

CATIA CIRLENE FELIPI GANSKE

ANALISE DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
TÊXTIL E A VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DO LODO NA AGRICULTURA

JOINVILLE
2008

CATIA CIRLENE FELIPI GANSKE

ANALISE DO DESEMPENHO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE
TÊXTIL E A VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DO LODO NA AGRICULTURA

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville.
Orientadora: Cladir Teresinha Zanotelli

JOINVILLE
2008

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

Ganske, Catia Cirlene Felipi

G199a Análise do desempenho da estação de tratamento de efluente têxtil e a viabilidade de utilização do lodo na agricultura / Catia Cirlene Felipi Ganske ; orientador Cladir Teresinha Zanotelli. – Joinville: UNIVILLE, 2008.

92 p. : il.

Orientador: Cladir Teresinha Zanotelli
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos –
Universidade da Região de Joinville)

1. Indústria têxtil. 2. Resíduos industriais. 3. Efluentes - Tratamento. 4. Águas residuais – Eliminação. 5. Lodo – Insumo agrícola. 6. Lodo – Compostagem. 7. Engenharia de Processos - Dissertação - Mestrado. I. Orient. Zanotelli, Cladir Teresinha. II. Título.

CDD 677

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, sabedoria, força e principalmente pela vida.

Aos meus mentores espirituais por me mostrarem os caminhos corretos.

Ao meu pai Vitor e minha mãe Ivonete, pois me deram condições de ter uma boa formação.

Ao meu filho André a quem eu devo desculpas pela minha ausência muitas vezes, pela impaciência, mas quero que saiba que essa luta faz parte do teu futuro.

Ao meu marido Édson, pelo amor, paciência e compreensão nestes momentos de isolamento.

Aos meus irmãos Jean e Jeanine, duas pessoas muito especiais na minha vida, pelo companheirismo, amizade, pela ajuda que tem me dado sempre.

Aos meus familiares pelo incentivo.

Um agradecimento especial à professora Cladir Teresinha Zanotelli, que apesar de ter passado por momentos difíceis, sempre me atendeu com paciência, dedicação e confiança me ajudando a solucionar as dificuldades encontradas.

Ao meu amigo Paulo Marcondes Bousfield que esteve sempre prestativo e dando apoio com palavras de ânimo.

Ao Sr. José Mário Gomes Ribeiro pelo fornecimento dos dados para a realização do trabalho.

Ao Sr. Ângelo da Cruz e Anderson Germano Lach pela experiência compartilhada durante a elaboração do trabalho.

Aos meus colegas e amigos pelo apoio.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente participaram dessa grande etapa a minha vida.

“Um vencedor sabe
quanto ainda precisa
aprender, mesmo quando
é considerado um
especialista. Um
perdedor deseja ser
considerado um
especialista antes de ter
aprendido o suficiente
para perceber quão
pouco sabe”
Sydney Harris

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	12
2.0 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 A Expansão do Setor Têxtil e os Impactos Ambientais	17
2.2 Estações de Tratamento de Efluentes Têxteis (ETEs).....	21
2.3 Características do Lodo Gerado nas ETEs	28
2.4 Processos de Estabilização do Lodo.....	31
2.5 Destinação e Formas de Utilização do Lodo.....	34
3.0 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1. Descrição das Características da ETE.....	38
3.2. Período, Métodos de Análises e Coletas dos Dados	45
3.3 Tratamento estatístico dos dados	46
3.5. Eficiência de Remoção do Potencial Poluente do Efluente Líquido da ETE.....	51
4.0 RESULTADOS	52
4.1 Análises e Discussões do Desempenho da ETE.....	52
4.2 Medidas de Posição e Dispersão dos Dados da ETE.....	61
4.3 Análise de Componentes Principais (ACP) Para o Efluente do Sistema de Tratamento	64
4.4 Características das amostras dos ensaios de solubilização e lixiviação do lodo	69
4.5 Análise de Componentes Principais (ACP) Para o Lodo	73
4.6 Demanda Para Utilização do Lodo Gerado	78
4.7 Cálculos de Viabilidade Econômica do Processo de Compostagem, Vermicompostagem e Aterro Industrial.	80
4.8 Lodo de esgoto x Lodo têxtil.....	86
5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
6.0 REFERÊNCIAS.....	92

RESUMO

Objetivou-se com este estudo analisar o desempenho da estação de tratamento de efluente têxtil e a viabilidade de utilização do lodo na agricultura. O estudo se realizou em duas etapas, a caracterização do efluente líquido com as análises do período de 2002 a 2007 e a caracterização do lodo e formas de seu aproveitamento como insumo agrícola, com as análises de 2004 a 2007. Os parâmetros do efluente líquido analisados foram: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (PT), nitrogênio amoniacal (NAm), oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos sedimentáveis (SSed), sólidos suspensos (SSus), sólidos totais dissolvidos (ST) temperatura (Temp), turbidez (Turb) e cor. O sistema apresentou as seguintes eficiências de remoção: DBO 92 a 95%, DQO 91 a 94%, PT 78 a 93%, NAm de 17 a 50%, SSed 53 a 90%, SSus de 73 a 82%, Turb de 95 a 96% e cor de 94 a 97%. Foi realizada a análise de componentes principais (ACP) para identificar as correlações entre as variáveis do estudo. Ficou evidenciado pela ACP a predominância do fator corante que está relacionada com a dificuldade de remoção da cor na estação de tratamento (ETE), e pela composição que os corantes apresentam, necessitando de adição de produtos químicos durante o processo de tratamento para melhorar sua remoção. O fator aerobidade, relacionado ao saldo positivo do OD que está relacionado com a aeração dos tanques I, II e III, necessária para a remoção dos nutrientes e aceleração dos processos biológicos. O fator concentração de material orgânico pode ser explicado pela presença de fibras de algodão e do amido, que é adicionado na etapa de engomagem, no efluente da produção. A caracterização química do lodo foi através dos parâmetros: arsênio (As), Bário (Ba), boro (Bo), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cianeto (CIA), cobre (Cu), cromo hexavalente (Cr 6+), cromo (Cr), estanho (Sn), fenol, ferro (Fé), fluoretos (FLU), fósforo (P), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), nitrogênio (N), prata (Ag), selênio (Se), sulfato (SFI), sulfeto (SFE) e zinco (Zn). As análises de lixiviação e solubilização classificaram os lodos em classe II. A ACP resultou como fatores artificiais, compostos químicos perigosos, fator micro nutrientes, fator metais pesados tóxicos, e o fator metais e não metais. Os processos de compostagem e vermicompostagem indicaram que é viável economicamente a utilização do lodo na agricultura, embora sejam necessários estudos de caracterização do solo adicionado a este biossólido.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Importância do setor têxtil na economia brasileira.....	18
Tabela 2- Diferentes caracterizações dos efluentes têxteis brutos.	25
Tabela 3 – Diferentes caracterizações dos efluentes tratados.....	26
Tabela 4 - Valores máximos permitidos para lançamento de efluentes.	28
Tabela 5 - Características do lodo têxtil segundo diversos autores	31
Tabela 6 – Teores máximos de metal pesado admitidos no lodo a ser utilizado na agricultura, segundo a legislação de diversos países (mg/Kg de massa seca)	37
Tabela 7– Valores médios anuais, desvios padrão e eficiência de remoção (%) no período de 2002 a 2007 (n= 54).....	53
Tabela 8 – Autovalores e percentuais das variâncias explicadas para cada autovalor.	65
Tabela 9 - valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das amostras do lixiviado.....	70
Tabela 10 - valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das amostras do solubilizado.....	71
Tabela 11– Fatores artificiais determinados nos ensaios de solubilização do lodo...73	
Tabela 12 – Fatores artificiais determinados nos ensaios de lixiviação do lodo	76
Tabela 13- Área para cultivo e principais culturas encontradas na região ...79	
Tabela 14 - Concentração máxima de metais permitida no lodo de esgoto ou produto derivado e concentração de metais encontrados no lodo têxtil.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do Beneficiamento têxtil.....	20
Figura 2 - Mapa de localização da cidade de Joinville	39
Figura 3 - Fluxograma da evolução das etapas da ETE	40
Figura 4 - Foto da calha Parshall.....	42
Figura 5 – Foto das flotas.....	44
Figura 6 – Foto das caçambas de lodo	45
Figura 7- eficiências de remoção de 2002 a 2007.....	56
Figura 8 - Evolução temporal de DBO ₅ , temperatura e turbidez	57
Figura 9 - Evolução temporal de ST.....	58
Figura 10 - Evolução temporal de DQO, SSus e cor.....	58
Figura 11 - Evolução temporal de PT e SSed.	59
Figura 12 - Evolução temporal de N Am, OD e pH.....	60
Figura 13– Valores médios, desvios padrão e erros padrão de DBO ₅ , DQO, SSus, ST, turbidez e cor do afluente	61
Figura 14 - Valores médios, desvios padrão e erros padrão do PT, N Am, OD, pH, SSed e temperatura do afluente.....	62
Figura 15 – Valores médios, desvios padrão e erros padrão de DBO ₅ , N Am, temperatura e turbidez do efluente.....	63
Figura 16 – Valores médios, desvios padrão e erros padrão de DQO, SSus, ST e cor do efluente.....	63

Figura 17 – Valores médios, desvios padrão e erros padrão para o efluente da ETE	64
Figura 18 – Dispersão dos parâmetros pelas componentes principais 1 e 2.	66
Figura 19 – Variâncias dos quatro fatores artificiais.....	67
Figura 20 – Dispersão das variáveis pelas duas componentes principais 1 e 2.	74
Figura 21 – Dispersão das variáveis pelas duas componentes principais 1 e 2.	77
Figura 22– sistema de compostagem em leiras de aeração passiva	81
Figura 23 – Vista da primeira trincheira ocupada parcialmente.....	84
Figura 24 – Vista da segunda trincheira sendo impermeabilizada.	85

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the performance of a textile wastewater treatment station and the feasibility of using the sludge in agriculture. The study was conducted in two stages, the characterization of the liquid effluent with the analyses performed from 2002 to 2007 and the characterization of the sludge and ways of using it as an agricultural supply, with the analyses from 2004 to 2007. The liquid effluent parameters analyzed were: biochemical oxygen demand (DBO), chemical oxygen demand (DQO), total phosphorus (PT), ammoniac nitrogen (NAm), dissolved oxygen (OD), hydrogenionic potential (pH), sedimented solids (SSed), suspended solids (SSus), total dissolved solids (ST) temperature (Temp), turbidity (Turb) and pigment. The system presented the following removal efficiencies: DBO 92 to 95%, DQO 91 to 94%, PT 78 to 93%, NAm 17 to 50%, SSed 53 to 90%, SSus 73 to 82%, Turb 95 to 96% and pigment 94 to 97%. An analysis of the principal components (ACP) was performed to identify the correlations between the variables of the study. The ACP showed evidence of the predominance of the pigmentation factor which is related to the difficulty in removing the pigment in the treatment station (ETE), and for the composition which the pigments present, requiring the addition of chemical products during the treatment process to improve their removal. The aerobicity factor, related to the positive OD balance which is related to the aeration of tanks I, II and III, necessary for the removal of nutrients and acceleration of the biological processes. The organic material concentration factor can be explained by the presence of cotton fibers and starch, which is added during the starching stage, in the production effluent. Chemical characterization of sludge through the parameters: arsenic (As), Barium (Ba), boron (Bo), cadmium (Cd), lead (Pb), cyanide (CIA), copper (Cu), hexavalent chromium (Cr 6+), chromium (Cr), tin (Sn), phenol, Iron (Fé), fluorides (FLU), phosphorus (P), manganese (Mn), mercury (Hg), nickel (Ni), nitrogen (N), silver (Ag), selenium (Se), sulphite (SFI), sulphide (SFE) and zinc (Zn). Lixiviation and solubilization analyses classified the sludge in class II. The ACP resulted as artificial factors, hazardous chemical compounds, nutrient micro factor, heavy toxic metal factor, and the metal and non metal factor. The compost and worm compost processes indicate that it is economically feasible to use the sludge in agriculture, although characterization studies of the soil added to this biosolid are necessary.

1.0 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil tem papel de grande importância na maioria dos países, sendo um dos segmentos industriais de maior tradição. Dentre todos os segmentos, é responsável por grande parte da economia dos países desenvolvidos, sendo o carro-chefe nos países emergentes. No Brasil, a sua importância não é menor, tendo desempenhado um papel de grande relevância no processo de desenvolvimento do país.

No Brasil, foi implantada após a proclamação da independência, mais precisamente no período de 1844 evoluindo até o final da 1ª guerra mundial em 1950. Em 1864, o Brasil já tinha uma razoável cultura algodoeira, matéria-prima básica da indústria têxtil, mão de obra abundante e um mercado consumidor em crescimento (Instituto de Estudos e Marketing Industrial - IEMI, 2007).

O complexo têxtil do Estado de Santa Catarina está localizado no Vale do Itajaí, mais especificamente em Blumenau e Brusque, e no norte e noroeste do estado, nos municípios de Joinville e Jaraguá do Sul. Em 2005, aproximadamente 25% do valor da transformação industrial catarinense estava associado às indústrias têxteis (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2005).

Joinville é a maior cidade do Estado de Santa Catarina com uma população estimada em 496.051 habitantes (IBGE, 2006), está situada na região nordeste do

Estado, a economia predominante é embasada na indústria metal-mecânica, têxtil e plástico. Essa industrialização garantiu que o município obtivesse o terceiro maior Produto Interno Bruto do País.

Entretanto o crescimento industrial gera problemas ambientais decorrentes da eliminação dos rejeitos tóxicos, provenientes de subprodutos gerados em seus processos. A eliminação de produtos tóxicos é atualmente um dos mais importantes assuntos em controle de poluição, que tem levado os pesquisadores a buscar novas ferramentas para diminuir ou eliminar a toxicidade dos efluentes gasosos, líquidos e sólidos formados, levando em conta as regulamentações e legislações voltadas à proteção ambiental. Do ponto de vista ambiental, a indústria têxtil apresenta grande potencial de poluição, dado o elevado consumo de corantes durante a etapa de tingimento e ao consumo de aditivos (ligantes, fixadores, antiespumantes, espessantes, amaciantes, resinas, antiestáticos, antichamas e antifungos) durante as etapas de pré-tingimento e armazenagem. Portanto, os efluentes têxteis apresentam elevados níveis de coloração, demanda química de oxigênio e sólidos suspensos.

Além do elevado potencial poluente dos efluentes têxteis, outro aspecto preocupante é a quantidade de efluentes líquidos gerados, pois em geral são necessários 80 litros de água para produzir 1 kg de tecido. Existem referências que apresentam volumes em torno de 150 litros, e cerca de 80% deste volume são descartados como efluente.

De acordo com Hassemer e Sens (2002) os efluentes gerados nas indústrias normalmente são tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais, os quais apresentam bons resultados de redução carbonácea, mas têm como inconveniente à alta produção de lodo e a necessidade de disponibilização de

grandes áreas para implantação do processo de tratamento e de aterros para resíduos industriais para disposição correta deste lodo.

Moreira (2001) relata que o problema de disposição correta dos lodos é comum em várias partes do Brasil e do mundo. Hoje, com as leis de proteção ambiental, e a crescente e progressiva implantação de novas e exigentes diretrizes na gestão de lodos e resíduos para as sociedades industrializadas, na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, faz-se necessário desenvolver métodos alternativos e eficazes em substituição ao simples descarte desses em locais inadequados. Muitos estudos vêm sendo realizados no sentido de se criar tecnologias e/ou metodologias para agregar valor aos lodos gerados nos diferentes processos produtivos.

Dos métodos de tratamento e disposição que foram e vêm sendo pesquisados em todo mundo, Veras (2004) destaca os aterros sanitários, a compostagem, a incineração e a solidificação como alternativas viáveis para amenizar os impactos ambientais gerados por este setor produtivo.

Preocupada com os impactos ambientais gerados em suas atividades produtivas a empresa Joinvilense do ramo têxtil, onde foi desenvolvido este estudo, construiu sua estação de tratamento de efluentes em 1992 e o aterro industrial para deposição do lodo gerado em 1996. A cada ano a empresa preocupa-se em estudar melhorias no sistema de tratamento de forma a minimizar o lodo gerado no processo final, que atualmente está em torno de 8 (oito) toneladas por dia, que são destinados ao aterro industrial. Embora os resíduos estejam acondicionados corretamente, sua minimização representa benefícios econômicos e ambientais tanto para a empresa quanto para a sociedade.

Com o intuito de colaborar com as metas da empresa, o objetivou-se com este estudo analisar o desempenho da estação de tratamento de efluente têxtil e a viabilidade de utilização do lodo na agricultura, e para tal foram necessários os objetivos específicos de: calcular a eficiência de remoção da ETE; identificar as características físicas e químicas do lodo; estudar as possibilidades de aproveitamento do lodo na agricultura e verificar a demanda para o uso do lodo na agricultura.

O resultado do estudo foi estruturado de forma que na introdução está apresentada a relevância social e ambiental do tema com um breve relato histórico da implantação do setor têxtil no Brasil, sua importância econômica no mundo, Brasil, Santa Catarina, Joinville e mais especificamente e diretamente para a empresa onde foram coletados os dados; na revisão da literatura está enfatizada a expansão do setor e os problemas ambientais gerados pela atividade produtiva no âmbito global, as formas de tratamento dos efluentes têxteis, as características do lodo gerado, alguns processos de estabilização do lodo para torná-lo apto a ser reutilizado e a destinação adequada para o lodo de modo a atender a legislação vigente e minimizar os impactos gerados; em materiais e métodos está relatado como foi conduzido o estudo, caracterizando o local onde está situada a empresa e sua ETE, os procedimentos e período das coletas das amostras, os parâmetros analisados com os procedimentos das análises e a descrição da análise fatorial escolhida como uma alternativa coerente de apresentar e discutir os dados do efluente líquido e do lodo gerado; nos resultados está descrito o desempenho da ETE avaliado pelo cálculo da eficiência de remoção do potencial poluente do efluente líquido, as características do lodo, a correlação dos parâmetros do efluente líquido e do lodo obtidos com a Análise de Componentes Principais (ACP) e a

simulação da viabilidade econômica de três processos de estabilização e demanda do bio-sólido; nas conclusões as respostas aos objetivos específicos que nortearam o estudo, ou seja, as contribuições do estudo para a empresa e a comunidade em geral e, por fim as referências utilizadas para embasar a fundamentação teórica e discussão dos resultados obtidos.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Expansão do Setor Têxtil e os Impactos Ambientais

O problema da poluição ambiental tem caráter mundial. Originou-se na revolução industrial, intensificou-se com a explosão populacional humana e perpassa pelo método sócio-econômico-cultural do século. Em muitas regiões Brasileiras que abrigam pólos industriais e densa população, o meio ambiente vem sofrendo uma degradação efetiva causada pelos esgotos domésticos e industriais, principalmente o ecossistema aquático. Medidas preventivas e corretivas devem ser implantadas concomitantemente aos crescimentos regionais, conduzindo a população a níveis aceitáveis para a manutenção da qualidade de vida (BALAN, 1999).

Variando entre pequenas instalações artesanais e unidades totalmente automatizadas, a indústria têxtil é uma das maiores do mundo em produção e número de trabalhadores. São caracterizadas por requererem grandes quantidades de água, corantes e diversificados produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (DANTAS, 2005).

A cadeia produtiva têxtil compreende a seguinte estrutura: fibras e filamentos (naturais e químicas), têxteis (fiação, tecelagem, malharia e beneficiamento) e

confeção (vestuário, linha lar e artigos técnico-industriais). O fato dos setores têxteis e de confecções apresentarem baixa relação capital/trabalho nos países em desenvolvimento faz com que tais países sejam os principais exportadores mundiais. Desse modo, o trabalho intensivo relativamente mais barato os torna mais eficientes que os países desenvolvidos, particularmente na produção de vestuário (Tabela 1).

