

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

MAURO LÚCIO DIAS JÚNIOR

**INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APUCARANA

2013

MAURO LÚCIO DIAS JÚNIOR

## **INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Profa. Me. Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro

Co-orientador: Prof. Me. Paulo Henrique Almeida

APUCARANA

2013



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria do *Câmpus* Apucarana  
Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional  
Graduação em Tecnologia em Processos Químicos

---



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **INCORPORAÇÃO DE LODO TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS**

por

**MAURO LÚCIO DIAS JÚNIOR**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentada às 15 horas do dia 04 de abril de 2013 como requisito parcial para obtenção do título de TECNÓLOGO EM PROCESSOS QUÍMICOS, Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Apucarana. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores: Dra. Valquíria Ribeiro (orientadora), Me. Janaina Franco e Me. Juliana Sgorlon. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado desde que atendidas às recomendações mencionadas.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, Nossa Senhora Aparecida, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada, por me guiar e ajudar a tomar as decisões corretas em cada momento.

Aos meus pais Mauro Dias e Maria Madalena, toda a minha família por me apoiarem nas minhas decisões contribuindo com o meu crescimento profissional.

A minha orientadora, Profa. Me. Valquiria Aparecida dos Santos Ribeiro e ao meu co-orientador, Prof. Me. Paulo Henrique Almeida pela oportunidade e confiança dada para desenvolver esta pesquisa, pela dedicação em transmitir seus conhecimentos, e pelo verdadeiro profissionalismo.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Aos docentes do curso de Processos Químicos, pela convivência harmoniosa, pelas trocas de conhecimento e experiências que foram tão importantes na minha vida acadêmica/pessoal, e contribuíram para o meu novo olhar profissional.

Os meus Parceiros de estrada Solange Arraez, Tânia Cristina, Elisangela Teixeira, Tamy Kuroiwa, Rodrigo Gregório nesses anos de caminhada e pelos momentos que passamos juntos.

A todos os meus colegas e amigos do curso de Processos Químicos, que de alguma maneira tornam minha vida acadêmica cada dia mais desafiante. Peço a Deus que os abençoe grandemente, preenchendo seus caminhos com muita paz, amor, saúde e prosperidade.

À Oswaldo Kaminata e equipe do Laboratório de Materiais de Construção e Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, que foi envolvido no auxílio dos ensaios físicos e mecânicos.

À Janaína de Franco Melo e equipe do Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá que foi envolvida no auxílio dos testes físicos e químicos.

Enfim, a todos que contribuíram com este trabalho direto ou indiretamente.

## RESUMO

JÚNIOR, Mauro Lúcio Dias. **INCORPORAÇÃO DE LODO DE LAVANDERIA INDUSTRIAL TÊXTIL EM BLOCOS CERÂMICOS PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2013. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2013.

A indústria de lavanderia têxtil é uma das indústrias que mais contaminam o meio ambiente, gerando grandes quantidades de resíduos, que nem sempre são tratados adequadamente antes de serem descartados na natureza. No processo de tratamento dos efluentes são gerados resíduos denominados por lodo têxtil, os quais devem ser tratados e dispostos de forma adequada. Quando não tratados, esses resíduos podem causar grandes impactos ambientais, pois são altamente tóxicos, devido a presença de corantes, vários deles com metais pesados em sua composição. É de interesse deste segmento industrial, o tratamento, a reciclagem ou disposição final adequada do resíduo gerado. Devido há elevada quantidade de lodo resultante dos tratamentos de efluentes empregados e do alto custo para a destinação final em aterros industriais, a prática de reutilização do lodo têxtil pode ter grande contribuição para a diminuição do impacto ambiental causado pela disposição deste resíduo no meio ambiente. Sendo assim o presente trabalho tem como objetivo o aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluentes de lavanderia industrial têxtil, por meio da incorporação do lodo em processo de solidificação/estabilização (S/E) em massa de argila para a fabricação de blocos cerâmicos utilizados na construção civil. Primeiramente foram realizados testes de caracterização do lodo por meio da determinação de teor de umidade, matéria orgânica total, massa específica, pH, concentração de metais e características tóxicas. Para a argila utilizada como matriz sólida para a incorporação do resíduo têxtil foi caracterizado o teor de umidade e matéria orgânica total, pH, análise granulométrica, limite de plasticidade, limite de liquidez, índice de plasticidade e massa específica. Foram produzidas amostras de blocos cerâmicos, em escala reduzida com um terço do tamanho real, utilizando formulações com 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% de lodo, na massa de argila cerâmica, para definir a máxima incorporação adequada. Além destes, foram produzidos blocos controle, fabricados somente com a argila cerâmica, com finalidade de estudar o comportamento preliminar quanto aos parâmetros físicos, químicos e mecânicos, utilizando a melhor proporção de mistura entre lodo e argila. Os resultados dos testes físicos e mecânicos realizados para todas as proporções de lodo nos blocos cerâmicos apresentaram-se dentro das normas vigentes. O bloco cerâmico com 10% de lodo incorporado na matriz sólida argila foi o que obteve melhores resultados sem comprometer sua qualidade técnica. O processo de estabilização/solidificação mostrou-se eficiente, diminuindo a periculosidade do lodo, que inicialmente caracterizado como classe II – A, quando incorporado no bloco após a queima adequada, caracterizado como classe II-B. Evidenciando os ganhos técnicos relacionados à incorporação, permitindo com isso, uso deste resíduo antes considerado sem utilização, como matéria-prima para outro processo produtivo.

**Palavras-chave:** Lodo de lavanderia industrial, Solidificação/Estabilização (S/E), argila, bloco cerâmico.

## ABSTRACT

JÚNIOR, Mauro Lúcio Dias. **INCORPORATION OF SLUDGE IN LAUNDRY INDUSTRY TEXTILE CERAMIC BLOCKS FOR USE IN CONSTRUCTION.** 2013. 93 p. Work Completion, Course of Technology in Chemical Process – Federal Technological University of Paraná. Apucarana, 2013.

The textile laundry industry is one of the industries that more pollute the environment, generating large amounts of waste, which are not always adequately treated before disposal in nature. In the process of wastewater treatment are called waste generated by sludge textile, which must be treated and disposed of properly. Untreated, these wastes can cause major environmental impacts, as they are highly toxic due to the presence of dyes, many of them with heavy metals in its composition. It is of interest in this industry segment, processing, recycling or final disposal of the waste generated. Due to the high amount of sludge resulting from the treatment of wastewater employees and the high cost for disposal in landfills, the practice of reuse of textile sludge may have great contribution to reducing the environmental impact caused by the disposal of this waste in the environment. However, this work aims at the use of the sludge generated in the wastewater treatment of textile industrial laundry by means of sludge in the process of Solidification / Stabilization (S / E) mass of clay for the manufacture of ceramic blocks used in building. First tests were performed to characterize the sludge through the determination of moisture content and total organic matter, density, pH, concentration of metals and toxic characteristics. For the clay used as a solid matrix for the incorporation of textile waste was characterized moisture content and total organic matter, pH, particle size analysis, plastic limit, liquid limit, plasticity index and density. Samples were produced of ceramic blocks, in reduced scale with a fifth real size, using formulations with 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% silt, clay ceramic mass to define the maximum appropriate integration. In addition, control blocks were produced, manufactured only with ceramic clay, with the purpose of studying the behavior as the primary physical, chemical and mechanical, using the best mix ratio between silt and clay. The results of physical and mechanical tests performed to all proportions sludge in ceramic blocks were within existing Standards. The ceramic block with 10% silt clay was incorporated in the matrix which achieved better results without compromising the technical quality. The process of stabilization / solidification was efficient, reducing hazardous sludge, initially characterized as a class II - when incorporated in the block after firing properly characterized as class II-B. Evidencing technical gains related to the merger, allowing thereby the use of this residue without considered before use as raw material for further production process.

**Keywords:** Industrial laundry sludge, Solidification / Stabilization (S / E), clay, ceramic block.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da cadeia produtiva têxtil e de confecção.....	14
Figura 2 – Processo básico produtivo têxtil, resíduos sólidos e efluentes gerados .....	17
Figura 3 – Fluxograma geral do processo de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial têxtil.....	18
Figura 4 – Bloco cerâmico com formação de ‘escamas superficiais’.....	32
Figura 5 – Metodologia do trabalho .....	33
Figura 6 – Lodo em processo de secagem na indústria de lavanderia têxtil .....	34
Figura 7 – Local de extração da argila (barranco do Rio Ivaí) e local de depósito da argila para uso industrial. ....	36
Figura 8 – Mistura do lodo com argila para produção dos blocos cerâmicos. ....	38
Figura 9 – Mistura de lodo e argila com adição de água, para formação de massa pastosa. ....	39
Figura 10 – Extrusora de laboratório utilizada na fabricação dos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3 .....	40
Figura 11 - Produção dos blocos cerâmicos. Extrusão da massa cerâmica (a) e corte da massa cerâmica (b).....	42
Figura 12 - Secagem dos blocos cerâmicos produzidos após confecção .....	43
Figura 13 - Forno da indústria cerâmica para queima dos blocos .....	44
Figura 14 - Teste de resistência mecânica a compressão .....	45
Figura 15 - Compressão do bloco cerâmico para ensaio de resistência mecânica .....	46
Figura 16 - Blocos mergulhados no recipiente preenchido com água e blocos na bancada para escoamento do excesso de água.....	48
Figura 17 - Distribuição do tamanho das partículas da amostra de argila.....	53
Figura 18 - Absorção de água de amostras de blocos em escala reduzida .....	57
Figura 19 - Resistência característica à compressão nos blocos cerâmicos em escala reduzida .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de lodo e argila para mistura da massa cerâmica.....	39
Tabela 2 - Caracterização da argila .....	50
Tabela 3 - Distribuição do tamanho das partículas e limites de consistência da argila.....	52
Tabela 4 – Características Físicas e Químicas do lodo .....	54
Tabela 5 - Ensaio de lixiviação.....	55
Tabela 6 - Ensaio de solubilização .....	56
Tabela 7 - Absorção de água nos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3 (valores médios n=20).....	57
Tabela 8 - Resistência à compressão nos blocos de vedação em escala reduzida 1:3 (valores médios n=20).....	59
Tabela 9 - Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos (NBR 10005/2004).....	61
Tabela 10 - Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos (NBR 10006/2004).....	61



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	13
3.1.1 Lavanderia Industrial Têxtil .....	15
3.1.1.1 Efluente de lavanderia têxtil.....	15
3.1.1.2 Lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia têxtil.....	19
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	20
3.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos.....	20
3.2.2 Resíduos Sólidos Industriais .....	21
3.3 TRATAMENTO DO LODO GERADO .....	23
3.3.1 Secagem e Desidratação .....	23
3.3.2 Aterro Industrial.....	24
3.3.3 Incineração.....	24
3.3.4 <i>Landfarming</i> .....	25
3.3.5 Compostagem .....	26
3.3.6 Solidificação/Estabilização.....	27
3.4 ARGILA CERÂMICA .....	28
3.4.1 Incorporação do Lodo em Argila Cerâmica .....	30
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO.....	34
4.1.1 Coleta e Caracterização do Lodo .....	34
4.1.2 Coleta e Caracterização da Argila .....	35
4.2 DELINEAMENTO .....	37
4.3 PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3.....	38
4.3.2 Fabricação dos Blocos .....	40
4.3.3 Processo de Secagem dos Blocos Cerâmicos .....	42
4.3.4 Queima dos Blocos Cerâmicos .....	43
4.4 CARACTERIZAÇÃO FINAL DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3.....	45
4.4.1 Caracterização Mecânica dos Blocos .....	45
4.4.2 Caracterização Física dos Blocos .....	47
4.4.3 Ensaio de Absorção de Água .....	47
4.4.4 Caracterização Química dos Blocos .....	48
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA .....	50
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO TÊXTIL .....	53
5.3 ANÁLISE FÍSICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3 .....	57
5.3.1 Índice de Absorção de Água.....	57
5.4 ANÁLISE MECÂNICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3.....	58
5.4.1 Resistência Característica à Compressão dos Blocos Cerâmicos.....	58
5.5 ANÁLISE QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3 ...	61
5.5.1.3 Lixiviação e Solubilização.....	61
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e comercial das últimas décadas foi acompanhado de um processo acelerado de urbanização e um aumento da concentração populacional. Tanto as indústrias como o comércio, bem como a população em geral, têm aumentado sua procura por matérias-primas, produtos e energia, ocasionando um aumento na geração de resíduos. Esses resíduos, quando não tratados adequadamente, comprometem significativamente o ambiente que nos cerca. Sendo assim, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos alternativos e eficazes de tratamento, em substituição ao simples descarte desses resíduos em aterros industriais.

A indústria têxtil é uma das indústrias que mais contaminam o meio ambiente, gerando grandes quantidades de resíduos sólidos, antes de serem descartados na natureza não recebem tratamentos adequados, englobando vários tipos de processos e empresas, gerando diferentes tipos de produtos e serviços. É uma das que mais se envolve com problemas ambientais relacionados aos efluentes e resíduos sólidos perigosos (GRAVELET *et al.*, 1997).

Segundo Nortevisual (2008), uma indústria de lavanderia têxtil de médio porte com capacidade para processar 100 mil peças de vestuários, gera em torno de 6 toneladas de lodo seco ou 120 toneladas de lodo com 95% de umidade, anualmente.

Para muitas indústrias, o tratamento do efluente e a destinação adequada do lodo gerado é um custo adicional sem retorno, a elevada produção de resíduos dos processos industriais tem grande parte nos problemas de poluição ambientais, sendo de interesse da indústria, o tratamento, a reciclagem e a disposição do resíduo gerado.

Os resíduos gerados do tratamento de efluentes das lavanderias são sólidos e líquidos. Os resíduos sólidos, chamado de lodo, é um material semissólido, composto de matéria orgânica e inorgânica, apresenta difícil processo de tratamento e alto custo de disposição final. A quantidade de lodo gerada está relacionada com a eficiência do tratamento de efluente por métodos físico-químico ou biológico utilizado, e a exposição deste lodo ao ambiente tornou-se um problema ambiental para as lavanderias industriais, em parte pela sua característica de ser solúvel em água (MARTINS, 1997).

O lodo gerado é altamente tóxico, devido os corantes que contém elementos químicos como chumbo, alumínio, ferro, cobre, que quando dispostos no meio ambiente, causam grandes impactos ambientais, como contaminação do solo, águas superficiais como

rios, organismos aquáticos, afetando direto ou indiretamente o ser humano (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

Existem determinados tipos de tratamentos ou disposição final para que se tenha uma destinação final segura de resíduos sólidos, entre eles a secagem e desidratação de lodos, incineração, disposição em aterros industriais, *landfarmin*, compostagem e solidificação/estabilização (CETESB, 1993; LORA, 2000).

Na lavanderia industrial, geralmente os processos de tratamento de efluente estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos seguidos de tratamento biológico via sistema de lodos ativados, sendo sistemas que alcançam 80% na remoção de corantes (CASTRO, 2010).

Os métodos físico-químicos geram uma grande quantidade de lodo que deverá ter o tratamento e futura destinação adequados. Tal fato se dá porque estes são métodos não destrutivos que simplesmente aglomeram ou separam os compostos poluentes da água.

Já o processo de lodos ativados é destrutivo, no entanto, também gera elevada quantidade de lodo. Além disso, esses métodos de tratamento usualmente não removem a toxicidade dos resíduos têxteis (SILVA, 2009).

Diante dos fatos mencionados, observa-se a necessidade de tratamentos alternativos para diminuição efetiva da toxicidade dos efluentes têxteis. A técnica de solidificação/estabilização (s/e) é uma das formas de tratamento e disposição dos resíduos industriais que tem sido utilizada, pois visa isolar o material perigoso (resíduos) transformando-os em materiais menos poluentes através da adição de aglomerantes ou por processos físicos. Os benefícios do uso de resíduos como aditivos cerâmicos incluem além da imobilização de metais pesados na matriz queimada, a oxidação da matéria orgânica e a destruição de qualquer organismo patogênico durante o processo de queima (CETESB, 1993).

A vantagem desta técnica é que ela apresenta a possibilidade de reaproveitamento do solidificado como material de construção, além das exigências simples de processamento e o uso de equipamentos prontamente disponíveis na construção civil (PRIM, 1998).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Incorporação do lodo de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos para aplicação na construção civil.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o processo de solidificação/estabilização do lodo têxtil na fabricação de materiais cerâmicos;
- Caracterização do resíduo (lodo), a ser utilizado na composição da massa para a produção de blocos cerâmicos, por meio da determinação de suas propriedades físicas e químicas;
- Incorporação de lodo com proporções de 5, 10, 15, 20, 25 e 30% na argila para confecção dos blocos cerâmicos.
- Determinação do teor ótimo de adição dos resíduos à massa cerâmica que possibilite a obtenção de blocos cerâmicos, cujas características correspondam às especificações técnicas, assim como a inertização de metais pesados existentes nos resíduos em questão;
- Caracterização dos blocos cerâmicos desenvolvidos, por meio de testes mecânicos, físicos e químicos.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil está presente principalmente em países emergentes, num movimento incentivado em parte pelo desinteresse do setor em investir na renovação tecnológica, em parte pelo interesse na manutenção das vantagens econômicas comparativas trazidas especialmente pelo uso intensivo de mão-de-obra barata. As grandes potências industriais estão passando de economias industriais a economias de serviços baseadas no conhecimento e na informação, enquanto a produção de bens tem migrado para países com baixo custo de mão-de-obra (NASCIMENTO, 2003).

