagem e queima lenta em forno industrial para blocos cerâmicos atenderam aos valores estabelecidos por norma.

A partir da definição da metodologia de queima, processo de secagem e queima lenta em forno industrial, foram confeccionados blocos cerâmicos nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em massa de resíduo têxtil. Nos ensaios relacionados às características tóxicas referentes aos procedimentos de lixiviação e solubilização, os resultados mostraram que todas as proporções são possíveis de serem utilizadas, uma vez que as concentrações de metais nos extratos lixiviados e solubilizados dos blocos cerâmicos, estavam abaixo dos limites definidos pela NBR 10004/2004 – Resíduos Sólidos.

Nos ensaios relacionados às características físicas e mecânicas, referentes aos procedimentos de determinação do índice de absorção de água e resistência à compressão, em todos as proporções de incorporação de resíduo têxtil à massa cerâmica foram respeitados o limite mínimo exigido por norma, para o resistência à compressão, porém, para o índice de absorção de água, verificou-se que foi atingido um limite de 20% de incorporação de resíduo têxtil à massa, sem que o mesmo excedesse os limites estabelecidos pela referida norma. Porém, por questões de segurança, sugere-se trabalhar com a incorporação de até 15% de resíduo têxtil, na massa cerâmica.

Ainda relacionado às características tóxicas, os metais presentes no resíduo permaneceram encapsulados no material cerâmico, após a queima em alta temperatura do forno industrial, possibilitando o uso desses blocos na construção civil, sem que haja riscos de contaminação durante o período de utilização, bem como em sua disposição final nos aterros, após o período de vida útil. Isto pode ser comprovado por meio da análise estatística das concentrações de metais totais destes blocos cerâmicos, a qual proporciona uma eficiente avaliação do comportamento lixivante dos metais presentes no resíduo têxtil solubilizado/estabilizado, na matriz cerâmica.

Dessa forma, é possível inferir que não houve volatilização dos metais, presentes no bloco antes do processo de queima, comprovando a eficiência do tratamento empregado ao resíduo em questão.

CAPÍTULO VI

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são apresentadas as principais sugestões para trabalhos futuros:

- Avaliar a incorporação do resíduo (lodo) têxtil em outros tipos de argilas;
- Testar outros parâmetros de processo, como temperatura e tempo de queima, tendo como objetivo a redução de custo de produção;
- Avaliar a incorporação de 20%, em massa, de resíduo (lodo) têxtil em blocos cerâmicos.

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 6457, Amostras de solo - preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1986.

ABNT, NBR 6459, Solo - determinação do limite de liquidez. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.

ABNT, NBR 7180, Solo - determinação do limite de plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.

ABNT, NBR 7181, Solo - Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.

ABNT, NBR 8.418, Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1984.

ABNT, NBR 8.419, Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1992.

ABNT, NBR 8.849, Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1985.

- ABNT, NBR 10.004, Resíduos sólidos: classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, NBR 10.005, Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, NBR 10.006, Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, NBR 10.007, Amostragem de resíduos sólidos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT, NBR 11.175, Incineração de resíduos sólidos perigosos - padrões de desempenho. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1990.
- ABNT, NBR 12.235, Armazenamento de resíduos sólidos perigosos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT, NBR 12.807, Resíduos de serviços de saúde. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1993.
- ABNT, NBR 12.808, Resíduos de serviços de saúde. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1993.
- ABNT, NBR 12.810, Coleta de resíduos de serviços de saúde. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1993.
- ABNT, NBR 13.221, Transporte terrestre de resíduos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT, NBR 15270-3, Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - métodos de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT, NBR 13.591, Compostagem. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1996.
- AGUIAR, A. O. ; PHILIPPI JUNIOR, A. “A importância das parcerias no gerenciamento de resíduos sólidos domésticos”. IN: Congresso Brasileiro de

- Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, Rio de Janeiro, 1999. Trabalhos Técnicos. Rio de Janeiro: ABES, 1999. P. 1910-1919. FSP/USP.
- ALCANTARA, M. R. ; DALTIM, D. “A química do processo têxtil”. Revista Química Nova, VOL. 19, N. 3, P. 320-329, 1996.
- AMBRÓSIO M. C. R. ; SILVA F. T. ; DUAILIBI J. FH. “Blocos cerâmicos de alta porosidade”. Revista Cerâmica Industrial, V.9, N. 4, P. 40-46, 2004.
- AMPESSAN, S. B. “Solidificação/estabilização de lodo da indústria de couro em material cerâmico”. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- ANFACER - Associação nacional de fabricantes de cerâmica para revestimento. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/>>. Acesso em: 25 de agosto de 2008.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, Método 4500-H⁺ B, 21^a ed. Washington, 2005.
- ARROJA L.; LOURO M.; CAPELA I. “Gestão integrada de resíduos em fábrica de pasta para papel em Portugal”, Revista O Papel / Aveiro, Ano V, no 1, Abril de 2005, p. 48 – 55.
- BIDONE, F. R. A. ; POVINELLI, J. “Conceitos Básicos de resíduos sólidos”. São Carlos. EESC/USP. 1999.
- BASSET, J. ; DENNEY, R. C. ; JEFFERY, G. H. ; MENDHAN, J. Vogel. “Análise Inorgânica Quantitativa”. Rio de Janeiro: Editora Guanabara. 4^a edição. 1981, 690p.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Promulgada em 05 de Outubro de 1988. Oliveira, J. (Org.) 11^a edição atualizada e ampliada. São Paulo, editora Saraiva. 1988.
- CAMPOS, J. O. ; BRAGA, R. ; CARVALHO, P. F. “Manejo de resíduos: pressuposto para a gestão ambiental”. Laboratório de planejamento experimental – DEPLAN – IGCE. UNESP, 2002.

- CAMPOS, L. F. A. ; MACEDO, R. S. ; KIYOHARA, P. K. ; FERREIRA, H. C. “Características de plasticidade de argilas para uso em cerâmica vermelha ou estrutural”. Revista Cerâmica, São Paulo, v. 45, n. 295, 1999.
- 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”. 2005. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CASAGRANDE M. N., “Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico de massa cerâmica para pavimento”. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Cempre Informa. No. 75 – maio/junho, ANO 2001 . São Paulo.
- CETESB, 1993. Resíduos Sólidos Industriais. Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB.
- AGENDA 21. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente; 1997.
- COSIN, S.; KOZIEVITCH, V. F. J.; TAVARES, D. T.; VIANNA, M. M. G. R.; TOFFOLI, S. M.; SANTOS, P. S. e VALENZUELA, F. R. “Incorporação de lodo de estação de tratamento de água a massa cerâmica”. Anais do 46º Congresso Brasileiro de Cerâmica – São Paulo SP (2002) 26 – 29.
- DEUS, A. B. S., LUCA, S. J, CLARKE, R. T. “Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na saúde pública (iirsp): metodologia e aplicação”. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, páginas 329-334.
- DOS SANTOS A. H.; MELNICK V.; OLIVEIRA M. G.; RODRIGUEZ A. M.; BERG E. A. T.; PIANARO S. A. “Caracterização tecnológica de rejeitos industriais de xisto para fabricação de grês vermelho”, Revista Cerâmica Industrial, 10 (1) janeiro/fevereiro, 2005.

- FARIA, F. S. “Índice de qualidade de aterros de resíduos urbanos”. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FERNANDES P. F.; “Reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica”. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FILHO, M. L. S. S. “A utilização de co-produtos da siderúrgica e da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais na produção de tijolos prensados”. 2005. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- FLOHR, L. et al. “Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa”. BIOTEMAS: Revista do Centro de Ciências Biológicas – Volume 18, nº 2, novembro de 2005. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.
- GADÊLHA, M. C. “Gerenciamento de resíduos industriais em Pernambuco: viabilidade técnica e ambiental”. 2005. Dissertação (mestrado em Gestão de Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- GARCIA, J. C. “Maringá verde? O desafio ambiental da gestão das cidades”. Ed. EDUEM. Maringá- PR, 2006.
- GIFFONI, P. O.; LANGE, L. C.. “A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos”. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, 2005.
- GOMES, A. C. P. “Caracterização de resíduos sólidos das indústrias de cerâmicas artísticas de Porto Ferreira, SP”. 2003. Dissertação (mestrado em Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- GOMES, L. P.; COELHO, O. W.; ERBA, D. A.; VERONEZ, M. “Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos”.

- Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Capítulo 6. Ed. RIMA, 2001, Curitiba – PR.
- GOSSEN, M. A. “Programa de gerenciamento de resíduos sólidos industriais: Proposta de um procedimento e aplicação”. 2005. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- GUARANTINI, C. C. I. ; ZANONI, M. V. B. “Corantes têxteis”. Revista Química Nova, vol. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.
- HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. “Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação”. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, 2002.
- HENRIQUES, R. M. “Aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica”. 2004. Tese (doutorado em Ciências do Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- HEREK, L. C. S. “Adição de lodo proveniente de lavanderia industrial em argila in natura para a fabricação de tijolos utilizando as técnicas de solidificação/estabilização”. 2006. Tese (doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- IMMICH, A. P. S. “Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como adsorvente”. 2006. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Bloco cerâmico – tijolo. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp>> Acesso em: 27 de Novembro de 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional de saneamento básico – IBGE/2000. Departamento de população e indicadores Sociais. Rio de Janeiro, RJ.

- JOHN, V.M. “Panorama sobre a reciclagem na construção civil”. Revista Limpeza Pública, nº 53, pág. 8-11, 1999.
- JURAS, I. A. G. M. “Destino dos resíduos sólidos e legislação sobre o tema”. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados de Brasília. Nota técnica, 2001. Brasília – DF.
- KIEHL, E. J. “Fertilizantes orgânicos”. São Paulo: Editora Agronômica – CERES ITDA, SÃO PAULO (1985) 492p.
- KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DÚRAN, N. “Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis”. Revista Química Nova, vol. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.
- LIMA J. F. “Aproveitamento da lama de lavagem do minério de ferro: estudo de caso na mineração Urucum-Corumbá/MS”. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MACHADO, N. L & MORAES, L. R. S. “RSSS: Revisitando as soluções adotadas no Brasil para tratamento e destino final”. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9 - Nº 1 - jan/mar 2004, 55-64.
- MALVIYA, R.; CHAUDHARY, R. “Factors affecting hazardous waste solidification/stabilization: A review”. Journal of Hazardous Materials B137 (2006) 267–276.
- MARQUES, J. J. “Desenvolvimento de um reator de leito fluidizado híbrido para o tratamento de efluentes industriais”. 2003. Tese (doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MENDES M. R. “Desenvolvimento de agregados leves a partir de subproduto da mineração de carvão e de lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria têxtil”. 1998. Dissertação (mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. “O Estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas”. Revista Engenharia Agrícola e ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2, 2002.
- MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. Indústria da Cerâmica Vermelha. Disponível em: <www.mineropar.pr.gov.br> Acesso em: 12 de Dezembro de 2008.
- MONTEIRO, J. H. P. ET AL. Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Publicação elaborada pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM –, sob o patrocínio da Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República – SEDU/PR. 2001.
- MONTEIRO S. N.; VIERA C. M. F. “Effect of oil addition to clay ceramic”, *Ceramics International*. 31 (2005) 353-358.
- MORAIS, S. G. “Processo fotocatalítico combinado com sistemas biológicos no tratamento de efluentes têxteis”. 1999. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MOREIRA, A. H.; OLIVEIRA, R. M.; LIMA, P. D. S. “Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção”. *Cerâmica*, São Paulo, v. 47, n. 303, 2001 . p. 158-162.
- NETO, A. L. “Resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos e de materiais granulares com fibras”. 2004. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, D. M. “Aplicação da técnica de solidificação/estabilização para resíduos oleosos da industria petrolífera, utilizando solo argiloso e bentonita”. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- OLIVEIRA G. E.; HOLANDA J. N. F., “Análise do impacto ambiental causado pela utilização de resíduo sólido do setor siderúrgico em cerâmica vermelha”, *Revista Cerâmica* 50, 2004, p. 185 -189.