Tabela 1 – Importância do setor têxtil na economia brasileira

Receita Bruta (US\$ bi)	2005	2006
Têxteis básicos	19,0	21,8
Confeccionados	30,6	30,2
Total da Cadeia	32,9	33,0
Empregos (mil funcionários)		
Têxteis básicos	326,7	330,0
Confeccionados	1.196,3	1.193,9
Total da cadeia	1.523	1.523,9
Empregos Ind. de Transformação (mil)	8.861,5	8.833,4
Participação %	17,2	17,3

Fonte: Arruda (2007)

O setor de confeccionados apresentou diferença de receita bruta em relação ao setor de têxteis básicos na ordem de 61% em 2005 e 38,5% em 2006, e ambos os setores permaneceram com receita bruta constante no período de 2005 e 2006 (Tabela 1).

De acordo com dados da IEMI (2007), o Brasil é hoje o sexto maior produtor mundial de têxteis e vestuário. O setor reúne cerca de 26.000 empresas e emprega, em toda cadeia, 1,53 milhões de pessoas. A indústria têxtil e de confecção brasileira participa com 5,2% do faturamento total da indústria de transformação. Em relação ao comércio exterior, o Brasil exporta seus produtos para cerca de 170 países, mas

participa com menos de 0,5% do comércio mundial de têxteis e confeccionados (Associação Brasileira da Indústria Têxtil -ABIT, 2007).

O Estado de Santa Catarina possui mais de 5000 empresas têxteis e de vestuário, sendo responsável por 10% do faturamento nacional no setor e por 30% do total de produtos exportados por toda a cadeia têxtil brasileira. Só o segmento de cama, mesa e banho e de malharia responde ainda por 80% da produção nacional do setor. Pelo seu porte e diversidade, essa atividade chama atenção com relação ao grande volume de efluente gerado (ABIT, 2007).

O volume de efluente gerado é devido ao consumo de 15% de toda a água destinada à indústria, e a maior parte da carga poluidora presente nesta água ao final do processo é oriunda dos produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem até auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas de acabamento (CAMMAROTA e COELHO, 2001; DANTAS, 2005).

Além dos problemas associados ao elevado volume de resíduos e à sua elevada carga orgânica, surgem os inconvenientes relacionados com a liberação de corantes não fixados e não-degradados nos processos convencionais de tratamento. A presença desses corantes representa um elevado potencial de impacto ambiental, não apenas em função da toxicidade associada, mas também em relação à interferência em processos fotossintéticos (GUARATINI e ZANONI, 2000; KUNZ *et al.*, 2002).

Pode-se observar uma gama enorme de variações das características quantitativas e qualitativas dos efluentes, principalmente dos líquidos, grande parte oriundos da área de beneficiamento. É nessa área onde ocorrem os processos de alveamento, tingimento e estampagem, dentre outros (Companhia Pernambucana do Meio Ambiente - CPRH, 2001).

A grande dificuldade em tratar as águas residuárias da indústria têxtil vem do fato de estas possuírem grandes quantidades de compostos orgânicos de baixa biodegradabilidade, em geral, compostos orgânicos de estrutura complexa: corantes, surfactantes e aditivos (SCHRANK, 2000).

Os principais processos envolvidos na produção de tecidos originados de fibras naturais estão descritos na Figura 1.

Figura 1: Etapas do Beneficiamento têxtil.

Fonte: Hassemer (2002)

A extrema diversidade de matéria-prima e esquemas de produção empregados pela indústria dificulta a determinação das características dos efluentes. É necessário o entendimento do processo, das operações e das características de seus efluentes individuais para identificar a principal origem de poluição, propor uma estratégia de redução de poluição e avaliar a necessidade de sistema de tratamento de águas residuárias (FREITAS, 2002). Os efluentes têxteis são altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento. A poluição dos corpos d'água com estes compostos provocam, além da poluição visual, alterações em ciclos biológicos afetando principalmente processos de fotossíntese. Além disso, estudos têm mostrado que algumas classes de corantes, principalmente azocorantes, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (KUNZ *et al.*, 2002).

2.2 Estações de Tratamento de Efluentes Têxteis (ETEs)

A remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível de tratamento e eficiência de tratamento (SPERLING, 1996).

Conforme o autor citado, o tratamento preliminar objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros enquanto o tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual predominam os mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção da matéria orgânica e eventualmente dos nutrientes (nitrogênio e fósforo).

No tratamento de efluentes têxteis os processos químicos são baseados na reação do corante com alguma substância que o converta em uma substância ambientalmente menos prejudicial. Os físicos procuram a remoção do corante por meio de retenção deste em algum meio adsorvente ou filtrante. Por último, os biológicos utilizam oxidação através de bactérias em condições aeróbias ou anaeróbias.

De acordo com Hassemer e Sens (2002) os efluentes gerados pelas unidades industriais normalmente são tratados por processos físico-químicos e biológicos convencionais (coagulação química e lodos ativados), os quais apresentam bons resultados na redução carbonácea, mas têm como inconveniente a alta produção de lodo e a necessidade de disponibilização de grandes áreas para implantação do processo de tratamento e de aterros sanitários industriais para disposição do lodo. Além disso, esses efluentes caracterizam-se por uma grande variação de cargas, em razão da própria variação do processo industrial que envolve a seqüência de produção e acabamento têxtil, em cujo processo são utilizados corantes, tensoativos espessantes e produtos químicos diversos que tornam o efluente muito complexo,

geralmente com altas concentrações de DBO_5 e DQO, e com diferentes características de biodegradação.

São considerados como processos biológicos de tratamento de esgotos, os processos que dependem da ação de microorganismos presentes nos esgotos. (JORDÃO; PESSOA, 2005). São bastante utilizados nos tratamentos de despejos industriais com alta carga orgânica.

Entre os sistemas utilizados estão os lodos ativados, nele o efluente e o lodo são misturados, agitados e aerados (nos tanques de aeração), e depois são separados por sedimentação em decantadores. Uma parte do lodo retorna para o processo, enquanto uma parcela menor é retirada para destinação final.

Conforme Jordão e Pessoa (2005), o processo de lodos ativados com aeração prolongada é uma variação do processo de lodos ativados. Caracteriza-se por obrigar um contato por tempo suficientemente longo dos microorganismos com quantidades relativamente baixas de substrato, de maneira a se obter uma alta eficiência do processo e uma oxidação na fase endógena, até que o lodo residual apresente características de boa sedimentação, boa filtrabilidade e nenhum odor.

Santos e Santaella (2002) estudaram remoção de DQO de água residuária de indústria têxtil empregando o processo de lodos ativados em batelada com aeração prolongada. Foram estudados os tempos totais de ciclo no reator de lodos ativados em batelada de 10h, 15h e 20h, os quais forneceram remoções médias de 67%, 74% e 81%, respectivamente. Assim, o reator de lodos ativados em batelada com aeração prolongada pode ser considerado uma interessante alternativa para remoção de DQO de águas residuárias têxteis de fabricação de índigo.

Isaac e Porras (2006) desenvolveram seus estudos a respeito da montagem e avaliação de reator de laboratório para tratamento biológico de efluente têxtil no

sistema LAB (lodos ativados por batelada), o trabalho preparou em escala de laboratório o reator biológico, e avaliou o desempenho no tratamento de efluentes de indústria têxtil. Os valores de SST das misturas no reator ficaram com valores perto de 3000 mg/L; a faixa de valores para efluentes tratados ficou entre 250 mg/L e 350 mg/L. Para a DQO a eficiência de remoção foi de 70 a 75% e cor na faixa de 60 a 70%.

Bresaola e Cantelli (1998), em seus estudos em torno do tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil e seu reuso, utilizam o sistema de lodos ativados por batelada (LAB) como primeira etapa do tratamento, e o processo de coagulação-flotação com o objetivo de completar o tratamento biológico. Seus estudos apresentam os valores médios de remoção dos parâmetros de DBO_5 97,61%, DQO 92,63% , turbidez 99,79% e cor 99,79%.

Di Bernardi (1993) explica que o processo de tratamento físico-químico (coagulação, flotação, sedimentação) apresenta elevada eficiência na remoção de material particulado. No entanto, se mostram deficientes na remoção de cor e compostos orgânicos dissolvidos.

Hassemer (2002), em seu estudo sobre uma alternativa para o tratamento de efluentes têxteis, através do processo físico-químico de floculação e oxidação com ozônio, concluiu que para esse efluente especificamente, no que se refere a remoção de cor e turbidez, o melhor tratamento foi a coagulação-floculação, sem a utilização do polímero e sem a pré-ozonização, com uma eficiência de 98% para a cor e 97% para turbidez.

Mio e Campos (1999) estudaram uma indústria que realiza alvejamento e tingimento, e realiza o tratamento dos efluentes com uma lagoa aerada e tratamento terciário para remoção da cor por coagulação química com sulfato de alumínio e

hidróxido de sódio. O despejo é floculado em tanques com sistemas de agitação e enviado para uma câmara de flotação. Foram feitas duas avaliações do sistema que não apresentou alterações nos valores de pH (6,2 a 8,5), em termos de eficiência global nas duas coletas realizadas, obtiveram a remoção de DQO na faixa de 10% a 16%, resultando em DQO na saída da lagoa igual a 96 mg/L e 88 mg/L, respectivamente. No que diz respeito à DBO₅ a eficiência de remoção foi em torno de 57% na primeira coleta e 53% na segunda, resultando em ambas a concentração de DBO₅ efluente igual a 19,2 mg/L. Com relação ao sistema de tratamento terciário, a eficiência de remoção de DQO foi de 38% na primeira coleta e 34% na segunda, correspondendo a DQO do efluente final igual a 60 mg/L e 58 mg/L, respectivamente. Com relação à DBO₅ detectou-se eficiência de remoção em torno de 27% na primeira coleta e 38% na segunda, o que resultou em valores de DBO₅ no efluente final iguais a 14,0 mg/L e 12,0 mg/L respectivamente.

Kim et al. apud Porras (2002), utilizaram em escala piloto, tratamento com biofilme fluidizado, coagulação química e oxidação eletroquímica; a remoção de DQO de despejo têxtil foi de 68,8% para biofilme e 95,4% para o processo total.

O resumo das concentrações obtidas nos estudos apresentados com diferentes processos de tratamento de efluentes têxteis estão nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2- Diferentes caracterizações dos efluentes têxteis brutos.

Parâmetros	Autores (ano)				
	Bresaola e Cantelli (1998)	Hassemer e Sens (2002)	Cerqueira (2006)	Isaac e Porras (2006)	Santos <i>et al.</i> (2006)
DQO(mg/L)	2170	961	1226 a 2553	2436 a 2463	1045

DBO₅(mg/L)	1255	--	--	--	144
SSus(mg/L)	--	179	--	--	--
SST (mg/L)	--	--	--	206 a 280	--
ST (mg/L)	--	--	--	2300 a 2660	--
STD (ml/L)	1151	--	--	2094 a 2391	--
Turbidez (NTu)	525	270	8 a 75	--	107
pH	--	6,5 a 7,5	10 a 11,4	7,5 a 11	6,84
Cor (PTCO)	3127	--	0,42 a 0,842	740 a 910	--

Tabela 3 – Diferentes caracterizações dos efluentes tratados

Parâmetros	Autores (ano)		
	Bresaola e Cantelli (1998)	Mio e Campos (1999)	Hassemer e Sens (2002)
DQO(mg/L)	160	58 a 107	--
DBO ₅ (mg/L)	30	12 a 44,8	--
SSus(mg/L)	--	--	--
SST (mg/L)	17	--	--
ST (mg/L)	--	1712 a 2435	--
STD (ml/L)	1232	--	--
Turbidez (NTu)	1,12	--	5,6
pH	--	6,5 a 8,2	--
Cor (PTCO)	35	--	--

Nas Tabelas 2 e 3 fica evidenciado que os valores das concentrações dos parâmetros do efluente bruto e tratado variam em função do projeto da estação de tratamento e da qualidade do efluente gerado no processo produtivo da indústria.

Os efluentes das estações de tratamento normalmente são lançados nos recursos hídricos, e para isso, devem ter as concentrações dos parâmetros condizentes com a legislação ambiental vigente e específica para cada país, estado ou município.

As leis são estabelecidas em primeira instância pela União e na seqüência, pelos estados e municípios que buscam o aperfeiçoamento das respectivas leis magnas, quanto às características e às necessidades de cada região, apresentando sempre um caráter de maior especificidade em relação às leis federais (HASSEMER, 2006).

Padrões de lançamento de efluentes segundo a Resolução 357 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) de 2005:

- *Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.*
- *Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis;*
- *Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes industriais, mesmo que tratados;*
- *Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente: atender às condições e padrões de lançamento de efluentes, e não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água estabelecidos para as respectivas classes;*
- *O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente. Os critérios de toxicidade devem-se basear em resultados ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente;*
- *Para lançamentos em águas doces (salinidade igual ou inferior a 0,50%): na classe II não será permitida presença de corantes artificiais que não possam ser eliminados por coagulação, sedimentação e filtração convencional (cor \leq 75 mg/L PT); na classe III a cor deve ser menor ou igual a 75 mg/L PT.*

A legislação estadual (Lei Nº. 5.793, de 15/10/1980 e Decreto Nº. 14.250, de 05/06/1981) confirma a Resolução 357 do CONAMA e fazem pequenas observações e alterações, os limites de padrões de lançamentos são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores máximos permitidos para lançamento de efluentes.

Parâmetro	Unidade	Resolução CONAMA nº 357/05	Decreto Estadual nº 14.250/81
pH		5 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	Inferior a 40	Inferior a 40
Materiais Sedimentáveis	mL/L	1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20,0	10,0
Fósforo Total	mg/L	--	1,0

Conforme o Decreto Estadual (1981), o valor máximo para lançamento da DBO₅ é de no máximo 60 mg/L. Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora do despejo, em termos de DBO₅, em no mínimo 80%.

2.3 Características do Lodo Gerado nas ETEs

Atualmente, um dos principais problemas nos tratamentos de águas residuárias é a geração do lodo (quantidade e disposição final). Com relação às diferentes terminologias adotadas para este tipo de resíduo a WEF (Water Environmental Federation – Federação Ambiental da Água dos EUA) usa o termo “biossólido” para designar o lodo produzido pelos sistemas de tratamento biológicos de esgotos, desde que seu destino final tenha uma finalidade útil. Para Bettiol e Camargo (2000), no entanto, o termo “biossólido” deve ser reservado para um

produto estabilizado, caso contrário deve-se empregar os termos: torta, lodo ou sólidos.

O lodo é um produto semi-sólido que tem origem nos tratamentos primários e secundários das ETEs de águas residuárias. Os lodos primários são aqueles obtidos naturalmente por sedimentação natural ou flotação de parte do material sólido em suspensão, sem utilização de produtos químicos. Na classe dos lodos químicos estão aqueles cuja obtenção se dá com o auxílio de produtos químicos, que podem ser realizados no tratamento primário ou terciário. Os lodos secundários são obtidos nos tratamentos biológicos, os quais podem ser aeróbios ou anaeróbios (BRAILE e CAVALCANTI apud ROSA 2004).

De acordo com Robinson *et al.*, apud Porras (2002), os processos físico-químicos e biológicos não destroem a totalidade das substâncias indesejáveis contidas nos efluentes, muitas delas são apenas removidas e concentradas nos lodos, que passam assim a constituir o resíduo final dos processos de tratamento. Os lodos sejam gerados em processos biológicos ou em tratamentos físico-químicos, possuem uma alta concentração de poluentes que requerem uma gestão ambiental na disposição final ou reuso.

Dentre os diferentes contaminantes dos lodos industriais, os metais pesados são os mais discutidos na literatura. Muita atenção foi dada aos metais devido ao potencial deles afetarem os rendimentos dos vegetais e a qualidade do solo. Nos últimos anos, foram conduzidas inúmeras pesquisas em relação às interações metais-solo e metais-planta. Isto pode ser atribuído, em parte, à relativa facilidade de determinações analíticas de metais no lodo, solo e tecido da planta, em contraposição ao que acontece com compostos orgânicos tóxicos devido à dificuldade envolvida com a determinação de quantidades traços (ROSA, 2004).

O termo “metal pesado” é utilizado genericamente para os elementos químicos minerais metálicos que contaminam o meio ambiente e podem provocar diferentes níveis de danos à biota. Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, e Zn. Estes elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações que variam de mg a g/Kg-1, as quais podem ser tóxicas para diferentes organismos vivos. Dentre eles As, Co, Cu, Se e Zn são essenciais aos organismos vivos (SANEPAR, 1999).

A quantidade de lodo gerado em estações de tratamento é um fator econômico importante no contexto de tratamento de rejeitos líquidos. A disposição do lodo é problemática e pode representar até 60% dos custos operacionais de uma unidade de tratamento de efluentes (SANEPAR, 1999).

Há uma grande preocupação com o destino final de vários tipos de resíduos, principalmente com aqueles que contêm elementos potencialmente tóxicos, por serem considerados danosos ao meio ambiente e, conseqüentemente, podendo passar a integrar a cadeia alimentar em altos teores, o que causaria danos à saúde dos animais e do homem. Com essa finalidade, vários estudos estão sendo realizados com lodo de esgoto, lodo de curtume, composto urbano e escórias de siderúrgicas, visando avaliar e, se possível, minimizar o impacto de seus descartes em solos não preparados, adequadamente, para recebê-los, o que acarretaria a contaminação dos lençóis freáticos, lagos, mares e rios. A aplicação desses rejeitos em solos considerados agricultáveis e a sua utilização na recuperação de áreas degradadas demandam uma expectativa científica e econômica (MESSIAS, 2003).

As características do lodo têxtil segundo diversos autores estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do lodo têxtil segundo diversos autores

Parâmetros	Rosa (2004)	Fernandes (2007)		Herek et al, (2005)
	Lodo Bruto (mg/kg)	Lixiviado (mg/L)	Solubilizado (mg/L)	Massa seca (mg/Kg)
Arsênio	--	0,01	0,01	--
Bário	--	0,882	1,1	---
Cádmio	--	0,001	0,001	0,376
Chumbo	20,96	0,01	0,01	39,074
Cianeto	--	--	0,058	--
Cobre	40,14	--	0,005	124,136
Cromo	6,01	0,01	1,2696	18,034
Fenol Total	--	--	0,36	--
Ferro	3942,87	--	1,62	674,031
Fluoreto	5,84	--	1,25	--
Manganês	30,64	--	1,6	31,559
Mercúrio	0,082	0,0001	0,0001	--
Níquel	7,56	--	--	10,519
Prata	--	0,005	0,005	--
Selênio	--	0,008	--	26,299
Zinco	937,7	--	0,041	48,768

Pode-se observar através dos resultados da tabela 5, a discrepância de valores em alguns parâmetros, esse fato pode ser explicado devido as diferenças nos processos produtivos têxteis.

2.4 Processos de Estabilização do Lodo

A digestão anaeróbia, um dos mais antigos processos de biodegradação empregados na estabilização de lodos, promove a decomposição da matéria orgânica e inorgânica na ausência de oxigênio molecular. O processo tem sido mais aplicado na estabilização de lodos concentrados produzidos no tratamento de águas residuárias. Mais recentemente tem sido demonstrada, também, a aplicabilidade do processo anaeróbio no tratamento de grande variedade de águas residuárias (CASSINI, 2003).

Segundo Chernicaró apud Cassini (2003), a digestão anaeróbia pode ser considerada um ecossistema no qual diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. O processo de digestão anaeróbia envolve diferentes estágios de interação entre os substratos e os grupos de bactérias.