A cadeia produtiva passou por muitas transformações, destacando-se especialmente aquelas relacionadas, não apenas com as mudanças tecnológicas, que permitiram expressivos incrementos de produtividade, mas também com a crescente importância do comércio interblocos (GORINI, 2000).

A cadeia têxtil tem seu processo iniciado pela escolha da matéria-prima a ser transformada, a fim de que se tornem produtos passíveis de serem consumidos. Sendo que esta possui uma linha verticalizada e complexa, abrangendo desde o cultivo de fibras naturais, principalmente o algodão, que será utilizado como matéria-prima, até a sua industrialização e comercialização como produto final, conforme a figura 1.

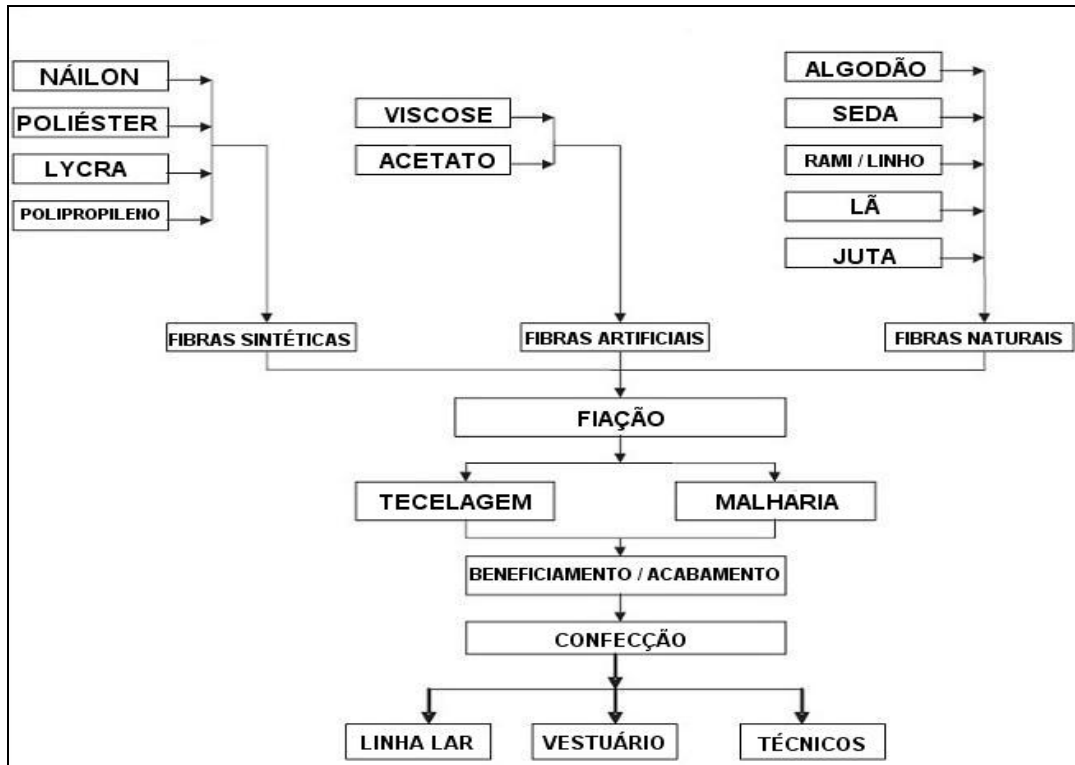


Figura 1 – Estrutura da cadeia produtiva têxtil e de confecção

Fonte: Adapto de BNDES (2013)

Segundo Ferreira *et al.* (2009), os processos de fiação, ou seja, a transformação da fibra em fio, é utilizado para a formação do tecido. Após estes processos há necessidade de se personalizar fios e tecidos, função esta dos processos de beneficiamento/acabamento. Os setores de beneficiamento/acabamento são responsáveis por dar cor, textura e acabamento final ao tecido.

Estes processos são longos e complexos, envolvem diversas etapas. O processo de beneficiamento/acabamento está diretamente ligado ao alto consumo de água e aos aspectos ambientais. O maior impacto causado ao meio ambiente se dá em função da utilização de insumos químicos e corantes que se tornam potencialmente poluidores. A água como recurso, é utilizada nos processos de lavagem, coloração, transferência de calor com aquecimento ou resfriamento (FERREIRA *et al.*, 2009).

Assim, se os efluentes gerados não forem devidamente tratados, causam grande impacto ao meio natural. Portanto, é de extrema relevância para as estratégias de gestão, preocuparem-se com os resíduos têxteis.

### 3.1.1 Lavanderia Industrial Têxtil

Nas lavanderias industriais têxteis, são realizados processos de beneficiamento e acabamento do jeans, englobando os tingimentos e lavagens, os quais podem variar de uma lavanderia para outra, em relação a tipos de corante e produtos utilizados nas etapas de processamento de peças confeccionadas. A respeito disto, a seguir serão descritos de maneira geral os processos realizados em uma lavanderia industrial.

A pré-umectação é uma etapa fundamental para as etapas seguintes, pois objetiva facilitar a absorção de água do banho por parte dos tecidos. Outra etapa é a desengomagem que tem a finalidade de eliminar a goma que é geralmente aplicada aos fios de urdume. Após esta etapa tem-se especificamente as lavagens, os processos diferenciados (lixados, puídos, *used, hand brush*, laser) e/ou o tingimento, para posteriormente as peças serem centrifugadas, secas, passadas e embaladas (CASTRO, 2010)

As lavanderias industriais são fontes geradoras de efluentes líquidos, que após tratamento por decantação, produzem lodo. A quantidade de lodo gerada está relacionada com a eficiência do tratamento físico-químico ou biológico utilizado, e a exposição deste lodo ao ambiente tornou-se um problema ambiental para as lavanderias industriais, em parte pela sua característica de ser solúvel em água (MARTINS, 1997).

#### 3.1.1.1 Efluente de lavanderia têxtil

Segundo Braile e Cavalcanti (1993) as operações de limpeza, tingimento e acabamento na indústria têxtil dão origem a uma grande quantidade de despejos. A recirculação e recuperação de produtos químicos e subprodutos, constituem os maiores desafios enfrentados pelas indústrias têxteis internacionais, a fim de reduzir custos com o tratamento de seus despejos. Os despejos gerados pela indústria variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos, novos maquinários, novas técnicas e, também, conforme a demanda do consumidor por outros tipos de tecidos e cores.



Ao longo da cadeia produtiva têxtil existem diversas operações que levam a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e gasosos, sendo que os dois primeiros vêm sendo objeto de estudos nas últimas décadas devido ao seu potencial poluidor (BASTIAN, 2009).

Nas operações do acabamento, a poluição é devida principalmente às perdas de corante e de produtos auxiliares do processo de tingimento, dependendo da taxa de esgotamento do banho e do volume de banho por peso de tecido tingido, que pode variar para cada quilo de peça processada de 5 à 50 litros de água. As perdas por banho e corantes não fixados às fibras, saem por lavagem e ensaboamento após o tingimento. A poluição, devido ao tingimento, representa 30 a 40% do conjunto da poluição orgânica de uma indústria de beneficiamento (MARTINS, 1997).

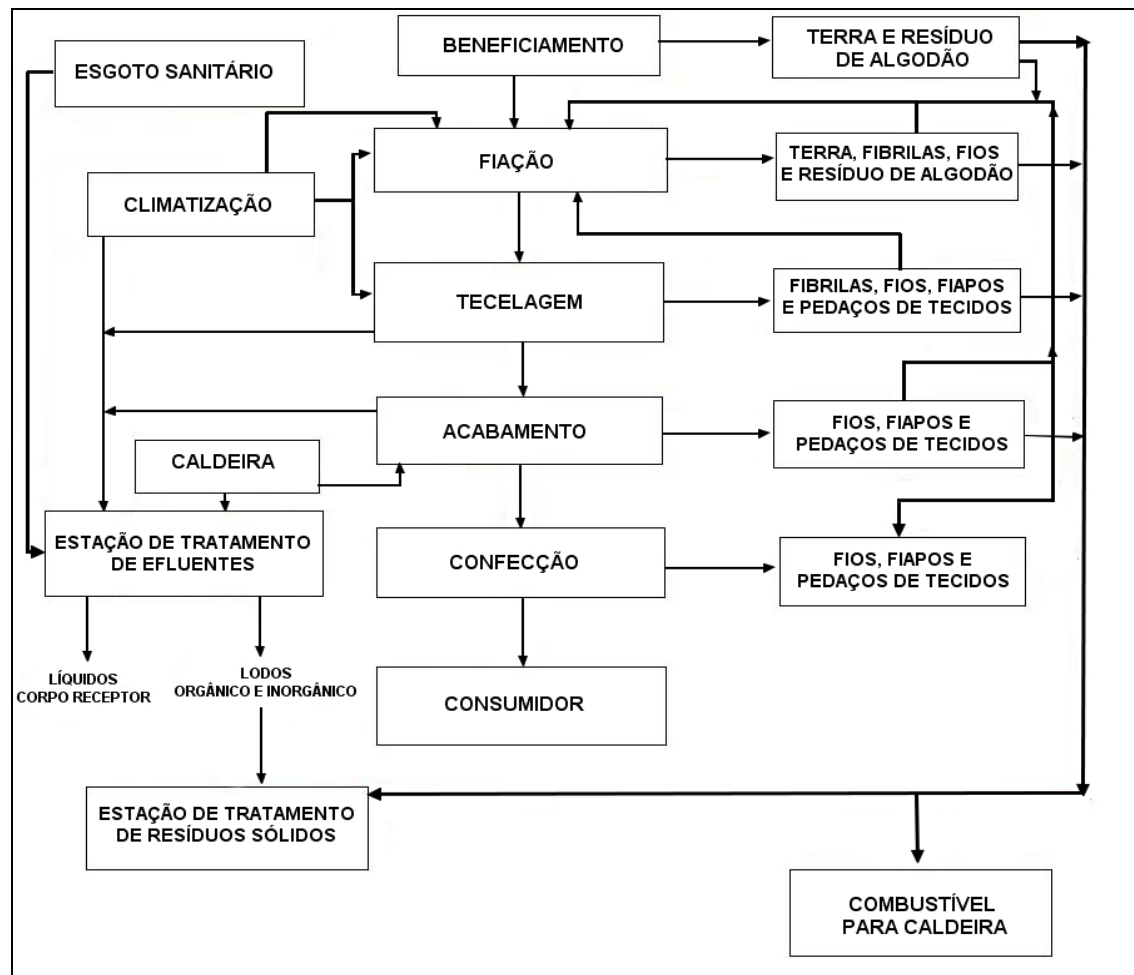
Traços de metais pesados tais como níquel, manganês, chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro e mercúrio, aparecem constantemente em alguns despejos industriais. A presença de qualquer destes metais em quantidades excessivas prejudica os usos da água (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

Os padrões de lançamento de efluente tratado devem se enquadrar dentro dos valores limitados pela resolução do Ministério do Meio Ambiente. Segundo o Conama, resolução 430(2011), não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencional em corpos de água de classes especial, classe 1 e 2. Águas de classe especial, classe 1 e 2 são de melhor qualidade e podem ser aproveitadas para consumo humano, após tratamento; preservação da comunidade aquática e recreação de contato primário, tais como natação e mergulho.

Na Figura 2 são apresentados os pontos de geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos, de acordo com um processo básico de produção de artigos têxteis. Dentro da cadeia produtiva têxtil, os principais problemas relacionados ao impacto ambiental são representados pelo elevado consumo de água, aproximadamente 50 litros de água por quilo de material processado, e pelo baixo aproveitamento dos insumos utilizados, principalmente corantes (RIBEIRO, 2010). Conforme Souza *et al.* (2004), em geral, cerca de 90% dos produtos químicos utilizados no beneficiamento têxtil são removidos e descartados após cumprirem o seu papel no processo e acabam por atingir os recursos hídricos.

A composição dos efluentes têxteis varia de acordo com as características do processo produtivo, tais como, composição do artigo, equipamentos, tecnologia utilizada e insumos consumidos (corantes e outros agentes químicos), os quais agregam, ao efluente,

características específicas que dificultam o estabelecimento do fluxo de tratamento mais adequado (RIBEIRO, 2010).



**Figura 2 – Processo básico produtivo têxtil, resíduos sólidos e efluentes gerados**

Fonte: Carreira (2006)

Os processos de uma lavanderia industrial têxtil geram quantidades elevadas de resíduos sólidos e efluentes líquidos. Os efluentes gerados durante os processos de fiação, tecelagem e principalmente no processo de acabamento, onde é realizado o tingimento e a lavagem do tecido, que utilizam maior quantidade de água, são destinados a uma estação de tratamento de efluente, apresentado na figura 3.

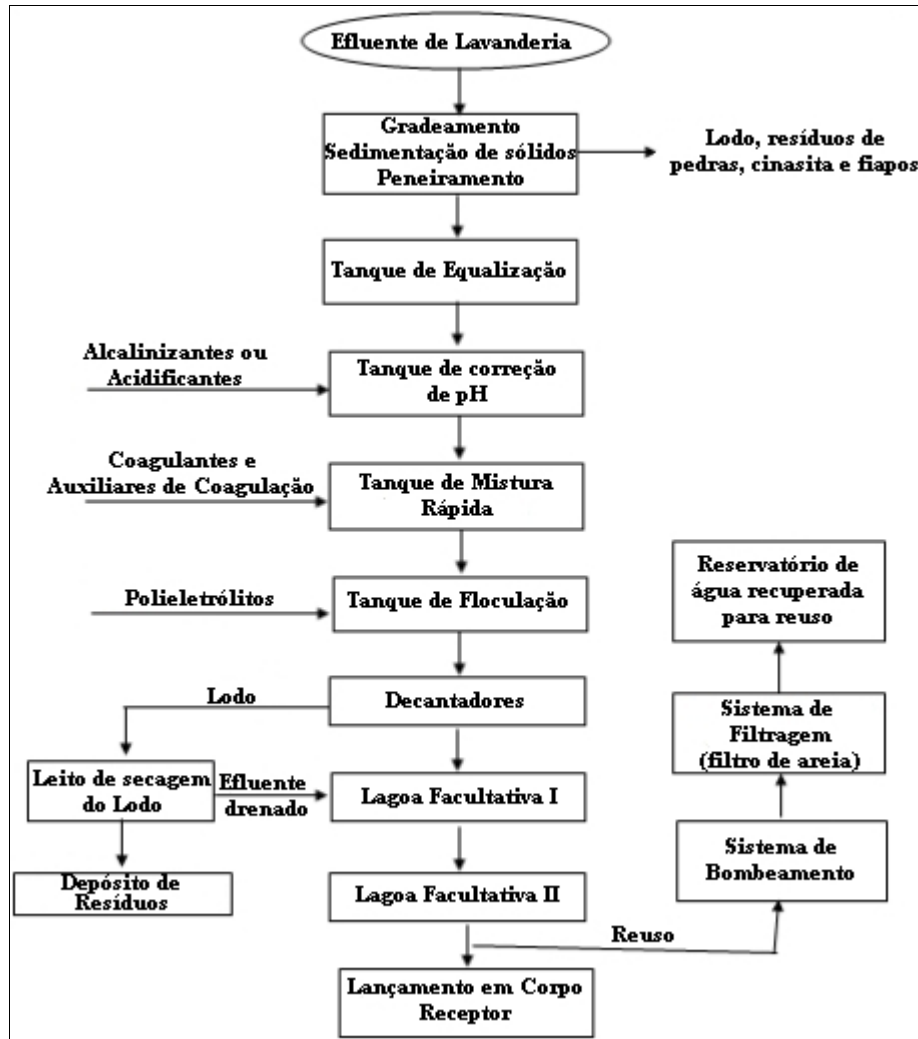


Figura 3 – Fluxograma geral do processo de tratamento do efluente de uma lavanderia industrial têxtil

Fonte: Castro (2010)

Segundo Kunz (2002), os principais processos de tratamento dos efluentes de lavanderias têxteis são os tratamentos fundamentados em processos de coagulação, seguidas de separação por flotação ou sedimentação, apresentam uma elevada eficiência na remoção de material particulado. A remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos mostra-se eficiente. Os processos de adsorção em carvão ativado apresentam uma eficiência significativamente maior, contudo, em função da superfície química do carvão ser positiva, a adsorção de corantes de caráter catiônico é uma limitação bastante importante. Além das desvantagens aqui assinaladas, é importante salientar que todos os processos anteriormente citados correspondem a sistemas não destrutivos. Embora o volume dos resíduos possa ser significativamente diminuído, a disposição final das fases sólidas continua sendo um

problema sem solução. Em função destes inconvenientes, existe certa predileção pela utilização de processos que realmente possam degradar as espécies de interesse.

Os processos biológicos que são utilizados com maior frequência e estão representados pelos sistemas de lodos ativados. Este processo consiste na agitação dos efluentes na presença de microrganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular uma grande parte da matéria orgânica. Infelizmente, o processo apresenta o grande inconveniente de ser bastante susceptível à composição do efluente além de produzir um grande volume de lodo.

