

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL**

RODRIGO BECKER MIRANDA

**PROPOSTA DE USO BENÉFICO DO RESÍDUO
DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA CERVEJARIA DE
LAGES/ SC**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2013

RODRIGO BECKER MIRANDA

**PROPOSTA DE USO BENÉFICO DO RESÍDUO DO TRATAMENTO
DE EFLUENTES DE UMA CERVEJARIA DE LAGES/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental à Coordenação de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *campus* Campo Mourão.

Orientador: Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer

CAMPO MOURÃO



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE USO BENÉFICO DO RESÍDUO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA CEVEJARIA DE LAGES/SC

por

RODRIGO BECKER MIRANDA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 15 de abril de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer
Orientador

Prof. Dr. José Hilton Bernardino de Araújo
Membro titular

Prof. MSc. Thiago Morais de Castro
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

MIRANDA, Rodrigo B. **Proposta de uso benéfico do resíduo do tratamento de efluentes de uma cervejaria de Lages/SC**. 2013. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

A reciclagem de resíduos gerados em processos industriais é uma prática que vem sendo estudada cada vez mais e aos poucos implantada na realidade de muitas empresas. A lei que responsabiliza o gerador por seus efluentes e resíduos, desde a geração até o destino final, faz com que as metodologias utilizadas nesta destinação exijam atenção e planejamento dos gestores, de modo a garantir segurança e viabilidade ambiental e econômica. O trabalho desenvolveu-se com o estudo de caso do resíduo do tratamento de efluentes de uma indústria cervejeira de grande porte, localizada em Lages/SC, com o objetivo de elaborar uma proposta de uso benéfico do lodo. Para tanto, foram realizadas pesquisa bibliográfica das possibilidades de reciclagem; levantamento de informações, análises e metodologias para caracterização do lodo gerado; avaliação da metodologia atualmente utilizada no tratamento e destinação final do lodo e realização do cálculo de geração do resíduo gerado pela Estação de Tratamento de Água e pela Estação de Tratamento de Efluentes da indústria cervejeira, que resultou em um total teórico de 577.000Kg. Esses procedimentos de pesquisa demonstraram a possibilidade de inclusão da realidade de destinação dos resíduos gerados pela indústria cervejeira ao proposto pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico-PROSAB. Os cálculos de geração do lodo, somada a geração de outros resíduos pelo processo de fabricação, indicaram a viabilidade de investimento em compostagem. A compostagem agrega valor ao resíduo, facilita a negociação com os setores interessados, torna, a médio e longo prazo, economicamente viável o investimento e aumenta, a curto prazo, os benefícios ambientais. Os estudos realizados neste trabalho de conclusão de curso sobre a característica do resíduo, a quantificação do volume de geração e da área a ser realizado o beneficiamento do mesmo, constituem a etapa de planejamento preliminar do programa de reciclagem e demonstraram a possibilidade de implantação prática do programa dentro da realidade da unidade de fabricação.

Palavras-chave: Resíduo. Reciclagem. Cervejaria.

ABSTRACT

MIRANDA, Rodrigo B. **Proposal of beneficial use of residue from effluents treatment from a brewery in Lages/SC.** 2013. 84f. Course Conclusion Work (Bachelor of Environmental Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2013.

The recycling of industrial processed residues is a practice that has been given much more attention and has been gradually inserted in many companies. The law that imputes the producer of its effluents and residues demands planning and caution to the methodologies applied in that destination, in a way to guarantee security beyond economic and environment viability. The present work was developed with a case study of the residue originated in the effluents treatment process of a high capacity brewery, located in Lages, SC, with the objective to elaborate a proposal of a benefic use of that mud. Therefore, we performed a bibliographic research about the recycling options, an information gathering, the analysis to characterize the mud generated, the evaluation about the assessment methodology currently used in the treatment and destination of mud and, finally, the calculation of the residue generation by Water Treatment Station and the Brewery Effluents Treatment Station, resulted in a total theoretical of 577.000Kg. These research procedures shown the possibility of inclusion of this residue treatment reality in the Sanitation Research Program-PROSAB idea. The calculations generation of sludge, added to the generation of wastes manufacturing process indicate the viability of investment in composting. Composting adds value to the residue, facilitates negotiation with concerned sectors, makes the medium and long term, economically viable investment and increases in the short term, the environmental benefits. The studies in this course conclusion work on the characteristic of the residue, the quantification of the amount of generation and the area to be conducted beneficiation thereof, constitute the preliminary planning stage of the recycling program and demonstrated the possibility of practical implementation program within the reality of the manufacturing unit.

Keywords: Residue. Recycling. Brasserie.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Fluxograma Transcrito da Norma Técnica NBR 10004:2004	7
Figura 02 - Fluxograma de Processo Genérico da Produção de Cerveja.....	9
Figura 03 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluentes da Indústria Cervejeira	12
Figura 04 - Bloco de Concreto Usando Agregado Leve no Processo CCBA	24
Figura 05 - Fluxograma do Processo CCBA de Fabricação de Agregado Leve	25
Figura 06 - Fluxograma do Processo de Produção do Agregado Leve de Lodo.....	26
Figura 07 - Fluxograma de Operações para Produção de Cimento.....	28
Figura 08 - Fluxograma de Incorporação de Pellets na Fabricação de Cimento	29
Figura 09 – Fotografia da Disposição do Lodo no Solo, antes de sua Distribuição pela Área	51
Figura 10 - Fases da Compostagem	54
Figura 11 - Fluxograma Simplificado do Planejamento de um Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Propriedades e Características Físico–Químicas dos Lodos das Estações de Tratamento de Água de Araraquara, Rio Claro e São Carlos.....	17
Tabela 02 – Principais Efeitos Sobre a Saúde Proveniente de Compostos Orgânicos Tóxicos Quando Presentes em Biossólidos.....	21
Tabela 03 – Porcentagem de Redução, de Alguns Tipos de Patogênicos, em Alguns Sistemas de Tratamento	22
Tabela 04 - Valores do Tratamento e Resultado dos Cálculos – Mês de Janeiro de 2013.....	38
Tabela 05 - Geração de Lodo ETA.....	41
Tabela 06 - Laudo Microbiológico.....	42
Tabela 07 - Resultados do Ensaio de Lixiviação (Conforme a NBR 10.005:2004 – Anexo F).....	43
Tabela 08 - Resultados do Ensaio de Solubilização (Conforme a NBR 10.006:2004 – Anexo G)	43
Tabela 09 - Análises da Composição Química do Resíduo.....	44
Tabela 10 – Concentrações de Metais Pesados Recomendadas pela <i>Environmental Protection Agency</i>	44
Tabela 11 - Quantidade de Resíduos Incorporada por Área	47
Tabela 12 – Análises de Solo após a Incorporação dos Resíduos	47
Tabela 13 – Valores Limite de Concentração de Metais Pesados nos Solos	48
Tabela 14 – Valores Acumulados de Janeiro de 2012 à Janeiro de 2013.....	49
Tabela 15 – Características Físico-Químicas do Resíduo Cervejaria Kaiser	52
Tabela 16 - Quantidade Total de Resíduos Incorporada nas Áreas Agrícolas da Fazenda Campinas.....	57
Tabela 17 – Custos dos Equipamentos e Instalações Estação de Compostagem – ETE Belém, Curitiba	58
Tabela 18 - Custo Variável do Tratamento por Compostagem do Lodo Aeróbio da ETE Belém, 1998.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS

CaO	Óxido de Cálcio (Cal)
Ag	Prata
As	Arsênio
C.O	Carga Orgânica
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Óxigenio
DDT	Diclorodifenil Tricloroetano
DQO	Demanda Química de Óxigenio
Hg	Mercúrio
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
PCB	Bifenilos Policlorados
Sb	Antimônio
Se	Selênio
SO₃	Trióxido de Enxofre
Zn	Zinco

LISTA DE SIGLAS

C/N	Relação Carbono Nitrogênio
P + L	Produção Mais Limpa
”	Polegadas
E/S	Estabilização por Solidificação
HI	Hectolitro (100L)
MPa	Mega Pascal
NaOH	Hidróxido de Sódio
NMP	Número Mais Provável
NOx	Oxidos de Nitrogênio
°C	Graus Celsius
PFU	Unidade Formadora de Placa
pH	Potencial Hidrogenionico
μm	micro metro (10^{-6} m)

LISTA DE ACRÔNIMOS

EPA	Environmental Protection Agency
ALL	Agregado Leve de Lodo
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCBA	Coordinate Chemica Bonding Adsorption
CEET	Comissão de Estudo Especial Temporária
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEI	Estação de Tratamento de Efluentes Industriais
ETQ	Estação Recuperadora da Qualidade das Águas
EU	União Européia
Fck	Resistência Característica do Concreto à Compressão
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
U.S.EPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 LEGISLAÇÃO	5
3.2 EFLUENTES DO PROCESSO CERVEJEIRO	8
3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	11
3.4 GERAÇÃO DE LODO	14
3.4.1 Lodo Estação de Tratamento de Água	15
3.5 CARACTERÍSTICAS INDESEJÁVEIS DO LODO	18
3.5.1 Metais pesados	19
3.5.2 Compostos orgânicos tóxicos	20
3.5.3 Microrganismos patógenos	21
3.6 USO BENÉFICO DO LODO	23
3.6.1 Fabricação de Agregados Leves	23
3.6.2 Fabricação de Cimentos Portland	27
3.6.3 Produção de Cerâmica Vermelha	30
3.6.4 Uso Benéfico no Solo.....	31
4 METODOLOGIA	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 GERAÇÃO DE LODO	37
5.2 GERAÇÃO LODO ETA	40
5.3 CARACTERÍSTICAS INDESEJÁVEIS DO LODO	42
5.3.1 Microrganismos patógenos	42
5.3.2 Metais pesados	43
5.3.3 Compostos orgânicos tóxicos	45
5.4 DESTINAÇÃO ATUAL DO LODO	45
5.5 PROPOSTA DE USO BENÉFICO	49
5.5.1 Umidade no Lodo	49
5.5.2 Qualidade do Resíduo	51
5.5.3 Tratamento do Lodo	53
5.5.4 Custos	56

5.5.5 Encaminhamentos Posteriores	60
6 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	65
ANEXO A – LAUDO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO....	73

1 INTRODUÇÃO

O princípio básico de todo ser vivo é a sobrevivência. Tratando-se do homem, um ser aeróbico e heterotrófico, alimento e oxigênio são suas condicionantes existenciais. Atualmente guiado pelo modelo capitalista, que tem consumo e produção em crescimento exponencial, o homem parece se esquecer deste princípio básico, esgota recursos naturais, polui o ar, a água e o solo, causando o desequilíbrio em seu próprio habitat.

Um ecossistema se mantém em equilíbrio quando o fluxo de entrada e saída de energia possui uma relação de igualdade, formando, assim, uma ciclagem contínua dos elementos dentro dele. Os resíduos gerados pela atividade industrial, ou melhor, os subprodutos que se formam no processo quando não reaproveitados se tornam exemplo deste desequilíbrio (SEGATTO, 2001).

Dentro da maioria dos processos industriais, há a utilização da água, seja na incorporação ao produto, nas lavagens de máquinas, tubulações e pisos, nos sistemas de resfriamento e nos geradores de vapor, seja nos esgotos sanitários dos funcionários. Com exceção dos volumes de água incorporados aos produtos e pela perda por evaporação, a água é contaminada por resíduos do processo industrial, originando-se, assim, os efluentes líquidos.

Atualmente existe um grande interesse mercadológico na área de reciclagem, pois praticamente todo tipo de processo gera algum tipo de resíduo, o que conseqüentemente gera novos processos de tratamento, incorporação e inertização desses resíduos (LUCAS; BENATTI, 2008).

Para Tachizawa e Pozo (2007), um dos maiores desafios que o mundo enfrenta neste novo milênio é fazer com que as forças de mercado protejam e melhorem a qualidade do ambiente, com a ajuda de padrões baseados no desempenho e uso criterioso de instrumentos econômicos, num quadro harmonioso de regulamentação. O autor frisa que o novo contexto econômico caracteriza-se por uma rígida postura dos clientes, voltada à expectativa de interagir com organizações que sejam éticas, com boa imagem institucional no mercado e que atuem de forma ecologicamente responsável.

A busca pela melhoria no processo de fabricação contextualiza-se com o de Produção mais Limpa (P+L), conceito muito discutido pelas indústrias, seja com esta denominação ou outras. A Produção mais Limpa consiste em estratégias, práticas e condutas econômicas, ambientais e técnicas, que evitem ou reduzam a emissão de poluentes no meio ambiente por meio de ações preventivas, ou seja, evitando a geração de poluentes ou criando alternativas para que estes sejam reutilizados ou reciclados, objetivando-se a melhoria na eficiência dos processos.

Dentro do país existem atualmente aproximadamente 47 fábricas de cerveja, em geral de grande e médio porte, em sua maioria, localizadas próximas aos grandes centros consumidores do país. A região Sudeste responde por cerca de 57,5% da produção (aproximadamente 4,6 bilhões de $L.ano^{-1}$), a região Nordeste por 17,3% (1,4 bilhões de $L.ano^{-1}$), a região Sul com 14,8% (1,2 bilhões de $L.ano^{-1}$), a região Centro- Oeste com 7,5% (0,6 bilhões de $L.ano^{-1}$) e a região Norte com 2,9% (0,3 bilhões de $L.ano^{-1}$) (SÃO PAULO/CETESB, 2005).

Neste trabalho será abordada a realidade de uma cervejaria que, durante seu processo de tratamento de efluentes, combina fase anaeróbia e aeróbia, gerando um subproduto denominado lodo aeróbio, resultado das reações bioquímicas realizadas por microrganismos aeróbios. Parte desse resíduo é recirculado no sistema de tratamento, a fim de manter a concentração de microrganismos dentro de uma determinada proporção em relação à carga orgânica afluenta. A parte não utilizada no reciclo, se não analisada e destinada corretamente, pode ocasionar uma contaminação e essa prejudicar a saúde humana e ecossistemas locais.

O destino final do lodo gerado nos processos de fabricação é uma atividade de grande importância e complexidade, pois frequentemente extrapola os limites das estações de tratamento e exige a integração com outros setores da sociedade. Segundo a legislação de diversos países, inclusa a brasileira, a responsabilidade pelos problemas que podem ser causados pelo destino inadequado é sempre dos geradores do resíduo, que podem ser enquadrados na lei de crimes ambientais, Lei nº 9.605 de 12/02/98 (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três processos: incineração, disposição em aterros, lixões ou uso agrícola. A forma predominante de disposição final desses resíduos é o chamado uso benéfico, predominantemente por intermédio do uso agrícola, adotado para aproximadamente

55,5% do lodo produzido nos Estados Unidos, com estimativa de crescimento nesta destinação (USA/EPA, 1999). Na Europa, a reciclagem e a disposição em aterros sanitários são as alternativas predominantes, sendo direcionados, para cada uma delas, cerca de 40% do lodo produzido (ANDREOLI; PINTO, 2001).

No Brasil, pesquisadores de diferentes órgãos e universidades integraram ações e realizaram por meio do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) estudos que apontaram para a viabilidade do uso de lodos tratados em áreas agrícolas. Para tanto, há consenso para o PROSAB da necessidade de planejamento preliminar para a implantação eficiente e segura de um programa de reciclagem agrícola do lodo tratado de efluentes industriais. A etapa de planejamento inicial compreenderia as etapas de estudo da produção e avaliação da qualidade do lodo e análise da área de aplicação.

O lodo de efluentes industriais possui características físico-químicas específicas que precisam ser enquadradas nos critérios e exigências normativas para uma destinação segura para a saúde humana e dos ecossistemas, pois pode conter a presença de metais pesados, agentes patógenos, compostos orgânicos potencialmente tóxicos.

O presente trabalho de conclusão de curso resulta de pesquisa em forma de estudo de caso sobre o resíduo gerado pela estação de tratamento de efluentes de uma unidade cervejeira de grande porte localizada na cidade de Lages-SC.

Reconhecendo as características particulares do tratamento de efluentes da cervejaria e do entorno sócio-econômico da cidade de Lages-SC, busca-se com este trabalho melhores métodos de disposição e a elaboração de um planejamento preliminar de reciclagem para o resíduo gerado. Para tanto, os objetivos norteadores foram a caracterização do lodo e a apresentação de uma proposta de uso benéfico desse resíduo no solo, seguindo critérios econômico-ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elaborar proposta de uso benéfico do resíduo gerado pela Estação de Tratamento de Efluentes de uma unidade cervejeira localizada no município de Lages-SC, a partir da análise e caracterização desse resíduo, seguindo critérios econômico-ambientais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudo dos laudos e análises do resíduo da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais de uma cervejaria, relacionando os resultados com a legislação e normativas específicas.
- Quantificar teoricamente a geração do lodo pela cervejaria de janeiro de 2012 a janeiro de 2013.
- Realizar levantamento bibliográfico de técnicas de uso benéfico do lodo de Estações de Tratamento;
- Analisar a viabilidade de aplicação das técnicas de uso benéfico do lodo frente à realidade específica da cervejaria.
- Elaborar proposta preliminar de uso benéfico do lodo gerado no tratamento de efluentes da cervejaria.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo geral deste trabalho, ao propor um uso benéfico do resíduo gerado pelo tratamento de efluentes industriais da cervejaria de Lages, segundo critérios econômicos e ambientais incluiu para sua realização: o levantamento bibliográfico da legislação brasileira e a de Santa Catarina, selecionando as normas e resoluções específicas quanto aos limites de concentração das substâncias potencialmente prejudiciais ao homem e ao meio ambiente, a fim de classificar o lodo gerado, direcionando a proposta de destinação.

Inclui também pesquisa bibliográfica sobre as características do efluente da cervejaria, através do levantamento de volume e carga orgânica dos principais pontos de lançamento de efluentes. Realizada essa caracterização, foi também importante a descrição do tratamento de efluentes realizado pela cervejaria, seus processos de tratamento, eficiência e geração de lodo.

As pesquisas quanto os métodos de uso do lodo exclui possibilidades de descarte e transformação, ou seja, práticas que destinem o resíduo sem tirar proveito de suas propriedades benéficas. Exemplos destas práticas seria a disposição oceânica, em aterro sanitário, *landfarming*, oxidação úmida e incineração. Essas alternativas não se viabilizam ambiental e/ou economicamente.

A revisão bibliográfica abordará seções relacionadas à legislação, caracterização do efluente da cervejaria, seu processo de tratamento e geração de lodo, bem como as características indesejáveis dos resíduos.

3.1 LEGISLAÇÃO

No Brasil, há normativas e resoluções que abordam a questão dos resíduos sólidos, sua classificação e limites de parâmetros para sua utilização. A ABNT nesta busca em fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos criou a CEET – 00.01.34 – Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos, que revisou a NBR 10004/1987, disponibilizando a NBR 10004/2004 que dispõe

sobre a classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

O lodo gerado pela ETEI (Estação de Tratamento de Efluentes Industriais) da cervejaria em estudo enquadra-se nesta normativa em sua definição de resíduos sólidos, que trata

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10004/04).

Essa norma estabelece critérios de classificação, como pode ser verificado na Figura 01, além de códigos para a identificação dos resíduos de acordo com suas características. Os resíduos podem ser classificados em: Resíduos classe I – Perigosos; Resíduos classe II – Não perigosos; Resíduos classe II A – Não inertes e Resíduos classe II B – Inertes. No anexo 01 pode ser visualizado o Laudo Técnico de Classificação de Resíduo Sólido do lodo em estudo, que o classifica como Resíduo Não Inerte – Classe II-A, ou seja, são resíduos que não se enquadram nem como Classe I - perigosos ou resíduos Classe II B – inertes. Nos termos da norma, esses resíduos podem ter propriedades, tais como, combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. As análises e informações apresentadas neste laudo serão abordadas nos tópicos subsequentes.

Além da NBR 10004/2004, foram utilizadas para a determinação das ações legais no tratamento do lodo as resoluções CONAMA 357/05 e 430/11, a Lei nº12.300, de 16 de março de 2006 de São Paulo, norma técnica CETESB P4.230 de agosto de 1999, resolução SEMA-PR 021 de 2009.

Sendo o lodo o resíduo final de todo o processo de tratamento, seu estado e composição são parâmetros de eficiência. Um processo de decantação e adensamento adequados garante uma separação satisfatória do efluente, evitando o carregamento do lodo e impedindo sua disposição no corpo receptor. Essas condições e padrões de lançamento de efluentes são regulamentados pelas resoluções CONAMA 357/05 e 430/11.

