

Análise da viabilidade econômica do uso do lodo de esgoto como material de cobertura de aterro sanitário

Nathália Brun Costa

Orientador: MSc. Francisco José Guedes Pimentel
Co-orientador: Prof. Dr. Artur Santa Catarina

2012/1



COSTA, N., B. Análise da viabilidade econômica do uso. do lodo de esgoto como material de cobertura de aterro sanitário. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2012. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DO LODO
DE ESGOTO COMO MATERIAL DE COBERTURA DE
ATERRO SANITÁRIO**

NATHÁLIA BRUN COSTA

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária
e Ambiental.

Banca Examinadora:



MSc. Francisco José Guedes Pimentel
Orientador



Elivete Carmem Clemente Prim, Dr.
Membro da Banca



MSc. Alexandre Trevisan.
Membro da Banca

FLORIANÓPOLIS
JULHO/2012

*Dedico este trabalho aos meus pais
Lucio e Mara.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, sem os quais nada disso seria possível;

aos meus amigos e ao meu namorado, pela compreensão e apoio;

ao MSc. Francisco José Guedes Pimentel pela orientação, auxílio, ajuda e amizade;

ao Prof. Artur Santa Catarina Dr., meu co-orientador;

aos membros da banca: Dra. Elivete Carmem Clemente Prim e MSc. Alexandre Trevisan;

aos professores Dr. Paulo Belli Filho e Dr. Armando Borges de Castilhos Júnior, coordenadores do projeto que deu origem a este trabalho;

aos professores e pesquisadores: Dra. Márcia Regina Pereira Lima, Dr. Cleverson V. Andreoli (SANEPAR) e Dr. Fernando Fernandes (UEL) pela ajuda e orientação.

às empresas VAN DER HOEVEN, MF CARNEIRO, SANEPAR e CASAN pelo repasse de dados e informações para a realização da pesquisa.

"Antes do compromisso há hesitação, a oportunidade de recuar, a ineficácia permanente. Em todo ato de iniciativa (e de criação), há uma verdade elementar cujo desconhecimento destrói inúmeras ideias e planos esplêndidos: no momento em que nos comprometemos de fato, a providência age também. Ocorre toda espécie de coisas para nos ajudar, coisas que de outro modo nunca ocorreriam. Toda uma cadeia de eventos surge da decisão, fazendo vir em nosso favor todo tipo de encontros, de incidentes e de apoio material imprevisto que ninguém poderia sonhar que viria em seu caminho. Comece tudo o que pode fazer, ou que sonha poder fazer. Há gênio, poder e mágica na Ousadia."

GOETHE
(trecho do livro "Fausto")

RESUMO

O destino final dos resíduos sólidos provenientes de estações de tratamento de esgotos tem sido frequentemente negligenciado nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. Tal fato repercute em custos continuamente maiores em termos de tratamento e destinação final. A disposição final normalmente adotada para estes resíduos, conhecidos como lodo de esgoto, é o aterro sanitário. Esta técnica é adequada, mas demanda um sistema de cobertura para se evitar os impactos advindos da exposição dos resíduos ao meio ambiente, onde grandes quantidades de matéria-prima não renovável (normalmente jazidas de solo argiloso) são utilizadas ao longo de toda a vida útil do empreendimento, impactando negativamente o meio. Com base nesta premissa, a proposta de utilização de lodo de esgoto como material alternativo para coberturas de aterros sanitários é uma alternativa ambientalmente atrativa que requer, sobretudo, a realização de uma análise econômica, pois ela definirá se tal técnica é passível de ser posta em prática ou não no contexto estudado. Assim, este trabalho objetiva analisar a viabilidade econômica do uso do lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto Insular – Florianópolis (SC) – como material de cobertura de um aterro sanitário. O procedimento metodológico consistiu no levantamento de dados e informações necessárias para a análise do fluxo de caixa da proposta avaliada. Verificou-se, por meio de métodos determinísticos de engenharia econômica, que o lodo valorizado além de atender aos requisitos técnicos e ambientais, também atende aos requisitos econômicos no contexto estudado, pois apresentou resultados positivos nos métodos aplicados. Assim, destaca-se que o cenário avaliado poderá servir de base para análise de projetos futuros da mesma natureza, auxiliando na tomada de decisão quanto à melhor disposição dos resíduos provenientes de estações de tratamento de esgotos (ETE's).