Bitencourt (2002) salienta que os sistemas tradicionais utilizados nos tratamentos de efluentes provenientes da indústria têxtil apresentam uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes, porém geram quantidades excessivas de lodo.

Desta forma, encontrar soluções efetivas e seguras para resíduos semissólidos que contém metais pesados é sempre um desafio para as indústrias geradoras, devido em parte, ao custo efetivo das alternativas de tratamento disponíveis (PRIM, 1998).

Os efluentes líquidos gerados passam por uma série de tratamentos físicos, biológicos e químicos, para que o efluente final do tratamento apresente características determinadas pelos órgãos ambientais, para que se possa lançá-los em corpos d'água. Nestas etapas de tratamento do efluente líquido dá-se a formação do lodo (CASTRO, 2010).

### 3.1.1.2 Lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia têxtil

O lodo têxtil gerado na estação de tratamento, decantado e seco, é rico em metais pesados e outros componentes, dentre os quais estão o alumínio, ferro, manganês, titânio, silício, sódio, cálcio, magnésio, fósforo, carbono total, carbono orgânico e cloretos. A poluição por metal pesado é extremamente perigosa pela toxicidade e persistência no ambiente. (PRIM, 1998).

Ao contrário dos poluentes orgânicos, os metais pesados são geralmente refratários e não podem ser degradados ou facilmente desintoxicados biologicamente. Encontrar soluções efetivas e seguras para resíduos semi-sólidos que contém metais pesados é sempre um desafio

para as indústrias geradoras, devido em parte, ao custo efetivo das alternativas de tratamento disponíveis (PRIM, 1998).

## 3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme a norma NBR 10004(2004) da Associação Brasileira de Normas Técnicas

–ABNT:

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

A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem segundo descrito na norma ABNT NBR 10004(2004).

### 3.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

A norma NBR 10004(2004), da ABNT, classifica os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade em função de suas propriedades químicas, físicas ou infectocontagiosas em relação aos seus riscos potenciais ao ambiente, saúde pública quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices. Além da NBR 10004(2004), as normas NBR 10005(2004) - Lixiviação de Resíduos, NBR 10006(2004) - Solubilização de Resíduos, NBR 10007(2004) - Amostragem de Resíduos, também são utilizadas para a padronização desta classificação.

As quantidades dos constituintes encontrados deverão ser comparadas como os valores limites estabelecidos nas listagens de substâncias, relacionadas nos anexos F e G da norma NBR 10004(2004).

Segundo a NBR 10004(2004), os resíduos são classificados em:

a) Classe I – Perigosos: são aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada, ou seja, está relacionado com a periculosidade. Os resíduos perigosos devem apresentar pelo menos uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, ou se apresentarem constantes nos anexos A ou B da NBR 10004(2004). São exemplos os solventes usados, borra ácida de processos de refinis de óleos, resíduos e lodo de tinta de pintura industrial entre outros.

b) Classe II – Não perigosos:

– Classe II A – Não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos de classe I e de classe II-B, podendo ter propriedades como combustividade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

– Classe II B – Inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007(2004), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006(2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G da ABNT NBR 10004(2004).

### 3.2.2 Resíduos Sólidos Industriais

Segundo Rocca (1993) o acelerado processo de industrialização acarretou em um aumento considerável na produção de resíduos sólidos de origem industrial. O trato inadequado dos resíduos sólidos industriais contribuiu de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, principalmente quanto à sua destinação final que constitui tarefa potencialmente poluidora do ambiente.

De acordo com Scheunemann (2005), o aumento elevado da quantidade de resíduos sólidos industriais gerados por alguns setores produtivos tem levado pesquisadores a buscar soluções adequadas, com o intuito de atender as questões técnicas, econômicas, sociais e ambientais. O grande consumo de matérias-primas pelas indústrias brasileiras para os mais diversos usos, associados aos princípios do desenvolvimento sustentável, conduz às pesquisas sobre reciclagem dos materiais descartados pelas indústrias, com a finalidade do seu emprego racional e seguro, em novos produtos ou em reaproveitamento.

No Brasil a concentração dos parques industriais especialmente nas regiões Sul e Sudeste determinam que a maior parte dos resíduos industriais também se encontre localizados nestas regiões (SAMPAIO, 1990). Apesar da recente tendência à descentralização dos parques industriais, a maioria das indústrias ainda se concentra nestas regiões.

De acordo com Canter (2000), os resíduos gerados das atividades industriais produzem numerosos focos de contaminação para as águas subterrâneas, principalmente ligadas ao manejo de resíduos, como as lagoas de tratamento de efluentes, vazamentos de tanques, derrames acidentais, disposição de efluentes e resíduos sobre os solos ou nos cursos de água, injeção de efluentes em poços e partículas nocivas lançadas na atmosfera.

Resíduos industriais são aqueles originados nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalúrgica, química, petroquímica, alimentícia etc. O resíduo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas etc. Sendo classificado como resíduo sólido de classe I, devido a maioria dos resíduos ser considerados tóxicos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Para caracterizar um resíduo sólido industrial, o primeiro passo é saber quais as operações geradoras dos resíduos nas diversas etapas do processamento industrial, pois, dessa forma, pode-se obter informações tais como: produtos utilizados no processo, quantidades, características físicas, químicas e biológicas, entre outras. Estas auxiliarão na caracterização do resíduo final, como em sua classificação e escolha do tipo de tratamento (PRIM, 1998).

O lixo gerado pelas atividades industriais é tecnicamente conhecido como resíduo, e os geradores são responsáveis e obrigados por cuidar de todo o seu gerenciamento. A indústria é responsável por grande quantidade de resíduo, sobras de carvão mineral, refugos da indústria metalúrgica, resíduo químico, gás e fumaça lançados pelas chaminés das fábricas, lodos provenientes de estações industriais e cinzas de caldeiras (CASTRO, 2010).

Rosa (2004) cita que os lodos provenientes de estações de tratamento industriais variam de acordo com o tipo de atividade desenvolvida em cada grupo específico de atividade

industrial. Cada indústria constitui-se num caso distinto, com despejos diferentes, e conseqüentemente, lodos com características distintas. As frações sólidas dos lodos variam com a natureza do efluente tratado (características físicas e químicas), com as quantidades e tipos de aditivos utilizados (durante o processo produtivo e o tratamento do efluente), e com as reações que ocorrem durante o tratamento. Assim, periodicamente, as indústrias devem realizar a classificação dos seus lodos.

O aproveitamento dos rejeitos industriais, como materiais alternativos não é novidade, e tem dado bons resultados em vários países do primeiro mundo. Algumas das principais razões que motivam os países a reciclarem seus rejeitos industriais são os esgotamentos 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 (MENEZES, 2002).

Segundo Giffoni (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 industriais.

### 3.3 TRATAMENTO DO LODO GERADO

#### 3.3.1 Secagem e Desidratação

A secagem tem como objetivo primário diminuir a umidade presente no lodo, como uma consequência do calor aplicado. Na secagem, a taxa na qual ocorre a evaporação do líquido depende da condutividade térmica do resíduo sólido a ser seco e dos pontos de ebulição dos constituintes líquidos voláteis a serem evaporados (LIMA JR, 2001).

A desidratação é a retirada da umidade presente no lodo, pode ser feita por transferência de calor ou secagem por processos físicos, como por exemplo, a prensagem. A secagem assim como outros tratamentos pode resultar na redução do volume, a remoção de compostos voláteis, combustíveis e matéria orgânica volátil.

Entretanto, este tratamento tem como objetivo principal a remoção de água que é o veículo para espalhamento de poluentes que se encontram agregados ao



resíduo sólido. Como tratamento em si, a secagem pouco pode promover a destruição de compostos tóxicos e, somente sob determinadas condições de temperatura e pressão, pode eliminar microrganismo patogênico agregado ao resíduo sólido (BITENCOURT, 2002).

Segundo Kaminata (2008) com o aumento da demanda de produtos industrializados, atualmente, a secagem do lodo gerado no processo industrial tem como principal objetivo, a eliminação máxima da água incorporada no resíduo, reduzindo o custo de transporte para o aterro industrial.

### 3.3.2 Aterro Industrial

Os aterros para resíduos industriais são obras de disposição final, menos onerosa e de tecnologias mais conhecidas no Brasil. Entretanto, deve-se ter em mente que esses aterros não servem para disposição de todos os tipos de resíduos industriais. No Brasil, a concepção dos aterros é determinada para que seus efluentes não atinjam as águas subterrâneas. Isso implica em aterros completamente confinados, ou em aterros completamente drenados.

É fundamental para escolha do tipo de aterro, o conhecimento dos resíduos sólidos a serem dispostos, isto é, sua quantificação, qualificação e periculosidade. Existem os seguintes tipos de aterros industriais: industrial classe I para resíduos perigosos, e industrial classe II para resíduos não perigosos.

Devido a escassez de grandes áreas disponíveis, e uma maior conscientização em relação à questão ambiental, o sistema de aterro deve ser usado para complementar as soluções de tratamento de resíduos sólidos industriais, devendo ser preferencialmente usado quando os resíduos não puderem ter seu volume mais reduzido, podendo constituir muitas vezes a única solução de disposição final para alguns tipos de resíduos (D'ALMEIDA e VILHENA, 2000).

### 3.3.3 Incineração

“A Incineração é um método de tratamento recomendado para resíduos perigosos que não podem ser reciclados, reduzidos ou dispostos de maneira segura em um aterro. É um processo de oxidação térmica, no qual os resíduos perigosos são convertidos através do oxigênio presente no ar, em gases e resíduos sólidos incombustíveis. Portanto, este método de tratamento incorpora processos tais como redução de volume e massa, destoxificação, inertização do resíduo e recuperação de energia” (VISVANATHAN, 1996).

O processo de incineração de um resíduo perigoso ocorre em atmosfera oxidante, e temperatura geralmente superior a 900 °C. Normalmente, o calor requerido para a incineração é oriundo da oxidação das ligações orgânicas de carbono e hidrogênio que existem no interior do resíduo ou combustível, desta forma ocorrem reações com o oxigênio, gerando gás carbônico, água e calor. A incineração é eficiente com resíduos orgânicos, contudo não é capaz de destruir compostos inorgânicos e metais agregados a resíduos sólidos (VISVANATHAN, 1996).

Conforme Rocca *et al.* (1993), os tipos de resíduos que apresentam maior potencial, no que diz respeito a adequabilidade ao processo de incineração, incluem os resíduos orgânicos constituídos basicamente de carbono, hidrogênio e/ou oxigênio; resíduos que contém carbono, hidrogênio, cloro com teor inferior a 30% em peso e resíduos que possuam seu poder calorífico inferior (PCI) maior que 4.700 kcal/kg.

A incineração de resíduos contendo enxofre, flúor, cloro, bromo e iodo, resulta num efluente gasoso, cuja composição são encontrados estes poluentes. A forma mais comum de eliminá-los é fazer com que os gases da combustão passem através de uma torre, onde são lavados em contracorrente. O efluente líquido resultante é recolhido na parte inferior da torre e deve ser tratado para posterior descarte adequado (ROSA, 2004).

As vantagens dessa forma de tratamento é que destrói totalmente a parcela orgânica dos resíduos, as emissões atmosféricas são totalmente controladas e a flexibilidade na forma de recebimento dos resíduos (tambores, bombonas, caixas, fardos, sacos e big bags).

#### 3.3.4 *Landfarming*

São processos de tratamento de resíduos que, por meio de propriedades físicas e químicas do solo, e da intensa atividade microbiana existente neste meio, promovem a biodegradação, a desintoxicação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados, minimizando os riscos de contaminação ambiental (ROCCA *et al.*, 1993).

Além disso, muitos processos bioquímicos acontecem no *landfarming*, resultando na conversão de carbono a dióxido de carbono. O carbono remanescente é incorporado à massa celular e fixado ao solo como matéria orgânica natural melhorando assim, a sua estrutura e fertilização (AMARAL, 1986).

O autor salienta, que em relação às substâncias não biodegradáveis tais como metais pesados, sais e areia, o *landfarming* age apenas como acumulador. Nesse caso, se a célula vier a ficar saturada dessas substâncias, deve-se raspar a camada reativa (15-20 cm) e enviá-la para um aterro industrial.

Marins e Mollica (1988) constataram em seu estudo sobre biodegradação de borras oleosas no solo, a importância da caracterização prévia quanto à fertilidade e condições físicas do solo receptor e dos teores de metais encontrados nas borras, pois segundo os pesquisadores os metais pesados presentes em concentrações inadequadas, atuam a nível enzimático inibindo o metabolismo microbiano, resultando na não utilização do óleo como fonte de carbono pelos microrganismos, e, por conseguinte a permanência do óleo no solo sem que ocorra a degradação desejada.

### 3.3.5 Compostagem

É um processo de degradação aeróbia, na qual o material orgânico se decompõe e/ou se transforma sob a ação de microrganismos. Esse processo produz dióxido de carbono e água, além de um produto orgânico estável, rico em compostos húmicos. Quando o material orgânico do lodo se decompõe, o processo de compostagem eleva a temperatura para uma faixa de 50-70 °C, e a maioria dos microrganismos patogênicos são destruídos. Após a compostagem, o lodo pode ser usado como condicionador do solo, aplicado na agricultura ou horticultura, ou para outra disposição final, dependendo é claro da sua classificação (SANEPAR, 1999).

Os microrganismos aeróbios, que utilizam oxigênio, alimentam-se da matéria orgânica e desenvolvem tecidos celulares através do nitrogênio, fósforo, carbono e outros nutrientes

essenciais. A maior parte do carbono serve como fonte de energia aos microrganismos e é liberada (através da respiração), sob a forma de dióxido de carbono. O carbono orgânico pode ter funções de fonte de energia e carbono celular, logo é sempre requerido mais carbono do que nitrogênio (ROSA, 2004).

### 3.3.6 Solidificação/Estabilização

A solidificação é uma forma de pré-tratamento que gera uma massa sólida monolítica de resíduo tratado, melhorando tanto a sua integridade estrutural, quanto a sua característica física, tornando assim mais fácil o seu manuseio e transporte. A estabilização, por sua vez consiste em um estágio de pré-tratamento por meio do qual os constituintes perigosos de um resíduo são transformados e mantidos nas suas formas menos solúveis ou menos tóxicas. Tais transformações se dão por meio de reações químicas que fixam elementos ou compostos tóxicos, em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis. Quanto às características físicas do resíduo, estas podem ou não ser alteradas e melhoradas (CETESB, 1993).

A solidificação/estabilização tem como objetivos, melhorar as características físicas e de manuseio dos resíduos, diminuir a área superficial por meio da qual possa ocorrer a transferência ou perda de poluentes, limitar a solubilidade ou desintoxicar quaisquer constituintes perigosos contidos no resíduo (CETESB, 1993).

As tecnologias de solidificação e estabilização têm sido utilizadas há décadas como etapa final de tratamento anterior à disposição final de rejeitos industriais. O processo de solidificação traduz-se numa alteração da forma física do rejeito, de modo a restringir sua dissolução em soluções aquosas, numa adequação às condições ambientais de descarte. A estabilização diz respeito ao processo de geração de espécies quimicamente mais estáveis sob ação do intemperismo, a partir dos constituintes do rejeito, resultando de modo geral em cargas ambientalmente mais aceitáveis (XISTOQUÍMICA, 2002).

Segundo Barth e Percin (1990) os processos de solidificação e estabilização são divididos em dois grupos: inorgânicos e orgânicos. Os processos inorgânicos com cimento e

pozolanas têm sido utilizados com mais frequência, no qual os resíduos reagem com o agente aglomerante. Os processos orgânicos com termoplásticos, polímeros orgânicos têm sido aplicados para resíduos específicos.

Os agentes utilizados são cimento portland, cinzas de fornos de calcinação, óxidos, cal, calcário, cinzas finas, *Flyash*, misturas destes materiais e aglutinantes orgânicos como, asfalto, plásticos termocurados e borracha. O agente aglutinante é misturado ao resíduo na razão que varia de 1:10 a 1:2 e o produto final pode ser uma massa sólida de qualquer tamanho ou granular com consistência semelhante ao solo. Este produto pode ser embalado em galões ou containers, ou em moldes para ser dispostos em área protegida, valas, células ou ainda, ser reutilizado como material para construção desde que aprovado pela legislação (ROCCA *et al.*, 1993).

Segundo Nemerow (1991) existem diversas utilizações para os resíduos fixados em uma base, por exemplo, lodos tóxicos com substâncias combustíveis podem ser misturados a argila para formar briquetes ou blocos, e posteriormente serem queimados em fornos e caldeiras possibilitando economia de energia e reservas naturais de combustíveis, como petróleo. Os metais incorporados aos briquetes não apresentam teores superiores aos estabelecidos pela legislação

Outros materiais aglutinantes são utilizados como termoplásticos, polímeros orgânicos que oferecem dentre outras vantagens reduzida lixiviação, menor volume, porém exigem equipamentos e mão de obra especializada representando custos mais elevados. Os processos de vitrificação e produção de minerais sintéticos ou cerâmicos oferecem alta contenção do resíduo, porém com grande consumo de energia, pois a temperatura deve atingir 1350 °C, exigindo mão de obra e equipamentos específicos, (ROCCA *et al.*, 1993).