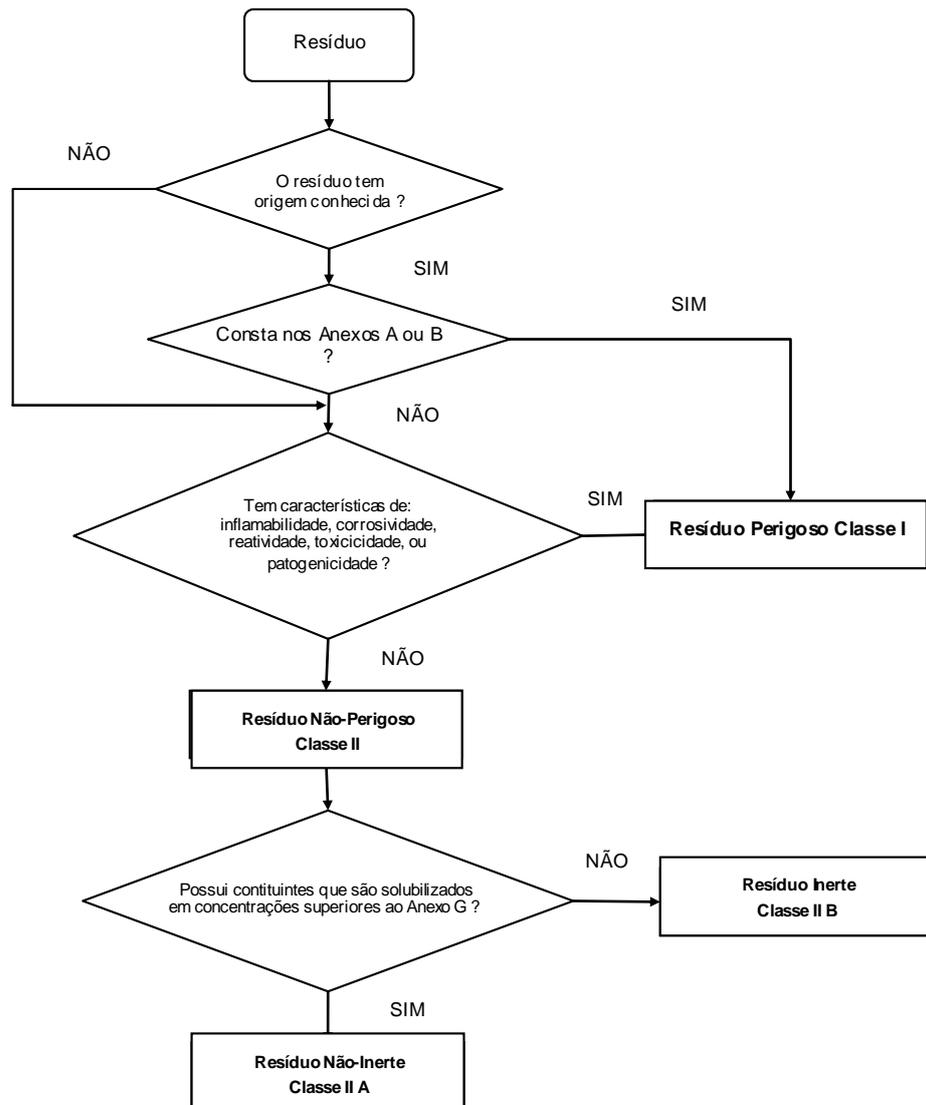


Figura 01 - Fluxograma transcrito da Norma Técnica NBR 10004:2004
Fonte: ABNT NBR 10004:2004

O estado de Santa Catarina possui uma política vigente de Resíduos Sólidos a Lei Estadual nº 13557/05, porém, aspectos relacionados a aplicação do resíduo no solo, monitoramento e outras metodologias não se fazem presentes, por isso foi consultada a Lei nº 12.300, de 16 de março de 2006 de São Paulo. Essa lei definiu princípios e diretrizes, objetivos, instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, visando assegurar o uso adequado dos recursos ambientais no estado de São Paulo.

Estudos realizados pela CETESB resultaram em normas, como a P4.230 de agosto de 1999 que apresenta critérios de projeto e operação para aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas. Pesquisas realizadas pela SANEPAR foram utilizadas em Resoluções, como a SEMA-PR 021 de 2009 que dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento.

Limites máximos de concentração de parâmetros específicos, como metais pesados, patógenos, compostos orgânicos tóxicos, que constam nestas normas e resoluções, estarão neste trabalho sendo citadas e já correlacionadas com as características do lodo da ETEI da unidade da cervejaria de Lages, SC, campo da pesquisa.

3.2 EFLUENTES DO PROCESSO CERVEJEIRO

Anteriormente à caracterização do resíduo, foi necessário conhecer os efluentes destinados a ETEI da unidade da cervejaria de Lages/SC, sua origem, volume e carga orgânica.

O processo produtivo da cerveja constitui-se da fermentação da cevada; em síntese, é a conversão em álcool dos açúcares presentes nos grãos de cevada. A fermentação é a principal etapa do processo cervejeiro e sua efetividade depende de várias operações anteriores, incluindo o preparo das matérias-primas. Após a fermentação, são realizadas etapas de tratamento da cerveja para conferência das características organolépticas (sabor, odor, textura) desejadas no produto final (SÃO PAULO/CETESB, 2005).

De forma a facilitar o entendimento da geração dos efluentes nesse processo, Santos (2005, apud SÃO PAULO/CETESB, 2005) apresenta um fluxograma em que se detalha o processo genérico de produção da cerveja. O fluxograma é apresentado na Figura 02.

Dentre os resíduos gerados, parte pode diretamente ter suas características exploradas em uso benéfico, como é o caso do bagaço de malte, que possui alto valor nutritivo podendo ser utilizado como alimentação animal. Similarmente, gera-se

o *trub* fino e grosso, com excelentes características nutricionais; outra possibilidade para estes resíduos, adotada em algumas unidades de cervejaria, é o reuso do *trub* no preparo de novas bateladas de mosto (UNEP, 1996).

Ao término do processo de fermentação, retira-se a levedura do mosto fermentado e prepara-se com esta uma nova inoculação. Porém, como durante o processo de fermentação ocorre a multiplicação do levedo, o que gera um excedente deste material a cada batelada, estima-se que sua formação seja constituída por 55% de leveduras e 45% de cerveja. Esse descarte é transferido aos silos de fermento, onde mais tarde também terá sua adequada destinação (CARMO, 2011).

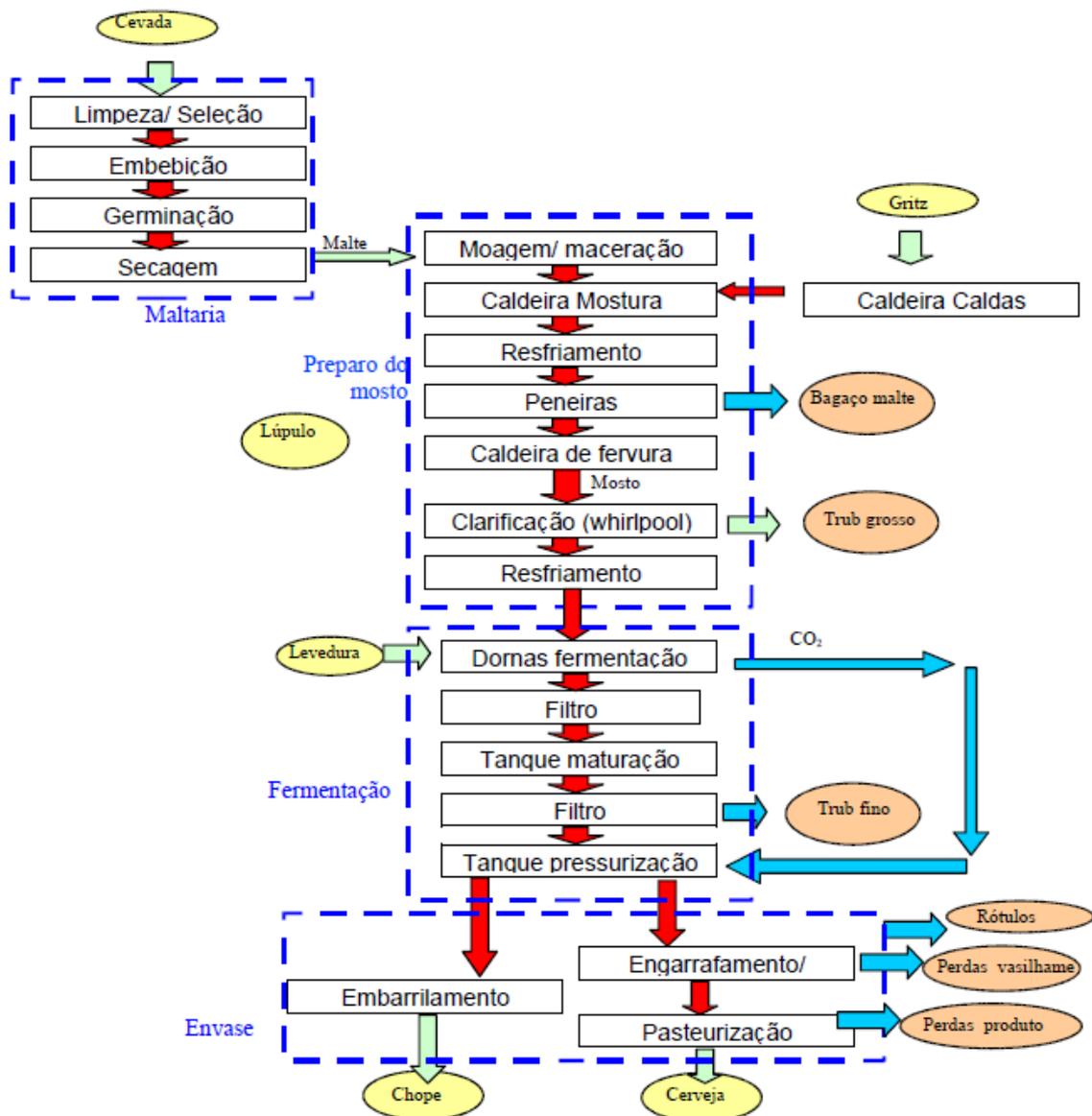


Figura 02 - Fluxograma de processo genérico da produção de cerveja
Fonte: Santos (2005, apud SÃO PAULO/CETESB, 2005)

Os resíduos sólidos gerados, tais como cacos de vidro, plásticos, alumínio e papel, são segregados por uma empresa terceirizada e vendidos para reciclagem, em função de seu considerável valor de mercado.

Excluindo-se os resíduos citados, os efluentes são destinados à estação de tratamento. Sua geração ocorre nas lavagens das salas de fermentação, nas perdas de extrato durante o processo, nas linhas de enchimento de latas e garrafas, nas lavagens de pasteurizadores e de pisos, nos descartes de produtos fora de especificação e nos esgotos sanitários dos funcionários.

Os efluentes em geral são ricos em açúcares (malte e cevada) e outros componentes das cervejas. Apresentam também partículas de terras diatomáceas, oriundas da filtração do mosto, e óleos minerais, oriundos de vazamentos das máquinas de processo e das oficinas de manutenção.

Sendo uma indústria alimentícia, a cervejaria tem a necessidade de realizar frequentes operações de limpeza, seja de equipamentos, pisos ou garrafas, gerando, assim, quantidades significativas de efluente. Estes efluentes são gerados principalmente nas etapas de lavagem de garrafas, linhas e equipamentos. Os principais pontos de geração são relacionados a seguir:

- Operações de limpeza de:
 - caldeiras de caldas, mostura e lúpulo;
 - tubulações;
 - filtros;
 - trocadores de calor;
 - tanque leveduras;
 - garrafas de vidro, barris de aço ou madeira e latas de alumínio;
 - caixas plásticas, e
 - pisos.
 - Envase: Extravasamento e quebras no envase;
 - Domésticos: refeitório, vestiários, sanitários, etc.;

Para atingir os resultados desejados, muitas operações de limpeza acrescentam soda cáustica à água, em quantidade aproximada de 0,5 a 1,0 kg (30% NaOH)/hl

cerveja. Outros produtos químicos, principalmente ácidos e detergentes também são utilizados nas etapas de lavagem; hipoclorito ou outros produtos na desinfecção; lubrificantes e óleos hidráulicos para as máquinas; fluidos de trabalho para os sistemas de refrigeração; e aditivos, como antiespumantes e conservantes, para o produto (SÃO PAULO/CETESB, 2005).

Segundo IPPC (2003) e UNEP(1996), quanto aos volumes gerados, exceto pela água incorporada, evaporada e presente nos resíduos, que totalizam 1,3 a 1,8 hl/hl cerveja, todo o restante da água utilizada se torna efluente, *3 a 6 hl efluente/hl cerveja*. Na cervejaria de Lages, no mês de janeiro de 2013 foram envasados 12.920,07hl de cerveja. Considerando a geração média de 4,5 hl efluente/hl cerveja, foram gerados 58.140,32 hl de efluente ou 5.814.032 L no mês de janeiro.

A divisão quanto ao volume e características dos efluentes em cada etapa do processo varia bastante em uma cervejaria. A lavagem de garrafas gera grandes volumes de efluente, porém, com reduzida carga orgânica. Já a fermentação e filtragem geram apenas 3% do volume de efluentes, mas são responsáveis por 97% da carga orgânica total. No que diz respeito à composição, os efluentes da indústria cervejeira apresentam, usualmente, alto potencial de poluição pela sua carga orgânica, teor de sólidos em suspensão e presença de fósforo e nitrogênio (SÃO PAULO/CETESB, 2005).

3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES

O tratamento de efluentes da unidade de Lages tem o sistema de Lodos Ativados com aeração prolongada como pós-tratamento de efluentes do reator anaeróbio tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Neste sistema de tratamento, o decantador primário é substituído pelo reator anaeróbio. O fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da unidade cervejeira em estudo é apresentado na Figura 03.

O tratamento preliminar de efluentes é realizado por processos físicos, composto pela caixa de areia e gradeamento. O efluente segue por um canal, onde é direcionado para a calha Parshal que mede a vazão de entrada. Bombas de recalque o impulsionam até as peneiras estáticas, também responsáveis pela

remoção de sólidos. Posteriormente, o efluente é canalizado para um tanque fechado, denominado tanque de equalização, dotado de um sistema de agitação hidráulica, responsável pela homogeneização do afluente. Esse processo faz com que o reator não sofra com variações constantes de propriedades químicas e físicas. Do tanque de equalização, os efluentes seguem para um tanque aberto, denominado tanque de hidrólise/acidificação. Nessa etapa o afluente sofre algumas reações que auxiliam no bom funcionamento do reator de metanização, próxima etapa do tratamento.

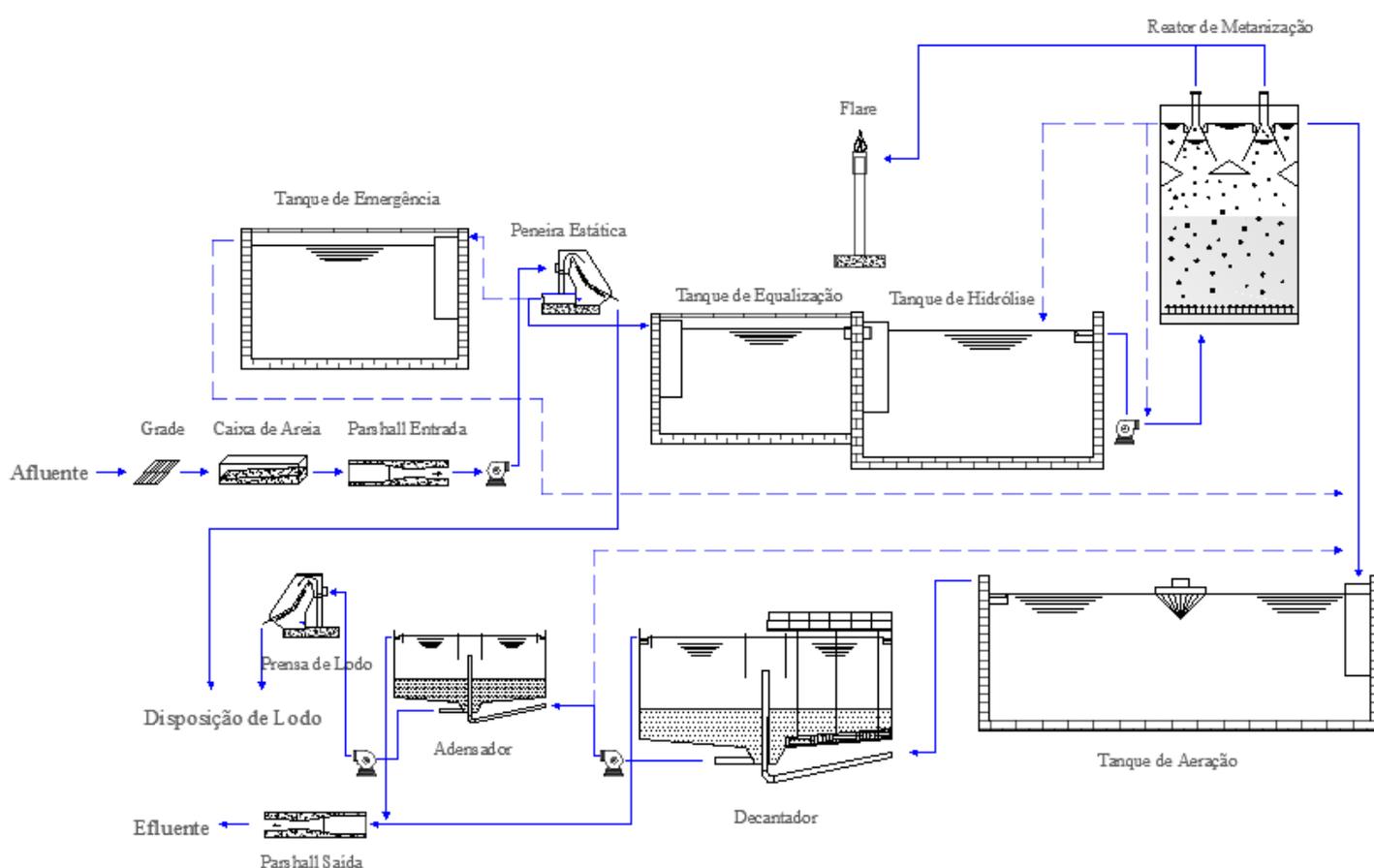


Figura 03 - Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria cervejeira
Fonte: Carmo, 2011

Três bombas centrífugas encaminham as águas residuárias para o reator anaeróbio do tipo UASB que remove em média 70% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) afluente (SPERLING, 2005). Posteriormente, é direcionado para o reator aeróbio, que atua como um sistema de polimento final. Esse reator é dotado de três motores que movimentam os aeradores superficiais, espalhando o oxigênio

em toda massa líquida do tanque de aeração. É neste tanque onde ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e onde os microrganismos se utilizam do substrato presente para se desenvolver.

A eficiência do processo está associada com a relação de carga orgânica afluyente (diária) e a massa de microrganismos contida no reator (sólidos em suspensão voláteis). A relação alimento/microrganismo é verificada semanalmente na estação de tratamento.

Dentro do tanque de aeração, o lodo aeróbio é gerado, sendo conduzido para dois decantadores secundários, onde ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Uma parte do decantado, sedimentado no fundo do decantador secundário é recirculado para o tanque de aeração, para se manter uma concentração de biomassa no mesmo, concentração esta responsável pela elevada eficiência do sistema.

A parte não recirculada para o tanque de aeração é dirigida a um tanque adensador de lodo. No adensador o lodo tem sua concentração aumentada de aproximadamente 1,0% para até 2,5% em sólidos. O lodo concentrado é succionado do fundo do adensador através de duas bombas helicoidais e direcionado ou para um contêiner flexível denominado geotube, que elimina a parte líquida e retém a sólida através do geotecido, ou para o prensa desaguadora, que também retira a parte líquida do lodo combinando drenagem da água livre na primeira fase da esteira, seguida de compressão do lodo entre duas esteiras.

Nesse sistema de tratamento, grande parte da matéria orgânica é removida na etapa anaeróbia, resultando em um crescimento menor da biomassa no reator aeróbio, devido a menor disponibilidade de alimentos para os microrganismos. Porém, dois procedimentos que ocorrem na operação do sistema desta cervejaria interferem nesta lógica. Um deles é o desvio do efluente do tanque de emergência diretamente para a aeração. Esse procedimento acontece para não impactar o desenvolvimento das bactérias anaeróbias, sensíveis a mudanças abruptas de pH e toxicidade. Outra situação ocorre quando há o extravazo do tanque de equalização, responsável pela homogenização do afluyente, tanto em suas características físico-químicas, como em relação a sua vazão afluyente ao reator, motivo do extravaso em situações de grande volume afluyente.