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de Esgoto, Utilização do Lodo, Cobertura de Aterro Sanitário, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The final destination of solid waste from wastewater treatment plants (WWTPs) has been often neglected in developing countries, including Brazil. This fact reflects continuously in more costs in terms of treatment and final disposal. The final disposal usually adopted for these wastes, known as sewage sludge, is the landfill. This technique is suitable, but requires a cover system to avoid impacts from the exposure of waste to the environment, where large amounts of non-renewable raw material (usually clay soil deposits) are used throughout the life of the enterprise, impacting the environment negatively. Based on this premise, the suggestion of using sewage sludge as an alternative material for landfill cover is an attractive alternative that requires, above all, the realization of an economic analysis, because it will define whether this technique is capable of being implemented or not in the context studied. This work aims to analyze the economic feasibility of using sludge from a wastewater treatment plant, located in Florianópolis (SC) - as covering material on a landfill. The methodological procedure consisted in collecting data and information necessary to analyze the cash flow of the proposal. It was found by means of deterministic methods of engineering economics, that the treated sludge, besides of meeting the technical and environmental requirements, also meets the economical requirements in the studied context, because showed positive results in the applied methods. Thus, it is emphasized that the scenario evaluated may serve as basis for analyzing future projects of the same nature, helping in the best decision regarding the disposition of wastes from wastewater treatment plant.