O processo de digestão anaeróbia pode ser influenciado por uma série de fatores, favorecendo ou não a partida do processo, a degradação do substrato, o crescimento e declínio dos microrganismos envolvidos, a produção de biogás, assim como, podem determinar o sucesso ou a falência do tratamento de determinado resíduo. Entre esses fatores pode-se citar a temperatura, o pH, a presença de nutrientes, a composição do substrato, o teor de sólidos totais, e como consequência destes, a interação entre os microrganismos envolvidos no processo (STEIL, 2001).

Para tornar os lodos menos reativos ou o mais inertes possível são utilizados os processos de estabilização, que eliminam os inconvenientes de odor, reduzem a presença de organismos patogênicos e/ou eliminam o potencial de putrefação. Nestes tratamentos são empregados processos químicos, físicos e biológicos, que utilizam vários mecanismos de atenuação (SANEPAR, 1999; BETTIOL E CAMARGO, 2000). A compostagem e vermicompostagem são processos utilizados para a estabilização dos lodos.

A compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado, no qual ocorre a transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. Esse processo de biodegradação é considerado uma alternativa de tratamento da matéria orgânica presente em resíduos sólidos. A degradação biológica da matéria orgânica

é acompanhada, principalmente, pelo controle da temperatura, como um dos fatores principais da compostagem (BIDONE, 2001).

Pereira Neto (1994) cita que, nos aspectos sanitários, a compostagem tem grande importância para o tratamento de resíduos, por atender a todas as prerrogativas ambientais, como: contribuir para evitar os aspectos estéticos desagradáveis da presença de resíduos no ambiente; absorver qualquer tipo de resíduo orgânico sólido produzido pela sociedade; reciclar nutrientes e energia, contribuindo para a economia dos recursos naturais; não exigir mão-de-obra especializada; requerer pouca energia externa e instalações simples e baratas; ter baixo custo e ser aplicável a qualquer escala operacional, além de produzir um fertilizante de grande aplicabilidade para a agricultura.

A vermicompostagem é um tipo de compostagem na qual se utilizam minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação e melhorando o arejamento e a drenagem do material em fase de maturação (BIDONE, 2001). Pode ser entendida como um processo de dois estágios. Primeiro, a matéria orgânica é compostada de acordo com os padrões normais, com a redução de microrganismos patogênicos e retorno à condição de temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, onde então, faz-se a inoculação das minhocas e, após determinado tempo, obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento na disponibilização de macro e micro nutrientes e a formação de um húmus mais estável.

Segundo Migdalski (2001), o ambiente ideal para as minhocas é constituído de material rico em matéria orgânica ou que possuam uma pequena camada úmida na superfície. Outros fatores limitantes a sua sobrevivência são o pH e a

oxigenação. A utilização de minhocas para a produção de fertilizante orgânico (húmus) ainda não é uma tecnologia muito difundida. Entretanto, vale ressaltar que, por meio dela, pode-se obter a reciclagem e tratamento da maioria dos resíduos sólidos, desde que estes contenham matéria orgânica. Ndegwa e Thompson (2001) estudaram a combinação dos processos de compostagem e vermicompostagem na bioestabilização de resíduos da indústria de papel e lodo de esgoto ativado. Os resultados indicaram que um sistema que combina os dois processos não somente diminui o tempo de estabilização, mas também melhora a qualidade do produto final.

2.5 Destinação e Formas de Utilização do Lodo

Os aterros industriais são alternativas de destinação do lodo com técnicas que permitem a disposição controlada, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais. Uma dessas técnicas consiste em confinar os resíduos industriais na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho, ou intervalos menores, caso necessário (TUPY FUNDIÇÕES LTDA, 2003). A maior restrição quanto aos aterros é a demanda por grandes extensões de área para sua viabilização operacional e econômica, além de que os resíduos permanecem potencialmente perigosos no solo até que possam ser incorporados naturalmente ao meio ambiente (MONTEIRO *et al*, 2001).

O interesse pela produção de compostos orgânicos a partir de resíduos industriais, tais como lodos, tem crescido como alternativa tanto da redução do

volume desse passivo ambiental quanto da obtenção de um produto a ser utilizado em solos agrícolas (BALAN; MONTEIRO, 2001).

Segundo Rodella e Alcarde (2001) o uso de fontes alternativas de nutrientes, tais como lodos de tratamento biológico, compostos de lixo urbano e diferentes tipos de resíduos industriais em plantas, têm sido apresentados como uma opção para o seu descarte. Resíduos e materiais fertilizantes alternativos têm seu uso agrícola fundamentado no aproveitamento de uma fonte de nutrientes, em geral de baixa concentração e de baixo custo, o que poderá levar à aplicação de doses relativamente elevadas, para favorecer a opção de descarte no solo. Não por acaso, a questão básica que permeia estudos de aplicação desses materiais é a determinação da dose máxima que pode ser empregada como fonte de nutrientes sem conseqüências indesejáveis para o meio ambiente.

Apesar do potencial agrônômico do lodo ser inquestionável, sua utilização em áreas de cultivo vegetal deve ser feita de maneira cuidadosa, de modo a não provocar danos à saúde pública e ao meio ambiente (USEPA apud ROSA, 2004). Os teores de metais pesados solúveis no solo são geralmente baixos. Entretanto, o emprego de fungicidas, fertilizantes minerais e esterco de animais na agricultura e descarte de resíduos urbanos tais como lixo e lodo de esgoto e industrial no solo, podem aumentar suas concentrações causando danos à biota (ROSA, 2004).

Vários estudos da utilização do lodo têxtil na agricultura, em diferentes culturas estão sendo conduzidos. Messias (2003) estudou a influência do lodo têxtil na produtividade de milho e concluiu que a utilização de uma fonte de matéria orgânica juntamente com o resíduo testado favoreceu o desenvolvimento do milho, em comparação ao uso do lodo têxtil individualmente, e sugere que, a perspectiva

de utilização do lodo têxtil como fertilizante orgânico é muito promissora desde que se considerem as propriedades do lodo, dos solos e das plantas.

Silva (2003) utilizou o lodo têxtil na cultura de sorgo, em comparação com adubação química. Os resultados foram satisfatórios quanto à produção de sorgo, porém, em virtude de não ser testado em seus aspectos toxicológicos não foi recomendado o seu uso em solos agrícolas, devido aos danos que poderiam ser causados à saúde humana bem como ao meio ambiente.

Araújo *et al* (2006) afirma que o lodo têxtil utilizado em baixas doses (9,5 t/ha) proporcionou acúmulo de matéria seca pelo feijão-caupi, semelhante à adubação recomendada para cultura. Entretanto em altas doses, o composto causou toxicidade ao crescimento radicular, provavelmente devido a presença de metais pesados.

Para aplicação dos lodos na agricultura é necessário que essa atividade seja regulamentada, de modo que se fixem as condições e restrições para que os lodos possam ser aplicados de forma segura para a população e o meio ambiente.

Para o uso agrícola devem ser levados em consideração os aspectos referentes à qualidade dos lodos, principalmente quanto aos metais, compostos orgânicos, organismos patogênicos e atração de vetores. Além disso, devem também ser considerados os seguintes aspectos: condições do solo para uso do bio-sólido, características das áreas para aplicação do lodo, taxa de aplicação do lodo e culturas agrícolas recomendadas (ROSA, 2004).

Como os metais apresentam riscos, vários países desenvolvidos realizaram estudos para auxiliar a determinação dos limites de aplicação para diferentes elementos presentes no lodo. A Tabela 6 apresenta os limites tolerados pelas legislações de alguns países para determinados elementos.

Tabela 6 – Teores máximos de metal pesado admitidos no lodo a ser utilizado na agricultura, segundo a legislação de diversos países (mg/Kg de massa seca)

	Dina- marca	Suecia	Alemã nha	Suíça	Holan- da	Escó- cia	França	Itália	Países Baixos	Bélgi- ca	EUA
As											75
Cd	0,8	15	10	30	10	20	20	20	1,25	12	85
Cr	100	1000	900	1000	500	2000	1000		75	500	3000
Cu	1000	3000	800	1000	600	1500	1000	1000	75	750	4300
Pb	120	300	900	1000	500	1500	800	750	100	600	840
Hg	0,8	8	8	10			10	10	0,75	10	57
Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
Ni	30	500	200	200	100	25	200	300	30	100	420
Se	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	100
Zn	4000	10000	2500	3000	2000	2500	3000	2500	300	2500	7500
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	-	50	-	100	-	-	-	-	-	-	-
Mn	-	-	-	500	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Marcelo, apud, Rosa (2004)

Um fato interessante observado na Tabela 6 é a diferença dos valores máximos permitidos de metais pesados contidos no lodo para uso na agricultura admitido pelas legislações europeias e norte americanas.

Com relação ao Brasil, ainda não existe uma legislação específica para a disposição final de lodo de esgoto/indústria na agricultura, em florestas e em áreas degradadas. Porém, existe uma série de leis e normas que devem ser respeitadas. É o caso das Normas Brasileiras Registradas (NBR 10.004, 10.005, 10.006, 10.007) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Elas são responsáveis pela classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública (ROSA, 2004).

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foi avaliada a eficiência de remoção do potencial poluente da estação de tratamento de efluentes da indústria têxtil que é composta pelos tratamentos biológico e físico-químico. Foram estudadas também as características e possíveis formas de aproveitamento do lodo gerado na estação de tratamento para a agricultura, que no momento é acondicionado no aterro industrial da empresa. A ETE em estudo localiza-se em Joinville que é a maior cidade do estado de Santa Catarina (Figura 2).

A apresentação dos resultados obtidos foi separada em duas etapas:

- Primeira etapa: resultados do desempenho da ETE;
- Segunda etapa: caracterização e formas de aproveitamento do lodo.

3.1. Descrição das Características da ETE

A ETE é composta por processo de tratamento biológico seguido de tratamento físico-químico. É formada por um tanque de equalização, uma calha Parshall, um tanque de homogeneização, um tanque de mistura, três tanques de aeração, um decantador, um flotador, um condicionador de lodo e um filtro prensa. A

Figura 3 apresenta um esquema da evolução do processo que ocorre nas diferentes etapas da estação de tratamento identificando os pontos de coleta que foram considerados no estudo.

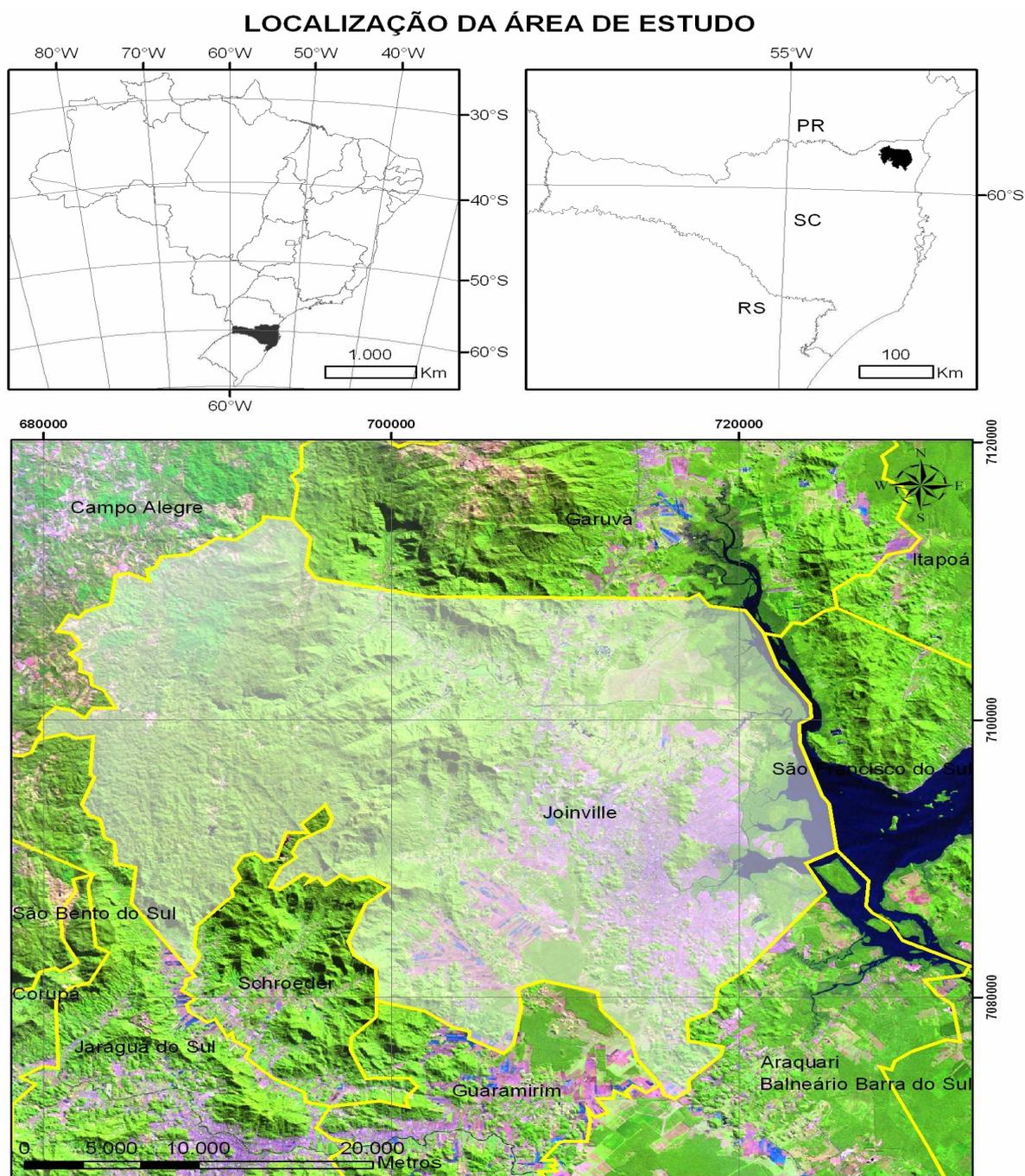


Figura 2 - Mapa de localização da cidade de Joinville

Fonte: Centro de Cartografia Digital da UNIVILLE

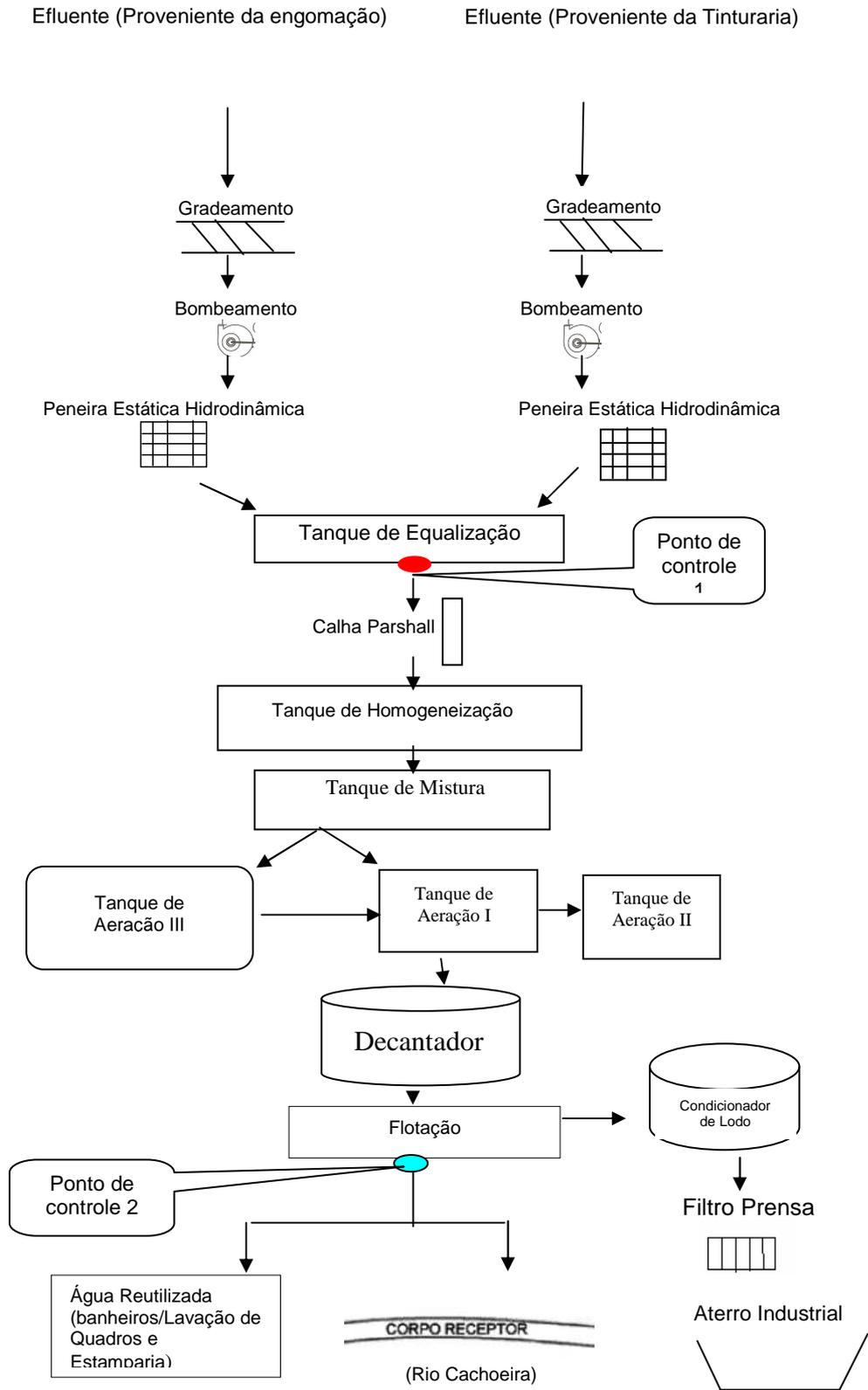


Figura 3 - Fluxograma da evolução das etapas da ETE

As características de construção dos tanques e decantador são:

- Tanque de Equalização:
Comprimento: 21m
Largura: 9,5m
Altura: 4m
Volume: 798m³
- Tanque de Homogeneização:
Volume de 2700m³, sendo que este volume é dividido em 3 tanques iguais.
- Tanque de Mistura:
Volume do cilindro: 317,9m³ + 11,78m³ do volume da parte cônica
- Tanque de aeração I:
Comprimento: 25m
Largura: 16,53m
Altura: 4,70m
Volume construído: 1942,27m³
Volume utilizado: 1750m³
- Tanque de aeração II:
Comprimento: 25m
Largura: 16,64m
Altura: 4,70m
Volume construído: 1955,2m³
Volume utilizado: 1750m³
- Tanque de aeração III:
Comprimento: 54m
Largura: 18,60m
Altura: 5m
Volume construído: 4152,37m³
Volume utilizado: ± 3321,89m³
- Decantador:
Diâmetro: 21m
Altura: 3,4m
Altura do cone: 0,7m
Volume do cone: 80,81m³
Volume da parte cilíndrica: 1177,62m³
Volume total: 1300m³

O efluente proveniente das unidades de produção é conduzido por gravidade em canais de escoamento até o pré-tratamento através de um filtro rotativo onde ocorre a remoção, de sólidos grosseiros. Após passar pelo filtro rotativo o efluente deságua no ponto de coleta onde é bombeado até as peneiras estáticas, as quais têm por finalidade reter sólidos com tamanho superior a 1,0mm.

O efluente é então bombeado para o tanque de equalização, onde sofre uma diminuição de temperatura através de aeradores superficiais e correção de pH pela adição controlada de ácido sulfúrico, vale ressaltar que nesta etapa do tratamento o efluente recebe o esgoto sanitário da empresa. Após segue para as calhas Parshall (Figura 4) que apesar de terem por finalidade controlar a vazão do efluente não estão mais sendo utilizadas para esse fim, já que a vazão está sendo medida por aparelhos eletromagnéticos.