Essas duas manobras de operação fazem com que a geração de lodo sofra considerável aumento, visto que esses efluentes possuem elevada carga orgânica, que dentro de um sistema aeróbio resulta diretamente na geração de biomassa. Esses procedimentos foram considerados nos cálculos de geração de lodo, próximo tópico tratado.

3.4 GERAÇÃO DE LODO

Sirelli; Zordan; John (2001) descrevem como primeira etapa para o desenvolvimento da reciclagem de resíduos uma estimativa da geração. Essa estimativa é de grande importância para determinação da estrutura necessária na gestão do processo e realização da reciclagem; na indicação da escala de produção de reciclagem necessária, o que frequentemente limita as tecnologias, e na indicação de tendências futuras de geração de resíduo. A indicação de geração futura de resíduos é relevante, uma vez que o processo de reciclagem deve ser pensado para o longo prazo.

Segundo Von Sperling (2005), o sistema anaeróbio de manta de lodo tem produção de lodo bem baixa e, em caso de retirada, o lodo sai digerido e adensado. A segunda etapa do tratamento trata-se do sistema de Lodo Ativado de Aeração Prolongada, foco este do cálculo do volume de lodo gerado. O lodo ativado é formado principalmente de bactérias, fungos, protozoários, metazoários e nematodos, sendo as bactérias os microrganismos de maior importância, uma vez que são elas as maiores responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e pela formação dos flocos (JORDÃO *et al.*, s/d).

A digestão aeróbia é a base conceitual dos sistemas do tipo aeração prolongada. Segundo Bettiol e Camargo (s/d), o mecanismo da estabilização é a biodegradação de componentes orgânicos pelos organismos aeróbios. A fase final do processo é caracterizada pela respiração endógena, que acontece quando o substrato disponível para a biodegradação é totalmente consumido e os microrganismos passam a consumir o próprio plasma microbiano para obter energia para sua reação celular. O processo de digestão aeróbia passa pela oxidação direta da matéria orgânica biodegradável, conseqüente aumento da biomassa bacteriana

e, posteriormente, pela oxidação do material microbiano celular pelos próprios microrganismos.

Von Sperling (2001) explica a geração do lodo no tanque de aeração, como resultado da contínua alimentação do sistema, na forma de DBO afluente, favorecendo o crescimento e a reprodução dos microrganismos continuamente. Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa, que é aumentada por reprodução. Esse é, portanto, o lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação. O cálculo de geração está descrito na metodologia deste trabalho.

3.4.1 Lodo Estação de Tratamento de Água

O tratamento da água utilizado pela cervejaria é conhecido como tratamento convencional, composto das etapas de coagulação química, floculação, decantação e filtração das partículas presentes na água bruta para sua clarificação. A etapa final é a de desinfecção que completa o processo. Para que esse tratamento seja bem sucedido, é necessária a aplicação de produtos químicos, tais como sais de alumínio, os quais, através de suas cargas, são capazes de provocar a desestabilização das partículas presentes na água bruta (CORDEIRO, 2001).

Dependendo da natureza físico-química da água bruta, da eficiência hidráulica das unidades de processo, do tipo e da dosagem do coagulante aplicado, entre 60 e 95% da quantidade total de lodo gerado na estação de tratamento de água convencional é acumulado nos decantadores, sendo o restante acumulado nos filtros (SILVA JUNIOR, 2003). Como o processo de retrolavagem dos filtros na unidade cervejeira tem sua água redirecionada ao início do tratamento, considera-se como resíduo destinado a ETE o decantado da ETA.

O lodo da ETA é um resíduo composto de água e sólidos suspensos contidos na fonte, acrescido dos produtos aplicados durante o processo de tratamento da água (PORTELA *et al.*, 2003). Esse lodo gerado no tratamento de água é classificado pela NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) como um resíduo sólido não inerte (FERRANTE; GEHLING, s/d).

Na composição do lodo, destacam-se os hidróxidos de alumínio e, em alguns casos, polímeros condicionantes provenientes dos produtos químicos utilizados nos processos de tratamento de água (BIDONI; SILVA; MAQUES, 2001).

A concentração de sólidos totais presentes em um lodo ETA varia de 1000 a 40000 mg.L^{-1} (0,1 a 4%). Aproximadamente, 75 a 90% dos sólidos totais são sólidos suspensos, 20 a 35% são compostos voláteis e existe uma pequena porção biodegradável prontamente oxidável (PORTELA *et al.*, 2003).

Cordeiro (2001), ao comparar as características físico-químicas dos lodos das ETA's de São Carlos, de Araraquara e de Rio Claro, destaca o sistema de remoção dos lodos dos decantadores e flotores como o responsável pelas características finais do lodo, principalmente no que se refere à concentração de partículas. A Tabela 01 apresenta os dados referentes às características físico-químicas dessas estações.

Na ETA de Araraquara, o lodo é removido até três vezes ao dia, nas ETA's de São Carlos e de Rio Claro a remoção é realizada em intervalos de tempo de até três meses, dependendo da qualidade da água bruta que varia durante o ano, por exemplo, pela ação de intempéries. As concentrações de metais são mais elevadas em São Carlos e Rio Claro, evidenciando o prejuízo que o acúmulo de lodos nos tanques de decantação pode acarretar quando descartados (CORDEIRO, 2001).

A remoção do lodo gerado pelos decantadores na unidade de tratamento da cervejaria de Lages ocorre de modo contínuo. São 12 tubulações, de 4" cada, que através de bombas encaminham o lodo gerado para ETEI. Esse processo segue uma lógica de acionamento e desligamento das bombas que permanecem acionadas durante 15 segundos e desligadas durante 40 minutos. Desta forma, acontecem 35 descartes de lodo por dia. Esta frequência de retirada permite uma comparação quanto às propriedades físico-químicas do lodo gerado na cervejaria, com a ETA de Araraquara, visto que atualmente não é realizado um controle interno do lodo gerado pela ETA de Lages.

A disposição irregular do lodo de estação de tratamento de água em corpos d'água pode provocar diversas alterações prejudiciais ao meio ambiente, entre elas a redução do oxigênio dissolvido no corpo d'água receptor pela decomposição da matéria orgânica contida no resíduo, o aumento da concentração de metais, como o

alumínio, o ferro e o manganês, e a conseqüente destruição da fauna e flora (SOARES; ACHON; MEGDA, 2004).

Tabela 01 – Propriedades e características físico-químicas dos lodos das estações de tratamento de água de Araraquara, Rio Claro e São Carlos

Propriedades e características físico-químicas	Lodos da Estação de Tratamento de Água		
	Araraquara	Rio Claro	São Carlos
Concentração de sólidos em %	0,14	5,49	4,68
pH	8,93	7,35	7,2
Cor (uC)	10,650	-	-
Turbidez (uT)	924	-	-
DQO (mg.L ⁻¹)	140	5450	4800
Sólidos Totais (mg. L ⁻¹)	1620	57400	58630
Sólidos Suspensos (mg. L ⁻¹)	775	15330	26520
Sólidos Dissolvidos (mg. L ⁻¹)	845	42070	32110
Alumínio (mg. L ⁻¹)	2,16	30	1110
Zinco (mg. L ⁻¹)	0,10	48,53	4,25
Chumbo (mg. L ⁻¹)	0,00	1,06	1,60
Cádmio (mg. L ⁻¹)	0,00	0,27	0,02
Níquel (mg. L ⁻¹)	0,00	1,16	1,80
Ferro (mg. L ⁻¹)	2,14	4200	5000
Manganês (mg. L ⁻¹)	3,33	30	60,00
Cobre (mg. L ⁻¹)	1,70	0,91	2,06
Cromo (mg. L ⁻¹)	0,19	0,86	1,58

Fonte: Cordeiro (2001)

No homem, a toxicidade do alumínio está reconhecidamente associada a várias complicações clínicas, destacando-se disfunções neurológicas como o mal de Alzheimer e a mobilização do fosfato ósseo (QUINTAES, 2000).

Dentre as possibilidades de aplicação do lodo de ETA's, na água, solo e ar, a destinação no solo é a única que pode trazer benefícios, tais como a melhoria

estrutural do solo, a adição de traços minerais, o ajuste do pH, o aumento da capacidade de retenção de água e a melhoria das condições de aeração. No entanto, a aplicação sem controle pode levar hidróxidos de alumínio presente no lodo a reagir e indisponibilizar o fósforo no solo, ou mesmo, em pH superior a 6,5, causar toxicidade do alumínio, promover o carregamento do nitrato do solo e contaminar a água subterrânea (BETTIOL; CAMARGO, s/d).

Sobre a disposição do lodo em aterro sanitário, Reali (1999) não acredita que esta opção seja uma alternativa, devido ao alto custo de implantação e as restrições quanto à umidade máxima para o recebimento do lodo.

3.5 CARACTERÍSTICAS INDESEJÁVEIS DO LODO

O resíduo presente no fim do tratamento de efluentes é um sólido pastoso, homogêneo, de cor amarronzada e odor característicos composto pelo lodo gerado durante o processo de tratamento de efluentes acrescido do lodo gerado no processo de tratamento de água; estes são um “problema” para a fábrica, que tem por objetivo produzir cerveja com qualidade. Há inúmeros exemplos de destinações inadequadas dos resíduos de tratamento. Para livrar-se do problema, muitas fábricas, indústrias e até mesmo cidades destinam estes resíduos em recursos hídricos ou lançam-os ao solo, sem anteriormente realizar estudo quanto aos fatores de potencial impacto, poluição e contaminação local.

A destinação inadequada tem diminuído, graças à elaboração e fiscalização de leis, como a Lei Federal nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos e instituiu a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos.

3.5.1 Metais pesados

Atualmente o termo “metal pesado” é utilizado genericamente para os elementos químicos que contaminam o meio ambiente e podem provocar diferentes níveis de dano à biota. Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Esses elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações que variam de mg a $g.Kg^{-1}$, as quais são inferiores às aquelas consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos. Dentre eles As, Co, Cr, Cu, Se e Zn são essenciais aos organismos vivos (ANDREOLI *et al.*, s/d).

Todo processo de produção, quando displicente na destinação de seus rejeitos e subprodutos, principalmente quando estes tem a presença de metais pesados em sua composição, pode vir a afetar a saúde de homens e animais, através da utilização de águas subterrâneas contaminadas ou na ingestão pela cadeia alimentar. As plantas seriam o primeiro elo dessa cadeia e, a partir delas, pode ocorrer a contaminação do homem, passando ou não pelos animais.

Os metais pesados podem provocar graves problemas para a saúde das pessoas que os ingerirem, através de alimentos ou água contaminada, durante período prolongado ou em quantidades elevadas, pois são cumulativos no organismo. O elemento cádmio, por exemplo, é um dos metais pesados mais estudados. Seu efeito no organismo humano estaria relacionado com o ataque ao sistema renal. Segundo Viessman e Hammer (1985), a mobilidade do cádmio é muito improvável sob pH maior que 6,0.

A maioria dos trabalhos diz que a mobilidade dos metais depende de sua especiação química, ou seja, estes só poderiam ser lixiviados, atingindo os aquíferos subterrâneos, ou mesmo absorvidos pelas plantas e microrganismos, quando na forma iônica (solúvel). A passagem dos metais para a forma iônica dependeria diretamente do valor do pH ambiente. Para a maioria dos metais, quanto mais baixo o valor do pH, maior a quantidade de metais sob a forma de íons, com exceção do molibdênio e do selênio, cuja disponibilidade para as plantas aumenta com o incremento do pH (ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; FERNANDES, F., 2001).

Há ainda outro fator bastante importante relacionado com a mobilidade dos metais que é a CTC - Capacidade de Troca Catiônica. Os íons metálicos podem ser

adsorvidos na matriz do solo, dependendo da CTC. Os solos orgânicos, os argilosos e os siltosos apresentam CTC maior que os solos arenosos. A possibilidade de retenção de metais na matriz dos solos com alta CTC é maior. Se, por um lado, este fato diminui os riscos de contaminação do lençol freático por metais, por outro, aumenta a acumulação desses metais no solo, ampliando a possibilidade de serem absorvidos pelas plantas e entrarem para a cadeia alimentar de homens e animais (SÃO PAULO, 1991).

3.5.2 Compostos orgânicos tóxicos

A preocupação com os compostos orgânicos tóxicos está associada ao seu potencial de carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade e risco substancial à saúde humana. Sua presença em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário é relativamente recente, e as metodologias de análise não estão plenamente estabelecidas (SANTOS; JOHN, 2007).

O manual técnico fornecido pelo PROSAB apresenta como possíveis fontes de contaminação do lodo com os compostos orgânicos poluentes restos de solventes, pinturas, detergentes, indústrias químicas em geral, resíduos de produtos utilizados em veículos automotores, pesticidas, etc. A maioria dessas fontes contaminadoras não estão presentes nas ações rotineiras de fabricação de cerveja. Porém, na unidade cervejeira, encontram-se oficina de empilhadeiras, sala de solda, jardinagem; enfim, situações geradoras em potencial dos resíduos citados e que, por assim serem, devem ter atenção devida na contenção e destinação de seus resíduos.

O impacto desses compostos sobre a saúde e meio ambiente é em função do nível de contaminação, da taxa em que são acumulados na cadeia alimentar e de sua biodisponibilidade.

A Tabela 02 apresenta alguns dos efeitos sobre a saúde dos principais compostos orgânicos tóxicos presentes em biossólidos.

Tabela 02 – Principais efeitos sobre a saúde proveniente de compostos orgânicos tóxicos quando presentes em biossólidos

Compostos orgânicos tóxicos	Efeitos sobre a saúde
Aldrin e dieldrin	Afetam o sistema nervoso central. Em doses altas é fatal para o homem.
Benzeno	A exposição aguda ocasiona a depressão no sistema nervoso central. Estudos sugerem que existe relação entre exposição de benzeno e leucemia.
Clordano	Provoca vômitos e convulsões. Pode causar mutações
Lindano	Causa irritação do sistema nervoso central, náusea, vômitos, dores musculares e respiração debilitada.
Clorofórmio	Severamente tóxico em altas concentrações; danos ao fígado e ao coração; cancerígeno a roedores
PCB	Provavelmente cancerígeno; exposição ao mesmo resulta em dores de cabeça e distúrbios visuais
DDT	Causa problemas, principalmente no sistema nervoso central, causa decréscimo das células brancas no sangue e acumula-se nos tecidos gordurosos.

Fonte: Barros et al., 1995

3.5.3 Microrganismos patogênicos

O lodo é um resíduo sólido que concentra substâncias orgânicas e inorgânicas bem como microrganismos existentes nos efluentes. Porém, apenas alguns podem ser considerados patogênicos, ou seja, capazes de causar doença no homem e nos animais. Os organismos patogênicos podem ser divididos em quatro

grupos: fungos, vírus, bactérias e parasitos (*stricto sensu*). A quantidade de patógenos presentes no lodo é variável e depende do tipo de efluente e do processo de tratamento ao qual ele foi submetido (ANDREOLI *et al.*, s/d).

Naturalmente esses microrganismos, ao serem lançados no efluente, por não estarem em seu meio ideal, apresentam tendência ao decaimento. O próprio sistema de tratamento elimina muitos deles, conforme pode ser observado na Tabela 03, fazendo com que haja substancial diminuição na concentração de patógenos na fase líquida e migração para o lodo. Essa concentração se deve ao poder de adsorção dos flocos e ao peso específico mais alto de muitos microrganismos, o que provoca sua sedimentação juntamente com o lodo. A Tabela 03 relaciona o decaimento de patógenos encontrados no esgoto após alguns tratamentos.

Tabela 03 – Porcentagem de redução, de alguns tipos de patogênicos, em alguns sistemas de tratamento

Sistemas de Tratamento	Vírus Entéricos	Bactérias	Cistos de Protozoários	Ovos de helmintos
Decantação primária	0 – 30	50 - 90	10 - 50	30 – 90
Filtro biológico	90 – 95	90 - 95	50 - 90	50 – 95
Lodo ativado	90 – 99	90 - 99	50 - 80	50 – 99
Lagoa de estabilização	99,99- 100	99,99 - 100	100	100

Fonte: Malta, 2001

Nos Estados Unidos, a *Environmental Protection Agency* definiu a Norma 40 CFR part 503 (USA/EPA,1993), que, dentre outras classificações, distingue as classes de lodo. O Lodo classe A pode ser utilizada sem restrições, inclusive para horticultura. Para isso ele deve apresentar as seguintes características sanitárias:

- Teor de coliformes fecais < 1.000 NMP/g de lodo seco
- Teor de salmonella < 4 NMP/4g de lodo seco

Como exigências complementares:

- Vírus entéricos , 1 PFU/4g de lodo seco.
- Ovos viáveis de helmintos , 1 ovo/4g de lodo seco

3.6 USO BENÉFICO DO LODO

Dentre as possibilidades conhecidas e estudadas para o contexto de lodos de tratamentos industriais e esgoto apresentam-se a fabricação de agregados leves, fabricação de cimento Portland, produção de cerâmica vermelha, usos benéficos no solo.

Com exceção do uso benéfico no solo, os demais processos de reciclagem utilizam-se do princípio da estabilização por solidificação (E/S), como forma de realizar o tratamento do resíduo. Assim, para sua realização, é necessário o conhecimento das respostas ambientais e estruturais do produto final, de acordo com sua destinação. Tais respostas são obtidas basicamente pelo estudo das propriedades mecânicas e químicas do resíduo e pela simulação e modelagem, visando à extrapolação dos dados para longo prazo (BRITO, 2007).

Cada uma das possibilidades de uso benéfico do lodo será apresentada. Nos resultados e discussão suas vantagens serão analisadas frente à realidade em que a cervejaria se encontra e segundo aspectos econômicos e ambientais.

3.6.1 Fabricação de Agregados Leves

Dentre os muitos trabalhos, destaca-se o desenvolvido pelo Dr. George Harrison para a San Diego Region Water Reclamation Agency que passou a produzir agregado leve a partir do lodo de esgoto por um processo chamado CCBA (Coordinate Chemica Bonding Adsorption). O processo apresentava as seguintes etapas: mistura do esgoto com argila, alumínio e ácido poliacrílico; coagulação e floculação; decantação (lodo com 45% de sólidos); mistura com argila, extrusão; corte para formação de pelotas com cerca de 6mm de diâmetro e queima entre 1070 a 1095°C (SANTOS;JOHN, 2007).

O agregado leve produzido estava em conformidade com as normas do órgão estadunidense de normatização, ASTM (American Society for Testing and Materials). A partir deste agregado, obteve-se concretos de resistência à compressão acima de 35 MPa e blocos com mais de 6,5 MPa (SANTOS;JOHN, 2007).

A Figura 04 apresenta a imagem do estado final de um bloco de concreto feito com agregado leve em sua composição, a Figura 05 apresenta o fluxograma do processo de fabricação CCBA de produção de agregados leves.

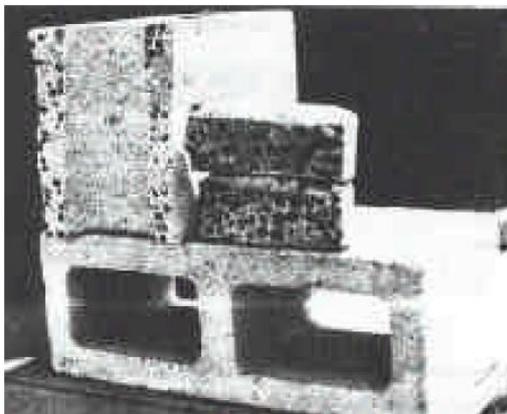


Figura 04 - Bloco de concreto usando agregado leve no processo CCBA
Fonte: George (1986 apud SANTO; JOHN, 2007)

O Brasil foi um dos pioneiros mundiais na utilização de lodo de esgoto como matéria-prima para produzir um agregado leve. Através de processo cerâmico, esta aplicação se diferencia da cerâmica convencional por explorar a capacidade expansiva das misturas contendo lodo.

A pesquisa nacional sobre o aproveitamento do lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento como material de construção iniciou-se em 1974, quando a Sabesp solicitou ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) um estudo a respeito do assunto. Os pesquisadores da Divisão de Tratamento de Minérios do IPT, Prof. Dr. Carlos Dias Brosch, Eng^o Silvio Benedicto Alvarinho, Eng^o Hiran Rodrigues de Souza e Eng^o Oscar de Nucci, efetuaram uma pesquisa experimental de aproveitamento do lodo digerido da Estação de Tratamento de Esgotos de Pinheiros (SANTOS; JOHN, 2007).