Os compósitos tem sido uma alternativa para a incorporação de resíduos, por exemplo, de biomassa. Se tratam de materiais heterogêneos, multifásicos, poliméricos ou não, no qual um dos componentes, descontínuo, é o responsável pela resistência do material (componente estrutural) e o outro, contínuo, é o meio de transferência desta resistência (ROCCA *et al.*, 1993).

### 3.4 ARGILA CERÂMICA

A principal matéria-prima utilizada na cerâmica vermelha é a argila. Trata-se de um material natural, de estrutura terrosa e de textura fina que adquire, quando umedecida, certo grau de plasticidade, suficiente para ser moldada. Esta característica é perdida temporariamente pela secagem, e permanentemente pela queima, quando o produto adquire resistência mecânica (MINEROPAR, 2000).

Segundo Santos (1989) a argila é essencialmente formada por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio. De acordo com a escala sedimentológica de Attenberg e granulométrica de Wentwork a argila corresponde ao conjunto de partículas do solo cujas dimensões se encontram entre uma faixa especificada de valores inferiores a 2  $\mu\text{m}$ , segundo as escalas de Attenberg e Wentwork, respectivamente.

Do ponto de vista mineralógico, as argilas são constituídas predominantemente de argilominerais filossilicatos, e seus tipos mais comuns são formados de folhas tetraédricas de silício e octaédricas de alumínio, e com menor frequência, formadas com magnésio e ou ferro. Constituem unidades estruturais na proporção 1:1 ou 2:1 (KAMINATA, 2008).

Além do arranjo estrutural, o espaçamento basal dessas unidades tipifica os argilominerais dos diversos agrupamentos, destacando-se os grupos da caulinita, illita e esmectita, como os mais importantes do ponto de vista cerâmico. Juntamente com as partículas de argilominerais ocorrem outros minerais, geralmente nas frações silte com partículas entre 2  $\mu\text{m}$  e 0,62 mm, e areia fina com partícula acima de 0,62 mm. Nessas granulometrias maiores, o mineral mais comum é o quartzo, seguido de micas, feldspatos e minerais opacos (KAMINATA, 2008).

Os argilominerais são responsáveis pelo desenvolvimento da plasticidade que as argilas apresentam quando misturadas com uma quantidade conveniente de água. A plasticidade é uma importante propriedade tecnológica que possibilita o emprego de diversas técnicas de conformação, permitindo a obtenção de peças com formas geométricas das mais variadas, com a resistência mecânica adequada para seu manuseio. Esta é uma das razões para o emprego de argilas em diversos segmentos cerâmicos como os de revestimento, cerâmica vermelha, cerâmica branca, refratários, e outras (MOTTA, 2001).

Segundo Santos (1989) entende-se por plasticidade, de modo amplo, como a propriedade do material úmido ficar deformado (sem romper) pela aplicação de uma tensão, sendo que a deformação permanece quando a tensão aplicada é retirada.

Limite de liquidez é o teor, em água, acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido. A passagem do estado sólido para o estado líquido ocorre de forma gradativa (SANTOS, 1989).

O índice de plasticidade avalia a faixa de trabalhabilidade das argilas (estado plástico, a argila se apresenta trabalhável; estado líquido, não há mais resistência e trabalhabilidade alguma; estado semissólido, a argila sofre variação de volume com mudança da umidade, apresentando difícil trabalhabilidade) sendo determinado simplesmente pela diferença aritmética entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP).

As características da argila dependem da sua formação geológica e da localização da extração (MINEROPAR, 2009).

Os materiais argilosos utilizados na indústria de cerâmica vermelha são comercialmente e vulgarmente denominados de “barro” são também conhecidos como barro gordo, quando rico em substâncias argilosas de elevada plasticidade, ou barro magro, quando o material argiloso contém certa quantidade de silte e areia fina dando um contato áspero ao tato. As argilas nunca ocorrem puras na natureza, mas sim, misturadas com outras substâncias que condicionam e/ou determinam suas características. As argilas assim constituídas podem ser denominadas de argilas industriais (MINEROPAR, 2000).

#### 3.4.1 Incorporação do Lodo em Argila Cerâmica

Diversos estudos para o reaproveitamento de resíduos industriais na indústria cerâmica, sobretudo para a fabricação de tijolos, já foram realizados com sucesso, podendo-se citar a utilização de lodos de Estações de Tratamento de Efluentes, cinzas de usinas termoelétricas, areias de fundição, refugos de mineração, escórias de fornos, resíduos de serragem de granito, entre outros (USEPA, 2003).

Segundo Weng (2003) a técnica de utilização de lodo têxtil, 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.

Herek (2005) estudou o processo de solidificação/estabilização do lodo de indústria têxtil em material cerâmica, visando à fabricação de blocos de vedação para uso em construção civil. Verificou a resistência mecânica, a absorção de água

e lixiviação das amostras após a queima em forno de indústria cerâmico em proporções de 0, 10 e 20 % de lodo seco na massa de argila. Obtendo bons resultados no teste de resistência à compressão e absorção de água em blocos com 10 % de lodo incorporado na matriz argila. A análise do extrato lixiviado mostrou que houve a retenção dos metais contidos no lodo, avaliados conforme o anexo F da norma NBR 10004(2004).

A pesquisa de Kaminata (2008) objetivou estudar uma alternativa para o reaproveitamento do lodo produzido no tratamento dos efluentes das indústrias de lavanderias têxteis por meio de incorporação à massa de argila para fabricação de blocos cerâmicos de vedação, utilizados na construção civil. A qualidade dos blocos produzidos em escala reduzida foi avaliada por meio de ensaios de resistência à compressão, absorção de água, capacidade de retenção de metais pesados, medida por meio de ensaios de lixiviação e solubilização. Constatou-se que é possível incorporar até 15% de lodo na fabricação dos blocos cerâmicos, sem perda de suas qualidades essenciais.

Conforme Kaminata (2008), na prática, o excesso de umidade na massa tende a provocar redução na qualidade durante a produção dos blocos, isto é, há uma formação de “escamas superficiais”, além de aumentar a flacidez nas peças pelo fato da massa ser mais pastosa e menos coesa, como ilustra a figura 4. A flacidez das peças conformadas após extrusão tem como consequência a deformação geométrica e empenamento dos blocos produzidos, decorrente do próprio peso, por conta da ausência de rigidez estrutural, ocorrendo principalmente durante o manuseio e transporte para secagem.





**Figura 4 – Bloco cerâmico com formação de ‘escamas superficiais’**

**Fonte: Autor**

Almeida (2009) avaliou a incorporação do lodo têxtil em 5 tipos de argilas, encontradas na região norte do Paraná, e realizou-se uma análise qualitativa dos blocos cerâmicos, com composição de 15% de lodo têxtil, em função de suas características, estabelecidas nas normas ABNT NBR 15270-1(2005) e ABNT NBR 15270-3(2005) da ABNT. Foram fabricados blocos em escala reduzida que foram submetidos a testes de resistência à compressão, lixiviação, solubilização e absorção de água, de acordo com as respectivas normas brasileiras.

O tipo de argila influenciou as características mecânicas dos blocos cerâmicos e estes apresentaram menor resistência mecânica. Foi verificado nas condições estudadas que os blocos cerâmicos apresentaram lixiviação e solubilização dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas. Assim, o processo de solidificação/estabilização foi capaz de imobilizar de forma eficaz, os metais presentes no lodo têxtil, mostrando-se como um promissor processo de minimização de impactos ambientais.

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para o desenvolvimento do trabalho foi realizada conforme o fluxograma apresentado na figura 5.

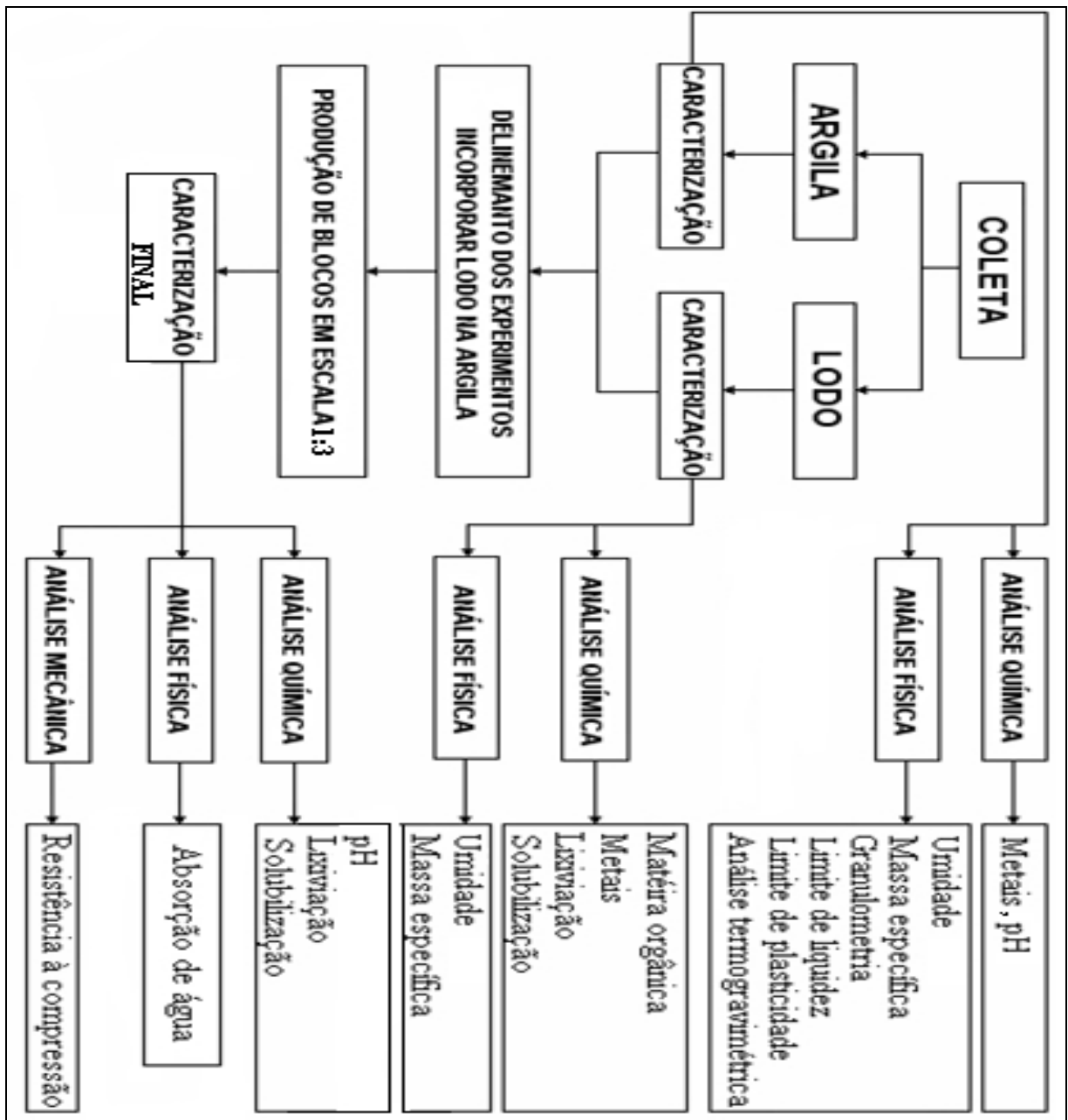


Figura 5 – Metodologia do trabalho

Fonte: Auto

## 4.1 COLETA E CARACTERIZAÇÃO

### 4.1.1 Coleta e Caracterização do Lodo

O lodo utilizado foi proveniente de uma lavanderia industrial da região de Maringá-PR, que utiliza o método de lodo ativado para tratar seus efluentes. Esses resíduos são derivados do processo de tratamento de efluentes das lavanderias industriais, apresentando uma consistência pastosa, ao ser retirado na fase de decantação (tratamento primário).

O lodo utilizado foi coletado no leito de secagem da lavanderia industrial têxtil, apresentado na figura 6, armazenado em tambores de polietileno, com tampa de fecho hermético e capacidade de 100 Kg de amostra.



**Figura 6 – Lodo em processo de secagem na indústria de lavanderia têxtil  
Autor: Almeida (2009)**

A caracterização do lodo foi realizada por meio da determinação das seguintes características: teor de umidade e matéria orgânica total, massa específica, pH, concentração de metais e características tóxicas.

Os métodos adotados para cada experimento foram os seguintes: Método Kiehl (1985), para determinação de umidade e matéria orgânica total; método do picnômetro,

recomendado por Kiehl (1985), para determinação da massa específica; Método Eletrométrico, constante no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, recomendado por APHA (2005), para determinação do pH; digestão em forno tipo mufla (MDU) com solubilização da cinza residual com ácido nítrico, para determinação de metais de acordo com MELO (2007); Método Espectrofotométrico de Absorção Atômica, para leitura e quantificação dos metais presentes no extrato da digestão ácida do lodo e dos extratos lixiviados e solubilizados.

#### 4.1.2 Coleta e Caracterização da Argila

A argila cerâmica utilizada neste trabalho foi extraída da jazida formada por sedimentação aluvial, localizada próximo às margens do rio Ivaí no Município de Paranapoema-PR, apresenta características variadas conforme profundidade que se encontra. No entanto, para a homogeneização, tem-se adotado a mistura, durante a própria extração, de forma que a escavação é realizada abrangendo todas as camadas heterogêneas constituintes da jazida.

O contínuo processo de mistura durante o transporte para o depósito a céu aberto, localizado próximo à fábrica, onde a escavadeira mecânica fez o trabalho de homogeneização, revolvendo o material para que se manteve menos adensado e mais arejado. O estoque de material homogeneizado foi conservado nesse estado durante oito anos, sofrendo processo de degradação e estabilização da matéria orgânica, adquirindo assim mais plasticidade, tornando-o mais coeso e pronto para utilização. Desse material estabilizado, denominado argila cerâmica, foram coletados 2000 Kg de um mesmo lote e embalados em recipientes de 50 kg cada. A coleta única teve como finalidade, manter a representatividade da amostragem, uniformizando a matéria-prima. A figura 7 apresenta o local onde foi extraída a argila cerâmica.



**Figura 7 – Local de extração da argila (barranco do Rio Ivaí) e local de depósito da argila para uso industrial.**

**Fonte: Autor**

A argila coletada foi utilizada como padrão, para as diversas formulações de resíduo/argila, adotadas nos ensaios.

A argila utilizada como matriz sólida para a incorporação do resíduo têxtil foi caracterizada quanto aos seguintes parâmetros: teor de umidade e matéria orgânica total, pH, análise granulométrica (NBR 7181(1984)), limite de plasticidade (NBR 7180(1984)), limite de liquidez (NBR 6459(1984)), índice de plasticidade (NBR 7180(1984)) e massa específica. A análise granulométrica das argilas foi realizada segundo os procedimentos recomendados na norma NBR 7181(1984) – Solo – Análise Granulométrica, da ABNT.

O limite de plasticidade (LP) das argilas foi determinado segundo os procedimentos recomendados pela norma NBR 7180(1984) da ABNT.

O limite de liquidez (LL) das argilas foi determinado segundo os procedimentos recomendados pela norma NBR 6459(1984) da ABNT.

A Equação é utilizada para a determinação do índice de plasticidade:

$$IP(\%) = LL - LP \quad (1)$$

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

## 4.2 DELINEAMENTO

A argila e o resíduo foram triturados em moinho de barras cilíndrico, passando em seguida pela peneira 10 com malha de 2,5 mm, para posterior mistura, em porcentagem de massa seca, e homogeneização. O peneiramento foi necessário para que partículas sólidas não obstruíssem a boquilha da extrusora, comprometendo a qualidade dos blocos.

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 uma extrusora do laboratório.

Após a confecção, os blocos cerâmicos foram secos à temperatura ambiente e em local fechado e ventilado, durante 7 dias, para evaporação da água absorvida. Após a secagem foram queimados no forno de uma cerâmica localizada na cidade de Floresta – PR, a 850°C durante 72 horas, garantindo as condições de queima de um processo industrial.

O resfriamento dos blocos ocorreu de forma natural por cinco dias, até alcançar a temperatura ambiente para o recolhimento do material pronto para análise.

Os ensaios de resistência a compressão e absorção de água foram realizados conforme procedimento descrito na norma NBR 15270-3(2005) da ABNT.

A caracterização dos blocos cerâmicos referentes às análises de metais (ANEXO C) foi feita por meio da determinação de suas características tóxicas, relacionadas aos procedimentos de lixiviação e solubilização, com base nas normas NBR 10005(2004) e NBR 10006(2004), (ANEXO D e E), respectivamente.

Com os procedimentos da norma, foram obtidos os extratos lixiviado e solubilizado dos blocos cerâmicos, depois do processamento de queima. Os valores dos elementos químicos encontrados nos blocos cerâmicos incorporados com o lodo têxtil foram comparados com valores dos anexos F e G da norma NBR 10004(2004) da ABNT, que se encontram nos anexos I e J.

### 4.3 PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3

#### 4.3.1 Preparação e Mistura de Lodo com Argila

As quantidades em peso de 5, 10, 15, 20,25 e 30% de lodo seco e peneirado a serem incorporados na matriz argila, foram calculadas considerando a massa seca de ambos os materiais.