Figura 4 - Calha Parshall

Na seqüência, segue por gravidade através de uma tubulação para o tanque de homogeneização, o qual é aerado por seis aeradores superficiais com a finalidade de diminuir a temperatura e obter uma boa mistura do efluente.

Após a homogeneização, o efluente encontra-se com os parâmetros de pH e temperatura ajustados para o envio ao processo de tratamento propriamente dito o qual inicia no tanque de mistura. Neste tanque é realizada a mistura entre o efluente bruto e lodo recirculado do decantador; o efluente é dividido para o tanque de aeração I, II e III.

No tanque de aeração I (digestor aeróbico), ocorre a dissolução de oxigênio, essencial para os microorganismos aeróbicos durante a estabilização da matéria orgânica. Esta introdução de ar é feita por soprador de ar e difusores.

O tanque de aeração II (digestor aeróbico), assim como o tanque de aeração I, apresenta soprador e difusores para introdução de ar, além de um sistema de agitadores lentos com a finalidade de recircular o efluente no tanque produzindo uma mistura completa.

O tanque de aeração III é chamado de tanque carrossel, também conhecido como valo de oxidação, é onde ocorre o processo de nitrificação e desnitrificação com o auxílio de bactérias nitrossomonas.

No decantador acontece a separação dos sólidos sedimentados (lodo) da parte clarificada, onde que o lodo decanta para o fundo do tanque, e o líquido que transborda da calha segue para o polimento final de retirada da cor, no tratamento físico-químico. Uma parte deste lodo sedimentado (em torno de 50%) retorna por meio de uma bomba para o tanque de mistura, no chamado processo de lodos ativados.

Após todo o tratamento biológico, o efluente segue para o tratamento físico-químico onde acontece a remoção da cor pela adição de produtos químicos com dosagens controladas.

O efluente tratado segue por um canal no qual está instalado um medidor de vazão, para efeitos de controle e após por tubulação fechada até o lançamento final no corpo receptor, o Rio Cachoeira, e parte desta água é reutilizada, em torno de 30 e 35%, em alguns processos da empresa.

O lodo retirado na parte superior das unidades de flotação (Figura 5) segue por um canal até os tanques de lodo onde é adicionada cal 451 g/m^3 e ácido clorídrico $199,62 \text{ g/m}^3$ e bombeado para os filtros prensa para o desaguamento. O lodo desaguado chega normalmente a uma concentração de sólidos de 50% e é descartado em caçambas (Figura 6) para o envio ao aterro industrial próprio da empresa, e a água extraída nos filtros prensa retorna para o tanque de homogeneização.

O estudo da eficiência do sistema de tratamento foi feito considerando o afluente coletado após a passagem pelo tanque de equalização e o efluente coletado após as flotadoras.



Figura 5 – Flotadoras



Figura 6 – Foto das caçambas de lodo

3.2. Período, Métodos de Análises e Coletas dos Dados

Para a caracterização da eficiência de remoção da ETE foram considerados os dados obtidos no período de 2002 a 2007.

As análises do efluente líquido da ETE foram realizadas no laboratório da empresa, para o afluente e o efluente foram considerados os seguintes parâmetros e respectivas periodicidades:

Análises diárias: temperatura (Temp), oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogênico (pH), turbidez (Turb) e cor.

Análises semanais: fósforo total (PT), nitrogênio amoniacal (N Am), sólidos suspensos (Ssus), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos sedimentáveis (SSed) e sólidos totais dissolvidos (ST).

As análises seguiram as metodologias preconizações no Standard Methods (APHA, 1998) e determinações dos equipamentos de medidas (Quadro 1).

Quadro 1 – Métodos de Análise e respectivos parâmetros.

Parâmetro	Método e aparelho
pH	Medição <i>in loco</i> com o pHmeter portátil B374
DQO (mg/L)	Digestor de DQO do DR 2000
DBO₅ (mg/L)	Estufa incubadora para DBO ₅ mod 347
Fósforo Total (mg/L)	Leitura direta no DR 2000
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Leitura direta no DR 2000
OD (mg/L)	Medição <i>in loco</i> com o Dissolved oxygen Hach
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	Cone de Imhoff
Sólidos Suspensos (mg/L)	Filtragem e secagem e leitura no Kita Sato
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Condutímetro B330
Turbidez (NTu)	Leitura direta no DR 2000
Cor (PTCO)	Leitura direta no DR 2000
Temperatura (°C)	Medição <i>in loco</i> com o Dissolved oxygen Hach

As análises do lodo gerado no final do processo da ETE foram realizadas no laboratório da Aquaplant adotando a metodologia do Standard Methods (APHA, 1998), com periodicidade trimestral e foram considerados os seguintes parâmetros: arsênio (As), bário (Ba), boro (Bo), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cianeto (CIA), cobre (Cu), cromo hexavalente (Cr6+), cromo (Cr), estanho (Sn), fenol total (FENOL), ferro (Fe), fluoreto (FLU), fósforo total (P), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), nitrogênio total (N), prata (Ag), selênio (Se), sulfito (SFI), sulfeto (SFE), zinco (Zn).

3.3 Tratamento estatístico dos dados

Foi realizada a estatística descritiva do processo com os cálculos de média, desvio padrão, valores mínimos e máximos com os recursos computacionais da planilha eletrônica EXCEL 2003 e com o Software STATISTICA 6.0 versão 2003

(Statsoft, 2003) foram gerados gráficos “Box & Whisker” para melhor visualização das medidas de tendência central.

O parâmetro pH foi analisado com base na média geométrica, para a temperatura e o OD foram calculadas as médias aritméticas.

Para analisar se os dados, do efluente líquido e do lodo, estão com distribuição normal, foi aplicado o critério de Kolmogorov-Smirnov que é indicado para amostras pequenas (SOKAL; ROHLF, 1981). Com os dados normalizados foi realizada a análise fatorial empregando a técnica de análise de componentes principais (ACP) para a extração de fatores artificiais.

A ACP é uma técnica estatística poderosa que pode ser utilizada para redução do número de variáveis e para fornecer uma visão estatisticamente privilegiada do conjunto de dados (MOITA NETO, 2008). É um método linear e fatorial, pois a redução dos números de caracteres não se faz por seleção, mas com a construção de novos caracteres artificiais, obtidos pela combinação dos caracteres iniciais por meio de fatores. Um procedimento de análise fatorial se inicia com poucos componentes principais como fatores. Esses fatores iniciais são modificados através de um processo particular de transformação, denominado de rotação fatorial, de modo a torná-los de fácil apresentação.

Neste processo, o primeiro fator é recolocado de maneira que a variância do mesmo seja um máximo. O segundo fator responde por um máximo de variância remanescente, ficando em um ângulo reto em relação ao primeiro. A rotação dos eixos não modifica a configuração dos pontos das variáveis e as cargas fatoriais sobre os novos eixos. A redução da dimensionalidade dos dados só é possível se os **p** caracteres iniciais não são independentes e possuem coeficientes de correlação não nulos (BOUROCHE e SAPORTA, 1982, citados por ZANOTELLI, 2002).

O desenvolvimento matemático da ACP é descrito por uma matriz X , $n \times p$, onde n é o número de amostras e p é o número de variáveis independentes, as componentes principais são obtidas diagonalizando a matriz de covariância $X'X$, onde X' é a transposta de X .

Os autovetores correspondentes da matriz de covariância formam os eixos das coordenadas do sistema do espaço transformado e as variâncias nos dados ao longo destes eixos são os autovalores, λ_i .

Uma transformação linear simples relaciona os valores das componentes principais T , chamadas *scores*, aos valores dos dados originais, X pela equação 1:

$$X = TW^T + E. \quad (1)$$

Geometricamente os componentes principais são relacionados com os eixos do espaço original pelas rotações dadas pelos *loadings* ou pesos (W). E representa o erro associado ao modelo (MCLAIN et al 2000; OLIVEIRA, 2000, apud ESQUERRE 2003). A primeira componente principal (CP) é orientada na direção que contém a maior variância de dados. A segunda CP é ortogonal à primeira e é orientada na direção que contém a máxima quantidade de variância residual dos dados, isto é, a variância não explicada pela primeira CP. Sucessivamente, as demais componentes explicam a quantidade máxima de variância residual.

Quanto maior a porção de variância nos dados puder ser explicada pelas primeiras componentes principais, uma redução de dimensionalidade mais eficiente pode ser obtida. Esta porção da variância é representada pela razão da soma dos

autovalores das componentes no espaço reduzido, ($i = 1, 2, \dots, k$) e a da soma total de autovalores ($j = 1, 2, \dots, p$) ou seja, equação 2,

$$V_k = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \dots + \lambda_p} \quad (2)$$

Onde k representa as primeiras k componentes principais e p é a dimensionalidade original.

Para as análises do efluente líquido foram considerados seis fatores artificiais, adaptado de Silva Filho *et al.* (2001):

-*fator de estabilidade do processo aeróbio*, descreve a influência principalmente do pH;

-*fator remoção de nutrientes*, propicia um ambiente adequado para o desenvolvimento de algas e remoção dos nutrientes (nitrogênio e fósforo) por assimilação biológica;

-*fator concentração de material orgânico*, indica a necessidade de cuidados com o lançamento de efluentes em corpos receptores, devido a insuficiente remoção de matéria orgânica ou excesso de sólidos suspensos que apresentam altas correlações com as variáveis DBO₅, DQO e turbidez.

-*fator aerobicidade*, retrata o saldo positivo do oxigênio (OD), representando a produtividade de oxigênio do fitoplâncton;

- *fator corante*, relata o saldo positivo da cor;

-*fator temperatura*, relacionado à influência da temperatura na velocidade das reações bioquímicas que são processadas na estação e no ciclo diário de

estratificação e mistura que exerce influência na intensidade do contato entre os microrganismos e a massa líquida.

Para as análises do lodo foram considerados cinco fatores artificiais, sendo os dois primeiros com base nos trabalhos de Melo *et al.* (2001) que discutem a importância de macro e micro nutrientes para as plantas, o fator metais pesados tóxicos com base nas classificações de Malavolta e Moraes (2006), o fator compostos químicos perigosos com base na classificação da CETESB (2007) e o fator metais e não-metais é representado pelos parâmetros analisados que não se enquadram nos demais grupos.

- *fator micro nutrientes*, relata o saldo positivo dos parâmetros boro (Bo), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) essenciais para o crescimento das plantas.

- *fator macro nutrientes*, relacionado aos parâmetros Nitrogênio (N) e fósforo (P) que são essenciais para o crescimento das plantas;

- *fator metais pesados tóxicos*, cuja legislação apresenta valor máximo admitido em fertilizantes como é o caso dos parâmetros cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni), bário (Ba), arsênio (As), cromo (Cr), cromo hexavalente (Cr6+) e mercúrio (Hg);

- *fator compostos químicos perigosos*, regulamentado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) representado pelos parâmetros cianeto (CIA), fluoreto (FLU), sulfito (SFI), sulfeto (SFE) e fenol total (FENOL);

- *fator metais e não-metais*, não foram encontradas restrições legais no uso agrícola, sendo representado pelos parâmetros estanho (Sn), prata (Ag) e selênio (Se).

3.5. Eficiência de Remoção do Potencial Poluente do Efluente Líquido da ETE

Para avaliar a eficiência de remoção ($\varepsilon(\%)$) dos parâmetros DBO₅, DQO, fósforo, nitrogênio amoniacal, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos, sólidos totais dissolvidos, turbidez e cor, foi utilizada a equação 3:

$$\varepsilon(\%) = \frac{(\text{concentração afluente} - \text{concentração efluente})}{(\text{concentração afluente})} \times 100 \quad (3)$$

O percentual de variabilidade de todos os parâmetros foi avaliado pelo coeficiente de variação ($CV(\%)$), que tem a seguinte fórmula:

$$CV(\%) = \frac{DP}{x} \times 100 \quad (4)$$

Onde DP é o desvio padrão da amostra.

4.0 RESULTADOS

Este capítulo está estruturado em duas partes, na primeira são apresentados e discutidos os resultados referentes ao desempenho da ETE mensurado com base na estatística descritiva, gráficos, cálculos de eficiência, CV e ACP do efluente líquido e na segunda são apresentados e discutidos os resultados referentes ao lodo gerado, formas de estabilização e viabilidade econômica do lodo para uso agrícola.

4.1 Análises e Discussões do Desempenho da ETE

As concentrações do afluente e efluente da ETE no período de 2002 a 2007, o cálculo das eficiências de remoção, valores médios anuais e desvio padrão estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7– Valores médios anuais, desvios padrão e eficiência de remoção (%) no período de 2002 a 2007 (n= 54).

Parâmetro		Anos					
		2002	2003	2004	2005	2006	2007
DBO ₅ (mg/L)	Afl	477,96±16,66	489,12±45,05	435,10 ± 31,36	397,42±55,09	289,18±84,53	363,04±94,68
	Efl	24,54±2,13	28,35±4,18	27,93 ±4,71	19,49±3,36	22,28±2,97	18,72±6,81
	(%)	95	94	94	95	92	95
DQO (mg/L)	Afl	1735,03±18,62	1662±139	1516,8± 48,28	1433,94±97,90	1132,16±269,42	1231,0±199,42
	Efl	108,74±4,34	106,17±10,8	105,8 ± 14,45	90,31±10,52	102,25±10,76	84,78±16,48
	(%)	94	94	94	94	91	93
PT (mg/L)	Afl	3,18±1,16	2,89±1,17	2,63± 0,99	5,49±1,53	4,48±1,25	8,77±6,60
	Efl	0,57±0,02	0,63±0,08	0,51± 0,07	0,62±0,11	0,38±0,14	0,64±0,20
	(%)	82	78	80	89	92	93
N Am (mg/L)	Afl	4,23±0,12	9,81±4,95	13,42± 5,78	14,78±4,62	11,28±2,36	12,57±6,20
	Efl	2,40±0,16	8,14±5,44	11,07± 5,96	7,57±1,65	5,59±1,06	7,54±0,88
	(%)	43	17	18	49	50	40
OD (mg/L)	Afl	3,83±0,32	3,38±0,36	2,89 ± 0,71	3,25±0,82	3,38±0,44	3,58±0,66
	Efl	4,35±0,22	4,4±0,73	5,64 ± 0,27	6,38±0,27	5,61±0,37	5,60±0,91
	(%)						
pH	Afl	9,48±0,31	9,54±0,45	9,69 ± 0,36	9,71±0,39	9,74±0,50	10±0,36
	Efl	6,91±0,13	6,77±0,13	6,72 ± 0,09	6,49±0,09	6,46±0,11	6,60±0,14
	(%)						
SSed (mL/L)	Afl	0,05±0,02	0,28±0,09	0,19± 0,06	0,77±0,63	1,26±0,42	0,78±0,33
	Efl	0,02±0,006	0,11±0,06	0,09± 0,03	0,10±0,05	0,12±0,03	0,19±0,09
	(%)	60	61	53	87	90	76
SSus (mg/L)	Afl	904,61±38,60	728,06±148,69	706,29 ± 203,11	634,80±197,69	961,68±277,12	791,86±393
	Efl	199,54±14,83	156,87±24,05	189,06± 19,37	170,82±26,56	188,47±30,15	142,08±72,82
	(%)	78	79	73	73	80	82
ST (mg/L)	Afl	1189,53±102,2	1122,94±265,71	1288,18±341,24	1313,72±140,7	1442,17±182,91	1378,28±266,44
	Efl	1155,7±23,90	1194,37±426,52	1267,26± 57,47	1180,72±91,05	1356,4±136,14	1321,65±156,80
	(%)	3	-6	2	10	6	4
T (° C)	Afl	36,52±0,02	38,78±2,66	38,88± 1,68	41,60±2,20	40,96±1,97	40,93±3,04
	Efl	28,97±0,49	30,91±1,84	31,6 ± 2,32	32,10±2,73	33,11±1,82	34,79±1,74
	(%)						
Turb (NTu)	Afl	491,49±43,18	508,72±28,69	516,34± 20,63	500,19±20,71	500 ±32,55	474,88±35,85
	Efl	21,04±0,069	25,76±8,06	28,8 ± 1,95	20,39±9,25	16,75±1,75	22,95±6,79
	(%)	96	95	95	96	97	95
Cor (PTCO)	Afl	2593,42±185,67	2728,00±145,68	2776,74±107,51	2657,13±98,28	2708,19±198,84	2563,31±210,85
	Efl	115±0,74	148,27±22,59	153,63± 13,01	110,79±44,06	74,92±4,31	74,86±1,77
	(%)	95	95	94	96	97	97

As concentrações médias anuais dos efluentes, conforme Tabela 7 foram de: 18,72 a 28,35 (mg/L) para DBO₅; 84,78 a 108,74 (mg/L) para DQO; 0,38 a 0,64 (mg/L) para PT; 2,40 a 11,07 (mg/L) para NAm; 0,02 a 0,19 (mL/L) para SSed; 142,08 a 199,54 (mg/L) para SSus; 1155,7 a 1356,4 (mg/L) para ST; 16,75 a 28,8 (NTu) para turbidez e 74,86 a 153,63 (PTCo) para cor, com condições médias de pH de 9,48 a 10 no afluente e 6,46 a 6,91 no efluente e temperatura de 36,42 a 41,60 °C no afluente e 28,97 a 34,79 °C no efluente. Todos os parâmetros estão de acordo com as legislações vigentes (CONAMA 357) no período para lançamento no corpo receptor que está enquadrado como rio classe III.

Mio e Campos (2001) em seus estudos encontraram valores de DBO₅ variando entre 12 e 44,8 (mg/L) e DQO entre 58 e 107 (mg/L) e Bresaola e Cantelli (1998), utilizando o tratamento com lodos ativados em batelada (LAB), obtiveram o valor de 1232 (ml/L) no parâmetro de STD (sólidos totais dissolvidos), estando de acordo com os valores encontrados no efluente em estudo (Tabela 7).

Os valores de DBO₅ foram analisados de acordo com os valores de emissão constantes do decreto 14250/81 que estabelecem o valor máximo para DBO₅ em 60 mg/L.

Há uma ressalva a ser feita para os valores da cor, que a legislação atual fixa o valor máximo de lançamento até 75 mg Pt/L, porém o estudo foi feito com valores dos anos de 2002 a 2007, e houveram alterações nos valores para emissão desse parâmetro durante o período de estudo, no período de 2002 a 2006 os valores máximos preconizados na legislação era de 500mg Pt/L.

Os valores de OD no efluente (4,355 a 6,386 mg/L) se encontram superiores aos do afluente (3,189 a 3,834mg/L) devido ao uso de aeradores, o que é um fator positivo.

A ETE apresentou para o período de estudo eficiências de remoção anuais de: 92 a 95% para a DBO₅, 91 a 94% para DQO, 78 a 93% para fósforo total, 53 a 90% para sólidos sedimentáveis, 17 a 50% para nitrogênio amoniacal, 73 a 82% para sólidos suspensos, -6 a 10% para sólidos totais dissolvidos, 95 a 97% para turbidez e 94 a 97% para cor. A ETE operou com cargas volumétricas anuais diferenciadas, sendo em 2005: DBO₅ de 1288 kg/mês, DQO de 5760 kg/mês e ST de 94412 kg/mês; em 2006: DBO₅ de 2323 kg/mês, DQO de 9256 kg/mês e ST de 108148 kg/mês; e em 2007: 793 kg/mês de DBO₅, 3778 kg/mês de DQO e 104147 kg/mês de ST. O tempo de retenção hidráulica (TRH) da ETE é de 97 horas ou ~4 dias. Os valores de remoção dos parâmetros turbidez e cor estão condizentes com os encontrados por Hassemer (2002), em seu experimento através do processo físico químico de floculação e oxidação com ozônio que correspondem a 98% para a cor e 97% para a turbidez. Bressola e Cantelli (1998), utilizando o sistema de lodos ativados por batelada (LAB) encontraram valores médios de remoção dos parâmetros de DBO₅ 97,61% e DQO 92,63%. Silva (2003) encontrou valores de remoção de DBO₅ entre 70 e 90%, em sistemas de tratamento com lagoas facultativas aeradas.