- OLIVEIRA, J. L. “Fotodegradação de corantes têxteis e aplicação da quitosana como tratamento terciário destes efluentes”. 2006. Dissertação (mestrado em Química). Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- PEREZ, C. A. S. et al. “Caracterização de argilas encontradas em solos de Terras Indígenas do RS com o auxílio da espectroscopia Mössbauer de ^{57}Fe ”. *Cerâmica*, 50 (2004) 115-121.
- PETERS, D. G.; HAYES, J. M.; HIEFTJE, G. M. “Chemical separations and measurements: theory and practice of analytical chemistry”. 1974, capítulo 2, p. 24-26.
- PHILIPPI JR., A. (Org.); ALVES, A. C. (Org.). “Questões de direito ambiental”. Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública, de Direito e de Arquitetura e urbanismo. Núcleo de informações em Saúde Ambiental. Editora Signus. São Paulo, 2004.
- PINTO, F. A. R. “Resíduos sólidos industriais: Caracterização e gestão. O caso do estado do Ceará”. 2004. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Ceará, UFC.
- PÔRTO, L. C. S. “Tratamento de efluente têxtil pelo sistema de lodos ativados em batelada com adição de carvão ativado em pó”. 2002. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- QUADROS, S. S. “Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos Tingimentos de tecidos de algodão”. 2005. Dissertação (mestrado em Química). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- RIBEIRO, M. A. “Ecologizar: pensando o ambiente humano. O princípio protetor-recebedor”. Editora RONA. Belo Horizonte, 2000.
- ROSA, E. V. C. “Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: Estudos dos aspectos físico-químicos, agrônômicos e Ecotoxicológicos”. 2004. Tese (doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

- SALEK, J. M. “Um estudo da legislação ambiental brasileira sobre resíduos sólidos urbanos”. 2006. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, CEFET/UFC.
- SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná, 1999. Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções. Ed. Andreóli C.V. e Aderlene I. L. Curitiba, PR, 288p.
- SANTOS, A. B.; SANTAELLA, T. S. “Remoção de DQO de águas residuárias de indústria têxtil empregando o processo de lodos ativados em batelada”. Revista Engenharia Sanitária e ambiental, v. 7, n. 3, p. 151-157, out. /dez. 2002.
- SANTOS, E. O. “Caracterização, biodegradabilidade e tratabilidade do efluente de uma lavanderia industrial”. 2006. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. Análise da eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira. IEL, CNA e SEBRAE. Brasília, DF – 2000.
- SILVA, A. F. “Preparação, caracterização e aplicação de membranas de Poli (Fluoreto de Vinilideno) para a redução de cor de efluente têxtil modelo”. 2004. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SILVA, G. L. “Redução de corante em efluente de processo de tingimento de Lavanderias industriais por adsorção em argila”. 2005. Tese (doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr1.cfm> . Acesso em: 25/08/2007.
- TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, S. A.; MOURA, C. A. I. “Mineralogical characterization of clays used in the structural ceramic industry in west of S. Paulo State, Brazil”. Revista Cerâmica, São Paulo, v. 47, n. 304, 2001.

- TWARDOKUS, R. G. “Reuso de água no processo de tingimento da Indústria têxtil”. 2004. Dissertação (mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina.
- WENG, CHIH-HUANG; LIN, DENG-FONG; CHIANG, PEN-CHI. “Utilization of sludge as brick materials”. *Advances in Environmental Research*, Volume 7, Issue 3, May 2003, Pages 679-685.
- WILES, C. C. “Solidification and stabilization technology. Standard handbook of hazardous waste treatment and disposal”, Chapter 8, section 8.7, New York. McGraw-hill, 1989.