KEYWORDS: Sewage Sludge, Sludge Use, Landfill Cover, Economic Viability

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Etapas de tratamento de lodo..... | 25 |
| Figura 2: Exemplo de estufa agrícola..... | 30 |
| Figura 3: Etapas de implantação de um aterro sanitário..... | 31 |
| Figura 4: Descarga, espalhamento e compactação dos resíduos e do material de cobertura..... | 35 |
| Figura 5: Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário..... | 37 |
| Figura 6: a) Descarregamento do lodo de esgoto na área desejada; b) Mistura do lodo com aditivo em área designada; c) Aplicação da mistura em cobertura de aterro..... | 39 |
| Figura 7: Município de Florianópolis com localização aproximada da ETE Insular e ao lado a ETE..... | 55 |
| Figura 8: Área do terreno definido..... | 59 |
| Figura 9: Moega receptora de lodo..... | 60 |
| Figura 10: Diagrama do cenário definido para a avaliação econômica..... | 61 |
| Figura 11: Local estabilização alcalina do lodo..... | 61 |
| Figura 12: Configuração da estabilização alcalina..... | 65 |
| Figura 13: Modelo PolyHouse (telhado em arcos)..... | 81 |
| Figura 14: Estufas, pista de rolagem, galpão de estoque e guarita..... | 82 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Origem e descrição dos cinco principais tipos de lodo | 22 |
| Quadro 2: Materiais típicos utilizados em uma camada de cobertura final. | 37 |
| Quadro 3: Etapas de tratamento da ETE Insular. | 56 |
| Quadro 4: Parâmetros de projetoda ETE Insular | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Composição química típica do lodo (bruto e digerido) de ETE | 23 |
| Tabela 2: Comparação dos percentuais de remoção de patógenos entre os tratamentos de caleação a 30%, 40% e 50% em relação ao peso seco de lodo..... | 27 |
| Tabela 3: Classes de lodo de esgoto e requisitos do CONAMA..... | 28 |
| Tabela 4: Alíquotas para cálculos dos salários..... | 75 |
| Tabela 5: Custos com a disposição da torta de lodo em aterro sanitário..... | 75 |
| Tabela 6: Projeção populacional e projeção de produção de lodo..... | 76 |
| Tabela 7: Valores dos parâmetros de projeto da ETE Insular | 76 |
| Tabela 8: Condições definidas para a estimativa do custo de investimento da estabilização alcalina em estufa agrícola | 78 |
| Tabela 9: Áreas necessárias para o tratamento do lodo..... | 79 |
| Tabela 10: Custo de investimento estimado da estabilização alcalina, considerando a configuração definida para o ano de 2022..... | 79 |
| Tabela 11: Condições usadas para estimar a área da estufa | 80 |
| Tabela 12: Dimensões das estufas (padrão VAN DER HOEVEN) | 82 |
| Tabela 13: Características gerais da estufa, do lodo estabilizado e do lodo adequado para ser utilizado como material de cobertura de aterro..... | 82 |
| Tabela 14: Custo de investimento estimado da estufa, considerando a configuração definida para o ano de 2022..... | 83 |
| Tabela 15: Custo total de investimentos estimados decorrentes da estabilização alcalina em estufa agrícola..... | 84 |
| Tabela 16: Consumo e custo de energia elétrica da estabilização alcalina | 85 |
| Tabela 17: Consumo e custo de energia elétrica da estufa | 86 |
| Tabela 18: Custo de mão-de-obra | 87 |
| Tabela 19: Custo de combustível | 88 |
| Tabela 20: Custo de aluguel..... | 88 |
| Tabela 21: Consumo e custo de matéria prima | 89 |
| Tabela 22: Custo de manutenção..... | 89 |
| Tabela 23: Receita do investimento | 90 |
| Tabela 24: Amortização da dívida..... | 90 |
| Tabela 25: Resultados da aplicação dos métodos..... | 91 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| BNDES | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| CASAN | Companhia Catarinense de Água e Saneamento |
| CAESB | Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CaO | Cal Virgem |
| CLT | Consolidação das Leis do Trabalho |
| CSSL | Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido |
| CV-C | Cal Virgem Comum |
| EPI'S | Equipamentos de Proteção Individual |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| FAPESC | Fundação de Amparo à Pesquisa Científica e Tecnológica de Santa Catarina |
| FUNASA | Fundação Nacional da Saúde |
| h | Hora |
| h | Altura |
| hab | Habitante |
| IGP-M | Índice Geral de Preços de Mercado |
| INPC | Índice Nacional de Preços ao Consumidor |
| IPTC | Índice de Preços Ticket Car |
| IR | Imposto de Renda |
| km | Quilômetro |
| kW | Quilowatt |
| kWh | Quilowatt-hora |
| kg | Quilograma |
| l | Litro |
| L | Comprimento |
| LARESO | Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| m ² | Metro Quadrado |
| m ³ | Metro Cúbico |
| mg | Miligrama |
| min. | Minuto |
| NBR | Norma Brasileira |
| NH ₃ | Amônia não ionizada |