A evolução das eficiências no período de estudo está apresentada na Figura 7.

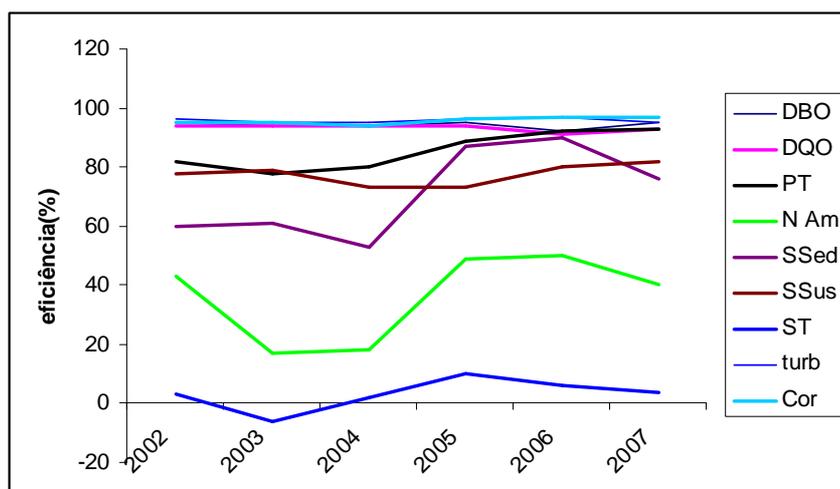


Figura 7- eficiências de remoção de 2002 a 2007.

Percebe-se na Figura 7 que as eficiências anuais que mais variaram foram dos parâmetros: N Am, ST e SSed, sendo que os ST apresentaram eficiências abaixo de 10% em todos os anos.

Sabendo que o processo de produção oscila conforme a moda e as estações do ano, necessitando de aditivos químicos e corantes diferentes. As Figuras 8 a 12 apresentam a evolução dos parâmetros do efluente da ETE de modo a verificar se existem diferenças nas concentrações em função do processo produtivo. Foi considerada a produção de verão (novembro a abril) e de inverno (maio a outubro).

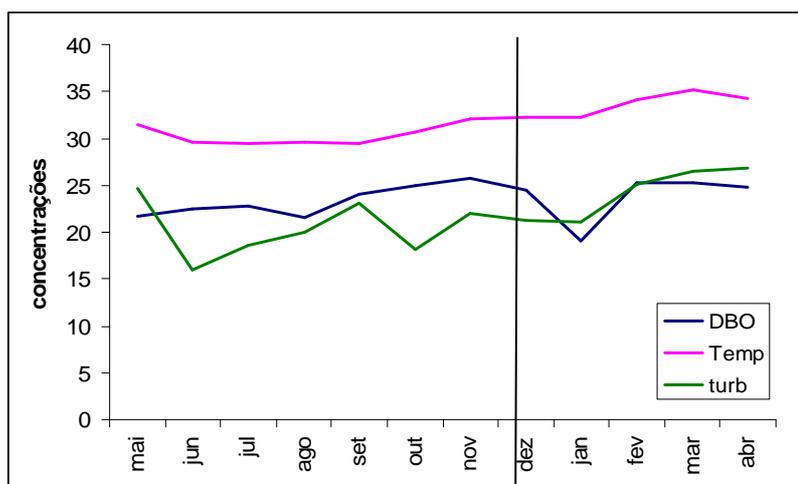


Figura 8 - Evolução temporal de DBO₅, temperatura e turbidez

A temperatura apresentou diferença nos valores médios mensais nos períodos de produção, com valores de 29,45 a 31,48°C no inverno e 32,15 a 35,14°C no verão. Os valores de concentração de DBO₅ variaram mais no verão, sendo no inverno valores de 21,49 a 24,90 mg/L e verão de 18,99 a 25,76 mg/L. O contrário aconteceu com os valores de turbidez que foram de 15,92 a 24,65 mg/L no inverno e 21,03 a 26,84 mg/L no verão.

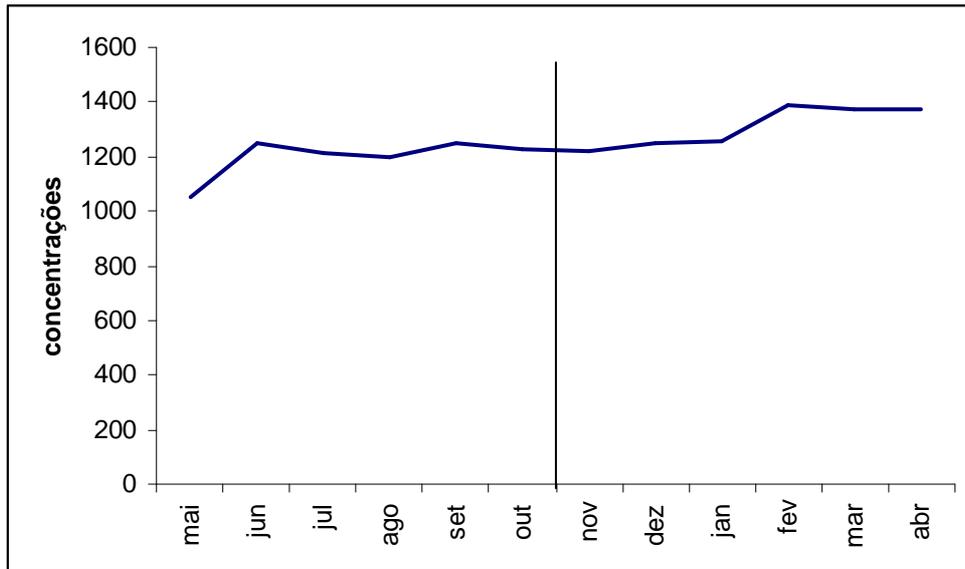


Figura 9 - Evolução temporal de ST.

Na Figura 9 percebe-se a diferença nos sólidos totais dissolvidos referente aos períodos de produção, sendo os valores médios no inverno de 1049,76 a 1250,5 mg/L e no verão de 1219,62 a 1391 mg/L.

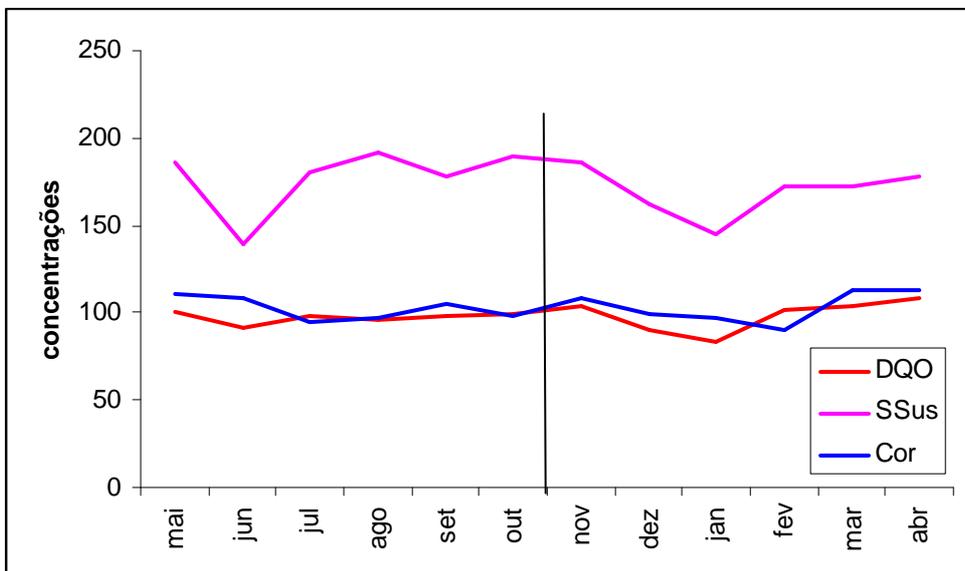


Figura 10 - Evolução temporal de DQO, SSus e cor.

Na Figura 10 verifica-se que as concentrações médias da DQO variaram mais no verão (83,14 a 108 mg/L) do que no inverno (91,5 a 100,6 mg/L), o que não aconteceu com SSus e cor que tiveram concentrações médias no inverno de 139 a 191,5 mg/L e 94,85 a 110,71 mg/L e, no verão 145 a 186,33 mg/L e 90,43 a 112,72 mg/L, respectivamente.

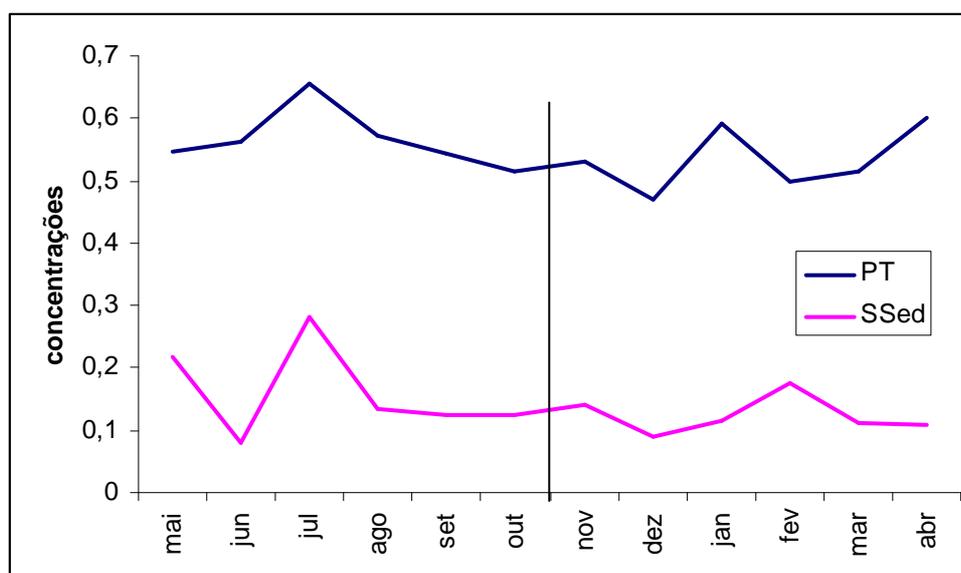


Figura 11 - Evolução temporal de PT e SSed.

A Figura 11 demonstra que os sólidos sedimentáveis variaram mais e apresentaram concentrações mais elevadas no inverno (0,07 a 0,28 mg/L) do que no verão (0,08 a 0,18 mg/L). O mesmo ocorreu com o fósforo total com concentrações no inverno de 0,51 a 0,66 mg/L e no verão de 0,47 a 0,60 mg/L.

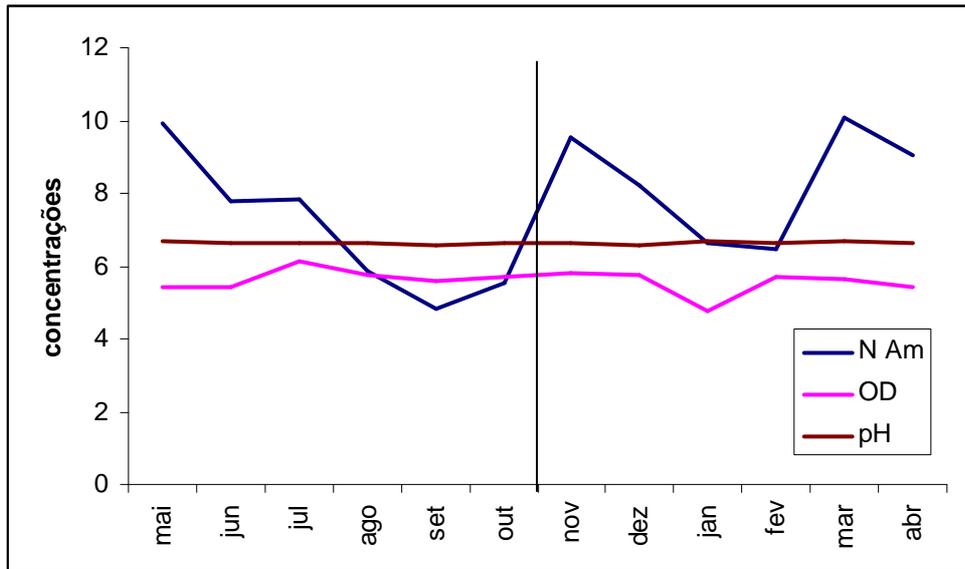


Figura 12 - Evolução temporal de N Am, OD e pH.

Os valores médios mensais do pH e OD permaneceram praticamente constantes (Figura 12), enquanto o nitrogênio amoniacal apresentou variação ao longo do ano, no inverno o valor mensal mínimo foi 4,84 e máximo 9,93 mg/L e no verão o mínimo foi de 6,45 e o máximo de 10,1 mg/L, com variações diferentes nos dois períodos de produção.

4.2 Medidas de Posição e Dispersão dos Dados da ETE

O estudo da variabilidade das concentrações dos parâmetros é uma maneira de saber como estão os valores dos parâmetros em torno da média refletindo a amplitude do conjunto de dados, ou seja, se os valores estão homogêneos ou heterogêneos (Figuras 13 e 14).

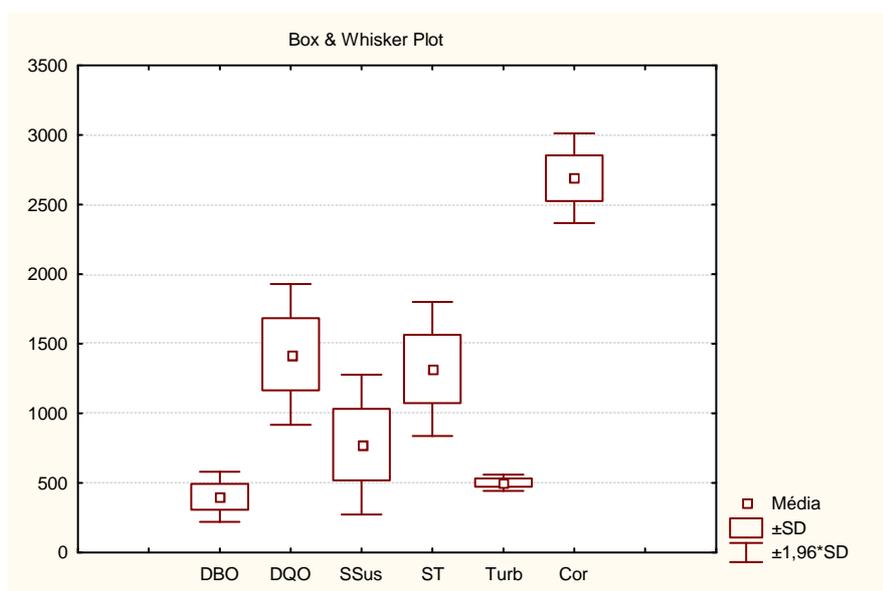


Figura 13– Valores médios, desvios padrão e erros padrão de DBO₅, DQO, SSus, ST, turbidez e cor do afluente

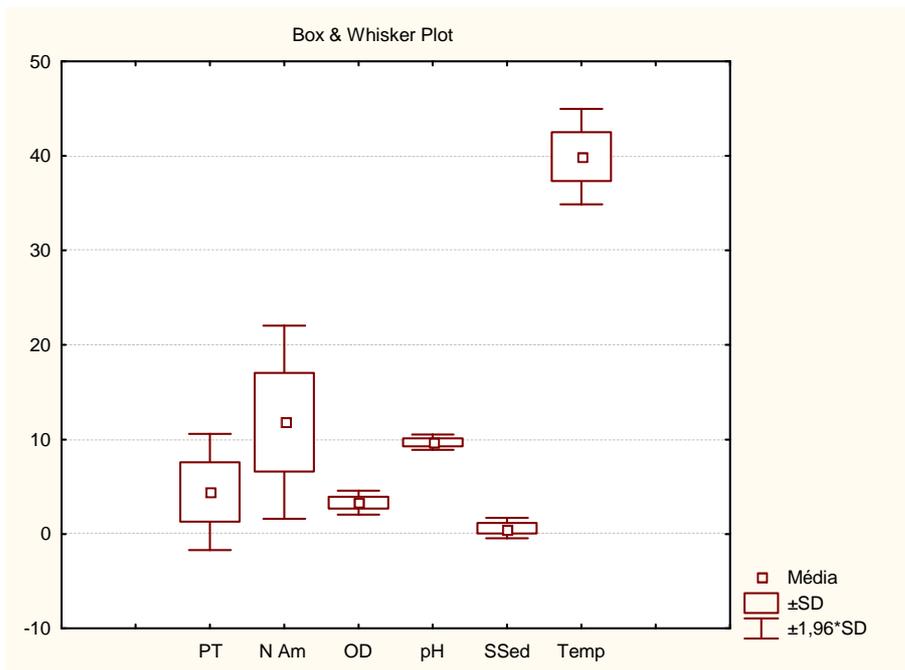


Figura 14 - Valores médios, desvios padrão e erros padrão do PT, N Am, OD, pH, SSed e temperatura do afluente

As maiores variabilidades, calculadas pelo coeficiente de variação, foram dos sólidos sedimentáveis (89,5%), fósforo total (70%), com menores variações ficaram o nitrogênio amoniacal (44%), sólidos suspensos (33%), DBO₅ (23%), oxigênio dissolvido (19,4%), sólidos totais dissolvidos (18,6%) e DQO (18%). A temperatura (6,5%), cor (6,11%), turbidez (6%) e pH (4,3%) apresentaram pouca variabilidade. A visualização destes comportamentos fica comprometida nas Figuras 13 e 14 pela diferença nas escalas dos valores absolutos de cada parâmetro.

A variabilidade das concentrações dos parâmetros analisados do efluente está nas Figuras 15 a 17.

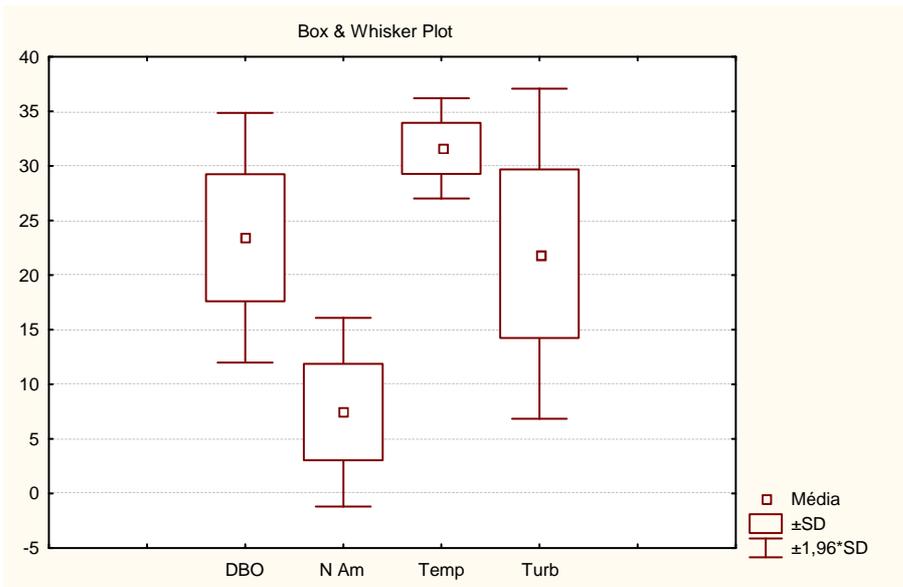


Figura 15 – Valores médios, desvios padrão e erros padrão de DBO₅, N Am, temperatura e turbidez do efluente.