Os pesquisadores obtiveram, a partir de lodo digerido, um material que após britagem era classificado dentro das especificações de agregado leve para fins de construção civil, com emprego em estruturas de concreto, isolamento térmico, enchimento de vazios, pré-fabricação de edifícios e blocos para alvenaria e pisos. Uma instalação semi-industrial, cujo projeto foi desenvolvido por empresas brasileiras, foi implantada junto à ERQ Leopoldina (Estação Recuperadora da Qualidade das Águas) com componentes mecânicos e elétricos de fabricação

nacional e esteve em operação de junho de 1979 até o final de 1982 (SANTOS, 2007).

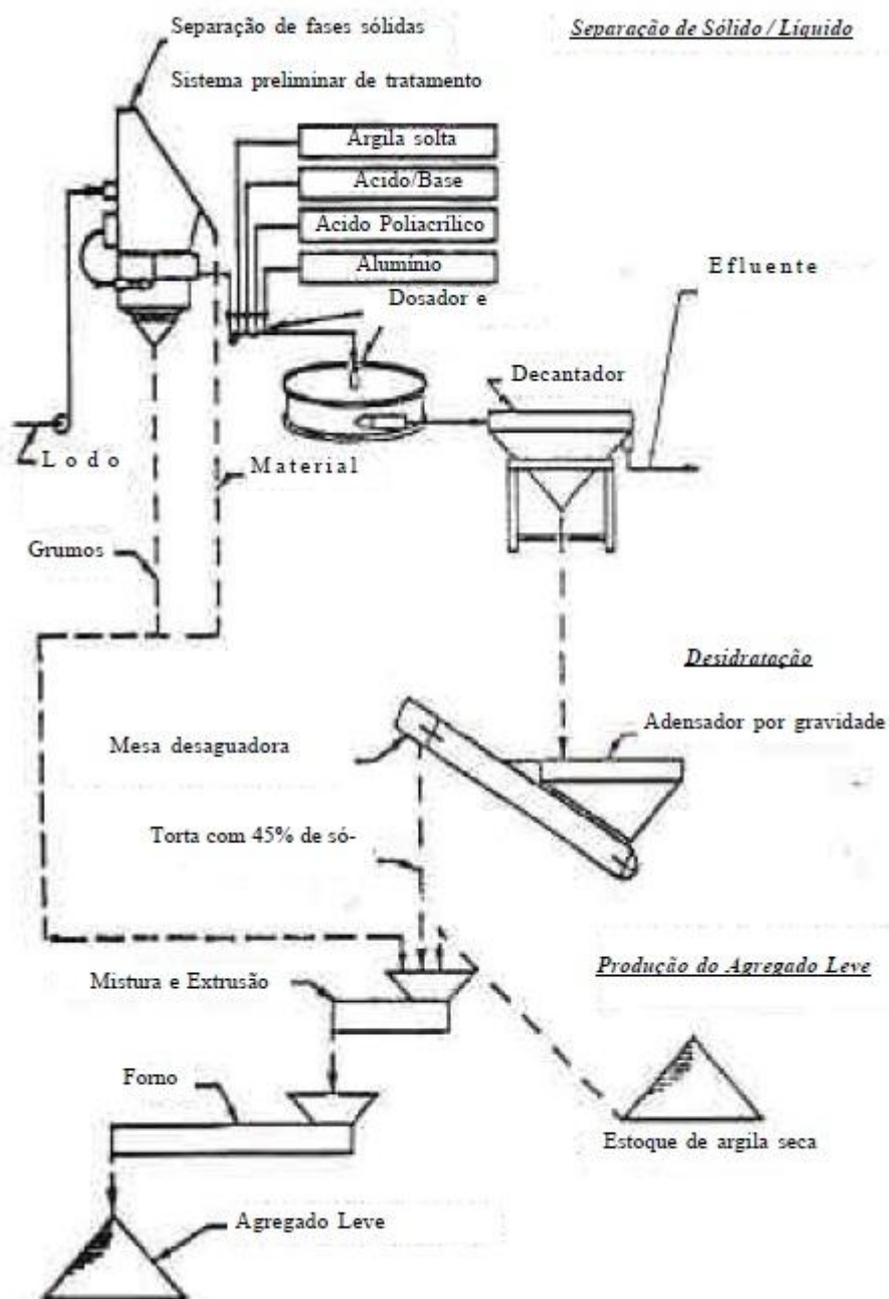


Figura 05 - Fluxograma do processo CCBA de fabricação de agregado leve
Fonte: George (1986, apud SANTOS; JOHN, 2007)

O processo de produção do agregado leve a partir do lodo digerido dos esgotos passava pelas seguintes operações unitárias: desidratação do lodo, pós-secagem do lodo centrifugado, dosagem e mistura dos componentes, peletização,

secagem das pelotas por leito fluidizado, sinterização, quebramento e britagem do sinter, estabilização e classificação do sinter (SANTOS; JOHN, 2007).

A planta produzia aproximadamente 500 kg de agregado leve por hora, processando 2 T/h de lodo de esgoto. A densidade aparente do agregado encontrava-se em torno de 570 kg.m^{-3} . Após britagem, a granulometria dos produtos se situava entre 2,4 a 10 mm.

O fluxograma do processo de fabricação do ALL (Agregado Leve de Lodo) é apresentado na Figura 06.

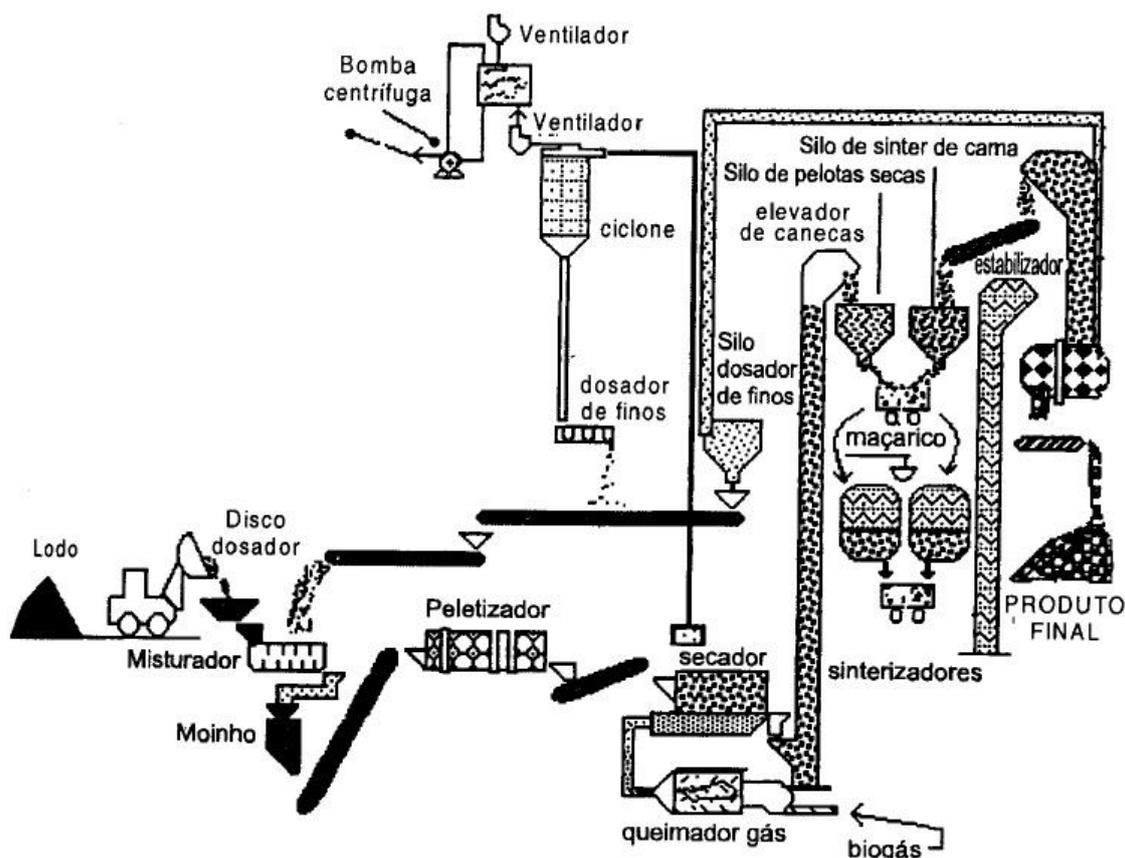


Figura 06 - Fluxograma do processo de produção do agregado leve de lodo
Fonte: Santos (2007)

Os concretos feitos com o ALL, comparados aos concretos de mesmo traço usando argila expandida Cinasita, única concorrente no mercado nacional na época, mostraram melhor trabalhabilidade. Quanto a resistência à compressão axial, obtiveram valores máximos de 29 MPa, apenas 12% abaixo dos concretos produzidos com argila expandida. Devido à alta absorção do ALL, este era usado no estado saturado com superfície seca. O ALL foi usado em obras da própria Sabesp, no concreto das passarelas da Rodovia Anchieta, e como enchimento nas lajes

rebaixadas do Shopping Ibirapuera. Em 1981, estava sendo desenvolvido um projeto para aplicação do ALL na construção do Edifício de Administração da futura Estação de Tratamento de Esgoto Barueri, com concreto de $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$ (SANTOS; JOHN, 2007).

Santos (2003), avalia que o desempenho desses materiais depende da forma como o lodo se apresenta, do processo de fabricação e das dosagens envolvidas, o que requer, assim, pesquisas para o desenvolvimento, quer seja para a produção de uma linha de agregados inovadora, baseada em reciclagem do lodo, quer seja para incorporação em um novo produto existente. Os concretos feitos com o ALL, comparados aos concretos de mesmo traço usando argila expandida Cinasita, única concorrente no mercado nacional na época, mostraram melhor trabalhabilidade. Quanto a resistência à compressão axial, obtiveram valores máximos de 29 MPa, apenas 12% abaixo dos concretos produzidos com argila expandida. Devido à alta absorção do ALL, este era usado no estado saturado com superfície seca. O ALL foi usado em obras da própria Sabesp, no concreto das passarelas da Rodovia Anchieta, e como enchimento nas lajes rebaixadas do Shopping Ibirapuera. Em 1981, estava sendo desenvolvido um projeto para aplicação do ALL na construção do Edifício de Administração da futura Estação de Tratamento de Esgoto Barueri, com concreto de $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$ (SANTOS; JOHN, 2007).

3.6.2 Fabricação de Cimentos Portland

Um estudo, em escala laboratorial, realizado por Tay e Show (1991 apud SANTOS; JOHN, 2007), procurou desenvolver um cimento Portland a partir de tortas de lodo de esgoto. O cimento Portland tem como matérias-primas rocha calcária e argila, sendo no estudo a última substituída pelo lodo desidratado. O primeiro passo foi secagem da torta de lodo, condição necessária para moagem e mistura adequada com a pedra calcária. Essa etapa deve ser sempre considerada em processos de produção ou apenas de incorporação de tortas na indústria de cimento. O fluxograma de operações realizadas é mostrado na Figura 07.

As amostras de lodo desidratado foram secas a 105°C , moídas e misturadas com pó de pedra calcária, CaCO_3 , em diferentes proporções. Essas misturas foram moídas entre 250 e $350\mu\text{m}$, incineradas a temperaturas e tempos de detenção

diferentes. O produto final foi moído numa granulometria menor que $80\mu\text{m}$. Foram analisadas as propriedades do cimento produzido com a mistura de lodo e as do cimento Portland convencional.

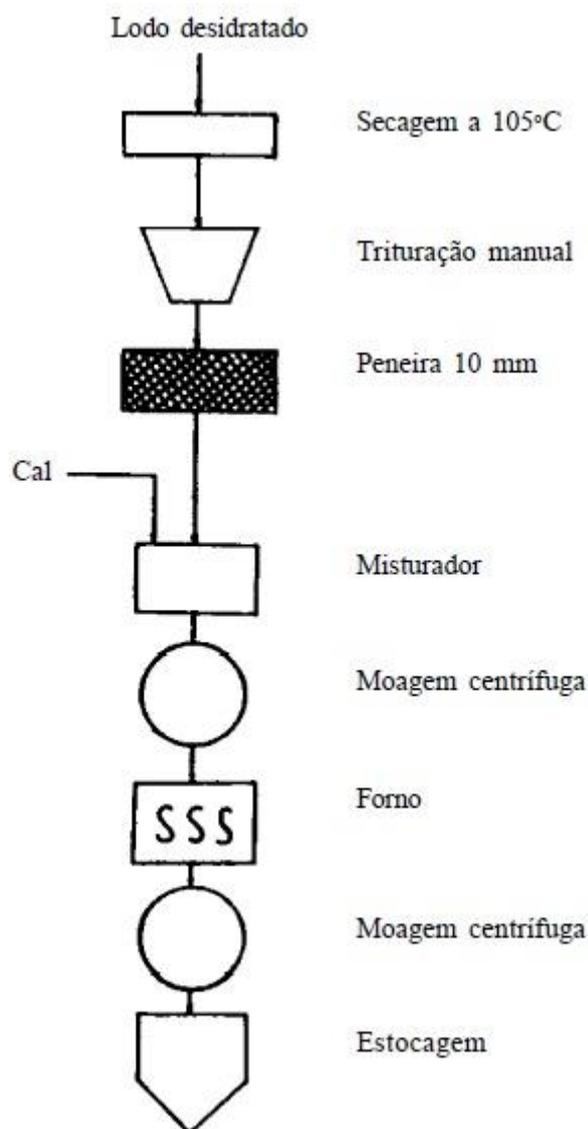


Figura 07 - Fluxograma de operações para produção de cimento

Fonte: Tay; Show (1991, apud SANTOS; JOHN, 2007)

O melhor cimento produzido foi o resultante da mistura de 50% de lodo seco e 50% de pedra calcária em massa, com temperatura de queima de 1.000°C e tempo de residência no forno de 4 horas. A composição química do cimento produzido com lodo de esgoto apresentou conformidade com as faixas de variação de um cimento convencional, com exceção do CaO , que ficou abaixo dos padrões, e do SO_3 , que

ficou acima destes. O baixo teor de CaO pode afetar a resistência, e o alto teor de SO₃ pode causar instabilidade no volume, prejudicando a durabilidade do concreto.

Onaka (2000, apud SANTOS, 2007) testou o processamento de lodo diretamente em uma fábrica de cimento durante nove meses consecutivos, obtendo bons resultados. O processo utilizado iniciava com a secagem do lodo, transformando-o em péletes, conservando, porém, seu teor de matéria orgânica e energia. As etapas desse processo são demonstradas pela Figura 08. Esses péletes, de 2 a 10 mm de diâmetro, foram lançados no forno junto com o restante da matéria-prima do cimento. A matéria orgânica foi utilizada como fonte complementar de calor e a parte inorgânica integrou o clínquer. Os traços de metais pesados foram fixados em teores ainda mais diluídos na massa do cimento. O monitoramento dos gases e o controle de qualidade do produto não indicaram nenhuma alteração em relação aos valores sem o uso do lodo. Os resultados revelam que a incorporação de apenas 2% de lodo seco como matéria prima em fornos de clínquer permitiria consumir todo o lodo gerado no Japão.

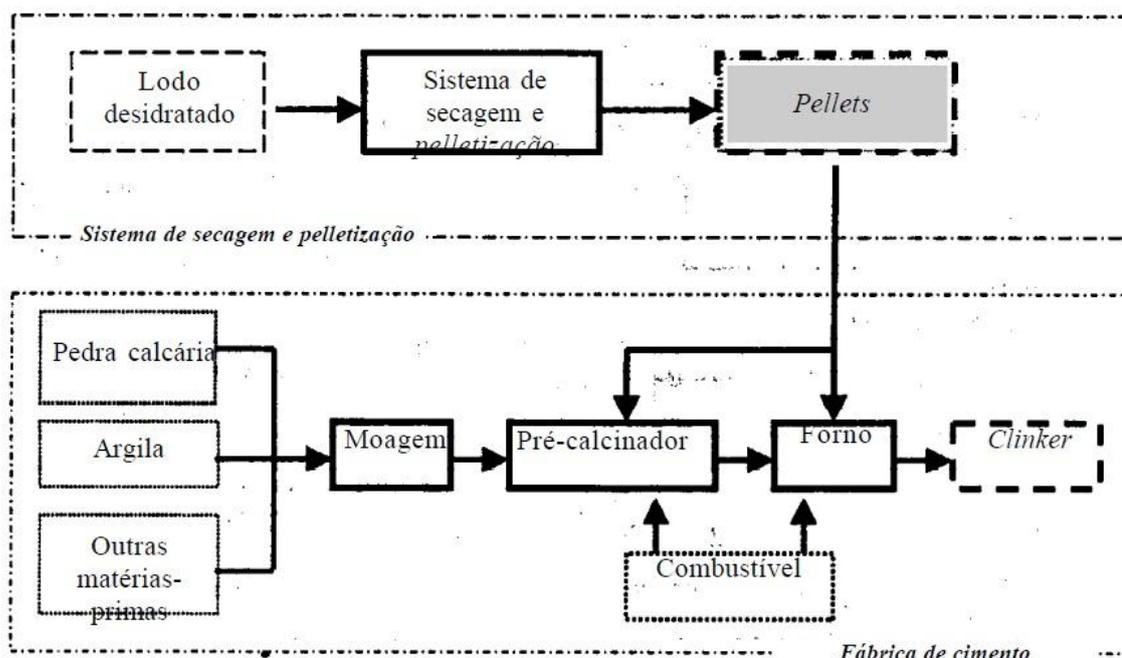


Figura 08 - Fluxograma de incorporação de pellets na fabricação de cimento

Fonte: Onaka (2000, apud SANTOS, 2007)

Uma simplificação dessa ideia está em vias de ser estudada em São Paulo. Consta do uso dos pré-calcinadores existentes em algumas fábricas de cimento, para executar a secagem das tortas de lodo sem transformá-las em péletes. Esse material seco poderia entrar junto com a matéria-prima no forno de cimento,

fornecendo calor e incorporando-se ao produto final. Nessa pesquisa, porém, o foco é a redução de NO_x nas emissões atmosféricas das cimenteiras (USA/EPA, 2000).

Outra aplicação é o uso de cinzas do lodo calcinado de maneira controlada na produção de pozolanas que podem substituir parcialmente o clínquer do cimento. Morales (1999) confirmou reatividade pozolânica no lodo calcinado entre 750°C e 800°C devido à presença de montmorilonita, concluindo ser possível substituir até 35% do consumo de cimento Portland.

3.6.3 Produção de Cerâmica Vermelha

A informação mais antiga encontrada sobre produção em escala industrial de tijolos utilizando resíduos de tratamento de esgoto refere-se à Estação de Tratamento de Esgoto (doravante, ETE) de Fishwater Flats, na África do Sul. Desde 1979, uma olaria distante 15 km da ETE produziu mais de 120 milhões de tijolos a partir de uma mistura em volume de 30% de lodo com 70% de argila, para tijolos comuns, e de 5 a 8% de lodo para tijolos de acabamento (SLIM; WAKEFIELD, 1991).

As tortas de lodo misturadas à argila são moídas formando uma massa; essa massa homogênea recebe água tendo sua umidade ajustada em 20%; a massa é extrudada e os tijolos cortados. A etapa seguinte é a secagem por duas semanas em local coberto à temperatura ambiente, ou em estufas por dois dias, numa temperatura entre 60 e 65°C; os tijolos seguem para a queima, resfriamento e estocagem.

Num forno contínuo, os tijolos moldados da mistura de lodo e argila aquecem até atingir uma temperatura de cerca de 150°C. Nesse momento o lodo começa a pirolizar e a combustão dos voláteis se inicia, aumentando rapidamente a temperatura dos blocos para 800°C. No ponto do forno em que o lodo é completamente queimado e o gradiente térmico diminui, um combustível externo é queimado para elevar a temperatura a 960°C. O uso do lodo nessa fábrica é o responsável por uma economia de 55 litros de óleo combustível para cada 1.000 tijolos produzidos.

Muitas outras pesquisas de incorporação de lodo desidratado e de cinzas de lodo foram desenvolvidas. Foram encontrados diferentes valores absolutos para as

propriedades de diversas proporções de incorporação de lodo em blocos cerâmicos. Isso se deve à diversidade de matérias-primas, processos, dimensões dos blocos e às normalizações de cada país. Mesmo assim, é possível observar tendências e características dessa incorporação de lodo nos produtos cerâmicos (TAY; SHOW, 1997, apud SANTOS; JOHN, 2007).