| | |
|-----------------|---|
| NMP | Número Mais Provável |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| PRICE | Sistema Francês de Amortização |
| PROSAB | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico |
| RIR | Regulamento do Imposto de Renda |
| R\$ | Real (moeda) |
| SABESP | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SAC | Sistema de Amortização Constante |
| SANEPAR | Companhia de Saneamento do Paraná |
| SC | Santa Catarina |
| SF | Sólidos Fixos Totais |
| SNSA | Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental |
| SS | Sólidos Sedimentáveis |
| S _s | Densidade dos Sólidos do Lodo |
| S _{sl} | Densidade do Lodo |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| ST | Sólidos Totais |
| SV | Sólidos Totais Voláteis |
| TJLP | Taxa de Juros de Longo Prazo |
| TMA | Taxa Mínima de Atratividade |
| ton | Toneladas |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| UASB | Upflow Anaerobic Sludge Blanke tReactor (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo) |
| UFF | Unidade Formadora de Foco |
| UFP | Unidade Formadora de Placa |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |
| VPL | Valor Presente Líquido |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA..... | 18 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 19 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 19 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos..... | 19 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 21 |
| 2.1 | LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO 21 | |
| 2.1.1 | Características dos lodos de esgoto | 21 |
| 2.1.2 | Principais contaminantes..... | 24 |
| 2.1.3 | Tratamento | 24 |
| 2.2 | ATERRO SANITÁRIO | 30 |
| 2.2.1 | Sistema de cobertura | 32 |
| 2.2.2 | Lodo de esgoto como material de cobertura de aterro ... | 38 |
| 2.3 | AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS..... | 40 |
| 2.3.1 | Conceitos e métodos | 40 |
| 3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 53 |
| 3.1 | CONTEXTO DA PESQUISA | 53 |
| 3.2 | DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 54 |
| 3.2.1 | Sistema de tratamento da ETE | 55 |
| 3.2.2 | Parâmetros de projeto utilizados | 57 |
| 3.3 | DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE AVALIAÇÃO..... | 58 |
| 3.4 | APLICAÇÃO DO LODO EM COBERTURA..... | 61 |
| 3.5 | LEVANTAMENTO DOS CUSTOS ENVOLVIDOS PARA A AQUISIÇÃO E APLICAÇÃO DO LODO TRATADO COMO MATERIAL DE COBERTURA POR PARTE DO ATERRO | 62 |
| 3.6 | ESTIMATIVA DOS CUSTOS E DAS RECEITAS DECORRENTES DA ESTABILIZAÇÃO ALCALINA EM ESTUFA AGRÍCOLA DO LODOPARA POSTERIOR APLICAÇÃO EM ATERRO | 62 |
| 3.6.1 | Estimativa da área e do custo de investimento da estabilização alcalina..... | 64 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.6.2 | Estimativa da área e do custo de investimento da estufa agrícola | 66 |
| 3.6.3 | Estimativa das receitas e demais custos | 69 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 71 |
| 4.1 | DADOS DEFINIDOS E INFORMAÇÕES COLETADAS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA | 71 |
| 4.1.1 | Período de análise..... | 71 |
| 4.1.2 | TMA | 71 |
| 4.1.3 | Forma de financiamento..... | 72 |
| 4.1.4 | Capital próprio..... | 73 |
| 4.1.5 | Depreciação dos ativos imobilizados | 73 |
| 4.1.6 | Impostos sobre lucros | 74 |
| 4.1.7 | Alíquotas consideradas para o cálculo dos salários..... | 74 |
| 4.2 | VOLUME DE LODO GERADO NA ETE INSULAR E OS ATUAIS CUSTOS RELATIVOS A SUA DESTINAÇÃO FINAL. | 75 |
| 4.3 | CUSTOS ENVOLVIDOS PARA A AQUISIÇÃO E APLICAÇÃO DO LODO TRATADO COMO MATERIAL DE COBERTURA POR PARTE DO ATERRO..... | 76 |
| 4.4 | ESTIMATIVA DOS CUSTOS E DAS RECEITAS DECORRENTES DA ESTABILIZAÇÃO ALCALINA EM ESTUFA AGRÍCOLA PARA POSTERIOR APLICAÇÃO EM ATERRO | 78 |
| 4.4.1 | Estimativa dos custos de investimento da estabilização alcalina | 79 |
| 4.4.2 | Estimativa dos custos de investimento da estufa agrícola | 80 |
| 4.4.3 | Estimativa do custo total de investimentos..... | 84 |
| 4.4.4 | Estimativa das receitas e demais custos | 84 |
| 4.4.5 | Energia elétrica..... | 85 |
| 4.4.6 | Mão-de-obra | 86 |
| 4.4.7 | Combustível | 87 |
| 4.4.8 | Aluguel..... | 88 |
| 4.4.9 | Matéria prima | 89 |
| 4.4.10 | Manutenção | 89 |
| 4.4.11 | Receitas | 89 |
| 4.5 | AMORTIZAÇÃO DA DÍVIDA..... | 90 |
| 4.6 | CAPITAL PRÓPRIO | 90 |
| 4.7 | DEPRECIAÇÃO DOS ATIVOS IMOBILIZADOS..... | 90 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.8 | APRESENTAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA | 91 |
| 4.9 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 91 |
| 4.9.1 | Valor Presente Líquido | 91 |
| 4.9.2 | Taxa Interna de Retorno..... | 91 |
| 4.9.3 | Payback Descontado | 92 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 93 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 95 |
| | ANEXO 1 – PLANTA BAIXA E PERSPECTIVA DA ESTUFA AGRÍCOLA..... | 103 |
| | APÊNDICE A – DEPRECIÇÃO DOS ATIVOS IMOBILIZADOS | 104 |
| | APÊNDICE B – PROJEÇÃO DE FLUXO DE CAIXA..... | 105 |