Foram produzidas diversas porções de 10 Kg de massa representativa, em cada proporção lodo/argila, conforme demonstra a figura 8 e tabela 1. No procedimento realizado, os componentes formavam uma mistura homogênea, misturados manualmente.



**Figura 8 – Mistura do lodo com argila para produção dos blocos cerâmicos.**

**Fonte: Autor**

**Tabela 1 - Quantidade de lodo e argila para mistura da massa cerâmica**

<b>Referência (%)</b>	<b>Lodo (Kg)</b>	<b>Argila (Kg)</b>
Controle	0,0	10,0
5	0,5	9,5
10	1,0	9,0
15	1,5	8,5
20	2,0	8,0
15	2,5	7,5
30	3,0	7,0

**Fonte: Autor**

Após a mistura, a massa seca foi transferida para um recipiente para ser realizado seu umedecimento até a formação de massa pastosa, com plasticidade adequada para moldagem, adicionando água de maneira gradativa, evitando o excesso, apresentado na figura 9.

**Figura 9 – Mistura de lodo e argila com adição de água, para formação de massa pastosa.****Fonte: Autor**

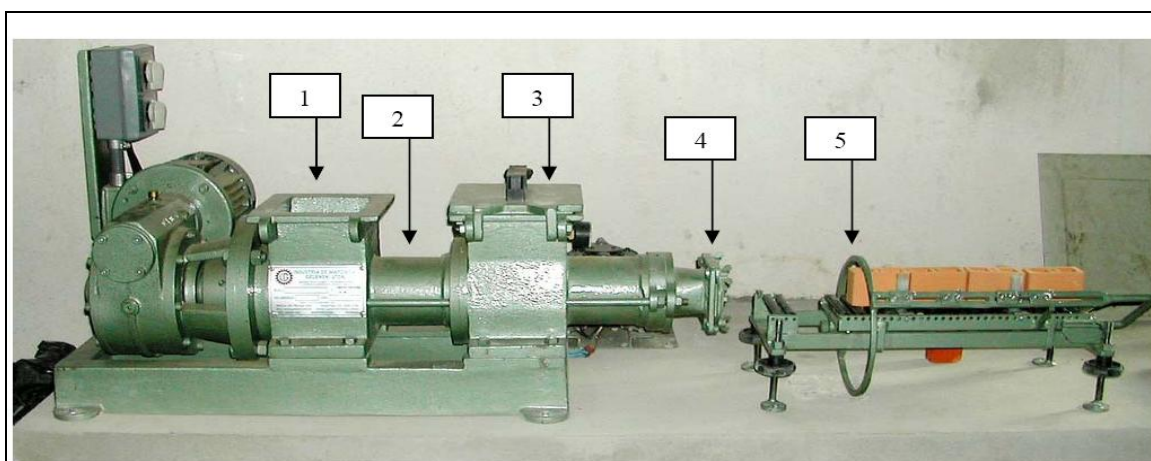


Os blocos cerâmicos em escala reduzida foram confeccionados em um terço do tamanho real, utilizando formulação com lodo têxtil, em massa seca, na massa de argila cerâmica. Além destes, foram produzidos blocos controle, fabricados somente com argila cerâmica.

A fase experimental dos testes em blocos cerâmicos, na escala reduzida, teve como finalidade o estudo do comportamento preliminar quanto aos parâmetros físicos, químicos e mecânicos, utilizando a melhor proporção de mistura entre lodo e argila.

#### 4.3.2 Fabricação dos Blocos

A qualidade dos blocos cerâmicos depende, essencialmente, da operação da extrusora, conforme a figura 10. A extrusora de laboratório é equipada com caixa alimentadora (1), adensador (2), câmara de vácuo (3), boquilha (4) e mesa de corte (5). Durante a operação para fabricação de blocos cerâmicos, foram necessárias precauções operacionais, visando maximizar a qualidade das amostras produzidas na extrusora de laboratório.



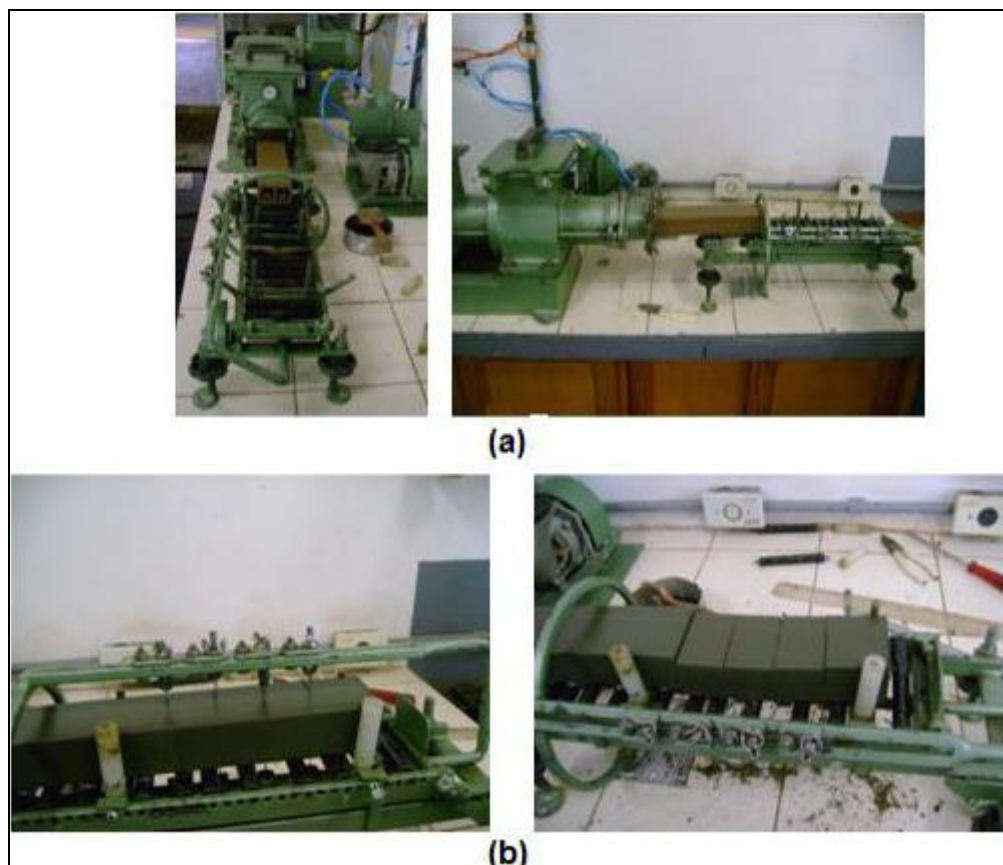
**Figura 10 – Extrusora de laboratório utilizada na fabricação dos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3**

**Fonte: Kaminata (2008)**

A massa utilizada para fabricação dos blocos cerâmicos utilizando a extrusora conhecida também como “maromba” passou por processo de adensamento. Durante a produção, a extrusora foi abastecida de forma contínua, evitando com esse procedimento, a formação de blocos defeituosos.

A extrusão ocorre durante a passagem da massa, sob alta pressão pela boquilha (4), tal que, a massa saia no formato desejado para a peça. Boquilha é a peça em aço feita no formato e dimensão do perfil do bloco de vedação que é instalada na saída da extrusora para moldagem da massa.

A mesa de corte com roletes (5), adaptado na saída da extrusora, é equipada com cortador do tipo fio metálico, acoplado no volante, cujo movimento é da esquerda para direita ou de cima para baixo e vice-versa, com controle manual, executando o corte da barra de bloco saindo da boquilha, na medida prevista na norma NBR 15270-1(2005), apresentado na figura 11.



**Figura 11 - Produção dos blocos cerâmicos. Extrusão da massa cerâmica (a) e corte da massa cerâmica (b)**

**Fonte: Almeida (2009)**

Durante o transporte dos blocos “frescos”, foram tomadas precauções quanto ao seu manuseio e sua disposição para secagem no galpão, uma vez que esses blocos ainda moles poderiam sofrer deformações. A deformação geométrica poderia ser provocada pelo peso próprio, ou pelo empilhamento desordenado das peças na prateleira de secagem.

#### 4.3.3 Processo de Secagem dos Blocos Cerâmicos

Após a confecção, os blocos cerâmicos foram secos dentro do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá (UEM) em temperatura ambiente em local fechado e ventilado, durante 7 dias, para evaporação da água absorvida, conforme a figura 12.



**Figura 12 - Secagem dos blocos cerâmicos produzidos após confecção**

**Fonte: Autor**

A extrusora de laboratório manteve temperaturas de trabalho entre 40°C e 60°C, devido ao atrito interno, produzido pela passagem da massa úmida, que ao ser pressionada para extrusão, causava o aquecimento dos blocos durante a produção. Esses blocos recém produzidos não foram expostos à ambiente com forte ventilação ou insolação, evitando com essa medida, o surgimento de fissuras superficiais.

A secagem dos blocos foi realizada de forma lenta em ambiente fechado, a princípio com pouca circulação de ar, e dessa forma, a massa constituinte dos blocos teve retração lenta, mantendo-os intactos e isentos de trincas ou fissuras. Por conta do baixo gradiente de umidade e temperatura, a evaporação foi gradativa, conseqüentemente as amostras dos blocos ficaram prontas para queima.

#### 4.3.4 Queima dos Blocos Cerâmicos

Depois da secagem dos blocos, vem o processo de queima, que também exige cuidado, podendo ocorrer nessa etapa, perda total do lote de uma fornada. Para evitar esse prejuízo, há necessidade de controle no tempo de queima, temperatura, controle de ventilação

interna do forno, tipo de combustível para a queima, controle da temperatura durante a queima e finalmente o resfriamento controlado dos blocos ainda no forno.

Os blocos foram queimados em forno industrial de uma cerâmica localizada na cidade de Floresta - PR, a 850°C durante 72 horas, garantindo as condições de queima de um processo industrial.

Nesse processo, observaram-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.

O forno utilizado para queima foi do tipo Hoffmam, com formato cilíndrico medindo seis metros de diâmetro interno e cobertura em forma de abóbada, com paredes de um metro de espessura, com três metros de altura e duas portas para abastecimento ou retirada de blocos cerâmicos, adaptados com duas janelas para queima. O forno tem capacidade para queimar 30000 blocos cerâmicos por carregamento, apresentado na figura 13.



**Figura 13 - Forno da indústria cerâmica para queima dos blocos**

**Fonte: Almeida (2009)**

O resfriamento dos blocos ocorreu de forma natural por cinco dias, até alcançar a temperatura ambiente para o recolhimento do material pronto para análise.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO FINAL DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALAREDUZIDA 1:3

##### 4.4.1 Caracterização Mecânica dos Blocos

A caracterização mecânica dos blocos cerâmicos foi realizada por meio do ensaio de resistência a compressão, conforme procedimentos descritos na norma NBR 15270-3(2005) Anexo C da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Os blocos ensaiados foram identificados, limpos e retirados as rebarbas. Utilizou-se para esse ensaio, 20 amostras de blocos com incorporação de lodo, e blocos cerâmicos controle, produzidos apenas com argila, observando recomendações da norma.

Para o ensaio de resistência a compressão axial, foi utilizada uma prensa de modelo EMIC PCE 100C com capacidade para 20.000 Kg, provida de dispositivo que assegurou a distribuição uniforme dos esforços nas amostras ensaiadas e transmitiu a carga de modo progressivo e sem choques, conforme figura 14.

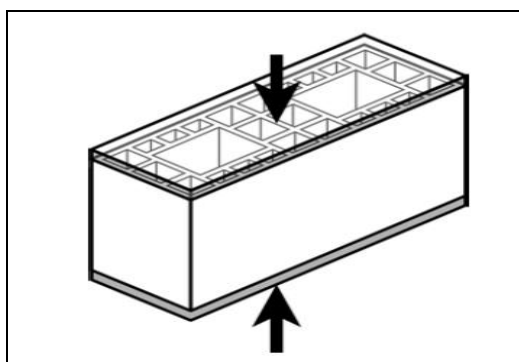


**Figura 14 - Teste de resistência mecânica a compressão**

**Fonte: Autor**

O procedimento para o ensaio de resistência mecânica consistiu em medir a largura (L), altura (H) e o comprimento (C) dos blocos cerâmicos para determinação da área de

assentamento de cada peça. Em seguida foi efetuado o capeamento com espessura de dois milímetros nas faces opostas destinadas ao assentamento. O capeamento tem como finalidade regularizar as faces de assentamento para distribuição dos esforços aplicados pela prensa em toda a área envolvida, e para isso, foi utilizado enxofre aquecido em forma líquida. Feito a regularização, retirou-se com espátulas o excesso de enxofre existente, obtendo-se, assim, um bloco cerâmico com duas faces de trabalho devidamente regularizadas e paralelas, apresentado na figura 15.



**Figura 15 - Compressão do bloco cerâmico para ensaio de resistência mecânica**

**Fonte: ABNT NBR 15270-3(2005)**

Após o endurecimento das camadas do capeamento, imergiram-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. Os comandos da prensa foram regulados 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.

A resistência a compressão expressa em megapascals (MPa) de cada bloco cerâmico, foi obtida dividindo-se a carga máxima, expressa em Newtons, observada durante o ensaio, pela média das áreas brutas das duas faces de trabalho de cada bloco, expressa em milímetros quadrados.

#### 4.4.2 Caracterização Física dos Blocos

A caracterização física dos blocos cerâmicos foi realizada por meio dos ensaios de absorção de água de acordo com procedimento descrito pela norma NBR 15270-3(2005) da ABNT.

#### 4.4.3 Ensaios de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi realizado seguindo procedimento recomendado pela norma NBR 15270-3(2005), Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - métodos de ensaio, ANEXO B da ABNT.

Para a realização deste ensaio, utilizou-se uma estufa marca Quimis que manteve temperatura entre  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  e uma balança de marca Gerraka modelo 2000 com sensibilidade de 1,0 grama.

Os blocos foram limpos e identificados, com as rebarbas (pó e outras partículas soltas) retiradas e colocadas em ambiente protegido, para que se preservassem suas características originais.

Em seguida, os blocos foram submetidos à secagem em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$ , até a estabilização do peso, expresso em gramas. Os blocos foram retirados da estufa e pesados imediatamente, obtendo-se a massa seca.

Após a determinação da massa seca ( $m_s$ ), os blocos foram colocados em um recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos durante 24 horas. Após esse período, os blocos foram removidos e colocados em bancada para permitir o escoamento do excesso de água conforme a figura 16.





**Figura 16 - Blocos mergulhados no recipiente preenchido com água e blocos na bancada para escoamento do excesso de água**

**Fonte: Autor**

A água remanescente foi removida com auxílio de um pano limpo e úmido. De acordo com a norma, o tempo decorrido entre a remoção do excesso de água na superfície e o término das pesagens não deve ser superior a 15 minutos. A massa úmida ( $m_u$ ), expressa em gramas, foi determinada pela pesagem de cada bloco cerâmico saturado. O índice de absorção de água (AA) foi determinado pela Equação 2:

$$AA(\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Em que,

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

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

#### 4.4.4 Caracterização Química dos Blocos

A caracterização química dos blocos cerâmicos foi realizada por meio das análises dos extratos lixiviados e solubilizados, de acordo com os procedimentos descritos na norma NBR 10004(2004).

Os ensaios de lixiviação e solubilização visam a simular o comportamento do bloco cerâmico, submetido a uma situação crítica de utilização. Paredes de alvenaria sem revestimento ou mesmo, fragmentos de blocos após uma demolição de parede, podem ficar expostos à lavagem por água de chuva, o que poderia provocar a contaminação do solo e do lençol freático, com o processo de infiltração de elementos tóxicos incorporados na massa cerâmica.

Os ensaios de lixiviação (NBR 10005(2004)) e solubilização (NBR 10006(2004)) permitem classificar segundo os anexos da NBR 10004(2004) os blocos cerâmicos em função de sua periculosidade, semelhante ao procedimento utilizado com o lodo, com as suas respectivas leituras pelo método de Espectrofotometria de Absorção Atômica (Métodos Chama, Gerador de Hidretos e Forno Grafite).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ARGILA

A caracterização da argila é necessária para manter a qualidade do produto final, bem como para ter controle do processo. Os resultados desta caracterização são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2 - Caracterização da argila**

(continua)

<b>Parâmetros</b>	<b>Argila</b>
Aspecto	Seco
pH	4,81
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,62
Matéria Orgânica Total (%)	5,33
Umidade (%)	4,46
<b>Metais</b>	<b>(mg/Kg)</b>
Alumínio	6.435,00
Arsênio	n.d
Bário	2.835,90
Cádmio	5,40
Chumbo	61,20
Cobre	196,20
Cromo	n.d
Ferro	2.486,70
Manganês	63,00
Mercurio	0,58
Prata	0,90

(conclusão)	
Metais	(mg/Kg)
Selênio	n.d
Sódio	14.845,50
Zinco	40,50

n.d.: valor não detectado pelo aparelho

**Fonte: Autor**

A argila apresentou aspecto seco, com umidade pouco significativa em relação a sua massa.

O pH da argila teve valor de 4,81, o qual, segundo Thomas (1996) indica a presença de alumínio trivalente em solos minerais e até em certos solos orgânicos.