Com teores de incorporação de tortas de lodo entre 0 e 40% da massa total, os melhores resultados limitaram-se a 10% de incorporação, representando aproximadamente reduções de 2,5% na massa específica e de 30% na resistência mecânica. A absorção de água e a retração de queima aumentaram respectivamente em 35% e 2,5% (TAY, 1987; ALLEMAN; BERMAN, 1984; TAY; SHOW, 1997, apud SANTOS; JOHN, 2007; SLIM; WAKEFIELD, 1991).

3.6.4 Uso Benéfico no Solo

A reciclagem do lodo no solo tem se destacado mundialmente sob o ponto de vista técnico. Muitos países utilizam-no como fertilizante para solo na plantação de vegetais, pastagens, áreas recreacionais, jardins, florestas ou áreas degradadas (GONÇALVEL et al. 2001; PAULINO; CASTRO; SOCCOL, 2001; CARRINGTON, 1980; USA/EPA, 1992). Essa prática considera o resíduo como um insumo potencial, que, se bem manejado, beneficia as propriedades dos solos, como por exemplo, o suprimento de nitrogênio para as plantas (SEGATTO, 2001).

A matéria orgânica presente no lodo também é de interesse para as aplicações no solo. A adição de material orgânico em solos argilosos possibilita sua reestruturação, tornando-o mais friável, aumentando a quantidade de poros e, conseqüentemente, a circulação de ar e água. Nos solos arenosos, a adição de material orgânico agrega as partículas do solo, formando torrões e possibilitando a retenção de maiores volumes de água. Também contribui na manutenção do pH uniforme e estável no solo (efeito tampão), na maior resistência à erosão, na melhoria da capacidade de troca de cátions, aumentando o reservatório de nutrientes e estimulando a atividade microbiana do solo (ANDREOLI et al., s/d).

Várias pesquisas conduzidas no Brasil evidenciam que o lodo é um resíduo com potencial de uso agrícola. Bidoni, Silva, Maques (2001) relatam pesquisas que demonstraram que o lodo de esgoto, gerado pela Companhia de Abastecimento e

Saneamento Básico de Brasília, DF, apresentava potencial para substituição dos fertilizantes minerais para cultura do milho no cerrado brasileiro. Araújo, Bettiol (2009) apresentam informações sobre o fornecimento de nutrientes pelo lodo de esgoto para as culturas de cana-de-açúcar, milho, sorgo e azevem. Existem, ainda, informações do aproveitamento do lodo de esgoto para arroz, aveia, trigo, pastagens, feijão, soja, girassol, café e pêssego entre outras culturas (ARAÚJO; BETTIOL, 2009). Também em espécies florestais o lodo vem sendo utilizado com sucesso. Moraes Neto, Abreu Junior, Muraoka (2007) apresentam informações sobre o potencial do uso do lodo de esgoto, gerado na ETE de Barueri, SP, para o cultivo de eucalipto.

As principais limitações para disposição benéfica do lodo no solo são os riscos de contaminação com metais pesados, agentes patogênicos e ampla gama de compostos orgânicos, além da lixiviação de nitrogênio e fósforo que contamina o lençol freático e as águas superficiais. Assim, os riscos associados ao uso do biossólido referem-se ao conteúdo de metais pesados e de poluentes orgânicos e à estabilidade e atração de vetores; e relacionam-se ao contato direto com pessoas e animais, à localização da área de aplicação e à aptidão do solo, a qual integra a contaminação das águas (SANTOS, 2003).

A operacionalização de uma alternativa de uso benéfico no solo requer planejamento, organização, implementação e gerenciamento de um programa de reciclagem. Isso envolve etapas como a caracterização do biossólido e da área de aplicação, análise do contexto socioeconômico, organização da distribuição, licenciamento ambiental, divulgação, assistência técnica, e, principalmente, um sistema de controle de qualidade, uma vez que o gerador é sempre responsável pelos efeitos ambientais do seu resíduo. Nesse programa de reciclagem é importante que sejam registradas todas as áreas onde o lodo foi aplicado, com os respectivos lotes de origem e sua caracterização (BETTIOL; CAMARGO, s/d).

A União Europeia (UE) e os Estado Unidos possuem leis que disciplinam o uso de biossólidos na agricultura. A U.S.EPA - *United States Environmental Protection Agency*, (1983) recomenda que, antes de se decidir pela utilização de um determinado lodo no solo, seja realizada uma campanha de ensaios no lodo, com um ou dois anos de duração, visto que muitas respostas da aplicação no solo,

absorção pelos vegetais, lixiviação e percolação de substâncias ocorrem gradativamente.

Um aspecto importante a ser levantado é a característica dinâmica das readequações das legislações em nível mundial. Alguns grupos de países estabeleceram regras básicas unificadas, como a Diretiva da Comunidade Econômica Europeia, enquanto outras regulamentações são desenvolvidas no âmbito de cada país, com níveis diferenciados de exigências e especificidade. Na América do Norte, uma extensiva e dinâmica linha de regulamentações de razoável especificação é elaborada e constantemente revista pela USEPA, ainda assim, normas complementares são estabelecidas em cada Estado. No Canadá o EPS, *Environmental Protection Service*, exerce uma normatização mais abrangente, usada como base para a elaboração de regulamentações específicas pelos órgãos de agricultura e proteção ambiental de cada jurisdição (ANDREOLI, et al., 1999).

No Brasil, o estado de São Paulo, desde 04/012/1999, possui uma norma realizada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), a P-4.230. Essa norma estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas (SÃO PAULO/CETESB, 1999). A cidade de Franca, SP, fundamentou-se nessa norma da CETESB para elaborar seu próprio manual para bio sólidos produzidos na ETE da SABESP, registrando-o como condicionador de solos (VANZO; MACEDO; TSUTIYA, s/d) no Ministério da Agricultura, sob cuja fiscalização faz sua aplicação em culturas de milho, café e reflorestamentos (BETTIOL; CAMARGO, s/d). Por sua vez, o estado de Santa Catarina ainda não possui normativa própria, seguindo as recomendações estabelecidas pela CETESB, ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) para embasar suas licenças de utilização de resíduos no solo.

Quando comprovado o enquadramento do resíduo nas exigências listadas pelas normas e resoluções vigentes, como composição química, presença de patógenos, compostos orgânicos tóxicos e metais pesados, está concluído apenas um dos passos para efetivamente implantar um processo de utilização do lodo no solo. Outras exigências e questões relevantes à viabilidade são requeridas. Dentre elas, destacam-se a gama de consumidores deste bio sólido, sua aceitação pública,

as distâncias de transporte envolvidas entre a fonte geradora e os pontos de aplicação, o plano de monitoramento, o critério das áreas de aplicação, o controle da distribuição; enfim, uma série de outras variáveis que devem ser estudadas. Essas variáveis demonstram a necessidade em se elaborar o planejamento de um programa de reciclagem do lodo.

4 METODOLOGIA

Esse trabalho de conclusão de curso, por suas características, desenvolveu-se no campo da pesquisa aplicada. Os estudos e análises realizadas objetivaram gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de um problema específico e de conhecimento local, ou seja, uso benéfico do lodo aeróbio gerado pela Estação de Tratamento de Efluentes Industriais de uma cervejaria localizada no município de Lages-SC.

A localização da unidade de fábrica cervejeira, lócus da pesquisa, encontra-se no planalto serrano do estado de Santa Catarina – Brasil, município de Lages. Suas instalações somam o total de 45.000 m² de área construída, distribuídas em uma área de 1.500.000 m². Lages está estrategicamente situada entre as rodovias BR-282 e BR-116, sendo este um ponto de fácil acesso rodoviário, fundamental para o recebimento de matérias-primas e insumos, bem como para a distribuição de seus produtos para os centros de distribuição.

A cidade de Lages tem sua economia baseada na agricultura e pecuária. A indústria tem sido estimulada nos setores ligados ao processamento da madeira, como celulose, papel e laminados e também é crescente a produção vestuária. Não se observa, porém, a existência de indústrias cerâmicas, cimenteira e de construção, com porte para aproveitar o potencial de resíduo gerado no processo industrial da cervejaria.

O cenário agrícola de Santa Catarina envolve cerca de 180 mil famílias, o que representa mais de 90% da população rural. A produção familiar, apesar de constituir apenas 41% da área dos estabelecimentos agrícolas, é responsável por mais de 70% do valor da produção agrícola e pesqueira do estado, destacando-se na produção de 67% do feijão, 70% do milho, 80% dos suínos e aves, 83% do leite e 91% da cebola. Além desses produtos, a agricultura familiar destaca-se na produção de mel, arroz, batata, fumo, mandioca, tomate, banana, e uma grande variedade de outros hortigranjeiros e frutas (INSTITUTO CEPA, 2004).

Desta forma, antes mesmo de se ter realizado a pesquisa de mercado, pode-se concluir que o leque de negociações dentro do setor agrícola e da pecuária, que buscam inovações quanto a produtos que melhorem suas produções, é significativamente maior do que o de indústrias ligadas à construção, que busariam,

no lodo, o benefício na substituição de parte da matéria-prima de seus produtos. Das alternativas de uso benéfico do lodo já apresentadas neste trabalho (seção 3.6), pelo contexto em que a unidade cervejeira se encontra, a reciclagem no solo é a que possui maior potencial.

Para abordagem do problema, foram utilizados recursos e técnicas estatísticas como a porcentagem, média, cálculos de estimativa, ferramentas da pesquisa quantitativa.

A pesquisa foi exploratória, pois visou proporcionar maior familiaridade com o problema, a fim de melhor explicitá-lo, formulando hipóteses para otimizar o aproveitamento do lodo aeróbio da unidade cervejeira. Envolveu levantamento bibliográfico e documental (relatórios técnicos, laudos técnicos e microbiológicos, planilhas de anotações), visitas à unidade cervejeira, entrevistas informais com funcionários da cervejaria para melhor compreender e descrever os procedimentos utilizados pela cervejaria no tratamento e destinação do lodo. A pesquisa bibliográfica foi norteada por pontos fundamentais ligados à legislação brasileira e a pesquisas sobre resíduos sólidos industriais, aspectos químicos, físicos e microbiológicos relevantes do lodo.

Finalizando os estudos, formulou-se uma proposta que constitui a etapa de planejamento preliminar de reciclagem do resíduo de tratamento de efluentes da cervejaria.

Para realização da caracterização do lodo aeróbio e do potencial gerador deste resíduo pelo tratamento dos efluentes, foram feitas visitas à unidade de fabricação de cerveja, localizada em Lages, SC. Com auxílio dos operadores e supervisores da área do Meio Ambiente da fábrica, foram consultados arquivos e cadernos de preenchimento diário para a coleta de dados. Nos arquivos, o histórico de análises e de experimentos foi armazenado; nos cadernos, foi realizado o controle dos parâmetros de tratamento.

Os dados foram coletados, posteriormente digitados e organizados em tabelas, para, então, proceder-se à realização de cálculos e estudo relacionado. O detalhamento dos cálculos, características do lodo, procedimentos e metodologias utilizadas atualmente pela empresa terceirizada na incorporação ao solo serão descritos nas seções seguintes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GERAÇÃO DE LODO

Para realização do cálculo do lodo gerado na unidade cervejeira de Lages, foram associadas à análise por DBO_5 à de demanda química de oxigênio (DQO). Foi obtida uma estimativa de geração contida no manual técnico de operação, elaborado pela empresa construtora da estrutura física da estação de tratamento da cervejaria, que estima o lodo em excesso produzido no tratamento biológico em 0,8 Kg por Kg de DBO_5 removida.

Foi necessário recorrer aos valores das análises de DQO, devido o seu tempo de realização ser de 2 a 3 horas, enquanto a duração da DBO_5 é somente a cada 5 dias (NUNES, 2001), motivo esse que levou os operadores a utilizarem a DQO em seu controle de efluente desviado para o tanque de aeração, correspondente ao tanque de emergência e do extravaso do equalizador. Esses fatores permitem uma proximidade muito maior do real valor de geração através da análise DQO, do que os dados obtidos por meio da análise de DBO_5 , que apresentariam volumes de geração muito menores.

Na Tabela 04 podem ser verificados os dados do mês de janeiro de 2013, referentes à vazão afluente, DQO da entrada da aeração, DQO do efluente final e o resultado dos cálculos. Estes valores foram utilizados para determinação da carga orgânica através da fórmula:

$$CO = Q_a (m^3.dia^{-1}) \times DBO (mg.L^{-1}) \times 10^{-3}$$

Onde:

CO = Carga Orgânica (Kg DBO_5 . dia^{-1})

Q_a = Vazão Afluente ($m^3.dia^{-1}$)

DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio ($mg.L^{-1}$)

Determinando-se a diferença da carga orgânica da entrada da aeração, com a carga orgânica do efluente final, obtem-se o saldo de remoção de carga orgânica da aeração. Posteriormente, aplicando a estimativa de geração de 0,8 kg de lodo por Kg de DQO removida, chega-se à geração diária de bio sólido gerado pelo tratamento da ETEI. A partir disso, foi calculada a geração mensal, compreendido o

período janeiro de 2012 a janeiro de 2013. Esse procedimento para o cálculo de geração de lodo referente ao mês de janeiro foi replicado a todos os meses do período compreendido.

Tabela 04 - Valores do tratamento e resultado dos cálculos – mês de JANEIRO de 2013

(continua)

Data	C.O Entrada tanque aeração (A)	C.O Afluente (B)	(A – B)	Vazão afluente (m³/d)	DQO Entrada Aeração (mg/l)	DQO Efluente Final (mg/l)
01/01/2013	1830,720	259,352	1571,368	3814	480	68
02/01/2013	1669,200	269,640	1399,56	4280	390	63
03/01/2013	1564,172	261,376	1302,796	4084	383	64
04/01/2013	1965,978	312,060	1653,918	4458	441	70
05/01/2013	6511,33	263,328	6248,002	3376	1927	78
06/01/2013	1429,272	165,672	1263,6	2808	509	59
07/01/2013	1085,484	368,088	717,396	3756	289	98
08/01/2013	1856,304	291,092	1565,212	4772	389	61
09/01/2013	2072,847	336,273	1736,574	5019	413	67
10/01/2013	1686,300	244,915	1441,385	4015	420	61
11/01/2013	1701,216	228,404	1478,722	3938	432	58
12/01/2013	1832,664	253,197	1832,664	4019	456	63
13/01/2013	1397,300	341,475	1055,825	3925	356	87
14/01/2013	796,670	200,665	596,005	2995	266	67
15/01/2013	1427,526	325,047	1102,479	3351	426	97
16/01/2013	1578,552	248,676	1329,876	3604	438	69
17/01/2013	1690,410	240,932	1449,478	3886	435	62
18/01/2013	1770,049	282,902	1487,147	3823	463	74
19/01/2013	771,620	319,940	452,28	3764	205	85
20/01/2013	1770,800	242,320	1528,48	3728	475	65
21/01/2013	1834,380	298,620	1535,76	4266	430	70

(conclusão)						
Data	C.O Entrada tanque aeração (A)	C.O Afluente (B)	(A – B)	Vazão afluente (m ³ /d)	DQO Entrada Aeração (mg/l)	DQO Efluente Final (mg/l)
22/01/2013	1977,118	199,485	1957,633	4433	446	45
23/01/2013	1836,276	394,368	1441,908	4108	447	96
24/01/2013	1242,384	295,392	946,992	4344	286	68
25/01/2013	1117,502	221,212	896,29	3814	293	58
26/01/2013	924,414	189,899	734,515	3583	258	53
27/01/2013	1301,076	189,310	1111,766	3442	378	55
28/01/2013	1476,792	290,016	1186,776	3816	387	76
29/01/2013	1666,226	300,259	1365,967	4229	394	71
30/01/2013	2000,460	333,410	1667,05	4330	462	77
31/01/2013	1635,942	311,608	1324,334	3541	462	88
Soma das diferenças de C.O			45381,758			
Total Gerado de Lodo no Mês			36305,406 Kg			

Fonte: Autoria Própria

Somando-se os valores de geração mensal, individualmente calculados, no período de janeiro de 2012 a janeiro de 2013, foi obtida a quantia total de 448.226 Kg de lodo aeróbio gerado no processo de lodo ativado por aeração prolongada. Esse valor corresponde a uma média de 34.479 kg. $mês^{-1}$ e 1.149 Kg. dia^{-1} .

Ao se analisar o valor de geração com o da retirada de lodo, notou-se uma diferença muito grande. Foram retirados 1.314.562Kg de lodo neste período, valor este obtido pela pesagem dos caminhões, antes de sair da fábrica. Ainda que o processo de desidratação utilizado não seja muito eficiente, e que a caçambas de armazenamento fiquem no tempo, considerar que 866.336Kg, 65% do total retirado, represente a parcela líquida estaria superestimado. Através de diálogo com os

técnicos especialistas no tratamento, identificou-se a causa da diferença desses valores.

O lodo gerado pela ETA - Estação de Tratamento de Água é destinado a ETEI, porém não passa pelo tratamento biológico, sendo encaminhado diretamente ao processo de adensamento do lodo. Com essa situação tornou necessário o desenvolvimento de cálculos de geração e caracterização do resíduo gerado pelo processo de tratamento da água da cervejaria, visto que tem contribuição significativa na composição final do lodo do tratamento.

5.2 GERAÇÃO LODO ETA

Quando utilizado sulfato de alumínio como coagulante, aproximadamente 44% da dosagem utilizada estabilizam-se na forma de sólido. Como este coagulante é o utilizado na estação de tratamento da cervejaria de Lages, foi utilizada a fórmula proposta por Cornwell (1987, apud BARROSO; CORDEIRO, s/d) para estimar a produção de sólidos nos decantadores, baseada na dosagem de coagulante. Considerando cálculos estequiométricos, que apontam para a porcentagem de coagulante solidificado na reação, o seguinte balanço de produção de sólidos foi obtido:

$$W = 0,0864.Q.(0,44.D + 1,5.T + A)$$

Onde:

W = quantidade de lodo produzida por dia ($\text{Kg. } d^{-1}$);

Q = vazão de adução de água ($\text{L. } s^{-1}$);

D = Dosagem de sulfato de alumínio ($\text{mg. } L^{-1}$);

T = turbidez de água bruta (uT);

A = dosagem de “auxiliares” ou outros produtos adicionados ($\text{mg. } L^{-1}$)

Para realização do cálculo de geração, foi obtida a dosagem diária de produtos químicos, sem serem obtidos os dados diários de vazão e turbidez. Com o auxílio dos técnicos especialistas no tratamento da cervejaria, adotou-se uma média de $83,333 \text{ L. } s^{-1}$ e 30uT. Realizou-se, então, o cálculo de geração de lodo no período de janeiro de 2012 a janeiro de 2013, conforme descrito na Tabela 05.

Tabela 05 - Geração de Lodo ETA

Mês (ano)	Vazão (L/s)	Dosagem Sulfato (mg/L)	Dosagem Auxiliares (mg/L)	Turbidez (uT)	Kg Lodo/dia	Kg Lodo/Mês
Jan (12)	83,333	0,0462	0,0344	30	324,393	10056,175
Fev (12)	83,333	0,0417	0,0427	30	324,438	9408,709
Mar (12)	83,333	0,0423	0,0484	30	324,481	10058,917
Abr (12)	83,333	0,0379	0,0295	30	324,331	9729,935
Mai (12)	83,333	0,0449	0,0267	30	324,333	10054,329
Jun (12)	83,333	0,0314	0,027	30	324,293	9728,777
Jul (12)	83,333	0,0283	0,0384	30	324,365	10055,31
Ago (12)	83,333	0,0277	0,0206	30	324,235	10051,278
Set (12)	-	-	-	-	324,367	9731,01
Out (12)	83,333	0,036	0,0278	30	324,313	10053,7
Nov (12)	83,333	0,0397	0,0307	30	324,345	9730,365
Dez (12)	83,333	0,0489	0,0466	30	324,489	10059,163
Jan (13)	83,333	0,0399	0,0358	30	324,383	10055,869
Média					324,367	9920,211

Fonte: Autoria Própria

Considerando que uma estação de tratamento de água convencional com capacidade de tratar 2.400 L.s^{-1} produz aproximadamente $1,8 \text{ ton.d}^{-1}$ de lodo (HOPPEN, *et al.*, 2005), os valores encontrados são consideráveis.