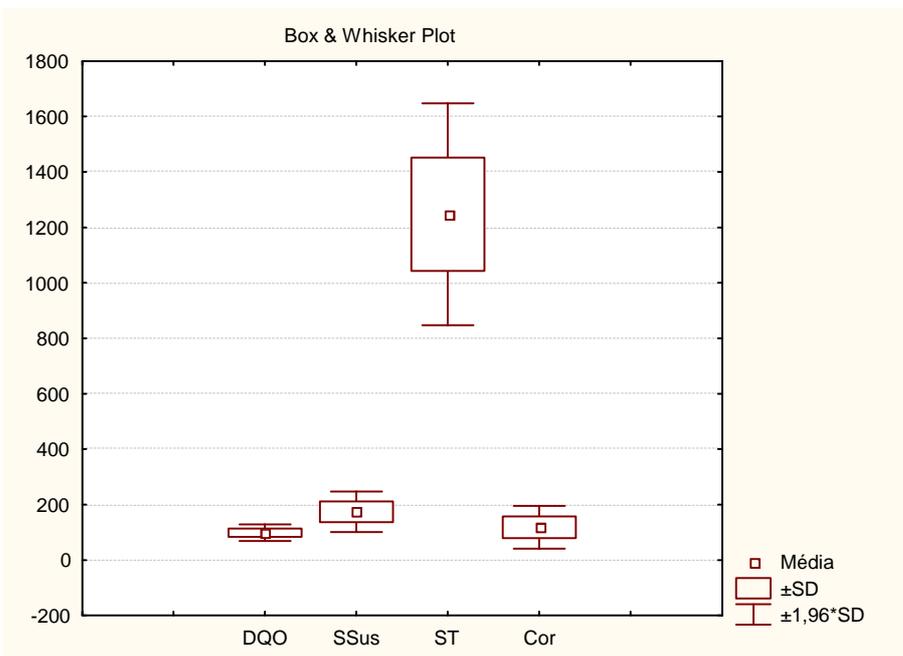


Figura 16 – Valores médios, desvios padrão e erros padrão de DQO, SSus, ST e cor do efluente.

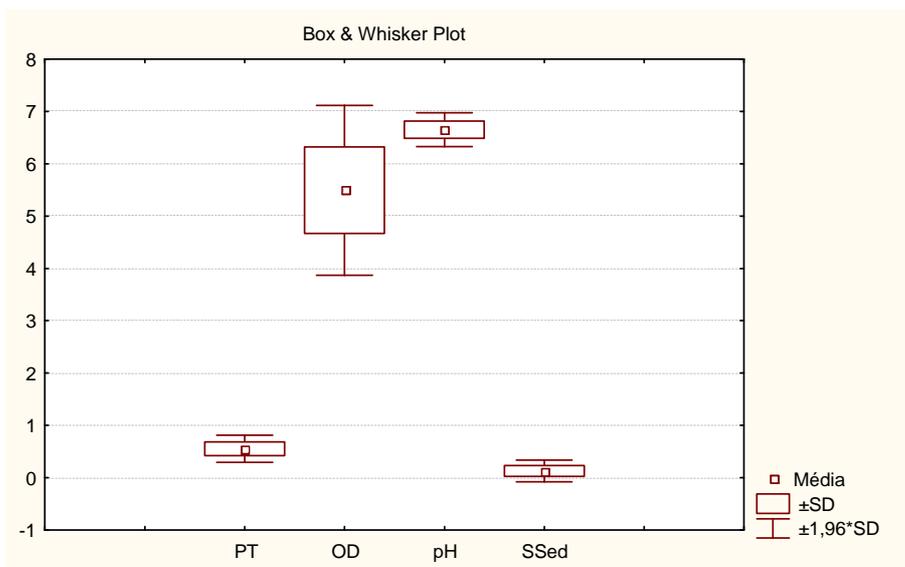


Figura 17 – Valores médios, desvios padrão e erros padrão para o efluente da ETE

As maiores variações no efluente foram dos parâmetros sólidos sedimentáveis (80,2%) e nitrogênio amoniacal (59%) enquanto que a variação da turbidez foi de 35%, da cor 33,23%, da DBO₅ 25%, do PT 24%, dos sólidos suspensos 21,5%, dos sólidos totais dissolvidos 16,4%, da DQO 15,5%, do oxigênio dissolvido 15%, da temperatura 7,4% e a menor variação foi do pH com 2,5%.

4.3 Análise de Componentes Principais (ACP) Para o Efluente do Sistema de Tratamento

Os dados utilizados no estudo referem-se a dois pontos de coleta, entrada e saída, compreendendo os processos biológico e físico-químico da ETE. Na busca de uma melhor interpretação dos processos que ocorrem com o efluente líquido ao passar por esses processos optou-se pela ACP que é uma análise multivariada que

possibilita avaliar as inter-relações entre os doze parâmetros analisados através das covariâncias ou dos coeficientes de correlação entre estes.

Aplicando a ACP para as doze variáveis (DBO₅, DQO, PT, N Am, OD, pH, SSed, SSus, ST, Temperatura, Turbidez e cor) em estudo, foram determinados doze fatores artificiais, representados na Tabela 8.

Tabela 8 – Autovalores e percentuais das variâncias explicadas para cada autovalor.

	Autovalores	Variância	Percentual Acumulado (%)
1	3,621774	30,18145	30,1815
2	1,903161	15,85967	46,0411
3	1,688817	14,07348	60,1146
4	1,144729	9,53941	69,654
5	0,921513	7,67928	77,3333
6	0,691609	5,76341	83,0967
7	0,606432	5,0536	88,1503
8	0,476622	3,97185	92,1221
9	0,445097	3,70914	95,8313
10	0,264106	2,20088	98,0322
11	0,16418	1,36817	99,4003
12	0,071961	0,59967	100

A seleção dos fatores artificiais foi através do critério de Kaiser ($p > 1$), sendo que a dispersão dos valores das concentrações do efluente serão analisadas com base em 4 (quatro) fatores artificiais. Estes fatores somados explicam 69% da variância dos parâmetros.

A correlação entre as variáveis do estudo pode ser observada no diagrama de dispersão plotando os fatores 1 e 2 (Figura 18).

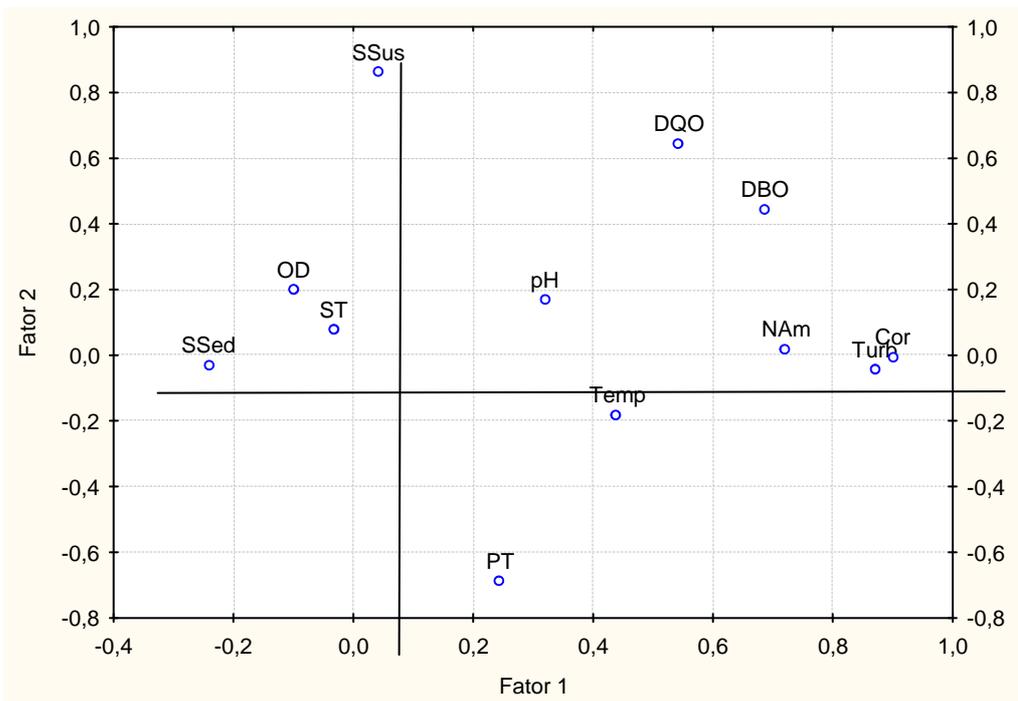


Figura 18 – Dispersão dos parâmetros pelas componentes principais 1 e 2.

O fator 1, com autovalor 3,62 explica 30,2% da variância dos parâmetros, designado como fator corante por apresentar maior grau de correlação com a cor (-0,89), e mantém correlação positiva com os parâmetros de OD, SSed, ST, SSus, e uma correlação negativa com os parâmetros de DBO₅, DQO, PT, NAm, pH, Temp, e Turb.

O fator 2 com autovalor 1,90 explica 15,9% da variância dos parâmetros. Com o maior grau de correlação com o OD (0,66), sendo representado pelo fator aerobicidade do processo, e apresenta correlação positiva com os parâmetros de NAm, SSed, SSus, ST e Temp, enquanto que com os parâmetros de DQO, DBO₅, PT, pH, Turb, e cor apresenta correlação negativa.

O fator 3 com autovalor 1,69 explica 14% da variância dos parâmetros. Com o maior grau de correlação com a temperatura (0,71), sendo representado pelo fator temperatura, que apresenta correlação negativa com os parâmetros pH e SSus, e com os demais parâmetros apresenta correlação positiva.

O fator 4 com autovalor 1,14 explica 9,6% da variância dos parâmetros. Com o maior grau de correlação com o ST (0,63), sendo representado pelo fator concentração de material orgânico, apresentando forte correlação com as variáveis de DQO, NAm, OD, pH, SSed, SSus, e Temp, e com as variáveis DBO₅, PT, Turb, e Cor, apresenta correlação negativa.

O resumo das variâncias dos 4 fatores artificiais obtidos na ACP está na Figura 19.

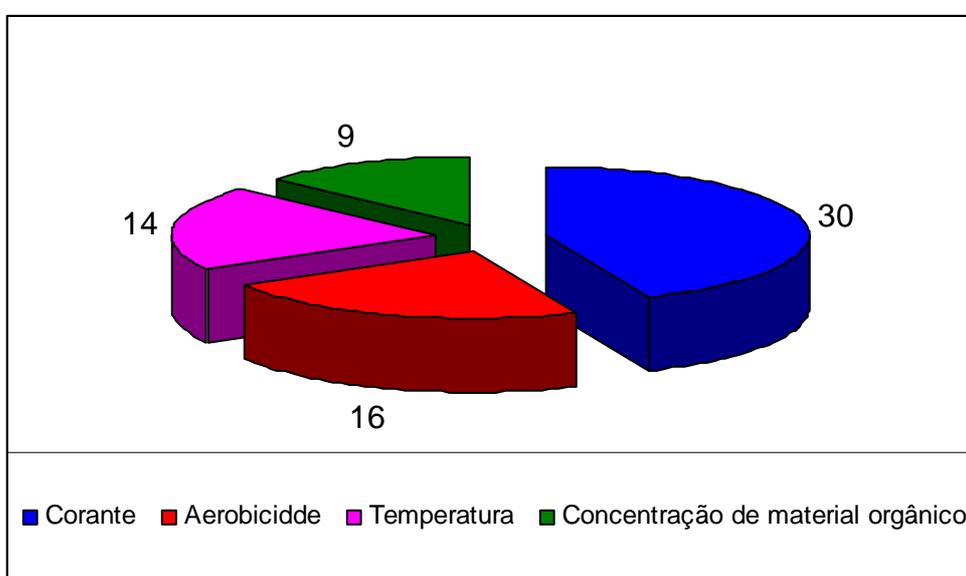


Figura 19 – Variâncias dos quatro fatores artificiais

A predominância do fator corante está relacionada com a dificuldade de remoção da cor na ETE, e pela composição que os corantes apresentam, necessitando de adição de produtos químicos durante o processo de tratamento para melhorar sua remoção. O fator aerobidade, relacionado ao saldo positivo do OD está relacionada a aeração dos tanques I, II e III, necessária para a remoção dos nutrientes e aceleração dos processos biológicos. A temperatura é um parâmetro influenciado pelo processo de aeração, que é necessário, pois o efluente sai do processo de produção com a temperatura elevada (~ 40°C). O fator concentração

de material orgânico pode ser explicado pela presença de fibras de algodão e do amido, que é adicionado na etapa de engomagem, no efluente da produção.

Zanotelli (2002) em um estudo com lagoas facultativas com chicanas para tratamento do efluente da suinocultura, encontrou predominância dos fatores concentração de material orgânico e temperatura. Barthel (2007) estudou um sistema com lagoas de alta taxa, maturação e ágapes no tratamento de efluente da suinocultura e os fatores predominantes em todas as lagoas foram a remoção de nutrientes, o fator concentração de material orgânico apareceu apenas na lagoa de maturação.

4.4 Características das amostras dos ensaios de solubilização e lixiviação do lodo

É uma exigência legal que as empresas emitam laudos periódicos para os órgãos de fiscalização ambiental sobre as características de seus efluentes líquidos e sólidos, para tal a empresa realiza análises em três laboratórios terceirizados.

Foram compiladas as análises de lixiviação e solubilização do lodo e realizada uma análise descritiva para conhecer suas características, considerando os laudos emitidos pelo laboratório Aquaplant, referentes ao período de 2004 a 2007. As análises e classificação do lodo seguindo as preconizações da NBR 10004, 10005, 10006 e 10007, indicaram que é um lodo Classe II (não inerte), o que permite sua reciclagem e utilização para fins agrícolas, desde que se faça um processo de estabilização.

O lodo é a parte sólida gerada no processo de tratamento biológico da ETE. É retirado do filtro prensa diariamente cerca de 8 toneladas de lodo que é acondicionado em caçambas e encaminhado ao aterro industrial próprio da empresa.

O estudo foi conduzido no sentido de verificar se é possível reaproveitar este lodo ao invés de enviá-lo ao aterro industrial, como uma alternativa de minimizar os passivos ambientais gerados por esta prática.

A Tabela 9 apresenta os valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras do lixiviado.

Tabela 9 - valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das amostras do lixiviado.

PARÂMETRO	Média (mg/L) e DP	CV (%)
Arsênio	0,0006±0,0001	157,37
Bário	0,080±0,068	84,61
Boro	0,037±0,018	49,159
Cádmio	0,007±0,015	184,82
Chumbo	0,067±0,199	295,90
Cianeto	0,04±0,12	295,32
Cobre	0,195±0,334	170,79
Cromo Hexavalente	0,38±0,026	69,28
Cromo	0,047±0,058	121,95
Estanho	0,089±0,29	322,94
Fenol Total	0,0048±0,007	149,93
Ferro	0,09±0,14	157,53
Fluoreto	3,410±7,190	210,96
Fósforo Total	0,709±0,285	40,20
Manganês	0,325±0,369	113,51
Mercúrio	0,0006±0,0017	301,06
Níquel	0,041±0,041	100,19
Nitrogênio Total	20,65±17,84	86,38
Prata	0,011±0,003	26,16
Selênio	0,001±0,0016	151,95
Sulfito	18,68±57,45	307,5
Sulfeto	0,09±0,053	56,36
Zinco	0,08±0,055	68,44

Todos os elementos monitorados estão com concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela NBR – 10005. No estudo de Fernandes (2007), os valores dos parâmetros Ba (0,882 mg/L) e Se (0,008 mg/L) ficaram acima dos apresentados na Tabela 9, já os valores de Ag (0,005 mg/L), cromo (0,01 mg/L), chumbo (0,01 mg/L) e cádmio (0,007 mg/L) ficaram abaixo. Os parâmetros que se mostraram mais heterogêneo foram o chumbo, fluoreto, cianeto, estanho, mercúrio e sulfito com coeficiente de variação de 200 a 330%. O arsênio, cádmio, cobre, cromo, fenol total, ferro, manganês, níquel e selênio variaram de 100 a 200%. Essas variações podem

ser atribuídas aos compostos adicionados nas diferentes etapas do beneficiamento têxtil

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados das concentrações dos metais e fenol presentes nas amostras do solubilizado do lodo.

Tabela 10 - valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das amostras do solubilizado

PARÂMETRO	Média (mg/L) e DP	CV (%)
Arsênio	0,004±0,006	165,69
Bário	0,114±0,086	74,927
Boro	0,37±1,09	294,20
Cádmio	0,006±0,013	208,80
Chumbo	0,049±0,115	233,10
Cianeto	0,013±0,017	129,20
Cobre	7,408±10,833	146,24
Cromo Hexavalente	0,031±0,003	9,36
Cromo	0,085±0,064	75,19
Estanho	0,125±0,287	230,25
Fenol Total	0,039±0,119	304,50
Ferro	0,261±0,197	75,63
Fluoreto	5,914±10,111	170,96
Fósforo Total	3,229±2,259	78,31
Manganês	0,063±0,083	132,27
Mercúrio	0,001±0,002	262,86
Níquel	0,1±0,086	85,74
Nitrogênio Total	545,28±698,81	128,11
Prata)	0,015±0,007	50,29
Selênio	0,002±0,003	151,43
Sulfito	18,50±51,03	275,85
Sulfeto	0,157±0,144	91,90
Zinco	0,092±0,085	92,038

Os resultados de alguns parâmetros estão acima dos limites permitidos pela NBR-10006, demonstrando que no lodo têxtil há existência de metais que solubilizam em quantidades superiores aos permitidos pela norma. Devido a esta

situação a empresa construiu seu aterro industrial apto para acondicionamento de lodo classe III.

Em seus estudos, sobre o lodo têxtil, Rosa (2004) obteve valores de alguns parâmetros como chumbo (0,11 mg/L), cromo (0,11 mg/L), ferro (49,82 mg/L) manganês (1,18 mg/L), nos extratos de solubilização, acima dos preconizados pela norma.

Na Tabela 10 os parâmetros que apresentaram maior variabilidade foram o fenol total, estanho, boro, cádmio, chumbo, mercúrio e sulfito com CV de 200 a 310%. O selênio, arsênio, cianeto, cobre, fluoreto e nitrogênio total com variação entre 100 a 200%.

Grande parte dos compostos químicos e suas concentrações limites, principalmente nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos, não estão relacionados nas normas para classificação deixando de serem avaliados adequadamente, o que não permite uma análise aprofundada dos riscos ambientais que este lodo pode acarretar.

Alguns autores comentam a fragilidade das metodologias das NBRs quanto a classificação do lodo. Flohr *et al.* (2005) estudaram a utilização de ensaios com *Daphnia magna* para a classificação de resíduos sólidos industriais, já que a NBR 10004 preconiza que no caso de toxicidade o resíduo já deve receber tratamento e destinação final inerente a classe I. A técnica proposta possibilita a identificação de substâncias tóxicas no lixiviado e sua classificação como classe I ou II, e se mostrou uma alternativa de classificação promissora pela rapidez e viabilidade econômica. Rosa (2004) em seu estudo de reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal realizou a avaliação ecotoxicológica do lodo através de 6 biotestes.

4.5 Análise de Componentes Principais (ACP) Para o Lodo

Optou-se por fazer a análise de componentes principais com os valores de concentração das análises do lixiviado e solubilizado com o objetivo de encontrar correlações entre os parâmetros que permitam vislumbrar as relações dos componentes químicos e quais os grupos de elementos que o processo de estabilização deve priorizar na remoção.