Quanto aos metais presentes na argila, os que obtiveram resultados mais significativos foram o alumínio, sódio e ferro e sódio.

De acordo com a literatura a presença de metais na argila afeta diretamente as características física e química do material cerâmico que será fabricado.

Segundo Leite (2000) o ferro pode estar presente, na argila, tanto sob a forma de óxidos isolados, quanto na forma de substituições iofórmicas na rede cristalina. E a presença na estrutura da argila leva à diminuição da estabilidade térmica.

Geralmente o alumínio está presente na argila sob a forma de óxidos e de acordo com Vieira (2003), o alto teor de alumínio ( $Al_2O_3$ ), tende a aumentar a refratariedade da massa, aumentando a temperatura de queima das argilas, tendo seu ponto de fusão a 2050°C.

Conforme Kaminata (2008), os óxidos de ferro ( $Fe_2O_3$ ) são responsáveis pela coloração vermelha ou amarela na maioria das argilas, facilitam a secagem, reduzem a plasticidade e diminuem a retração. Durante a sinterização, os óxidos de ferro proporcionam dureza à massa cerâmica, reduzindo a resistência mecânica.

Os óxidos de sódio ( $Na_2O$ ) presentes na massa de argila geralmente na forma de feldspatos, são fundentes e conferem resistência mecânica, quando sinterizados entre 900 °C e 1000 °C, já os óxidos de manganês alteram apenas a cor da massa cerâmica para marrom (KAMINATA, 2008). O bário também é um fundente.

Os valores obtidos em relação por meio a classificação granulométrica, realizada na amostra de argila, conforme critérios estabelecidos na norma NBR 7181(1984) e da

consistência da argila, são representados pelo limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP), são apresentados na tabela 3.

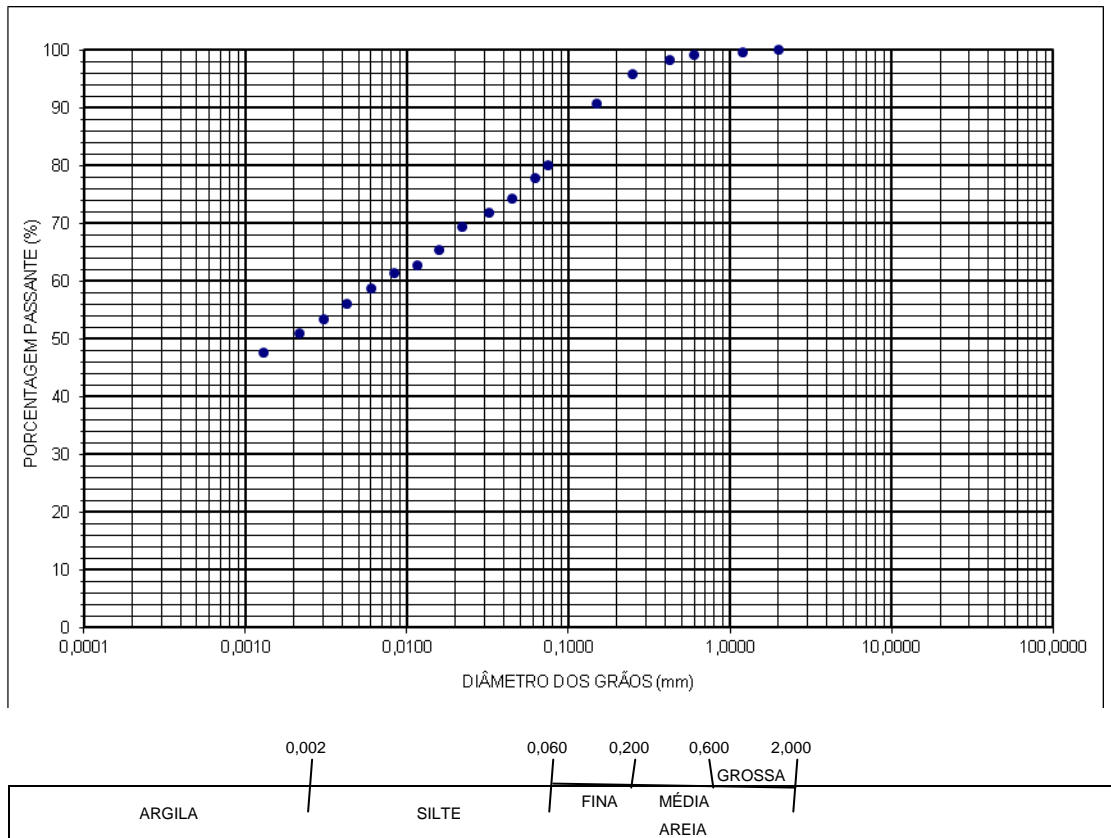
**Tabela 3 - Distribuição do tamanho das partículas e limites de consistência da argila**

<b>Parâmetros</b>	<b>(%)</b>
Argila (< 0,002mm)	51
Silte (0,002mm – 0,06mm)	27
Areia fina (0,06mm – 0,2mm)	15
Areia média (0,2mm – 0,6mm)	6
Areia grossa (>0,6mm)	1
Limite de plasticidade (LP)	19
Limite de liquidez (LL)	60
Índice de plasticidade (IP)	41

**Fonte: Autor**

A composição granulométrica obtida é adequada para a produção dos blocos cerâmicos, tendo capacidade de coesão após o umedecimento adequado, proporcionando excelente moldagem dos blocos de forma a adquirir alta densidade durante a produção por meio de extrusão (CASTRO, 2010).

Verifica-se na tabela 2 um limite de liquidez (LL) de 60%, o que indica uma argila de alta compressibilidade, tornando a massa mais densa durante extrusão. E um índice de plasticidade de 41%. Para moldagem de tijolos furados por extrusão, as faixas de limite de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP) recomendada para argilas plásticas, correspondem à: LL variando de 26,5% a 71,6%, e IP variando de 4,0% a 47,7%, obtendo os valores dentro dos limites, se caracterizando como uma argila plástica (KAMINATA, 2008).



**Figura 17 - Distribuição do tamanho das partículas da amostra de argila**

**Fonte: Autor**

Na figura 17 está representado o gráfico do resultado da classificação granulométrica realizada na amostra de argila, com base em critérios estabelecidos na norma NBR 7181(1986).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO TÊXTIL

Os resultados obtidos para caracterização do lodo são apresentados na tabela 4.

**Tabela 4 – Características Físicas e Químicas do lodo**

<b>Parâmetros</b>	<b>Lodo</b>
Aspecto	Pastoso
pH	6,56
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,86
Matéria Orgânica Total (%)	41,70
Umidade (%)	16,87
<b>Metais</b>	<b>(mg/Kg)</b>
Alumínio	87.520,50
Bário	247,50
Cádmio	7,20
Chumbo	90,00
Cobre	337,50
Cromo	n.d
Ferro	21.231,00
Manganês	675,00
Mercurio	0,25
Prata	63,00
Sódio	14.845,50
Zinco	163,80

n.d.: valor não detectado pelo aparelho

**Fonte: Autor**

O lodo coletado apresenta quantidades significativas de umidade e matéria orgânica, características que irão influenciar na qualidade final do bloco cerâmico fabricado com o resíduo, pois praticamente toda esta água e matéria orgânica presente, acaba sendo volatilizada no processo de queima dos blocos.

O lodo apresentou quantidades elevadas de alumínio, ferro e sódio. O alumínio e ferro são provavelmente provenientes dos flocculantes, sulfato de alumínio e cloreto férrico, utilizados durante o processo de tratamento do efluente industrial. O sódio é característico dos processos de tingimento de artigos têxteis, onde é utilizado na forma de cloreto de sódio.

Os ensaios de lixiviação e solubilização do lodo têxtil visam analisar o impacto ambiental provocado pela exposição do resíduo ao ambiente. Fragmentos do resíduo quando expostos à lavagem por água da chuva, poderiam provocar a contaminação do lençol freático, por meio do processo de infiltração dos metais tóxicos presentes no resíduo.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos do extrato lixiviado do lodo misto.

**Tabela 5 - Ensaio de lixiviação**

<b>Metais</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Limite Máximo (mg/L) NBR 10004(2004) (Anexo F)</b>
Bário	4,929	70,0
Cádmio	0,006	0,5
Chumbo	0,030	1,0
Cromo	n.d	5,0
Fluoreto	0,60	150,0
Mercúrio	n.d	0,1
Prata	0,003	5,0

n.d.: valor não detectado pelo aparelho.

**Fonte: Autor**

Analisando o extrato lixiviado do lodo têxtil, verificou-se que a concentração de nenhum dos metais prescritos pela norma ABNT NBR 10004(2004) (anexo F) está acima do valor de referência. Dessa forma, o lodo têxtil pode ser classificado como um resíduo de classe II, ou não perigoso.

A realização do ensaio de solubilização tem como objetivo diferenciar os resíduos classificados na norma ABNT NBR 10004(2004), anexo G, como classe II-A - não inertes e



classe II-B - inertes. Na Tabela 5 são apresentados os resultados de concentração dos elementos presentes no extrato solubilizado de lodo.

**Tabela 6 - Ensaio de solubilização**

Metais	Concentração (mg/L)	Limite Máximo (mg/L)
		NBR 10004(2004) (Anexo G)
Alumínio	0,220	0,200
Bário	3,299	0,700
Cádmio	0,003	0,005
Chumbo	n.d	0,010
Cobre	0,020	2,000
Cromo	n.d	0,050
Ferro	1,444	0,300
Manganês	5,444	0,100
Prata	n.d	0,050
Sódio	101,128	200,0
Zinco	0,012	5,000

n.d.: valor não detectado pelo aparelho.

**Fonte: Autor**

Analisando o extrato solubilizado do lodo têxtil, observou-se que as concentrações de alumínio, bário, ferro, manganês, apresentaram valores de concentração acima dos limites estabelecidos pela referida norma, o que leva a classificar o lodo como um resíduo classe II - A, ou não inerte.

### 5.3 ANÁLISE FÍSICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3

#### 5.3.1 Índice de Absorção de Água

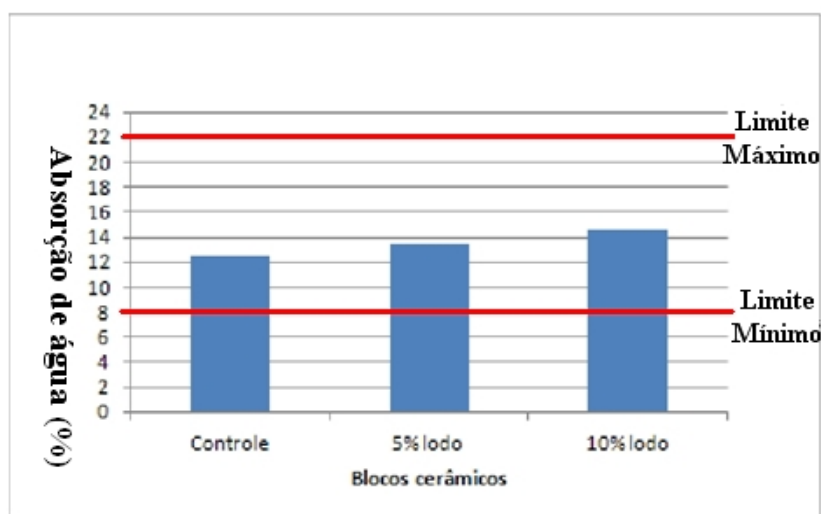
O ensaio da absorção de água foi realizado em um período de 24 horas à temperatura ambiente. Os índices médios obtidos no ensaio de absorção de água são apresentados na tabela 7 e na Figura 18 se apresenta os índices médios de absorção de água assim como os limites mínimos e máximos estabelecidos conforme ABNT NBR 15270-3(2005).

**Tabela 7 - Absorção de água nos blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3 (valores médios n=20)**

Identificação	Controle	5% lodo	10% lodo
Índice de absorção de água (AA%)	12,5	13,46	14,51
Variância	1,41	3,52	4,56
Desvio Padrão	1,19	1,88	2,14

\* De acordo com a NBR 15270-3(2005), o índice de absorção de água deverá estar entre 8 e 22%.

Fonte: Autor



**Figura 18 - Absorção de água de amostras de blocos em escala reduzida**

Fonte: Autor

Observa-se que todas as amostras de blocos cerâmicos, de controle, 5% e 10% de lodo incorporado na argila, apresentaram índices de absorção de água dentro dos limites recomendados pela norma, sendo assim, no parâmetro absorção, não existe restrição quanto a incorporação de 10 % de lodo na massa argilosa.

Analisando a Figura 18 observa-se que com o aumento do teor de lodo, aumenta-se a absorção de água, devido ao processo de queima do bloco cerâmico, onde a matéria orgânica se volatiliza, formando poros no bloco cerâmico. Esses poros, quando o bloco fica sujeito a ação de líquidos, são preenchidos retendo a água.

Trabalhos semelhantes realizados por Kaminata (2008) em incorporação de lodo têxtil em blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3, obteve resultados com pouca variação em relação aos resultados obtidos no presente trabalho no teste de absorção de água, no entanto os resultados obtidos no presente trabalho foram melhores, tendo menor absorção de água, devido a quantidade de argila influenciar na absorção de água dos blocos cerâmicos. Sendo que as áreas superficiais das partículas da fração argila serem bem maiores que as de silte e de areia, envolvendo maior volume de água. Devido isso, durante a queima do bloco no forno houve uma vitrificação das paredes deste, fazendo com que diminuísse a absorção de água mesmo que tivesse uma maior quantidade de matéria orgânica.

#### 5.4 ANÁLISE MECÂNICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3

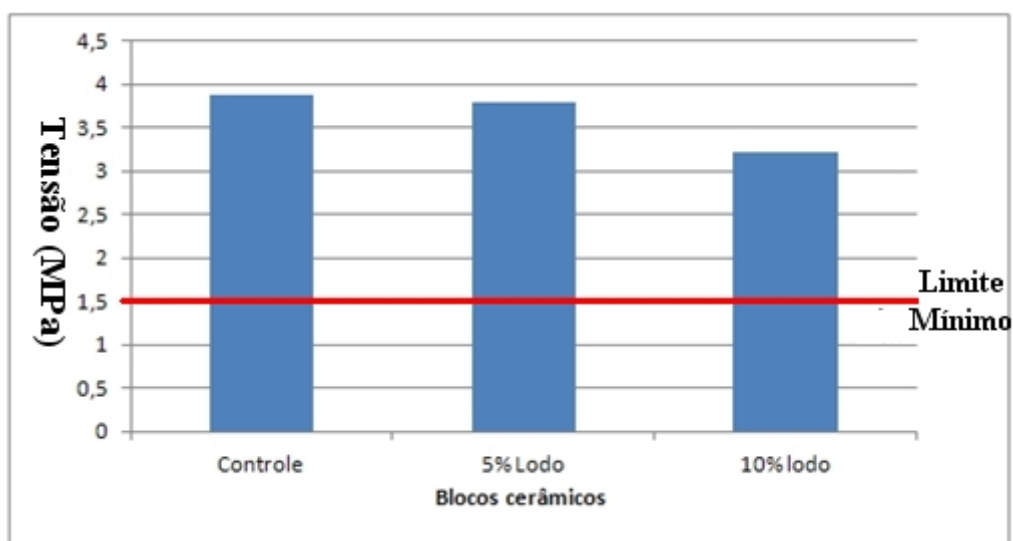
##### 5.4.1 Resistência Característica à Compressão dos Blocos Cerâmicos

Na Tabela 8 são apresentados os resultados da resistência à compressão dos blocos cerâmicos. A figura 19 apresenta a evolução da resistência característica à compressão dos blocos, em função do teor de lodo incorporado à mesma.

**Tabela 8 - Resistência à compressão nos blocos de vedação em escala reduzida 1:3 (valores médios n=20)**

Identificação	Controle	5% lodo	10% lodo
Resistência mecânica (MPa)	3,89	3,82	3,36
Variância	0,45	0,32	0,37
Desvio padrão	0,67	0,57	0,61

**Fonte : Autor**



**Figura 19 - Resistência característica à compressão nos blocos cerâmicos em escala reduzida**

**Fonte: Autor**

Para os ensaios das amostras, foram obedecidos os procedimentos descritos pela norma NBR 15270-3(2005). As amostras de blocos cerâmicos devem atender ao requisito mínimo de 1,5 MPa, de acordo com a norma. O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais, como rachaduras, oferecendo riscos de desabamento da construção.

Os blocos que tiveram a incorporação de lodo à massa cerâmica apresentaram valores menores de resistência à compressão em relação aos blocos de controle produzidos apenas com argila.

A resistência mecânica dos blocos cerâmicos produzidos, para os teores estipulados de incorporação de lodo, atendeu aos limites mínimos especificados pela norma.

Observa-se que com o aumento da incorporação de lodo há uma redução dos valores da resistência à compressão, este comportamento pode ser associado ao aumento da porosidade formada na queima dos blocos cerâmicos acústicos, devido principalmente à volatilização da matéria orgânica e da água durante o processo de queima presente no lodo. Quanto maior a quantidade de lodo incorporado na massa do bloco cerâmico, menor será sua resistência mecânica.