Esses valores, porém, não podem ser considerados exatos, visto que a real influência na geração, como pode ser verificada na fórmula, é relativa à turbidez, que em períodos de chuva intensa, por exemplo, pode ultrapassar os 200uT. A vazão média considerada aproxima-se mais do cálculo real de geração. Contudo, pode-se ter uma estimativa da influência e da contribuição do lodo gerado pela ETA no montante final.

5.3 CARACTERÍSTICAS INDESEJÁVEIS DO LODO

Para a realização do estudo relacionado às características do biossólido que podem de alguma maneira prejudicar a saúde de habitats, animais ou plantas, foram analisados os dados obtidos pelo ensaios de laboratório encomendados pela empresa, relacionando-os com as concentrações máximas permitidas pelas normas das substâncias que conferem periculosidade ao resíduo. Para o estudo, foi consultada a NBR10004/04 e estudos realizados pela CETESB e SANEPAR.

5.3.1 Microrganismos patógenos

As características sanitárias do lodo gerado pelo tratamento de efluentes da cervejaria estão apresentadas na Tabela 06.

Tabela 06 - Laudo Microbiológico

Parâmetros	Resultado/Unidade (09/10/09)	Resultado/Unidade de (21/09/12)	CONAMA 375/06 – Lodo tipo A
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente	NR**	Ausente
Coliformes Termotolerantes	17 NMP/g de ST*	11 NMP/g de ST	< 10 ³ NMP/g de ST
Ovos Viáveis de Helmintos	Ausentes	NR	< 0,25 ovo/g de ST
Vírus Adenovírus	Ausentes	NR	< 0,25 UFP.g ⁻¹ de ST
Entéricos Enterovírus		NR	< 0,25 UFP.g ⁻¹ de ST

*ST = sólidos totais; **NR = Não realizado

Fonte: Laudo Microbiológico - nº 12377/09

Os resultados encontrados são satisfatórios quanto à presença de patógenos. Porém, é recomendável o gerenciamento da sanidade do lodo, caracterizado pelo controle dos principais agentes patogênicos, através de métodos de higienização que devem ser econômicos, seguros e de fácil aplicação prática. Tal procedimento aliado a um plano de monitoramento com frequência adequada garante a segurança sanitária da reciclagem do lodo.

5.3.2 Metais pesados

Os ensaios realizados com o lodo da cervejaria quanto a sua composição de metais pesados, bem como os limites máximos estabelecidos pela NBR 10004/04 estão dispostos nas Tabelas 07, 08 e 09.

Tabela 07 - Resultados do Ensaio de Lixiviação (conforme a NBR 10.005:2004 – Anexo F)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra (2009)	Limites Máximos (NBR-10.004)
Arsênio	(mg/L)	ND*	1,0
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,5
Chumbo	(mg/L)	ND*	1,0
Cromo Total	(mg/L)	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,1
Prata	(mg/L)	ND*	5,0
Selênio	(mg/L)	ND*	1,0

Fonte: Laudo de Análise - nº 6688/2009

Tabela 08 - Resultados do Ensaio de Solubilização (conforme a NBR 10.006:2004 – Anexo G)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra (2009)	Resultados da Amostra (2012)	Limites Máximos (NBR-10.004)
Mercúrio	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,001	0,001
Arsênio	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,001	0,01
Cádmio	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,005	0,005
Chumbo	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,006	0,01
Cromo Total	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,006	0,05
Zinco	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,005	5,0
Cobre	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,006	2,0
Prata	(mg.L ⁻¹)	ND*	NR**	0,05
Selênio	(mg.L ⁻¹)	ND*	<0,005	0,01

ND* = Não Detectado; **NR = Não Realizado

Fonte: Laudo de Análise - nº 6687/2009

Tabela 09 - Análises da Composição Química do Resíduo

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra (2009)
Chumbo (base seca)	(mg/kg)	25,0
Cromo (base seca)	(mg/kg)	142,5
Níquel (base seca)	(mg/kg)	10,4

Fonte: Laudo de análise - nº 6686/2009

As concentrações (mg/kg) recomendadas pela EPA (*Environmental Protection Agency*), citadas por Fernandes; Silva (1996) estão listadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Concentrações de Metais Pesados Recomendadas pela *Environmental Protection Agency*

Metais Pesados	Concentração recomendada pela EPA (mg.Kg ⁻¹)
Cd	39
Co	0
Cr	1200
Cu	1500
Ni	420
Pb	300
Zn	2800
Hg	17

Fonte: Fernandes; Silva (1996)

Observa-se, assim, a adequação do lodo com os valores limite de metais pesados tanto nas análises de lixiviação, solubilização e na de base seca.

Dentre os elementos listados por Andreoli; Pegorini e Fernandes (2001), cujas características podem contaminar o meio ambiente e provocar diferentes níveis de dano à biota, não foram contemplados nos laudos as análises de Cobalto e Antimônio. Além da realização da análise desses elementos potencialmente tóxicos

ser necessária, recomenda-se também a elaboração de um plano de monitoramento dos metais pesados.

5.3.3 Compostos orgânicos tóxicos

Os compostos orgânicos tóxicos são contemplados na NBR 10004/04 em seus anexos C, D e E. No anexo C, estão elencadas substâncias que conferem periculosidade ao resíduo; no anexo D, substâncias agudamente tóxicas e, no anexo E, substâncias tóxicas. Nas amostras utilizadas para elaboração do Laudo técnico de classificação de resíduo sólido, não foram encontrados substâncias que conferem periculosidade ao lodo tampouco compostos orgânicos tóxicos em concentrações significativas. Isso se deve à ausência no lodo de restos de embalagens, materiais resultantes de derramamentos e por produtos fora de especificação ou de validade.

5.4 DESTINAÇÃO ATUAL DO LODO

Para destinação do lodo, em relação ao custo da fábrica, é pago R\$75,00 por tonelada. Considerando que foram retirados 1.314.562Kg no período de janeiro de 2012 a janeiro de 2013, a empresa gastou nesse período, somente para destinação do lodo gerado em sua estação de tratamento de efluentes, R\$98.592,15.

Os resíduos produzidos no tratamento de efluentes da cervejaria são temporariamente depositados em caçambas (Dumps), a céu aberto, até o momento em que caminhão do tipo Rolon, de empresa terceirizada, recolhe e acondiciona o lodo no solo da Fazenda Campinas, localizada na vila Cadeados, distante aproximadamente 20 Km da unidade da fábrica cervejeira de Lages.

Através de uma Autorização Ambiental, a empresa terceirizada, além do lodo, tem dado destinação às cinzas e às terras diatomáceas. A cinza é resíduo da caldeira de biomassa, resultante da queima de cavaco de pinus e/ou eucalipto. As terras diatomáceas são utilizadas no processo de filtração da cerveja, tratando-se de sedimentos de natureza silicosa, que podem ser originados a partir de frústulas ou carapaças de organismos unicelulares vegetais, encontrados nas camadas geológicas da crosta terrestre (SOUZA *et al.*, 2003). Esses resíduos foram

classificados segundo ABNT NBR 10004:2004 como Resíduo Não-Inerte – Classe II-A.

O lodo, as cinzas e as terras diatomáceas são incorporados em áreas agrícolas pré-determinadas, com auxílio de máquinas agrícolas, acopladas com distribuidores orgânicos tipo Lancer, concha frontal, carreta agrícola e grade aeradora. Ao fim do processo de incorporação, aguarda-se o período de 4 a 6 meses para, então, realizar-se o plantio de pastagem ou cultivo agrícola.

É realizada anualmente a coleta de amostras representativas do solo por área incorporada. As amostras são enviadas a laboratórios de análises químicas com o objetivo de se acompanhar os níveis de metais pesados, alumínio, óleos e graxas, entre outros elementos.

Israel Júnior (2012), Engenheiro Agrônomo, responsável técnico pela elaboração do relatório anual das atividades desenvolvidas de incorporação de resíduos sólidos gerados pela indústria cervejeira na Fazenda Campinas, apresenta as seguintes considerações:

- Conforme os resultados obtidos nas análises realizadas [...] constata-se que não existem elementos com níveis altos no solo e não se observa plantas, com estresse de crescimento vegetativo.
- Os níveis de macronutrientes e micronutrientes acessíveis às plantas estão baixos, o que identifica a extração destes minerais pelas plantas cultivadas em lavouras de Milho, Milheto e Capim Sudão.
- Quanto ao pH do solo o mesmo encontra-se em classe ácida e mantém-se estagnado ano após ano.
- Na safra de verão 2011/2012 foi cultivado milho, nas lavouras que receberam os resíduos oriundos da cervejaria, e conseguimos uma média de 46 toneladas por hectare de silagem, totalizando 300 toneladas de silagem, média esta que se considera muito boa para a região de Lages, SC. (ISRAEL JUNIOR, 2012; p.9).

No período de maio de 2011 a maio de 2012 foram incorporados 2428,17 Ton de resíduos na fazenda. A quantidade de cada resíduo e as áreas utilizadas estão apresentadas na Tabela 11.

As análises de solo foram todas realizadas após a incorporação dos resíduos. Os maiores resultados encontrados pelas análises, entre todas as áreas, estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 11 - Quantidade de resíduos incorporada por área

	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
	1,00ha	1,95ha	2,34ha	3,58ha	3,07ha	1,33ha
T. Infusória	54,77	106,80	128,16	196,07	168,14	72,84
Lodo ETE	63,56	123,94	148,73	227,54	195,12	84,53
Cinza	64,64	126,04	151,25	231,41	198,44	85,97
Total (TON)	182,97	356,78	428,14	655,02	561,70	243,34

Fonte - Relatório anual das atividades desenvolvidas de incorporação de resíduos sólidos gerados pela indústria cervejeira na Fazenda Campinas – Lages – SC

Tabela 12 – Análises de Solo após a Incorporação dos Resíduos

Análises Realizadas	Maiores Resultados Encontrados (mg.Kg ⁻¹)
Alumínio	0,514
Cádmio	<0,005
Chumbo	<0,006
Cloretos	40,78
Cromo Total	0,006
Ferro	20,47
Fluretos	<0,1
Magnésio	3,68
Níquel	< 0,06
Nitrato	2,2
Óleos e Graxas totais	10,6
Sódio	1,168
Sulfatos Sulfatos	< 0,1

Fonte - Relatório anual das atividades desenvolvidas de incorporação de resíduos sólidos gerados pela indústria cervejeira na Fazenda Campinas – Lages – SC

Para constatação de contaminação, é necessário a ocorrência de um elemento em teor superior ao encontrado naturalmente em uma determinada área. Em alguns casos, torna-se elevado ao ponto de causar efeito adverso a organismos vivos, o que enquadra o elemento como poluente (BIONDI, 2010). Porém, para que

um elemento ou substância seja classificado como tal, e o nível de contaminação de uma área possa ser mensurado, é necessário que exista um conhecimento da ocorrência natural destes elementos no solo, o que não se verifica no relatório elaborado. As análises restringem-se somente a amostras posteriores à aplicação dos resíduos.

Outro índice utilizado para determinar uma concentração de metais pesados prejudicial ao solo é estabelecido pela Portaria 176/96 do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente, em seu Anexo 1, apresentado na Tabela 13. O maior valor de pH encontrado nas amostras analisadas do solo da Fazenda Campinas foi o pH 5,1.

Tabela 13 – Valores limite de concentração de metais pesados nos solos

Parâmetros (mg/Kg de matéria seca)	Valores Limite em solos com		
	pH <= 5,5	5,5<pH<=7,0	pH > 7,0
Cádmio	1	3	4
Cobre	50	100	200
Níquel	30	75	110
Chumbo	50	300	450
Zinco	150	300	450
Mercúrio	1	1,5	2,0
Cromo	50	200	300

Fonte: Portaria nº176/96. (2ª série)

Verificando-se os limites para pH<=5,5 no solo, os parâmetros de Cádmio, Níquel, Chumbo e Cromo encontram-se dentro do limite de concentração permitido pela Portaria nº176/96.

Sobre os demais parâmetros, buscou-se outras fontes legais a fim de verificar seus limites máximos no solo. Foi encontrada a Decisão de Diretoria nº195-2005-E, de 23 de novembro de 2005 da CETESB que apresenta diversos valores orientadores para solos e águas subterrâneas para o estado de São Paulo. Porém, das substâncias que constam e foram analisadas pela empresa terceirizada, somente o alumínio e ferro se fazem presentes, sendo apresentada concentração limite somente em águas subterrâneas.

5.5 PROPOSTA DE USO BENÉFICO

Como o objetivo deste trabalho fundamenta-se em realizar o estudo baseado em critérios econômicos e ambientais, a proposta inicia sua discussão sobre a característica física do lodo que influencia diretamente nestes dois critérios, a umidade.

5.5.1 Umidade no Lodo

O elevado teor de umidade no lodo é fator limitante em um processo de destinação otimizado, pois influi nas propriedades mecânicas do lodo e estas, por sua vez, influenciam em seu manuseio e disposição final, bem como no seu volume (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994 apud VON SPERLING; ANDREOLI; FERNANDES, 2001). A análise do saldo comparativo da geração do resíduo com o valor retirado de lodo pode estabelecer uma estimativa de sua umidade. Esses valores são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores Acumulados de Janeiro de 2012 à Janeiro de 2013

Geração ETE	Retirada de Lodo	Geração ETA	Umidade
448.226 Kg	1.314.562 Kg	128.774 Kg	737.562 L
34%	100%	10%	56%

Fonte: Autoria Própria

Observa-se na Tabela 14, na coluna Retirada de Lodo, o valor referente ao resíduo transportado, que condiz com a pesagem feita da carga de lodo após processo de desidratação, a caminho de sua destinação. Após os processos de decantação, adensamento, filtro prensa e/ou geotube, 56% da carga transportada foi de umidade. A água no lodo pode ser dividida em quatro classes distintas, de acordo com a facilidade de separação: água livre; água adsorvida; água capilar e água celular. Nos processos utilizados pela cervejaria, é possível separar a água da

classe adsorvida e, conforme a eficiência do processo, parte da água capilar. (Von SPERLING, 2005)

Esse volume de água presente no lodo age de modo negativo em duas perspectivas. Primeiro, nos custos, por ocupar espaço no transporte do resíduo, visto que é possível otimizar ainda mais a concentração de sólidos, fazendo com que maiores quantidades de lodo sejam transportadas com o mesmo número de viagens. Outro ponto negativo refere-se ao impacto ambiental. Visto que o acondicionamento do lodo na fazenda ocorre diretamente no solo, a água em excesso pode atuar como meio de transporte de metais e compostos orgânicos tóxicos, que, se lixiviados ou percolados, podem contaminar recursos hídricos locais (Figura 09).

A proposta de uso benéfico do lodo propõe o acréscimo de uma nova etapa de processamento do lodo antes de sua destinação final, a realização da compostagem do resíduo. Entre os argumentos, está o teor de umidade do lodo. O processo de compostagem depende de uma boa umidade, sendo indicada entre 55 e 65%. Ao final do processo, a recomendação de umidade é de no máximo 40% (FERNANDES; SILVA, 1996).



Figura 09 – Fotografia da disposição do lodo no solo, antes de sua distribuição pela área
Fonte: Autoria Própria

5.5.2 Qualidade do Resíduo

O lodo foi classificado como Resíduo Não-Inerte - Classe II-A, ou seja, é um resíduo que pode ter propriedades, como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT NBR 10004/04). As análises realizadas quanto a patógenos (Tabela 05) e Metais Pesados (Tabelas 06, 07 e 08) apresentaram valores abaixo do limite permitido pelas normativas existentes. Todas essas características somam aos argumentos para escolha do uso benéfico no solo, com sua aplicação agregando somente características positivas.

Entretanto, faz-se necessária a elaboração de um plano de monitoramento desses parâmetros e a identificação dos processos potenciais geradores de metais pesados e compostos orgânicos tóxicos dentro da unidade cervejeira, a fim de uma análise constante dos pontos de geração que deveriam ter uma maior frequência de verificação dentro do plano de monitoramento na Estação de Tratamento.

Para determinação das características benéficas do lodo ao solo, é necessária a análise de seus parâmetros agronômicos, como Nitrogênio, Potássio,

Cálcio, Magnésio, Fósforo, Ferro, Cobre, Manganês, Sódio, Enxofre, Boro e Zinco, a fim de estabelecer as doses ideais para cada tipo de cultivo, visto que elementos como Cobre e Zinco são necessários em pequenas quantidades para as plantas e seu acúmulo pode ser tóxico ao meio ambiente (SEGATTO, 2001).

Como forma de se estimar parâmetros não analisados, recorreu-se às análises realizadas por Segatto (2001) sobre incorporação ao solo de resíduos gerados por fontes industriais. As análises apresentadas são da cervejaria Kaiser, que possui uma geração de 15 t/mês, em seu processo de tratamento com duas lagoas de estabilização aeróbias, situada em Arroio do Meio – RS. A Tabela 15 apresenta os valores encontrados na análise realizada no lodo.

Tabela 15 – Características físico-químicas do resíduo cervejaria Kaiser

(continua)

Características*	Lodo da Cervejaria
Teor de sólidos ($g.Kg^{-1}$)	130
pH em água	7,0
Carbono 52 organic ($g.Kg^{-1}$)	120
Nitrogênio total ($g.Kg^{-1}$)	17
Relação C/N	7,1
NH_4^+ ($g.Kg^{-1}$)	792
$NO_3^- + NO_2^-$ ($g.Kg^{-1}$)	22
Fósforo total ($g.Kg^{-1}$)	7,8
Potássio total ($g.Kg^{-1}$)	1,3
Cálcio ($g.Kg^{-1}$)	5,4
Magnésio ($g.Kg^{-1}$)	0,8
Enxofre ($g.Kg^{-1}$)	3,5
Cobre ($g.Kg^{-1}$)	206
Zinco ($g.Kg^{-1}$)	1,7
Ferro ($g.Kg^{-1}$)	10
Manganês ($mg.Kg^{-1}$)	119
Sódio ($g.Kg^{-1}$)	2,5

(conclusão)	
Características*	Lodo da Cervejaria
Cromo (mg.Kg ⁻¹)	153
Cádmio (mg.Kg ⁻¹)	21
Chumbo (mg.Kg ⁻¹)	80
Mercúrio (µg.Kg ⁻¹)	362
Valor de neutralização (g.Kg ⁻¹)	27

*Determinações feitas no material seco a 75° C, à exceção do pH.

Fonte: Segatto, 2001

Em sua tese, SEGATTO (2001) realizou a incorporação com o lodo “in natura”, em três blocos experimentais. Uma das conclusões obtidas do trabalho foi a de que, com a aplicação e reaplicação do resíduo da cervejaria no solo, aumenta-se o rendimento de matéria seca das plantas de acordo com a quantidade adicionada. Também foi possível observar o efeito residual no Argissolo Vermelho distrófico arênico e um pequeno aumento nos teores de matéria orgânica no Latossolo Vermelho distroférrico nitossólico, além do aumento dos teores de zinco e cobre extraíveis do solo com a adição do resíduo.

5.5.3 Tratamento do Lodo

Como já abordado, na seção relacionada à umidade, dentro da proposta de uso benéfico do lodo no solo, sugere-se uma nova etapa de tratamento, a compostagem. O termo compostagem está associado ao processo de tratamento dos resíduos orgânicos, sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola ou florestal. De acordo com Mota *et al.* (s/d), a compostagem é definida como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação, como ilustrado pela Figura 10.