ACP para as análises de solubilização

Aplicando-se ACP para vinte e três parâmetros (As, Ba, Bo, Cd, Pb, CIA, Cu, FENOL, Cr6+, Cr, Sn, Fe, FLU, P, Mn, Hg, Ni, N, Ag, Se, SFE, SFI, Zn), medidos nos ensaios de solubilização, foram determinados nove fatores artificiais, que estão representados na Tabela 11 dos quais foram escolhidos, pelo critério de Kaiser ($p > 1$), os seis primeiros fatores que explicam 90,49% da variância dos parâmetros.

Tabela 11– Fatores artificiais determinados nos ensaios de solubilização do lodo

	Autovalores	Variância (%)	Percentual Acumulado
1	5,534674	24,0638	24,0638
2	4,413818	19,19051	43,2543
3	3,98428	17,32295	60,5773
4	2,595251	11,2837	71,861
5	2,480558	10,78504	82,646
6	1,804168	7,84421	90,4902
7	0,913865	3,97332	94,4635
8	0,739234	3,21406	97,6776
9	0,534152	2,3224	100

O autovalor que explica o fator 1 tem carga de 5,536 e variância de 24%, os fatores 2 e 3 apresentam autovalores e variâncias próximas, 4,41 (19,19%) e 3,98

(17,32%), respectivamente. Os demais fatores apresentam autovalor de 2,59 (11,28%) para o fator 4, 2,48 (10,78%) para o fator 5 e 1,80 (7,84%) para o fator 6, totalizando uma explicação de 90,49% de dispersão dos valores de concentração do grupo.

A dispersão das variáveis em relação aos fatores 1 (eixo das abscissas) e fator 2 (eixo das ordenadas), está ilustrada no diagrama de dispersão, Figura 20.

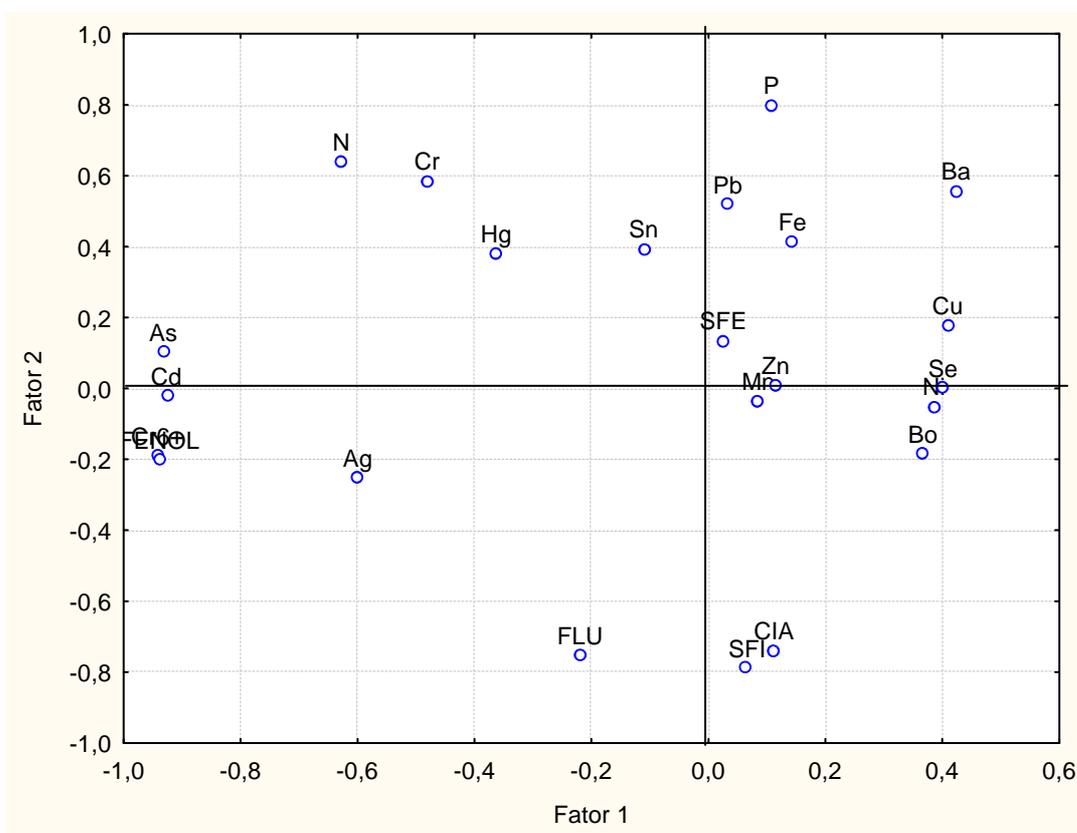


Figura 20 – Dispersão das variáveis pelas duas componentes principais 1 e 2.

O fator 1 apresentou maior grau de correlação com a variável Cr6+(0,94) sendo representado pelo fator artificial metais pesados tóxicos, indicando que o processo de estabilização deve ter potencial de remoção destes parâmetros, e que devem ser realizados estudos com a adição deste biossólido ao solo para verificar com cuidado se os valores desta mistura não é prejudicial ao meio ambiente.

O fator 2 apresentou maior grau de correlação com a variável fósforo (0,80) sendo representado pelo fator artificial macro nutrientes, este é um fator positivo para o uso do lodo na agricultura, pois os fertilizantes são compostos principalmente por Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK).

O fator 3, 5 e 6 apresentaram maior grau de correlação com a variável cobre (0,78), ferro (-0,72) e zinco (0,65), respectivamente que pertencem ao mesmo grupo, representado pelo fator artificial micro nutrientes, este é outro fator favorável para a indicação da viabilidade de uso do lodo na agricultura, pois não existem restrições para as plantas quanto a adição de micro nutrientes.

O fator 4 apresentou maior grau de correlação com a variável prata (0,55) sendo representado pelo fator artificial metais e não-metals, para este grupo de elementos não se encontrou indicações na literatura, nem restrições de uso.

Analisando o grau de correlação do fósforo e nitrogênio com os elementos prejudiciais às plantas, verificou-se que o P está com baixas correlações com os seguintes metais pesados: As (-0,03), Ba (0,34), Cd(-0,08), Pb (0,33), Cr6+ (-0,27), Cr (0,36) e Hg (0,22), e com os compostos químicos: FENOL (-0,29) e SFE (0,03). O N teve baixa correlação com os metais Ba (0,01) e Pb (0,26) e com os compostos químicos: FENOL (0,38), FLU (-0,26) e SFE (-0,05).

ACP para as análises de lixiviação

Aplicando-se a ACP para os vinte e três parâmetros medidos nos ensaios de lixiviação do lodo, foram determinados dez fatores artificiais, que estão representados na Tabela 12. Destes, foram escolhidos os sete primeiros fatores que explicam 91,08% da variância do grupo.

Tabela 12 – Fatores artificiais determinados nos ensaios de lixiviação do lodo

	Autovalores	Variância (%)	Percentual Acumulado
1	5,403049	23,49152	23,4915
2	4,393635	19,10276	42,5943
3	3,690145	16,04411	58,6384
4	2,675144	11,63106	70,2694
5	1,852907	8,05612	78,3256
6	1,510284	6,56645	84,892
7	1,424849	6,195	91,087
8	0,917092	3,98736	95,0744
9	0,66452	2,88922	97,9636
10	0,468375	2,03641	100

Os fatores 1 e 6 com autovalores 5,40 e 1,51 e variâncias 23,49% e 6,57% estão associados ao parâmetro Sulfeto (-0,86) e sulfito (0,69), são representados pelo fator artificial compostos químicos perigosos. Este grupo precisa de atenção especial devido a seu elevado potencial poluente.

O segundo fator, explica 19,10% da dispersão do grupo, com autovalor 4,39 está correlacionado com o zinco (0,79) e representa o fator micro nutrientes.

Os fatores 3, com autovalor 3,69 (16,04%) correlacionado com o bário (0,86), o fator 4 com autovalor 2,67 (11,63%) correlacionado com o Cr6+(-0,70) e o fator 7 com autovalor 1,42 (6,19%) correlacionado com o Cr6+(- 0,51) representam o fator artificial metais pesados tóxicos. O fator 5 com autovalor 1,85 (8,05%) correlacionado com o estanho (0,74) representa o fator artificial metais e não metais.

A dispersão do grupo de parâmetros em relação ao fator 1 e 2 estão apresentadas na Figura 21.

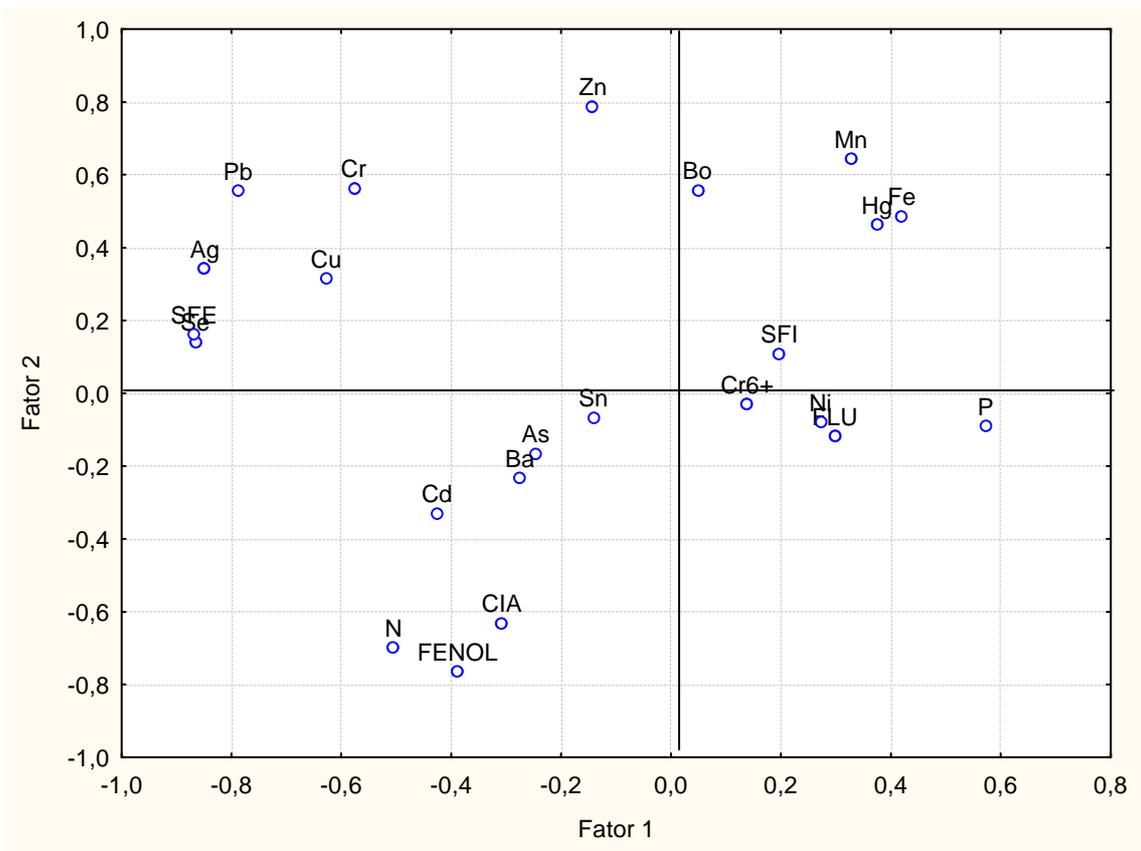


Figura 21 – Dispersão das variáveis pelas duas componentes principais 1 e 2.

A dispersão dos dados (Figura 21) e os valores de correlação permitem analisar que o fósforo e o nitrogênio não estão relacionados com alguns metais pesados e compostos químicos, isso indica que o processo de estabilização que remove estes dois grupos não altera significativamente as concentrações de P e N. As correlações do P com os metais pesados foram: Ba (0,16), Cd(0,09), Cr (-0,04), Hg (0,23) e Ni (0,05), com compostos químicos perigosos: SFI (-0,34), CIA (-0,22), FENOL (-0,27) e FLU (0,21). Quanto ao N as correlações com metais pesados foram: Ba (0,36), Pb (0,03), Cu (0,01), Cr6+ (0,30), Cr (0,08), Hg (-0,33) e Ni (-0,15), com compostos químicos perigosos: SFI (-0,39), SFE (0,31) e FLU (-0,02).

4.6 Demanda Para Utilização do Lodo Gerado

O Decreto Nº. 86.955, de 18 de fevereiro de 1982, regulamenta a Lei Nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, alterada pela Lei Nº 6.934, de 13 de julho de 1981, dispõe sobre a Inspeção e a Fiscalização da Produção e do Comércio de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes destinados à Agricultura, define em seu artigo terceiro:

- Fertilizante - substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas:
 - Fertilizante Simples - fertilizante formado de um composto químico, contendo um ou mais nutrientes das plantas;
 - Fertilizante Misto - fertilizante resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes simples;
 - Fertilizante Organomineral - fertilizante procedente da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos;
 - Fertilizante Composto - fertilizante obtido por processo bioquímico, natural ou controlado com mistura de resíduos de origem vegetal ou animal;
 - Fertilizante Orgânico - fertilizante de origem vegetal ou animal contendo um ou mais nutrientes das plantas;

- Corretivo - produto que contenha substâncias capazes de corrigir uma ou mais características do solo, desfavoráveis às plantas:

- Melhorador ou Condicionador do Solo - produto que promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas do solo.

A Resolução CONAMA 380/2006 - Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências; em seu artigo 12, é proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

A estimativa de demanda de uso de fertilizantes para Joinville e região (Araquari, Garuva, Balneário Piçarras, Barra Velha, Campo Alegre, Corupá, Guaramirim, Itajaí, Itapoá, Jaraguá do Sul, Joinville, Massaranduba, São Bento do Sul, São Francisco do Sul, São João do Itaperiú e Schroeder) foi realizada através do levantamento de dados junto ao IBGE(2008), demonstrando as principais culturas, que se adequam aos critérios da resolução CONAMA 380/2006 (Tabela 13).

Tabela 13- Área para cultivo e principais culturas encontradas na região

Cultura	Área (ha)
Banana	16691
Milho (em grão)	6819
Feijão (em grão)	893
Cana-de-açúcar (2)	753
Fumo (em folha)	665
Palmito	664
soja	250
Maracujá	146
trigo	66
cevada	50

A área agricultável das 16 cidades, que podem receber o biossólido é de aproximadamente 26997 hectares, que serão considerados nos cálculos da viabilidade econômica de aplicação de lodo têxtil na agricultura.

4.7 Cálculos de Viabilidade Econômica do Processo de Compostagem, Vermicompostagem e Aterro Industrial.

Segundo Balan e Monteiro (2001), o lodo têxtil possui composição variável, conforme o processo produtivo empregado pelas indústrias. Geralmente possui altos teores de matéria orgânica N, P, macro e micro nutrientes, além dos compostos químicos tóxicos e metais pesados. A compostagem é uma alternativa de tratamento do lodo para minimizar os riscos causados por sua aplicação direta no solo.

Análise do processo de compostagem

Correa *et al.* (2006) realizaram um estudo de um sistema de compostagem com pilhas de aeração passiva (Figura 22) de dimensão $\geq 5 \text{ m}^3$, pois é um sistema que garante um ambiente aeróbico necessário para atividade dos microrganismos e homogeneização da mistura, através do revolvimento periódico das pilhas. Conforme o aumento em escala desse sistema o processo é denominado de leira de aeração passiva.

A perda de água durante o processo de compostagem resulta em um volume final de composto inferior a 50% daquele que iniciou o processo. Geralmente o tempo para cada processo de compostagem é de 60 dias.

Os autores concluíram que é um processo eficiente e de baixo custo operacional.

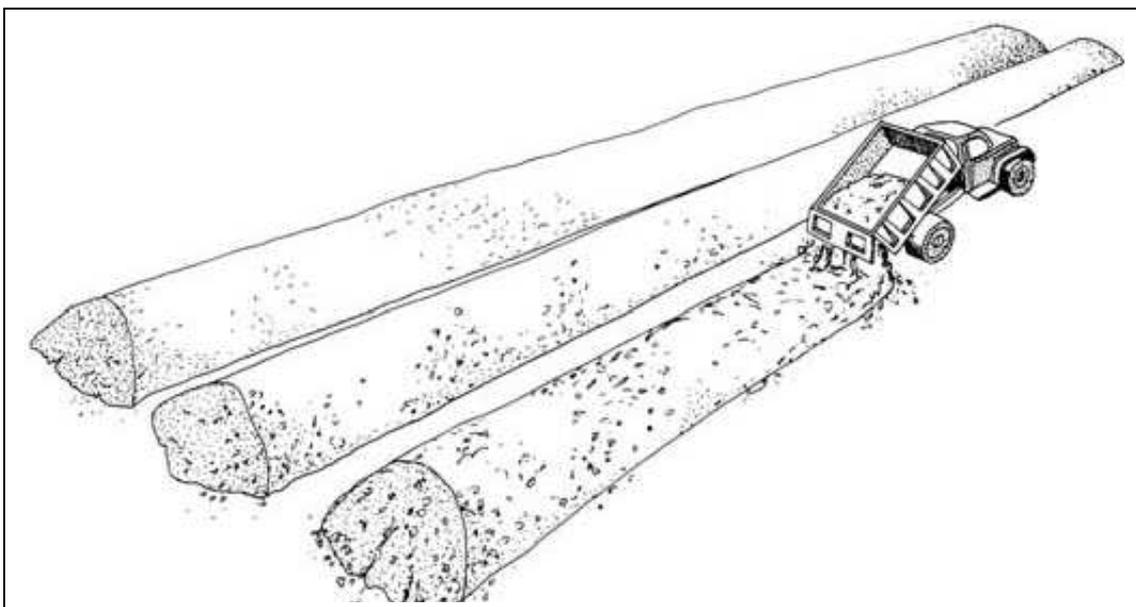


Figura 22– sistema de compostagem em leiras de aeração passiva
Fonte: Correa *et al.* (2006)

Simulação de custo do processo de estabilização

Utilizando os dados apresentados no estudo de Correa *et al.* (2006) para fazer uma simulação simplificada de viabilidade econômica do processo de compostagem do lodo têxtil, pode-se estimar o custo de 1 tonelada de composto.

A mistura de material carbonáceo ao lodo garante a eficiência do processo. Esta mistura pode ser com resíduos gerados em atividade agrícolas, como resíduos de bananeira, casca de arroz, palha de milho e cana de açúcar, que são encontrados em grande disponibilidade na região de Joinville.

O revolvimento da mistura pode ser feito dentro da caçamba do caminhão, para eliminar o uso de máquinas. O tempo de compostagem depende da quantidade de material a ser agregado ao lodo e a umidade das leiras.

Os recursos financeiros que envolvem o processo de compostagem são a mão de obra, a área para disposição do lodo e o transporte. A empresa possui a área no aterro industrial e o caminhão que já leva o lodo até lá.

A mão de obra (MO) foi estimada em função uma leira ter capacidade de 5 ton (lodo + resíduo) e ser revolvida 3 vezes por mês, sendo que 1 funcionário daria conta de uma produção de 25 ton de composto.

Com um custo de salário de R\$ 1200,00 mês, o custo de mão de obra para um processo de 25 ton é de R\$2400,00.

Então o custo do composto é de R\$ 96,00 a ton.

Para verificar a demanda agrícola deste composto adotaram-se os seguintes pressupostos: no processo de compostagem lodo perde cerca de 50% de umidade, reduzindo seu volume nesta proporção. Considerando que o mesmo ocorra com o resíduo da agricultura que vai ser adicionado ao lodo.

Para cada tonelada de lodo necessita acrescentar 1 tonelada de resíduo, com perda de 50% de volume, resulta 1 tonelada de biossólido.