O bloco que obteve melhor resultado à compressão mecânica foi o de 10% de lodo incorporado, mesmo apresentando valores inferiores ao bloco de controle, obedece aos valores mínimos definido pela norma, pois quanto maior a incorporação de lodo no bloco cerâmico melhor, devido ter uma menor disposição de lodo no meio ambiente ou tendo outros destinos.

Os resultados obtidos foram semelhantes em blocos cerâmicos em escala reduzida 1:3 realizados por Kaminata (2008), obteve pouca diferença entre a resistência do bloco controle, de 5 e 10% de lodo, devido as características da argila utilizada, a plasticidade da argila faz com que as interações entre as moléculas são mais fortes o que prova a maior resistência mecânica do bloco.

A incorporação de lodo em argila para a fabricação de blocos cerâmicos em escala reduzida foi realizado com a adição de 5% e 10% de lodo, e do bloco de controle, somente com argila. A incorporação de outras proporções de lodo não foram realizadas, pois a partir de 10% de lodo incorporado na argila, os blocos apresentaram-se quebradiços, devido a massa não estar coesa. Várias tentativas foram realizadas, aumentando e diminuindo a umidade, fazendo com que tivesse maior e menor plasticidade a massa.

Acredita-se que os blocos cerâmicos com proporções de 15%, 20%, 25% e 30% de lodo incorporado na massa cerâmica estavam saindo após a confecção, quebradiços, devido as características da argila cerâmica, pois quando feita a análise da composição granulométrica da argila percebe-se uma quantidade expressiva de areia em sua composição. A areia em excesso pode provocar a redução da plasticidade, coesão e retração da massa cerâmica durante a moldagem dos blocos de forma a diminuir a densidade durante a produção por meio de extrusão.

A presença expressiva de areia influenciou no processo da confecção dos blocos cerâmicos em escala reduzida, aumentando o aparecimento de fissuras que geralmente comprometem a qualidade dos blocos, ou seja, a quantidade de poros aumenta muito diminuindo a coesão da massa cerâmica. Outro fator que contribuiu para tal fato foi a quantidade de matéria orgânica presente no lodo, quanto mais incorpora lodo na

argila, aumenta a quantidade de matéria orgânica e conseqüentemente diminui a estabilidade da massa cerâmica.

## 5.5 ANÁLISE QUÍMICA DOS BLOCOS CERÂMICOS EM ESCALA REDUZIDA 1:3

### 5.5.1 Lixiviação e Solubilização

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os resultados de acordo com a ABNT NBR 10005(2004) para a obtenção do extrato lixiviado e para o extrato solubilizado conforme a norma ABNT NBR 10006(2004), em blocos cerâmicos em escala reduzida, com 5% e 10% de lodo incorporado na argila e o bloco de controle, somente com argila.

**Tabela 9 - Concentração de metais do extrato lixiviado dos blocos cerâmicos (NBR 10005(2004))**

Metais	Bloco Controle	5% lodo	10% lodo	Lim. Máx. (mg/L)
Bário	n.d	n.d	n.d	70
Cádmio	n.d	n.d	n.d	0,5
Chumbo	n.d	n.d	n.d	1
Cromo	0,002	0,0027	0,0031	5
Prata	n.d	n.d	n.d	5

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

Fonte: Autor

**Tabela 10 - Concentração de metais do extrato solubilizado dos blocos cerâmicos (NBR 10006(2004))**

Metais	Bloco Controle	5% lodo	10% lodo	Lim. Máx. (mg/L)
Alumínio	n.d	n.d	n.d	0,2
Bário	n.d	n.d	n.d	0,7
Cádmio	0,004	n.d	n.d	0,005
Chumbo	n.d	n.d	n.d	0,01
Cobre	n.d	n.d	n.d	2
Cromo	n.d	n.d	n.d	0,05
Manganês	0,0234	0,0211	0,0203	0,1
Prata	0,005	0,035	0,04	0,05
Sódio	2,9419	2,8638	2,8375	200

Zinco	0,3043	0,2471	0,2444	5
-------	--------	--------	--------	---

n.d: valor não detectado pelo aparelho.

**Fonte: Autor**

Os resultados obtidos mostram que as concentrações dos metais nos extratos lixiviados e solubilizados, dos blocos cerâmicos produzidos com as proporções de lodo, foram abaixo dos limites definidos pela NBR 10004(2004) da ABNT de Resíduos Sólidos. Assim, os resíduos dos blocos cerâmicos poderão ser classificados como não perigosos inertes ou classe II – B.

Os blocos cerâmicos de controle e os incorporados com as proporções de 5% e 10% de lodo poderão ser utilizados como materiais inertes, pois os metais presentes no lodo foram estabilizados na massa de argila não oferecendo perigo durante a sua utilização, após a queima adequada. Desse modo pode-se observar que houve a estabilização/solidificação do resíduo na matriz sólida de argila, pois um resíduo que classe II-A na matriz de argila tornou-se classe II-B.

## 6 CONCLUSÃO

Os lodos gerados nas atividades têxteis estudado e caracterizado, sendo classificado segundo a NBR 10004(2004) como não perigoso e não inerte (Classe II-A), de acordo com a concentração de elementos químicos lixiviados e solubilizados presentes na amostra do resíduo. Sendo assim, este lodo deve receber o devido tratamento e disposição final adequada.

Com relação aos resultados do ensaio mecânico resistência à compressão, os blocos cerâmicos em escala reduzida fabricados em todas as formulações, apresentaram valores acima do mínimo exigido pela NBR 15270-3(2005) que é de 1,5 MPa.

Conforme os resultados do ensaio físico de absorção de água dos blocos, todos os blocos, de controle, 5% e 10% de lodo incorporado apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 15270-3(2005), não interferindo na sua qualidade.

O processo de Solidificação/Estabilização (S/E) mostrou-se eficiente na imobilização dos elementos químicos prejudiciais, contidos no lodo de lavanderia têxtil, pois inicialmente o lodo foi caracterizado como um resíduo sólido classe II – A, sendo não-perigoso e não-inerte, quando incorporado no bloco cerâmico depois da queima foi classificado como um resíduo sólido classe II – B, sendo não -perigoso e inerte, diminuindo sua periculosidade.

Os resultados obtidos dos ensaios químicos de lixiviação e solubilização, mostraram que as formulações de 5% e 10% de lodo incorporados na argila 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).

Portanto, conclui-se que o bloco cerâmico com a incorporação de 10% lodo na matriz de argila em escala reduzida não comprometeu a qualidade técnica do material, conforme os resultados obtidos nos ensaios físicos, mecânicos e químicos, os blocos estiveram dentro dos limites permitidos de acordo com as normas vigentes.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. H. S. **Processo de solidificação/estabilização de lodo têxtil em matriz de argila: influência do tipo de argila**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2009.

ABIT. **Conjuntura da indústria têxtil e de confecção brasileira**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/adm/Arquivo/Servico/054531.pdf>>. Acesso 2 Fev. de 2013.

ABELPRE. **Análise do mercado de Resíduos Perigosos**. Disponível em: <[www.abelpre.org.br](http://www.abelpre.org.br)>. Acesso 13 Dez. de 2012.

AMARAL, S. P. **Landfarming de resíduos oleosos: projeto e operação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 3. Rio de Janeiro, 1986. Anais: Rio de Janeiro, IBP, 15 p, 1986.

APHA - *American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.*, AWWA, WPCF, Washington, D.C., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-3**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

BARTH, E.F.; PERCIN, P. *Stabilization and Solidification of Hazardous Waste. Pollution Technology Review*, New Jersey, n. 186, 1990.

BASTIAN, E.Y.O. **Guia Técnico Ambiental da indústria Têxtil** - Série P+L. São Paulo. 2009. 77 p.

BITENCOURT, M. P. **Reaproveitamento do lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia (tingimento e lavagem)**. 2002. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, área de Desenvolvimento de Processos - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR, 2002.

BRAILE, P.M. e CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. Environmental Science & Technology, v.34, São Paulo, 1993.

BNDES. **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecção e a questão da inovação**. Disponível em : [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf). Acesso 5 Jan. de 2013.

CANTER, L. W. **Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para La elaboración de los estudios de impacto**. 2. ed. Mc Graw Hill, Madrid, Espanha, 2000.

CARREIRA, M.F. **Sistemas de tratamento de efluentes têxteis: Análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na Península Ibérica**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC, 2006.

CASTRO, T. M. **Solidificação/estabilização de lodo gerado no tratamento de efluente de lavanderia industrial têxtil em blocos cerâmicos acústicos e seu desempenho em câmara reverberante**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de

Pós-Graduação em Engenharia Urbana - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2010.

CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. Trabalho elaborado pelo corpo técnico da CETESB, v.1. p. 32 - 43. São Paulo, SP, 1993.

D'ALMEIDA, M. L. O. e VILHENA, A. (Coord.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado** – 2ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

FERREIRA, D.D, SPANHOL, G.K. e KELLER, J. **Gestão do processo têxtil – Contribuições á sustentabilidade dos recursos hídricos**. V congresso nacional de excelência em gestão. Niterói, RJ, Brasil, 2, 3 e 4 de julho de 2009. Disponível em: <[http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg5/anais/T8\\_0177\\_0695.pdf](http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg5/anais/T8_0177_0695.pdf)>. Acesso 10 Jan. de 2013.

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.

GORINI, A. P. F. **Panorama do setor têxtil no Brasil e no mundo: reestruturação e perspectiva**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 12, p. 17-50, 2000.

GRAVELET, L.R.; BARCLAY, S.J.; CARLIELL, C.M. & BUCKLEY, C.A. *Management of Water Resources in South Africa with Respect to the Textile industry*. Water Science and Technology, 36 (2-3): 303-310, 1997.

HANNA, R. A. **Estudo da estabilização por solidificação de produtos tóxicos em cimento portland: uma análise em nível microestrutural**. 125 f. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

HEREK, L. C. S. **Estudo da Solidificação/Estabilização de resíduos sólidos provenientes de lavanderia industrial em matrizes de argila**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2005.

KAMINATA, O. T. **Aproveitamento do lodo gerado no tratamento de efluente da indústria de lavanderia têxtil na produção de bloco de cerâmica vermelha**. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR. 2008.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres LTDA. São Paulo, p. 492, 1985.

KUNZ, A.; ZAMORRA, P. P.; MORAES, S. G. de; DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química Nova, v. 25, n.1, pp.78-82, 2002.

LEITE, S.Q.M. *et al.* **Extração de ferro de esmectita brasileira com emprego do método ditiomito-citrato-bicarbonato**. Inst. Química – UFRJ. Química Nova, v.23(3), pp 297-302, 2000.

LIMA JR, R.M. **Desenvolvimento de um sistema com banco de dados para a classificação e caracterização de resíduos e gases industriais**. 2001. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2001.

LORA, E. E. S. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transporte**. Brasília: ANEEL. ISBN: 85-87491-04-0. 2000.

MARINS, M. D., MOLLICA, M. L. **Biodegradação de borras oleosas no solo**. [s.l.]: PETROBRÁS. 14 p. Comunicação Técnica nº 29/88. 1988.

MARTINS, G. B. H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina**. 1997, 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1997.

MELO, L. C. A. **Caracterização físico-química e comparação de métodos de digestão de resíduos orgânicos**. 2007, 84p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2007.

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:<[http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios\\_concluidos/09\\_relatorios\\_concluidos.PDF](http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/relatorios_concluidos/09_relatorios_concluidos.PDF)>. Acesso 5 Mai. de 2012.

MOTTA, J.F.M., *et al.* **As matérias-primas cerâmicas. Parte 1: O perfil das principais matérias-primas cerâmicas e seus produtos**. Cerâmica Industrial, v.6, n.2, pp 28-39, 2001.

NASCIMENTO, C. E. P. **Gestão do conhecimento: um estudo exploratório sobre a sua presença em empresas têxteis de médio e grande porte do Vale do Itajaí**. 2003. 135 f. Dissertação (Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Administração) – PPGAD do Centro de Ciências Sociais e Aplicadas da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, SC. 2003.

NEMEROW, N. L. *Industrial and hazardous waste treatment*. New York: Internacional Thomson Publiesing Inc. 1991. 743 p. 1991.

NORTEVISUAL, **Serviços Ambientais**, Av. Cidade de Leiria, 637, zona 4, Maringá, PR, 2010. Disponível em: <<http://www.nortevisual.com.br.htm> >. Acesso 7 Mai. de 2012.

PRIM, E. C. C. **Reaproveitamento do Lodo da Indústria têxtil como Material de Construção Civil – Aspectos Ambientais e Tecnológicos**. 1998. 150 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC. 1998.

RIBEIRO, Valquiria Aparecida dos Santos. **Fotodegradação de efluentes têxteis catalisada por ZnO**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maringá,PR. 2010.

ROCCA, A.C.C. *et al.* **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. Cetesb, São Paulo, 233 p, 1993.

ROSA, E. V. C. da. **Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: estudos dos aspectos físicos-químicos, agronômicos, e ecotoxicológicos**. 2004. 139 f. Tese (Doutorado em Química) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis,SC. 2004.

SAMPAIO, J. A. B. *Hazardous Waste Management in Brazil: the need for a regional sinoptic Aproach*. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON INDUSTRIAL RESIDUALS MANAGEMENT IAWPRC. Salvador, 1990.Salvador: [s.n.], p. 285-292. 1990.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Reciclagem de Biossólidos: Transformando problemas em soluções**. Ed. Andreóli C.V. e Aderlene I. L. Curitiba, PR, 288p. 1999.

SANTOS, P.S. **Ciência e tecnologia das argilas**. V.1, 2ª ed., Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via Processo Fenton**. 2005. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2005.

SILVA, L.J. **Processo de Landfarming para Tratamento de Resíduos Oleosos**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, K. V.; TIBURTIUS, E.L.; WYPYCH, F.; MORAES, S.G.; CAMARGO, F.A.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. **Degradação de soluções aquosas de 118 corantes reativos utilizando-se processo de co-precipitação seguido de fotocatalise heterogênea**. Química Têxtil. n. 76, Set. 2004. 58-63.

THOMAS, G. W. **Soil pH and Soil Acidity**. In: *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods, Soil Science Society of America, Book Series n. 5, p. 475-490, 1996.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA/68-W-99-033. **A Compendium of Chemical, Physical and Biological Methods for Assessing and Monitoring the Remediation of Contaminated Sediment Sites**. Duxbury, 2003.

VIEIRA, C.M.F. , CARDOSO , B.R., MONTEIRO S.N. **Influência da adição de argila fundente em massa de cerâmica vermelha caulínica**. Jornadas Sam/Conamet/Simpósio Matéria, PP 09-19, 2003.

VISVANATHAN, C. **Hazardous waste disposal**. *Resources, Conservation and Recycling* n.16 p. 201-202, 1996.

XISTOQUÍMICA. **Imobilização e aproveitamento de rejeitos industriais sólidos**. Disponível em: < <http://www.xistoquimica.ufrj.br/imobilizacao.htm>>. Acesso 22 Abr. de 2012.

WENG, C.-H.; LIN, D.-F.; CHIANG, P.-C. **Utilization of sludge as brick material**. *Advances in Environmental Research*, v.7, n.3, pp. 679–685, Taiwan, 2003.

**ANEXOS**

## ANEXO A - Determinação de umidade e de matéria orgânica total

A determinação de umidade e de matéria orgânica total foi realizada pelo método de Kiehl (1985), seguindo os seguintes procedimentos:

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, identificada como P<sub>1</sub>.

Pesou-se a amostra, obtendo-se P<sub>2</sub>. 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<sub>3</sub>.

Com os valores de P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> e P<sub>3</sub>, calculou-se a umidade por meio da Equação 1.

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

Em seguida, levou-se a cápsula com o material de análise de umidade à mufla mantendo-se a porta entreaberta, a fim de promover uma melhor aeração do material. A amostra foi aquecida lentamente para ser queimada sem inflamar, evitando-se assim a perda do material com a formação de labaredas. A porta da mufla foi fechada e esperou-se alcançar a temperatura de 550°C, mantendo-se nessa temperatura por 1 hora. A cápsula foi retirada e resfriada em um dessecador, sendo posteriormente pesada, obtendo-se P<sub>4</sub>.

Com os valores de P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub> e P<sub>4</sub>, calculou-se o conteúdo de matéria orgânica total por meio da Equação 2.

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



## ANEXO B - Determinação da massa específica

A massa específica foi determinada pelo método do picnômetro, recomendado por Kiehl (1985). Os procedimentos para a determinação da massa específica são:

1. Pesar inicialmente o picnômetro vazio, obtendo-se (P).
2. Pesar cerca de 1 a 2 gramas da amostra de matéria seca (Pe) em vidro de relógio de tara conhecida.
3. Encher o picnômetro com água, colocando-se a tampa e enxugando-se com papel de filtro a água que transbordar do aparelho e pesar, obtendo-se (Pa).
4. Retirar cerca da metade da água do picnômetro e passar cuidadosamente a amostra de matéria seca para o seu interior, completando-se o volume do picnômetro com água destilada.
5. Colocar a tampa e pesar, obtendo-se (Psa).