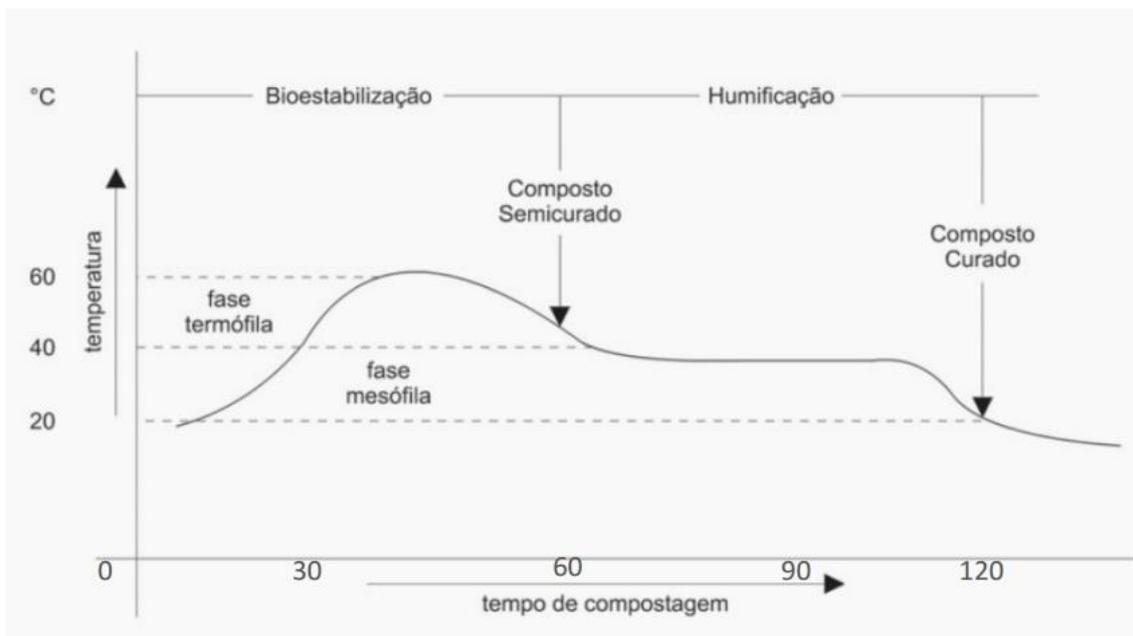


Figura 10 - Fases da compostagem
Fonte: D'Almeida; Vilhena (2000, apud GARRÉ, 2012)

A compostagem é o processo de decomposição e estabilização biológica dos substratos orgânicos, sob condições que favorecem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas que resultam da produção biológica de calor. Para Cordeiro (2010), a compostagem é um processo de oxidação biológica através do qual os microrganismos decompõem os compostos constituintes dos materiais, liberando dióxido de carbono e vapor de água. Apesar de ser considerado pela maioria dos autores como um processo aeróbio, a compostagem é também referida como um processo biológico de decomposição aeróbia e anaeróbia, sendo realizada em sua quase totalidade por processos aeróbios.

Voltando-se para as características do lodo da cervejaria, foram verificados níveis apropriados quanto à concentração de compostos orgânicos. Porém, é preciso se considerar a possibilidade de acidentes quanto a despejos e substâncias que adentrem ao sistema de tratamento da cervejaria. Estudos revelaram que muitas bactérias, fungos e outros organismos, sob condições aeróbias, podem degradar compostos orgânicos. Desta forma, a utilização da compostagem pode ser utilizada na redução efetiva do nível de resíduos orgânicos e inorgânicos, agindo como ferramenta de segurança no controle da qualidade do lodo, que normalmente seria disposto de outras formas e, conseqüentemente, poderia contaminar o meio ambiente (FERNANDES; SILVA, 1996).

Os benefícios da compostagem também se relacionam sobre os efeitos tóxicos dos metais pesados no solo. A compostagem favorece o controle da toxicidade dos metais, pois na fase de maturação ocorre a formação de húmus. Esse controle ocorre devido à ligação dos metais com os compostos presentes no solo. O PROSAB, em seu manual prático para compostagem de biossólidos, explica que todos os metais pesados, nutrientes ou não, formam compostos pouco solúveis com uma série de ânions facilmente encontrados no solo, tais como: carbonato, fosfato e silicato. Entretanto, o fator principal de imobilização desses metais é a formação de complexos polidentados (quelatos) com os componentes húmicos do solo. Alguns autores, inclusive, classificam as zonas poluídas por metais pesados com base no teor de matéria orgânica das mesmas. Segundo eles, um solo é considerado poluído quando o teor de metais pesados do mesmo atinge níveis 3 a 5 vezes superiores aos teores originais, para solos onde o teor de húmus está entre 1 a 1,5%; e 5 a 20 vezes superiores aos teores originais, quando o teor de húmus está entre 3 e 4%.

A proposta sugere que a compostagem aconteça na própria fábrica, ao lado da ETEI, a fim de beneficiar não somente o lodo, mas mediante estudo e análises, também a cinza e a terra infusória, atualmente codispostos com o lodo na fazenda Campinas. A proximidade com o tratamento de efluentes permite também deslocar para o início do processo o excesso de líquido do composto, resultante de um alto teor de umidade do lodo. A possibilidade de construção da estrutura física da estação de compostagem dentro da empresa existe, visto a inativação e aterramento de uma lagoa utilizada anteriormente no tratamento dos efluentes.

A compostagem permite a adição de diferentes elementos em sua composição. O IAPAR (2001) em seus estudos, apresenta como sendo comum na compostagem a incorporação de substâncias diversas, como o termofosfato, pó de rocha, cinzas, tortas, farinha de ossos, borra de café, dentre outros suplementos. A adição de uma fonte de fósforo favorece a compostagem. Durante o processo ocorre formação de fósforo orgânico, que é uma excelente fonte para as culturas, principalmente em solos ácidos. A cinza é fonte de diversos nutrientes e enriquece o composto, sobretudo em potássio.

Estudos deverão ser realizados para verificação do composto ideal para o processo, visto que a relação C/N deve ser controlada. Mourão (2007) refere-se à

necessidade de uma relação C/N de 25 a 35 para uma boa compostagem. Para relações C/N inferiores, o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amoníaco, causando odores desagradáveis. Para relações C/N mais elevadas, a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será todo degradado, reagindo de modo a temperatura não aumentar e a compostagem se processar mais lentamente. Um volume de três partes de materiais ricos em carbono para uma parte de materiais ricos em nitrogênio é uma mistura muitas vezes utilizada. Com o aumento dos materiais ricos em carbono relativamente aos nitrogenados, o período de compostagem requerido aumenta.

O beneficiamento dos resíduos permite uma facilidade maior nas negociações com os produtores, comerciantes ou empresários que se interessam por um produto com características condicionantes de solo. Para isso, é necessário se criar um campo experimental, onde se testem diferentes tipos de composição no processamento da compostagem, se experimente diferentes tipos de materiais estruturantes e também incorpore os resíduos resultantes ao solo, verificando o desenvolvimento das principais culturas locais em cada composto, tomando-se nota, planilhando e registrando em imagem os resultados obtidos.

Esses procedimentos, ainda que demandem tempo, mão de obra e planejamento, oferecem à empresa a possibilidade de fechar um ciclo de produção, permitindo o controle interno da qualidade e a destinação de seu resíduo, evitando, assim, penalidades legais futuras. A médio e longo prazo, a empresa pode também beneficiar-se economicamente com a reciclagem e servir de exemplo para suas demais unidades. Os benefícios econômicos decorrentes da proposta de uso benéfico do lodo serão apresentados no próximo tópico.

5.5.4 Custos

O custo com o transporte do resíduo, durante o estudo realizado (Janeiro 2012 – Janeiro 2013) resultou em um gasto de R\$ 98.592,15 para empresa, somente com o lodo da ETEI, além do valor dispensado com os outros subprodutos gerados que, apesar de não terem sido mensurados, possuem o mesmo valor por tonelada destinada.

Considerando os valores apresentados no Relatório Anual, elaborado pela empresa terceirizada, são encontradas as seguintes quantidades de resíduos:

Tabela 16 - Quantidade total de resíduos incorporada nas áreas agrícolas da fazenda Campinas

Resíduo	Período	Quantidade(TON)
Terra Infusória	Maio/2011 a Maio/2012	726,81
Lodo	Maio/2011 a Maio/2012	843,54
Cinza	Maio/2011 a Maio/2012	857,82

Fonte: Autoria Própria

Como os valores pagos para destinação de todos os resíduos são equivalentes, o total gasto neste período de um ano pela empresa foi de R\$182.112,75. Não se pode realizar uma projeção exata para os outros anos, visto que este valor tende a aumentar. Quanto maior a produção, maiores serão os resíduos gerados; os custos de transporte e mão de obra tendem a aumentar com a variação no custo do combustível, inflação, etc.

Uma estimativa dos custos de implantação da estação de compostagem é encontrada em Gomes; Nascimento; Biondi (2007) que relacionam alguns investimentos necessários para operação: máquina trituradora, para a produção de resíduo verde triturado, avaliada em R\$ 110.000,00 e o misturador necessário para homogeneizar o lodo com a matéria verde, avaliado em R\$85.000,00.

Considerando o sistema de Leiras revolvidas para a produção do biossólido, é necessário um constante revolvimento do composto em um pátio com piso impermeabilizado e que apresente resistência à circulação de máquinas pesadas (pá carregadeira). O pátio com piso de concreto armado, que atenda às características, está orçado em R\$507.000,00.

Após o composto sofrer o processo de biodegradação, aproximadamente cinco meses após a montagem do composto, é realizado o peneiramento do produto, cujo equipamento é avaliado em R\$ 12.000,00. Ainda segundo os autores, a usina de compostagem deve possuir várias áreas cobertas a fim de manter a qualidade agrônômica do produto final. Sugere-se uma área coberta para o recebimento de resíduos, uma área coberta para a realização de trituração e mistura dos resíduos, uma área descoberta para a compostagem e outra para a maturação,

uma área coberta para peneiramento e estocagem do composto, um escritório e um depósito de materiais.

Segundo Gomes; Nascimento; Biondi (2007), o investimento total na usina de compostagem é avaliado em R\$899.183,99. Esta é uma relação de equipamentos e principalmente instalações calculadas para o tratamento de uma ETEI com produção de 80ton.*dia*⁻¹ de lodo aeróbio. A estação de tratamento da cervejaria gera em média 35ton.*mês*⁻¹. Dessa forma os custos efetivos serão bem menores.

Tabela 17 – Custos dos equipamentos e instalações Estação de Compostagem – ETE Belém, Curitiba

DISCRIMINAÇÃO	VALOR NOVO (R\$)	VIDA ÚTIL TOTAL (anos)
Instalação hidráulica	5.000,00	20
Instalação elétrica	3.500,00	20
Escritório e área de estocagem	5.348,00	30
Instalação dos equipamentos	715,00	15
Piso de concreto	507,835,00	30
Cobertura	169.785,00	30
Triturador – SUEDALA	110.000,00	15
Misturador – DETACHABLE	85.000,00	15
Peneira – MAQBRIT	12.000,00	15
Total	899.183,99	

Fonte - Fernandes (1997 apud GOMES; NASCIMENTO; BIONDI, 2007)

Dentre os custos variáveis para o tratamento por compostagem, destacam-se: energia elétrica, a mão-de-obra operacional e administrativa e a contratação de serviços (pá carregadeira).

A contratação de serviços de pá carregadeira dentro de um sistema de leira revolvidas é fundamental, dada a grande movimentação de massa que é necessária no tratamento. Este serviço foi estimado no valor de R\$10.860,00/mês.

A remuneração da mão-de-obra foi estimada em valor proporcional a 176 horas/mês de técnico especializado, o equivalente a um profissional trabalhando 22

dias/mês em turno diário de oito horas e 1.440 horas/mês de trabalho operacional na produção do composto, o equivalente a seis operários trabalhando 30 dias/mês em turno diário de oito horas (FERNANDES; SILVA, 1996).

Tabela 18 - Custo variável do tratamento por compostagem do lodo aeróbio da ETE Belém, 1998.

DISCRIMINAÇÃO	COEFICIENTE TÉCNICO	VALOR UNITÁRIO (R\$)
Energia Elétrica e Combustíveis	3.000 t.mês ⁻¹	1.275,00/mês
Locação de pá carregadeira c/ operador	3.000 t.mês ⁻¹	10.860,00/mês
Mão de obra de técnico especializado	176 horas.mês ⁻¹ .3.000t ⁻¹	16,50/hora
Mão de obra de operação do sistema	1440 horas.mês ⁻¹ .3.000t ⁻¹	7,22/hora
Total		25.435,80

Fonte: Fernandes (1997 apud GOMES; NASCIMENTO; BIONDI, 2007)

Quanto à comparação dos custos variáveis da ETE Belém, com a ETE I da cervejaria, os gastos também serão menores, tanto em energia, como em custos relacionados à operação.

Ainda que fosse essa a estimativa de valores necessários para implantação da estação de compostagem na unidade cervejeira, considerando que o valor atualmente pago para destinação é de R\$182.112,75/ano, em 4 anos e 9 meses, a economia em transporte paga os investimentos em estrutura e equipamentos da estação. Para isso, as negociações com os recebedores do biossólido devem ter procedido de modo que ao menos o transporte da fábrica até o destino final fiquem a seu encargo.

A inclusão da compostagem na fábrica também justifica-se na possibilidade de uso do marketing ambiental. Se explorado pela empresa ele aumenta o prestígio dos produtos fabricados perante muitos consumidores. Com esse prestígio o marketing ambiental passa a ter influência no momento de escolha do produto pelo consumidor, podendo aumentar as vendas da empresa. Essa estratégia, porém, não

tem um saldo financeiro final, visto que a influência do marketing na escolha de cada indivíduo não é passível de mensuração.

5.5.5 Encaminhamentos Posteriores

Esta monografia buscou apresentar proposta de uso benéfico do resíduo gerado pelo processo de tratamento de efluentes da cervejaria de Lages/SC. Com o desenvolvimento da pesquisa, percebeu-se que a proposta corresponde à fase de Planejamento Preliminar, perante a estrutura do plano de reciclagem agrícola do lodo, desenvolvido pela SANEPAR, através do PROSAB, representada pelo fluxograma ilustrado na Figura 11.

Para que o planejamento prossiga, na cervejaria de Lages, é necessária a realização das análises faltantes para compor os parâmetros agronômicos em sua totalidade, evidenciando, assim, seu potencial benéfico no solo. Também é necessária a realização dos experimentos e análises quanto à composição dos resíduos que farão parte da compostagem. Neste meio tempo estratejar uma distribuição do resíduo gerado pela cidade de Lages e região circunvizinha. Distribuição esta feita aos consumidores conquistados com um bom material de divulgação do produto, através de estratégias de marketing.

A Autorização Ambiental para incorporação dos resíduos já foi liberada pela FATMA – Fundação do Meio Ambiente, com limite de volume. Através das análises de monitoramento, seguira o processo para licença definitiva. Instalada a estação de compostagem, novas licenças serão necessárias, porém com maior facilidade de aquisição, devido a todo processo de requerimento ter sido feito anteriormente.

Licenciado o processo de compostagem e iniciada a distribuição do resíduo, faz-se necessário uma operação de grande importância, o monitoramento da distribuição. Este monitoramento deve acontecer tanto nos lotes de biossólido que saírem da empresa como nas áreas ou setores que o receberão. Estes devem permitir o melhor aproveitamento do insumo com garantia de manutenção e/ou melhoria da qualidade do ambiente, garantir a segurança para o produtor e consumidor dos produtos produzidos através de análises contínuas do biossólido, quanto seu valor fertilizante, teor de metais pesados, sanidade e estabilidade.



Figura 11 - Fluxograma simplificado do planejamento de um programa de reciclagem agrícola de lodo

Fonte: SANEPAR/PROSAB, 1999

Muitos problemas possivelmente surgirão durante a implantação desse programa, por isso a importância da designação de profissionais específicos para seu acompanhamento, bem como estabelecer convênios com instituições de ensino locais, como o Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), fornecendo o material necessário para o desenvolvimento de pesquisas que venham a contribuir e otimizar a atividade. Exemplo desta atitude foi o ocorrido para realização dessa monografia,

em que a empresa mostrou-se disposta a colaborar com o fornecimento de informações do tratamento e resultados de análises.

Da mesma forma que ao fim de um processo de tratamento de efluentes o afluente da estação de tratamento volta aos rios com o menor impacto possível, os lodos devem ser tratados e reciclados na natureza, com impacto ambiental dimensionado e gerenciado de forma responsável e segura. Esta é uma obrigação de toda atividade geradora de resíduos de tratamento.

SANEPAR/PROSAB (1999) constata que a reciclagem dos lodos tratados em áreas agrícolas é viável. O uso do lodo na agricultura vem sendo mundialmente pesquisado. Experimentos de campo e laboratório, realizados nos Estados Unidos com o uso sucessivo de biossólidos por 30 anos demonstraram a ausência da degradação ambiental ou impactos desfavoráveis sobre a saúde humana, sendo as plantas e animais beneficiados por causa do aumento da fertilidade do solo.

Estes dados demonstram que a reciclagem do lodo na agricultura é uma prática segura, mas, a implantação de procedimentos de controle é fundamental para o sucesso da atividade.

6 CONCLUSÕES

Através da revisão dos trabalhos de pesquisa relacionados à reciclagem de resíduos, orientados pelas legislações nacional e internacional que regem o procedimento operacional dos resíduos sólidos e com as informações e análises adquiridas junto à fábrica sobre seu tratamento de efluentes, foi possível realizar as seguintes conclusões.

O resultado das análises do resíduo, realizadas até o momento pela cervejaria, garantem os limites estabelecidos para o uso no solo. Porém, para implementação de sua reciclagem, é necessária a elaboração de um plano de monitoramento do teor de metais pesados, patógenos e compostos orgânicos tóxicos, além da complementação de análises como Cobalto, Antimônio e de parâmetros agronômicos, para segurança e comprovação de seu uso benéfico.

Os cálculos de geração, os dados fornecidos pela empresa quanto ao volume de resíduos gerados e o teor de umidade do lodo, nortearam a proposta de inclusão de uma nova etapa de tratamento na ETEI, a compostagem. Através do investimento em equipamentos, estrutura e pesquisa em compostos a serem utilizados e procedimentos operacionais adequados, para, dentro da fábrica, beneficiar parte de seus resíduos antes da destinação final.

A compostagem, sendo um processo biológico de estabilização, através da degradação da matéria orgânica com poucas perdas de nutrientes benéficos, desinfecção quanto aos organismos patogênicos, formação de compostos húmicos que dificultam a mobilidade dos metais pesados no solo, diminuição nos teores de umidade, e custo de operação relativamente baixos; mostrou-se como uma boa proposta no beneficiamento do lodo antes de sua destinação. A compostagem agrega valor ao produto e confere uma maior segurança ambiental para os produtores, consumidores finais e ao ecossistema que sofrerá influência de sua utilização.

Verificou-se que, por consequência da sua atual forma de gestão de resíduos, a empresa fica refém de uma terceira, visto que pelo motivo que for, se o serviço deixar de ser prestado, os resíduos gerados não terão destino, sendo a única solução a descoberta de outra empresa que assuma a responsabilidade. A compostagem, acontecendo dentro da fábrica, faz com que; apesar da necessidade

de investimentos em estrutura, equipamentos e licenciamento; a dependência da empresa passa a ser de mão de obra, que pode ser terceirizada. Caso haja algum problema na prestação de serviço, um treinamento eficiente suprirá a necessidade.

Conclui-se que esta monografia caracteriza-se como planejamento preliminar para o uso benéfico do resíduo do tratamento de efluentes da unidade da cervejaria de Lages/SC. O planejamento preliminar é uma das etapas necessárias a ser cumprida para se estruturar um programa de reciclagem agrícola do lodo no solo, como preconizado pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB). Com o tratamento dado às análises e os resultados apresentados, espera-se ter contribuído com uma hipótese de destinação dos resíduos da fábrica.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C.V. et al. Proposta de licenciamento ambiental e controle da reciclagem agrícola de lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/Licenciamento_Ambiental_controle_gestao_lodo.pdf . Acesso em: 11 nov. 2012.

ANDREOLI, C.V. et al. **Proposta preliminar de regulamentação para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Paraná.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19,[S.l],[S.d.], **Anais...** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/reciclagem.pdf>>. Acesso em: 15 de dez. 2012.

ANDREOLI, C.V.; PINTO, M.A.T. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento:** processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA – ABES, 2001. p.1-3. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/CLeverson.pdf> . Acesso em: 04 jan. 2013.

ARAÚJO, F.F.; BETTIOL, W. Efeito de lodo de esgoto sobre patógenos habitantes do solo e severidade de oídio da soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.3, p.184-190, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004:** resíduos sólidos – classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Problemática dos metais nos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, [S.l.s.d]. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/calagua/brasil/i-065.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2012.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola.** Texto digitalizado. [S.l.,s.d.]. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Bettio|Camargo|_Disposicao_000fdq9th6v02wx5eo0a2ndxyh3hr620.pdf . Acesso em: 09 ago 2012.

BIDONI, F.; SILVA, A.P.; MAQUES, D.M. Lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Águas (ETAS): Desidratação em leitos de secagem e codisposição em aterros sanitários. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento:** processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA – ABES, 2001. Cap. 9, p.215-240. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/CLeverson.pdf> . Acesso em: 04 jan. 2013.

BIDONI, F.; SILVA, A.P.; MAQUES, D.M. Lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Águas (ETAs): Desidratação em leitos de secagem e codisposição em aterros sanitários. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA – ABES, 2001. Cap. 9, p.215-240. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/CLeverson.pdf> . Acesso em: 04 jan. 2013.