Os autores relatam que são necessárias de 20 a 30 ton de composto orgânico para adubar 1 ha de plantio. A área agricultável da região é de aproximadamente 27.000 ha (Tabela 12), gerando uma demanda de anual de 675000 ton/ano (27000ha x 25ton).

A produção de lodo anual da empresa é de 2880 ton. De modo que atenderia aproximadamente 4% da demanda agrícola.

Além do benefício ambiental a empresa teria um lucro de R\$ 204,00 por tonelada, visto que a disposição de lodo em aterro industrial custa aproximadamente R\$ 300,00 por tonelada.

Análise do processo de vermicompostagem

A vermicompostagem é um processo constituído por dois estágios: no primeiro, a matéria orgânica é compostada segundo os métodos tradicionais de compostagem, proporcionando a redução de microrganismos patogênicos. Após aproximadamente 30 dias, segundo Bidone (2001), o composto é transferido para leitos rasos para não se aquecer demasiadamente e não se compactar, pois os materiais de granulometria fina têm essa tendência. Faz-se, então, a inoculação das minhocas e, 60 a 90 dias após, obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento da disponibilidade de macro e micro nutrientes e a formação de um húmus mais estável.

De acordo com Confagri (2004), o material utilizado na vermicompostagem deve apresentar cerca de 30% de umidade, e para cada kg de resíduo produzido por semana deve-se juntar 300g de minhocas.

Considerando que o volume do composto gerado é de 240 ton/mês, seriam necessárias 72 ton de minhoca para fazer o processo. Devido a excessiva quantidade de minhocas e seu elevado custo (R\$35,00 por kg), é inviável a utilização deste processo para estas quantidades de lodo.

Análise do aterro industrial

O aterro industrial da empresa foi construído em 1996, com padrões de acondicionamento de lodo classe III. O lodo é acondicionado em trincheiras (Figuras 23 e 24) com cerca de 3.000 m² e 20m de profundidade, impermeabilizadas no fundo e nas laterais possuindo dreno de fundo para eliminar o lixiviado, um líquido escuro gerado pela degradação dos resíduos em aterros sanitários, que é conduzido por gravidade até as lagoas, também impermeabilizadas no fundo e laterais. Destas lagoas o lixiviado é aspergido e novamente levado à ETE da empresa.



Figura 23 – Vista da primeira trincheira ocupada parcialmente.

A Figura 24 ilustra a ocupação da primeira trincheira de lodo, que teve sua capacidade máxima atingida em 2006.



Figura 24 – Vista da segunda trincheira sendo impermeabilizada.

O processo de impermeabilização das trincheiras é fundamental para que não haja a contaminação do solo e da água.

O custo para disposição do lodo no aterro industrial foi calculado considerando o que uma empresa de terceirização cobra, que gira em torno de R\$ 300,00 a R\$ 400,00 por tonelada.

A empresa produz em média 240 ton/mês de lodo, então o custo mensal de acondicionamento de lodo é de aproximadamente R\$84.000,00.

A busca de alternativas para reaproveitamento do lodo têxtil é uma realidade a ser estudada, pois os aterros demandam de grandes áreas que futuramente se transformam em um passivo para a empresa, e demandam de um custo de manutenção e monitoramento vitalício.

O custo de compostagem é de R\$96,00 a ton, então a empresa teria um custo mensal para este processo de R\$23.040,00. Comparando com o custo do aterro haveria uma redução de custos para a empresa de aproximadamente 50%, sem considerar que não gera as áreas de passivo.

Sabe-se que esta é uma simulação incipiente, necessitando de um estudo aprofundado que envolva outros fatores econômicos e análises de caracterização de solo e dos compostos, mas esse não era objetivo principal do estudo. Pereira Neto e Lelis (1999) afirmam que o grau de qualidade do composto orgânico indicará seu uso mais apropriado. Segundo eles, por pior que seja o produto, sempre estará inerte, não produzirá gases nem chorume e propiciará o crescimento de vegetais em áreas contaminadas, solos estéreis, voçorocas e aterros.

Buscou-se levantar a questão de valoração do lodo têxtil, que é escassa na literatura, e verificar se as ferramentas de análises multivariadas como a ACP permitem que se entenda o comportamento dos elementos que estão presentes no lodo para decidir quais os processos de estabilização podem ser adotados.

4.8 Lodo de esgoto x Lodo têxtil

A literatura traz muitos dados a respeito da utilização do lodo de esgoto doméstico na agricultura, não existindo estudos específicos a respeito a utilização do lodo da indústria têxtil na agricultura. Esse tipo de lodo tem uma parte orgânica, sendo uma opção de uso como componente orgânico, ou corretivo do solo.

A Resolução CONAMA 380/2006, na seção III, artigo 11 define os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura. A Tabela 14 traz as substâncias citadas e os valores máximos permitidos no lodo de esgoto ou produto derivado, bem como os resultados encontrados nos ensaios realizados no lodo têxtil retirado do filtro prensa da empresa em estudo.

Tabela 14 - Concentração máxima de metais permitida no lodo de esgoto ou produto derivado e concentração de metais encontrados no lodo têxtil

Substâncias Inorgânicas	CONAMA 380/2006 (mg/Kg, base seca)	Lodo do Filtro prensa (mg/Kg, base seca)	Lodo do leito de secagem (mg/Kg, base seca)
Arsênio	41	-	-
Bário	1300	-	-
Cádmio	39	2	1
Chumbo	300	47	23
Cobre	1500	511	738
Cromio	1000	20	39
Mercúrio	17	0,27	0,28
Molibdênio	50	3	2
Níquel	420	21	14
Selênio	100	-	-
Zinco	2800	276	346

Observa-se na tabela 14, através da caracterização do lodo do filtro prensa, no que diz respeito a problemas toxicológicos, existe a presença de metais pesados, mas em concentrações inferiores às permitidas pela resolução que normatiza a utilização do lodo de esgoto doméstico na agricultura, podendo o mesmo ser usado em condicionadores de solo após sofrer um processo de estabilização.

Apesar do potencial agrônomo do lodo ser inquestionável, sua utilização em áreas de cultivo vegetal deve ser feita de maneira cuidadosa, de modo a não provocar danos à saúde pública e ao meio ambiente (USEPA apud ROSA, 2004).

Os teores de metais pesados solúveis no solo são geralmente baixos. Entretanto, o emprego de fungicidas, fertilizantes minerais e esterco de animais na agricultura e descarte de resíduos urbanos tais como lixo e lodo de esgoto e industrial no solo, podem aumentar suas concentrações causando danos à biota (ROSA, 2004).

Embora existam estudos que recomendam o aproveitamento de lodo têxtil na agricultura após um processo de estabilização. Esta prática deve ter critérios

severos, sempre amparados pela legislação, para evitar impactos ambientais decorrentes do acúmulo de metais pesados no solo.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas tanto para o efluente líquido quanto para o lodo da ETE permitiram as seguintes conclusões:

As concentrações médias anuais dos efluentes, conforme Tabela 7 foram de: 18,72 a 28,35 (mg/L) para DBO₅; 84,78 a 108,74 (mg/L) para DQO; 0,38 a 0,64 (mg/L) para PT; 2,40 a 11,07 (mg/L) para NAm; 0,02 a 0,19 (mL/L) para SSed; 142,08 a 199,54 (mg/L) para SSus; 1155,7 a 1356,4 (mg/L) para ST; 16,75 a 28,8 (NTu) para turbidez e 74,86 a 153,63 (PTCo) para cor, com condições médias de pH de 9,48 a 10 no afluente e 6,46 a 6,91 no efluente e temperatura de 36,42 a 41,60 °C no afluente e 28,97 a 34,79 °C no efluente. Todos os parâmetros estão de acordo com as legislações vigentes no período para lançamento no corpo receptor que está enquadrado como rio classe III.

A ETE apresentou para o período de estudo eficiências de remoção anuais de: 92 a 95% para a DBO₅, 91 a 94% para DQO, 78 a 93% para fósforo total, 53 a 90% para sólidos sedimentáveis, 17 a 50% para nitrogênio amoniacal, 73 a 82% para sólidos suspensos, -6 a 10% para sólidos totais dissolvidos, 95 a 97% para turbidez e 94 a 97% para cor. A ETE operou com cargas volumétricas anuais diferenciadas, sendo em 2005: DBO₅ de 1288 kg/mês, DQO de 5760 kg/mês e ST de 94412 kg/mês; em 2006: DBO₅ de 2323 kg/mês, DQO de 9256 kg/mês e ST de 108148 kg/mês; e em 2007: 793 kg/mês de DBO₅, 3778 kg/mês de DQO e 104147

kg/mês de ST. O tempo de retenção hidráulica (TRH) da ETE é de 97 horas ou ~4 dias.

Os parâmetros que se mostraram mais heterogêneo nas análises de lixiviação foram o chumbo, fluoreto, cianeto, estanho, mercúrio e sulfito com coeficiente de variação de 200 a 330%. O arsênio, cádmio, cobre, cromo, fenol total, ferro, manganês, níquel e selênio variaram de 100 a 200%. Essas variações podem ser atribuídas aos compostos adicionados nas diferentes etapas do beneficiamento têxtil.

No caso das amostras de solubilização os parâmetros que apresentaram maior variabilidade foram o fenol total, estanho, boro, cádmio, chumbo, mercúrio e sulfito com CV de 200 a 310%. O selênio, arsênio, cianeto, cobre, fluoreto e nitrogênio total com variação entre 100 a 200%.

A estimativa de demanda de uso de fertilizantes para Joinville e região (Araquari, Garuva, Balneário Piçarras, Barra Velha, Campo Alegre, Corupá, Guaramirim, Itajaí, Itapoá, Jaraguá do Sul, Joinville, Massaranduba, São Bento do Sul, São Francisco do Sul, São João do Itaperiú e Schroeder) é de aproximadamente 27000 há.

O custo de compostagem é de R\$96,00 a ton, então a empresa teria um custo mensal para este processo de R\$ 23.040,00. Comparando com o custo do aterro haveria uma redução de custos para a empresa de aproximadamente 50%, sem considerar que não gera as áreas de passivo.

O processo de vermicompostagem não foi viável economicamente devido ao alto custo das minhocas e a grande quantidade necessária.

Recomendações

A seqüência do estudo pode ser conduzida da seguinte forma:

Realizar um estudo detalhado do processo de compostagem incluindo as análises do potássio.

Fazer experimentos com diferentes frações de lodo e resíduo, verificando as frações de carbono e nitrogênio;

Analisar a mistura do composto com diferentes tipos de solo.

6.0 REFERÊNCIAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil, disponível em: <www.abit.org.br.> Acesso em: 15 jan. 2008.

APHA. AWWA. WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 Ed., Washington, DC, USA, American Public Health Association, 1998.

ARAUJO, A. S.F., MONTEIRO, R.T.R, CARVALHO, E.M. de S., SOUZA, I. da S. **Influência do Lodo Têxtil Compostado sobre o Acúmulo de Matéria Seca em Feijão-Caupi**. Disponível em: < <http://www.cpamn.embrapa.br/anaisconac2006/resumos/SN01.pdf>> Acesso: 10 out. 2007.

ARRUDA, C. FERREIRA, V. A. SILVEIRA, F.P. **Caderno de Idéias**. Projeto China. Ano 7, nº 24, Outubro 2007. Disponível em: < http://ci.fdc.org.br/anexo/caderno_ideias/CI%200724%20C2.pdf> Acesso em: 20 dez. 2007.

BARTHEL, L. **Lagoas de alta taxa, maturação e aguapés em sistema de tratamento de dejetos de suínos; avaliação de desempenho e dinâmica planctônica**. Tese, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, SC, 2007. 175p.

BALAN, D.S.L. Biodegradação e Toxicidade de Efluentes Têxteis. **Revista Química Têxtil**, V. 22, p.26-31, 1999.

BALAN, D. S. L.; MONTEIRO, R. T. R. Decolorization of textile indigo dye by lignolytic fungi. **Journal of Biotechnology**, v.89, p.141-145, 2001.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: Rima, 2001. 240 p.

BRESAOLA, R., CANTELLI, L. D. Tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil e seu reuso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 1998.Lima. **Anais do XXVI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental** . Lima, Peru.. AIDIS, 1998.

CAMMORATA, M.C.; COELHO, M.A.Z.; Tratamento Enzimático para Remoção de Cor de Efluentes da Indústria Têxtil. **Química Têxtil**, n. 65, p. 40-48, 2001.

CASSINI, S.T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e reaproveitamento de biogás.** Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da Técnica de Eletrofloculação no Tratamento de Efluentes Têxteis.** Dissertação. Programa de Pós Graduação em Química. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2006. 111 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/produtos/produto_consulta_completa> Acesso em: 09 dez. 2007.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO n. 380, DE 29 DE 31 de outubro de 2006.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>Acesso em: 15 jan. 2008.

_____. **RESOLUÇÃO n. 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 15 jan. 2008.

CORRÊA, R.S. FONSECA, Y.M.F. CORRÊA, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n. 4, p. 420-435, 2007.

CPRH – Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Roteiro Complementar de licenciamento e fiscalização para tipologia têxtil.** Recife, 2001. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/roteiro-textil.pdf>>. Acesso: jan 2008.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, Vol. 1. Rio de Janeiro . ABES. 1993.

DANTAS, T. L. P. **Decomposição de peróxido de hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente fenton modificado.** Dissertação. Pós- graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. 2005, 106 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA de PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2000. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Eds: Wagner Bettiol and Otávio A. Camargo, SP, Brasil. 312p.

ESQUERRE, K. P. S. O. R. Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas e de redes neurais na modelagem de um sistema de tratamento de efluentes industriais. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Química. UNICAMP, 2003.

FERNANDES, A.K.S. SILVA, L.A.P ARAÚJO, A.L.C. Avaliação de desempenho e caracterização de resíduos sólido gerado em uma estação de tratamento de efluente têxtil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007. Belo Horizonte. **Anais Eletrônicos.** Belo Horizonte: ABES 2007.

FLOHR, L. BRENTANO, M.D. CARVALHO-PINTO, C.R.S de. MACHADO, V.G. MATIAS, G. W. Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa. **Biotemas**, V. 18, n. 2, p. 7-18, 2005.

FREITAS, K. R. **Caracterização e Reuso de Efluentes do Processo de Beneficiamento da Indústria Têxtil.** Dissertação. Pós-graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. 2002.

GUARATINI, Cláudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice B. Corantes têxteis. **Química Nova.** São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

HASSEMER, M.E.N. **Oxidação Fotoquímica – UV/H₂O₂ – para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil.** Tese. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. UFSC. Florianópolis, 2006, 162 p.

HASSEMER, M.E.N.; SENS, M.L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico, ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.7, n.1, 2002.

HEREK, L. C. S. BERGAMASCO, R. TAVARES, C.R.G. PANCOTTE, L.P. UEMURA, V. O. **Estudo da solidificação/ estabilização de lodo de lavanderias industriais em material cerâmico.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003. Joinville. Anais Eletrônicos. Joinville: ABES 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>> Acesso em: 15 dez. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas de População. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2006/estimativa.shtm>>. Acesso em: 15 dez. 2007.

IEMI – Instituto de Estudos de Marketing Industrial. **História da Indústria Têxtil no Brasil**. Disponível em: <www.textilia.net> Acesso em: 20 jan. 2008.

ISAAC, R.L., PORRAS, A.C. **Montagem e avaliação de reator de laboratório para tratamento de efluente têxtil no sistema LAB (Lodos Ativados por Batelada)**. Disponível em: <http://www.umng.edu.co/www/resources/16-2_1.pdf> Acesso em: 10 jan. 2008.

JORDÃO, E. P. PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4 ed. Rio de Janeiro, 2005.

KUNZ, A., ZAMORA, P.P., MORAES, S.G., DURAN, N., Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, Vol. 25, nº1, 78-82, 2002.

MELO, W. J., MARQUES, M. O., MELO, V. P. **O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo**. In: TSUTIYA et al. Biossólidos na Agricultura. São Paulo: SABESP, 2001. P. 289-364.

MESSIAS A. S. SILVA R. C. R., TÁVORA B. E. Influência do lodo têxtil na produtividade do milho. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 22, 2003. Joinville. **Anais Eletrônicos**. Joinville: ABES 2003.

MIGDALSKY, M. C. **Criação de minhocas** – guia prático. 1 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

MIO, G.P. CAMPOS, J.R. Proposição de método para avaliação da remoção de cor em efluentes líquidos da indústria têxtil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 21, João Pessoa. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: Sindicato Nacional dos Editores de Livros, 2001.

MOITA NETO, J.M. **Estatística multivariada**. Disponível em: (<http://br.geocities.com/augustofilho/estistica_multivariada.htm>). Acesso em 15 jan. 2008.

MONTEIRO, J.H.P. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001

MOREIRA, A. H. OLIVEIRA, R. M. LIMA, P. D. S. **Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção.** Cerâmica. São Paulo, 2001.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 76, p. 107-112, 2001.

PEREIRA NETO, J. T. **Um sistema de reciclagem e compostagem, de baixo custo, de lixo urbano para países em desenvolvimento.** Viçosa: UFV, 1995.

PEREIRA NETO, J.T.; LELIS, M. P. N. Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, RIO DE JANEIRO. **ANAIS**, 1999.

PORRAS, A.C. **Tratamento de efluente têxtil e lodo gerado em um sistema de lodos ativados por batelada com adição de carvão ativado em pó.** Dissertação. UNICAMP, 2002.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Legislação sobre micronutrientes e metais pesados. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura.** Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p. 555-576.

ROSA, E. V. C. **Reaproveitamento de lodo têxtil em solo florestal: estudos dos aspectos físico-químicos, agrônômicos e ecotoxicológicos.** Tese. Programa de Pós-Graduação em Química . UFSC, Florianópolis, 2004.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná, 1999. **Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em soluções.** Ed. Andreoli C.V. e Aderlene I. I. Curitiba, PR. 288p.

SANTA CATARIANA. Decreto nº 14250, de 15 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei n.º 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental.

SANTOS, A.B. dos. SANTAELLA, T. S. Remoção de DQO de água residuária de indústria têxtil empregando o processo de lodos ativados em batelada. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7. n. 3, 2002.

SANTOS, E.V.M. FILHO, H.A.S. MELO, I.P. GOMES, R.B. RODRIGUES, K. A. SAMPAIO, G.M.M.S. **Remoção de cor e DQO de efluente de indústria têxtil em reatores de leito fixo e fluxo ascendente com fungos.** Disponível em: < http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20070605_115959_MM%20057.pdf > Acesso em: 10 fev. 2008.

SCHRANK, S. G. **Tratamento anaeróbio de águas residuárias da indústria têxtil.** Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2000.

SILVA, E.P., MOTA, S. AQUINO, B.F. **Potencial de Utilização do Lodo de Esgoto de Indústria Têxtil como Fertilizante Agrícola**; Revista Engenharia Sanitária e Ambiental; v – 8, nº 1, 2003.

SILVA Fº, T. A. T.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R.; MOREIRA, J. F. V. Análise multivariada de dados de operação de uma série de lagoas de estabilização profundas tratando esgoto doméstico no nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 21, João Pessoa. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro: Sindicato Nacional dos Editores de Livros, 2001.

STEIL L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 2001. 108f. Dissertação. Programa de Mestrado em Biotecnologia, Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TUPY FUNDIÇÕES LTDA. **Formação de Auditores Internos do Sistema de Gestão Ambiental**. Tupy Fundições Ltda. Apostila. Joinville, 2003.

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo Urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996

ZANOTELLI, C. T. **Modelagem matemática de nitrogênio e fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos**. Tese. Programa de pós graduação em Engenharia da Produção. UFSC, Florianópolis, SC, 2002. 162p.