O cálculo da massa específica é realizado por meio da Equação 1.

$$\rho = \frac{\rho_{H_2O} \cdot (Pe - P)}{(Pe - P) - (Psa - Pa)} \quad (1)$$

Em que:

$\rho$  = massa específica da amostra analisada, em g/cm<sup>3</sup>;

$\rho_{H_2O}$  = massa específica da água na temperatura da determinação, em g/cm<sup>3</sup>;

Pe = peso da amostra seca, em g;

P = peso do picnômetro, em g;

Pa = peso do picnômetro com água, em g;

Psa = peso do picnômetro com água e amostra, em g.

## ANEXO C - Determinação de metais

A determinação da concentração de metais foi realizada por meio da extração ácida, com ácido fluorídrico e água regia.

Os procedimentos para o preparo da mistura para extração são os seguintes:

1. Preparar uma solução de água regia na proporção 1:3 (v/v) de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HCl}$ ;
2. Pesar cerca de 0,200 g do resíduo e colocar em frasco de Teflon. Adicionar 0,5 mL de água regia e 3 mL de ácido fluorídrico. Colocar o sistema em uma chapa de aquecimento e esperar até que o volume seja reduzido significativamente, ou seja, até que a amostra esteja solubilizada;
3. Retirar o sistema da chapa e esperar esfriar (em banho maria);
4. Adicionar 10 mL de água, 5 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  4% e 1 mL de  $\text{HCl}$  concentrado (fumegante) e levar o sistema novamente ao aquecimento até a solução adquirir um aspecto límpido;
5. Resfriar o sistema e transferir para um balão volumétrico de 100 mL completando o volume.

Ao realizar a prática, deve-se tomar o cuidado de utilizar os balões volumétricos o mais breve possível para evitar a solubilização do silício, proveniente do vidro, devido à utilização do ácido fluorídrico e, utilizar recipiente de plástico para o armazenamento do extrato.

Para determinação dos elementos químicos no extrato da digestão ácida foi utilizado o espectrofotômetro de absorção atômica modelo SpectrAA 50B da Varian.

## ANEXO D - Procedimento de lixiviação (NBR 10005(2004))

Primeiramente, foram preparadas as soluções de extração:

- a) Solução de extração nº 1: adicionar 5,7 mL de ácido acético glacial a água desionizada e adicionar 64,3 mL de NaOH 1,0 N. Completar o volume a 1 L. O pH desta solução deve ser  $4,93 \pm 0,05$ ;
- b) Solução de extração nº 2: adicionar 5,7 mL de ácido acético glacial a água desionizada e completar para o volume de 1L. O pH desta solução deve ser  $2,88 \pm 0,05$ .

Inicialmente a amostra foi moída, até que passasse pela peneira de 9,5 mm. Em seguida, para a determinação da solução de extração, procedeu-se da seguinte maneira:

1. Pesar uma pequena quantidade do residuo e reduzir o tamanho das partículas  $\leq 9$  mm de diâmetro e transferir 5,0 g para um béquer;
2. Adicionar 96,5 mL de água desionizada, cobrir com vidro de relógio e agitar vigorosamente por 5 min com agitador magnético;
3. Medir o pH. Se o pH for  $\leq 5,0$ , utilizar a solução de extração nº 1;
4. Se o pH for  $> 5,0$ , adicionar 3,5 mL de HCl 1 N, homogeneizar a solução, cobrir com vidro de relógio, aquecer a  $50^{\circ}\text{C}$  durante 10 min;
5. 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.

Os procedimentos do ensaio de lixiviação são:

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 ( $18 \pm 2$ ) h a temperatura de até  $25^{\circ}\text{C}$  com uma rotação de ( $30 \pm 2$ ) 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  $\mu\text{m}$  a 0,8  $\mu\text{m}$ . Caso seja necessário, pode-se trocar o filtro, para facilitar a filtração. Para análise de metais, os filtros devem ser lavados com solução de  $\text{HNO}_3$  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 - *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.

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

## ANEXO E - Procedimento de solubilização (NBR 10006(2004))

O procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos está assim descrito na norma NBR 10006(2004) da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT.

Inicialmente, secou-se a amostra a temperatura de até 42°C, utilizando-se uma estufa com circulação forçada de ar e exaustão ou estufa a vácuo, e determinou-se a percentagem de umidade. Em seguida, passou-se amostra em peneira de malha 9,5 mm, sendo considerada pronta para a etapa de extração; caso contrário, ela deve ser triturada.

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.

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

## ANEXO F - Determinação da granulometria das argilas (NBR 7181(1984))

A análise granulométrica da argila foi determinada pela norma NBR 7181/1984 - Solo – Análise Granulométrica, da ABNT.

Para que este ensaio fosse realizado, foi necessário primeiramente preparar a amostra. Utilizou-se para a preparação das amostras de solo, a norma NBR 6457/1986 -Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização, da ABNT.

De acordo com a norma, a preparação foi feita com secagem previa ao ar. Espalhou-se a amostra sobre uma superfície plana, para retirar o excesso de umidade. Pesou-se cerca de 1 a 1,5 kg da amostra sendo esta posteriormente destorroada, a fim de obter-se uma quantidade mínima de amostra com partículas menores que 5 mm para determinação do ensaio de granulometria.

Pesou-se uma parcela de aproximadamente 70 g de amostra de solo argiloso, para a sedimentação e o peneiramento fino. Passou-se esta amostra pela peneira de 2,0 mm, tomando-se a preocupação de desmanchar no almofariz todos os torrões eventualmente ainda existentes, de modo a assegurar a retenção na peneira somente dos grãos maiores que a abertura da malha.

Do material passante pela peneira de 2,0 mm, tomou-se cerca de 100 g para duas determinações da umidade higroscópica (h) 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 por meio da Equação 1:

$$M_s = \left[ \frac{(M_t - M_g)}{(100 + h)} \right] \times 100 + M_g \quad (1)$$

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.

Lavar a parte retida na peneira de 2,0 mm a fim de eliminar o material fino aderente e secar em estufa a 105°C / 110°C, até consistência de peso. O material assim obtido é usado no peneiramento grosso.

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 2:

$$Qg = \left[ \frac{(Ms - Mi)}{Ms} \right] \times 100 \quad (2)$$

Em que:

Qg = porcentagem do material passante em cada peneira;

Ms = massa total da amostra seca;

Mi = 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 pode ser assim descrito:

1. Do material passado na peneira de 2,0 mm tomar cerca de 70 g de argila.
2. Transferir o material assim obtido para um béquer de 250 mL e juntar, com o auxílio da proveta, 125 mL de defloculante (solução de hexametáfosfato de sódio com a concentração de 45,7 g do sal por 1.000 mL de solução). Agitar o béquer até que todo o material fique imerso e deixar em repouso, no mínimo 12 horas.
3. Verter, então, a mistura no copo de dispersão, removendo-se com água destilada, com auxílio da bisnaga, o material adreído ao béquer. Adicionar água destilada até que seu nível fique 5 cm abaixo das bordas do copo e submeter à ação do aparelho dispensor durante 15 minutos.

4. Transferir a dispersão para uma proveta de 1000 ml e remover com água destilada, com auxílio da bisnaga, todo o material aderido ao copo. Acrescentar água destilada até atingir o traço correspondente a 1000 ml.
5. Tomar a proveta e, tapando-lhe a boca com uma das mãos, executar, com auxílio da outra, movimentos enérgicos de rotação, durante 1 minuto.
6. Imediatamente após terminada a agitação, colocar a proveta sobre uma mesa, anotar a hora exata do início da sedimentação e mergulhar cuidadosamente o densímetro na dispersão, 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 3:

$$Q_s = N \times \left[ \frac{\delta}{\delta - \delta d} \right] \times \frac{[(V \times \delta c \times (l - Ld))]}{\left[ \frac{Mh}{(100 + h)} \right]} \times 100 \quad (3)$$

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;

$\delta$  = massa específica dos grãos do solo, em  $\text{g/cm}^3$ ;

$\delta d$  = massa específica do meio dispersor, à temperatura do ensaio, em  $\text{g/cm}^3$ ;

$V$  = volume da dispersão, em  $\text{cm}^3$ ;

$\delta c$  = massa específica da água, em  $\text{g/cm}^3$ ;

$l$  = 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 4:

$$d = \sqrt{\frac{1800}{\delta - \delta d} \times \frac{a}{t}} \quad (4)$$

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;  
 $\delta$  = massa específica dos grãos do solo, em  $\text{g/cm}^3$ ;  
 $\delta_d$  = massa específica do meio dispersor, à temperatura do ensaio, em  $\text{g/cm}^3$ .

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, colocou-se a amostra em um jogo de peneiras padronizadas pela norma, e calculou-se a massa de argila retida em cada uma das peneiras. As porcentagens dos materiais retidos nas peneiras entre 0,075 e 2,0 mm foram calculados por meio da Equação 5:

$$Q_f = \frac{[Mh \times 100 - M_i \times (100 + h)]}{Mh \times 100} \times N \quad (5)$$

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.

## ANEXO G - Determinação do limite de plasticidade das argilas (NBR 7180(1984))

O limite de plasticidade (LP) das argilas foi determinado segundo os procedimentos recomendados pela norma NBR 7180(1984) da ABNT.

O procedimento de determinação do limite de plasticidade pode ser assim descrito:

1. Colocar a amostra de argila numa cápsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, de consistência plástica.
2. O tempo total de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 minutos, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos.
3. Tomar cerca de 10 g da amostra assim preparada e formar uma pequena bola, que deve ser rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente da palma da mão para lhe dar a forma de cilindro com diâmetro de 3mm e 100 mm de comprimento (o que se verifica como gabarito de comparação), sem fragmentação.
4. Transferir imediatamente as partes do mesmo para um recipiente adequado, para determinação da umidade conforme a norma NBR 6457/1986 da ABNT.

De cada rolo obtiveram-se quatro valores de umidade que foram utilizados para a determinação da média, que expressa o LP.

A umidade utilizada para a determinação do Limite de Plasticidade é determinada por meio da Equação 1:

$$h(\%) = \frac{(Ph - Ps)}{(Ps - Pr)} \quad (1)$$

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).

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).

## **ANEXO H - Determinação do limite de liquidez das argilas (NBR 6459(1984))**

O limite de liquidez (LL) das amostras de argila foi determinado seguindo procedimento recomendado pela norma NBR 6459(1984) da ABNT.

O procedimento de determinação do limite de liquidez pode ser assim descrito:

1. Colocar a amostra numa cápsula de porcelana, adicionar água destilada em pequenos incrementos, amassando e revolvendo, vigorosa e continuamente com auxílio da espátula, de forma a obter uma pasta homogênea, com consistência tal que sejam necessários cerca de 35 golpes para fechar a ranhura.
2. O tempo de homogeneização deve estar compreendido entre 15 e 30 min, sendo o maior intervalo de tempo para solos mais argilosos.
3. Transferir parte da mistura para a concha do aparelho Casagrande, moldando-a de forma que na parte central a espessura seja da ordem de 10 mm. Realizar esta operação de maneira que não fiquem bolhas de ar no interior da mistura. Retornar o excesso de solo para a cápsula.
4. Dividir a massa de solo em duas partes, passando o cinzel através da mesma, de maneira a abrir um ranhura em sua parte central, normalmente à articulação da concha. O cinzel deve ser colocado perpendicularmente à superfície da concha.
5. Recolocar, cuidadosamente, a concha no aparelho e golpeá-la contra a base, deixando-a cair em queda livre, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo. Anotar o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unam ao longo de 13 mm de comprimento, aproximadamente.
6. Transferir, imediatamente, uma pequena quantidade do material de junto das bordas que se uniram para um recipiente adequado para determinação da umidade, conforme a norma NBR 7181(1986) da ABNT.
7. Transferir o restante da massa para a cápsula de porcelana. Lavar e enxugar a concha e o cinzel.
8. Adicionar água destilada à amostra e homogeneizar durante pelo menos 3 minutos, amassando e revolvendo vigorosa e continuamente com auxílio da espátula.
9. Repetir as operações descritas de 3 a 7, obtendo o 2º ponto de ensaio.

10. Repetir as operações 8 e 3 a 7 de modo a obter pelo menos mais três pontos de ensaio, cobrindo o intervalo de 35 a 15 golpes.

O limite de liquidez 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 35 golpes, correspondente ao valor de LL.

**ANEXO I - Concentração (Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação)**

Parâmetro	Código de identificação	Limite máximo no lixiviado mg/L	CAS - <i>Chemical Abstrat Substance</i>
<b>Inorgânicos</b>			
Arsênio	D005	1,0	7440-38-2
Bário	D006	70,0	7440-39-3
Cádmio	D007	0,5	7440-43-9
Chumbo	D008	1,0	7439-92-1
Cromo total	D009	5,0	7440-47-3
Fluoreto	D010	150,0 **)	genérico
Mercúrio	D011	0,1	7439-97-6
Prata	D012	5,0 <sup>*)</sup>	7440-22-4
Selênio	D013	1,0	7782-49-2
<b>Pesticidas</b>			
Aldrin + dieldrin	D014	0,003 **)	309-00-2; 60-57-1
Clordano (todos os isômeros)	D015	0,02	57-74-9
DDT (p, p' DDT+ p, p' DDD + p, p' DDE)	D016	0,2	50-29-3
2,4-D	D026	3,0	94-75-7
Endrin	D018	0,06	72-20-8
Heptacloro e seus epóxidos	D019	0,003	76-44-8
Lindano	D022	0,2	58-89-9
Metoxicloro	D023	2,0	72-43-5
Pentaclorofenol	D024	0,9	87-86-5
Toxafeno	D025	0,5 <sup>*)</sup>	8001-35-2
2,4,5-T	D027	0,2 **)	93-76-5
2,4,5-TP	D028	1,0 <sup>*)</sup>	93-72-1
<b>Outros orgânicos</b>			
Benzeno	D030	0,5 <sup>*)</sup>	71-43-2
Benzo(a) pireno	D031	0,07	50-32-8
Cloreto de vinila	D032	0,5	75-01-4
Clorobenzeno	D033	100 <sup>*)</sup>	108-90-70
Clorofórmio	D034	6,0 <sup>*)</sup>	67-66-3
Cresol total***)	D035	200,0 <sup>*)</sup>	genérico
Clorofórmio	D034	6,0 <sup>*)</sup>	67-66-3
Cresol total***)	D035	200,0 <sup>*)</sup>	genérico
o-Cresol	D036	200,0 <sup>*)</sup>	95-48-7

m-Cresol	D037	200,0 <sup>*)</sup>	108-39-4
p-Cresol	D038	200,0 <sup>*)</sup>	106-44-5
1,4-Diclorobenzeno	D039	7,5 <sup>*)</sup>	106-46-7
1,2-Dicloroetano	D040	1,0	107-06-2
1,1-Dicloroetileno	D041	3,0	75-35-4
2,4-Dinitrotolueno	D042	0,13 <sup>*)</sup>	121-14-2
Hexaclorobenzeno	D021	0,1	118-74-1
Hexaclorobutadieno	D043	0,5 <sup>*)</sup>	87-68-3
Hexacloroetano	D044	3,0 <sup>*)</sup>	67-72-1
Metiletilcetona	D045	200,0 <sup>*)</sup>	78-93-3
Nitrobenzeno	D046	2,0 <sup>*)</sup>	98-95-3
Piridina	D047	5,0 <sup>*)</sup>	110-86-1
Tetracloroeto de carbono	D048	0,2	56-23-5
Tetracloroetileno	D049	4,0	127-18-4
Tricloroetileno	D050	7,0	79-01-6
2,4,5-Triclorofenol	D051	400,0 <sup>*)</sup>	95-95-4
2,4,6-Triclorofenol	D052	20,0	88-06-2

\*) Parâmetros e limites máximos no lixiviado extraídos da USEPA - *Environmental Protection Agency 40 CFR - Part 261 - 24 - "Toxicity Characteristics"*.

\*\*) Parâmetro e limite máximo no lixiviado mantido, extraído da versão anterior da ABNT NBR 10004:1987.

\*\*\*) O parâmetro Cresol total somente deve ser utilizado nos casos em que não for possível identificar separadamente cada um dos isômeros

NOTA Os demais poluentes e limites máximos no lixiviado deste anexo foram baseados na Portaria nº 1469/2000 do MS, multiplicados pelo fator 100.

**ANEXO J - Padrões para o ensaio de solubilização**



Parâmetro	Limite máximo no extrato mg/L
Aldrin e dieldrin	$3,0 \times 10^{-5}$
Alumínio	0,2
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cianeto	0,07
Clordano (todos os isômeros)	$2,0 \times 10^{-4}$
Cloreto	250,0
Cobre	2,0
Cromo total	0,05
2,4-D	0,03
DDT (todos os isômeros)	$2,0 \times 10^{-3}$
Endrin	$6,0 \times 10^{-4}$
Fenóis totais	0,01
Ferro	0,3
Fluoreto	1,5
Heptacloro e seu epóxido	$3,0 \times 10^{-5}$
Hexaclorobenzeno	$1,0 \times 10^{-3}$
Lindano ( $\gamma$ HCH)	$2,0 \times 10^{-3}$
Manganês	0,1
Merúrio	0,001
Metoxicloro	0,02
Nitrato (como N)	10,0
Prata	0,05
Selênio	0,01
Sódio	200,0
Sulfato (como $SO_4$ )	250,0

Surfactantes	0,5
Toxafeno	$5,0 \times 10^{-3}$
2,4,5-T	$2,0 \times 10^{-3}$
2,4,5-TP	0,03
Zinco	5,0