BIONDI, C.M. **Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de Pernambuco**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

BITTENCOURT, S. et al. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, [S.l.], v.2, n.1, p.1-11, 2009.

BRITO, A.L.F. **Protocolo de avaliação de materiais resultantes da estabilização por solidificação de resíduos**. 2007. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CARMO, J. **Otimização da ETEI de uma indústria cervejeira por intermédio de ajustes de seus controles operacionais e de racionalização das perdas no processo produtivo**. 2011. 72f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

CHAO, I.R.S.; MORITA, D.M.; FERRAZ, T.H. **Uso de lodo de estação de tratamento de água para remoção de fósforo de sistemas de lodos ativados**. Texto de apoio didático. , p.1-10. Disponível em: http://stoa.usp.br/iarachao/files/402/2010/IARA+CHAO_FENASAN_2007rev.pdf. Acesso em: 30 set. 2012.

CIRELLE, A.S.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V.M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. [S.l.s.d.], p-1-13. Disponível em: <http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf> . Acesso em: 09 dez. 2012.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2006. **Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006**. 32p.

CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs). In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA – ABES, 2001. Cap. 5, p. 121-142. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/CLeverson.pdf> . Acesso em: 04 jan. 2013.

CORDEIRO, N.M. **Compostagem de resíduos verdes e avaliação dos compostos obtidos** – caso de estudo da ALGAR S.A. 2010. 68f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia do Ambiente Tecnologias Ambientais) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/3353/1/TESE.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R., **Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola**, 1998. Disponível em: <<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar035.pdf>>. Acesso em: 11 de nov. 2012.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. Londrina: UEL, 1996. Disponível em: http://agriculturaurbana.org.br/boas_praticas/textos_compostagem/manual_biossolidos.pdf. Acesso em: 20 jan. 2013.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico. Londrina: UEL, 1996. Disponível em: http://agriculturaurbana.org.br/boas_praticas/textos_compostagem/manual_biossolidos.pdf. Acesso em: 20 jan. 2013.

FERRANTI, E. M.; GEHLING, G. R. Alternativa para desidratação de lodos de estação de tratamento de água (ETAs) em leitos de secagem – condicionamento químico com resíduo de cal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., [S.d.],[S.l.]. **Anais eletrônicos...** [S.l.:s.n.] Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/l-080.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2012

FORTES, F.C.A. **Manejo do solo com lodo de esgoto na produção e qualidade de frutos em bananeira irrigada**. 2011. 127 f. Tese (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrômicas, UNESP – Campus de Botucatu, 2011.

GARRÉ, S. **Análise para implantação de uma usina de compostagem no município de Pelotas, RS**. 2012. 86f. Projeto de Pesquisa. (Disciplina de Projeto Agroindustrial – Curso de Engenharia Agrícola) - Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.W.A.; BIONDE, C.M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.459-465, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n5/v11n05a02.pdf>. Acesso em: 14 out. 2012.

GONÇALVES, R.F. et al. Desidratação de lodo de esgotos. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e**

disposição final. Rio de Janeiro: RIMA – ABES, 2001. Cap.4, p. 57-87. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/CLeverson.pdf> . Acesso em: 04 jan. 2013.

HOPPEN, C. et al. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica** **51**, p.85-95, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n318/25583.pdf> . Acesso em: 13 nov. 2012.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Manejo integrado das principais doenças fúngicas e de pragas de solo da cultura da batata** – uma visão holística de controle para o Estado do Paraná. 29p. Londrina, 2001. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/ct118.pdf . Acesso em: 20 fev. 2013.

INSTITUTO CEPA. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina: 2003-2004**. Florianópolis: Instituto Cepa, 2004. 377p.

IPPC - Institute for Prospective Studies. European Commission/ Directorate General. JRC-Joint Research Centre/ / European Integrated Pollution Prevention And Control (IPPC) Bureau. **Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries.**, Sevilha, 2003.

ISRAEL JUNIOR, S. **Relatorio anual das atividades desenvolvidas de incorporação de resíduos sólidos gerados pela industria cervejeiras na fazenda Campina – Lages/SC**. Texto xerocado. Lages, jul. 2012. [46f.]

JORDÃO, E.P. et al. Controle microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – estudo em escala piloto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, [S.d.]. **Anais eletrônicos...** . Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/microbio.pdf> . Acesso em: 15 dez. 2012.

LUCAS, D.; BENATTI, C.T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v.1, n.3, p.405-412, set./dez.2008.

MALTA, T.S. **Aplicação do lodo de Estações de Tratamento de Esgotos na agricultura**: estudo do caso do município de Rio das Ostras – RJ. 2001. 67p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Publica. Rio de Janeiro, 2001.

MORAES NETO, S.P.M.; ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T. **Uso de biossólido em plantios florestais**. Documento 202./ Embrapa Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007.

MORALES, G.; DANTAS, F.A.S. Verificação e avaliação da reatividade pozolonica da cinza de lodo de esgoto da cidade de Londrina. **Boletim Técnico da Escola**

Politécnica da USP, BT/PCC/146, 19p., São Paulo, 1999. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT146-%20Morales.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2012.

MOTA, J.P. et al. Contribuição para o estudo e avaliação da relação carbono nitrogênio na compostagem. In: SIMPÓSIO ITALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6 [S.l.,s/d]. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/clxiii.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

MOURÃO, I. M. (Ed.) **Manual de horticultura no modo de produção biológico**. Projeto PO AGRO DE&D – 747. Porto de Lima, Portugal: 2007. Disponível em: <http://www.ci.esapl.pt/off/maiores23anos-2012/agricultura-biologica.pdf>. Acesso em: 03 de fev. 2013.

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 5ª.ed. Aracaju: Info Graphis Gráfica & Editora Ltda, 2008. 315p.

PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; SOCCOL, V.T. Tratamento anaeróbio de esgoto e sua eficiência na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Revista da sociedade brasileira de medicina tropical**, [S.l.], n.34,421-428, set./out/,2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rsbmt/v34n5/5990.pdf> . Acesso em: 06 out. 2012.

PORTELLA, K.F. et al. Caracterização físico-química do lodo centrifugado da Estação de Tratamento de Água Passaúna – Curitiba/PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 22, Joinville, 2003. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_agua/Caracterizacao_do_lodo_de ETA.pdf . Acesso em: 26 nov. 2012.

QUINTAES, K.D. Utensílios para alimentos e implicações nutricionais. **Revista Nutrição**, Campinas, v.13, n.3, 151-156, set./dez., 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rn/v13n3/7901.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2012.

QUINTAES, K.D. Utensílios para alimentos e implicações nutricionais. **Revista Nutrição**, Campinas, v.13, n.3, 151-156, set./dez., 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rn/v13n3/7901.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2012.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETA. In: REALI, M. A. P. (Org.). **Noções gerais do tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999, cap.3, p. 21-39. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabrealifinal.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2012.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná; PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999. Disponível em:

<ftp://www.redebrasil.gov.br/Biblioteca/4877-Uso_manejo_lodo_agricultura.pdf>
Acesso em: 05 set. 2012.

SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da Região Metropolitana de São Paulo**. 2003. 265p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SANTOS, A. D.; JOHN, V. M., Reciclagem do lodo de esgoto da região metropolitana de São Paulo – RMSP. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/470, São Paulo: EPUSP, 2007. 19p. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF2007_2sem/BT470-%20Santos.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 32.955, de 07 de fevereiro de 1991. Regulamenta a Lei nº 6.134, de 02 junho de 1988. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, v. 101, n. 26, 8 fev. 1991. Seção 1, p.7. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/arquivos/Decreto_Estadual_32955.pdf>
Acesso em: 25 jan.2013.

SÃO PAULO. CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. **Decisão da Diretoria nº 195/2005-E.**, de 23 de novembro de 2005. Dispões sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf . Acesso em: 15 jan. 2013.

SÃO PAULO. CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. **Aplicação de biossólido de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas** – critérios para projeto e operação: manual técnico. P4.230, ago.1999. 33p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/P4230.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2013.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. **Cervejas e Refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 24 ago 2012.

SEGATTO, M. P. **Efeito da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas**. 2001. 150p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

SEGATTO, M.P. **Efeitos da aplicação de resíduos industriais no solo e nas plantas**. 2001. 152f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de agronomia, Universidade Federa do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1879/000311322.pdf?sequence=1> .
Acesso em: 23 nov. 2012.

SILVA JUNIOR, A.P. **Tratabilidade do lodo de decantadores convencional e de alta taxa**. 2003. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SIMONETE, M.A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1187-1195, out. 2003.

SLIM, J. A.; WAKEFIELD, R. W. The utilisation of sewage sludge in the manufacture of clay bricks. **Water SA**, [S.l.], v.17. n.3. p.197-202, jul. 1991. Disponível em: <http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Water%20SA%20Journals/Manuscripts/1991/WaterSA_1991_17_0635.PDF>. Acesso em: 12 dez. 2012.

SOARES, L.V.; ACHON, C.L.; MEGDA, C.R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/08/08-020.pdf> . Acesso em: 02 jan 2013.

SOARES, S.R.A.; MATOS, Z.M.R; BERNARDES, R.S. Modelagem do processo de desidratação do lodo anaeróbio em leitos de secagem simulados. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.313-319, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v5n2/v5n2a23.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

TACHIZAWA, T.; POZO, H. Responsabilidade socioambiental no contexto brasileiro: um indicador para avaliar a responsabilidade social e ambiental nas empresas. In: ENGEMA – ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 9., 2007, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://engema.org.br/upload/pdf/edicoesanteriores/IX/PAP0050%20RESPONSABILIDADE%20SOCIOAMBIENTAL%20NO%20CONTEXTO%20BRASILEIRO%20UM%202007.pdf>> Acesso em: 28 jan. 2013.

UNEP/ IE- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME/ INDUSTRY AND ENVIRONMENT. **Environmental management in the brewing industry**. Technical Report Series n°33, UNEP, Paris, 1996.

UNITED STATES OF AMERICA. EPA - Environmental Protection Agency. **Biosolids generation, use, and disposal in The United States**. 530-R-99-009. 1999.

UNITED STATES OF AMERICA. EPA - Environmental Protection Agency. **Methods for the Chemical Analysis of Water and Waste**, Report EPA 600/4-79-020, Revised, 1983.

UNITED STATES OF AMERICA. EPA – Environmental Protection Agency. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under 40CFR. part 503.** Office of Water, Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch. Washington, DC 20460, 147, 1992.

UNITED STATES OF AMERICA. USEPA – United States Environmental Protection Agency. **NOx control technologies for the cement industry.** EPA Contract nº 68-D98-026. USA, 2000. 114p.

VANZO, J.E.; MACEDO, L.S.; TSUTIYA, M.T. ETE Franca: Uma estação que além de tratar os esgotos, produz insumos agrícolas. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, [S.l., s/d]. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-084.pdf>> . Acesso em: 14 nov. 2012.

Von SPERLING, M. Coliformes e pH – médias aritméticas, médias geométricas e medianas. In: CHERNICHARO C.A.L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios:** Aspectos metodológicos. FINEP/PROSAB. Belo Horizonte: [S.n.], 2001, p. 43-51.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

Von SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos:** tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2001.

ANEXO A – LAUDO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO

LCR 6686/09 (página 1 de 5)

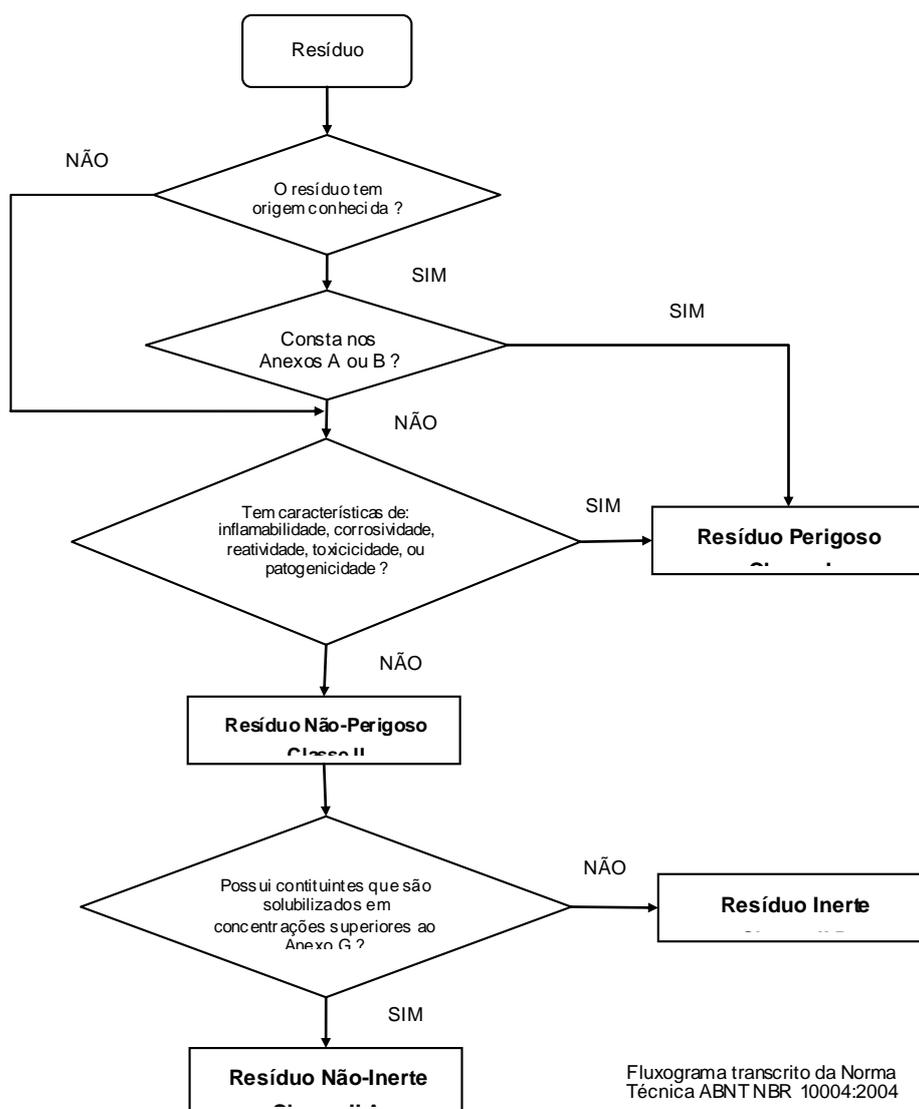
Porto Alegre, 01 de Junho de 2009.

LAUDO TÉCNICO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO

1 Objetivo

Classificar resíduo sólido quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, aplicando para tal a Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

2 Metodologia de Caracterização e Classificação de Resíduos



LCR 6686/09 (página 2 de 5)

3 Informações sobre o Resíduo

3.1 Empresa Geradora e Dados Cadastrais

Razão Social: **CIA BRASILEIRA DE BEBIDAS**

C.N.P.J.: **02.808.708/0067-24**

Endereço: **Avenida Victor Alves de Brito, nº 2940 – Área Industrial de Pinheiro Seco**

Município / Estado: **Lages / SC**

3.2 Denominação do Resíduo

2.1 LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES - ETE

3.3 Processo Gerador, Matérias-Primas e Insumos Envolvidos

Trata-se do lodo biológico gerado no tratamento aeróbico dos efluentes líquidos.

4 Enquadramento como Resíduo Perigoso de Fontes Específicas e Não-Específicas

De acordo com a natureza e a origem do resíduo, o mesmo não é enquadrável diretamente nos Anexos A e B da Norma Técnica ABNT NBR 10.004:2004.

5 Amostragem

5.1 *Data da Coleta:* 30.04.2009

5.2 *Data e Registro do Recebimento da Amostra no Laboratório:* 05.05.2009 (Registro 6686)

5.3 *Segregação, Forma de Acondicionamento e Armazenamento do Resíduo no Gerador*
O resíduo é armazenado em caçambas de 5 m³.

5.4 *Aspecto da Amostra*

Sólido, pastoso, homogêneo, de cor marrom e odor característico.

5.5 *Procedimento de Amostragem*

Foi coletada amostra composta representativa do resíduo armazenado, de acordo com a NBR 10007:2004.

5.6 *Responsável Técnico pela Amostragem*

Químico Egon Kretschman – CRQ V nº 05200976

LCR 6686/09 (página 3 de 5)

6 *Análises de Composição Química do Resíduo*

2.1.1 Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra
pH (mistura 1:1 em água)	-	7,6
Umidade	(%)	79,8
Matéria Orgânica	(%)	7,8
Cinzas	(%)	12,4
Cianeto (base seca)	(mg/kg)	Não Detectado
Sulfeto (base seca)	(mg/kg)	Não Detectado
Óleos e Graxas (base seca)	(mg/kg)	12,0
Chumbo (base seca)	(mg/kg)	25,0
Cromo (base seca)	(mg/kg)	142,5
Níquel (base seca)	(mg/kg)	10,4

7 *Avaliação de Corrosividade*

A mistura da amostra de resíduo com água, na proporção de 1:1 em peso, apresentou pH igual a 7,6, caracterizando caráter alcalino discreto. O pH não se insere na faixa alcalina que indica corrosividade (pH superior a 12,5), conforme o item 4.2.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

8 *Avaliação de Reatividade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem reatividade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.3 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

9 *Avaliação de Inflamabilidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem inflamabilidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.1 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

10 *Avaliação de Patogenicidade*

A amostra do resíduo não apresentou nenhuma das propriedades que conferem patogenicidade ao mesmo, conforme o item 4.2.1.5 da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11 Avaliação de Toxicidade

11.1 Presença de Substâncias que Conferem Periculosidade ao Resíduo

A amostra do resíduo não apresentou concentração significativa de substâncias ou elementos que conferem periculosidade aos resíduos, listados no Anexo C da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004.

11.2 Presença de Substâncias Tóxicas e Agudamente Tóxicas

A amostra do resíduo não é constituída por restos de embalagens, nem por materiais resultantes de derramamentos, nem por produtos fora de especificação ou de validade. Assim, não é enquadrável como resíduo que contém substâncias agudamente tóxicas (Anexo D da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004) ou substâncias tóxicas (Anexo E da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004).

11.3 Resultados do Ensaio de Lixiviação (conforme a NBR 10.005:2004)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
<i>Inorgânicos</i>			
Arsênio	(mg/L)	ND*	1,0
Bário	(mg/L)	ND*	70,0
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,5
Chumbo	(mg/L)	ND*	1,0
Cromo Total	(mg/L)	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,1
Fluoreto	(mg/L)	1,0	150,0
Prata	(mg/L)	ND*	5,0
Selênio	(mg/L)	ND*	1,0

ND* = Não Detectado

12 Resultados do Ensaio de Solubilização (conforme a NBR 10.006:2004)

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra	Limites Máximos (NBR-10.004)
Fenóis Totais	(mg/L)	ND*	0,001
Mercúrio	(mg/L)	ND*	0,001
Arsênio	(mg/L)	ND*	0,01
Bário	(mg/L)	ND*	0,7
Cádmio	(mg/L)	ND*	0,005
Chumbo	(mg/L)	ND*	0,01
Cromo Total	(mg/L)	ND*	0,05
Alumínio	(mg/L)	ND*	0,2
Ferro	(mg/L)	0,4	0,3
Manganês	(mg/L)	ND*	0,1
Sódio	(mg/L)	40,9	200,0
Zinco	(mg/L)	ND*	5,0
Cobre	(mg/L)	ND*	2,0
Prata	(mg/L)	ND*	0,05
Selênio	(mg/L)	ND*	0,01
Cianeto	(mg/L)	ND*	0,07
Fluoreto	(mg/L)	0,3	1,5
Nitrato	(mg/L)	ND*	10,0
Cloreto	(mg/L)	18,2	250,0
Sulfato	(mg/L)	10,4	250,0
Surfactantes	(mg/L)	ND*	0,5

ND* = Não Detectado

13 Parecer Final de Classificação

De acordo com as prescrições da Norma Técnica ABNT NBR 10004:2004, o resíduo objeto deste Laudo Técnico é classificado como RESÍDUO NÃO-INERTE – CLASSE II-A.

Eng. Químico Marcos dos Santos Aidos

CREA RS 81632

CRQ 5ª Região 137461850

P.S.: O presente laudo é válido enquanto persistirem a origem, a natureza e a composição química do resíduo. Quaisquer alterações tecnológicas no processo de geração e/ou mudanças nas matérias-primas e insumos envolvidos no processo gerador, a classificação deverá ser repetida, de forma a garantir a sua confiabilidade técnica.