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, com os novos padrões de consumo da sociedade, a produção de resíduos vem crescendo em um ritmo superior à capacidade de absorção da natureza. Assim, pressões crescentes sobre o meio ambiente e os recursos naturais, como extração de matérias-primas, geração e descarte inadequado de resíduos, têm produzido passivos ambientais que não só colocam em risco os recursos naturais, como também podem comprometer a qualidade de vida das atuais e futuras gerações.

Todavia, atualmente, a sociedade está mais exigente em relação às questões ambientais, repercutindo em um acréscimo na demanda por saneamento. Logo, há uma tendência crescente de instalações que promovem o tratamento de esgoto, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). As ETEs, por sua vez, geram resíduos sólidos denominados lodos na etapa final do seu processo, os quais demandam adequado tratamento, pois podem causar sérios problemas ambientais, principalmente relacionados à poluição hídrica, devido à alta carga orgânica e presença de componentes indesejáveis, como microrganismos patogênicos e metais pesados (VON SPERLING; ANDREOLI, 2001). Dessa forma, a disposição inadequada destes resíduos pode colocar em risco a saúde pública e a qualidade do ambiente.

No Brasil, a grande maioria das estações de tratamento de esgotos em operação foi projetada sem os equipamentos e/ou condições necessárias para que a disposição final dos resíduos gerados tivesse um gerenciamento adequado. Deste modo, a falta de planejamento e de estratégia para a utilização e/ou disposição desses resíduos acaba por impactar negativamente o meio ambiente, além de acarretar grandes custos em termos de destinação final para a empresa responsável pela ETE. Logo, as estruturas de gestão desses resíduos deveriam ser previstas já no período de concepção do sistema, de modo a evitar os transtornos e os impactos ambientais e econômicos negativos relacionados à falta de planejamento e de estratégia para a utilização e/ou disposição desses resíduos (ANDREOLI; PINTO, 2001).

A disposição final mais comum do lodo é a improdutiva, ou seja, o lodo é disposto em aterros sanitários, superficialmente no solo ou incinerado (com ou sem recuperação de energia), já que a valorização deste resíduo não foi considerada. Porém, o lodo também tem sido utilizado de forma produtiva: como fertilizante na agricultura, como matéria prima para a produção de tijolos, cimento, e material de cobertura diária, intermediária e final de aterros sanitários.

Neste contexto, o desenvolvimento de pesquisas que valorizam a utilização do lodo de ETE como material alternativo de cobertura de aterros sanitários vem ganhando valor e atenção, pois os benefícios gerados são diversos: acelera a decomposição de resíduos aterrados, melhora a qualidade do lixiviado e fornece nutrientes necessários para o crescimento da vegetação de cobertura, quando se utiliza o lodo como cobertura final (GRIFFIN *et al.*, 1998; RHEW; BARLAZ, 1995). Além disso, os aterros sanitários demandam grande quantidade de material de cobertura (normalmente jazidas naturais de solo argiloso), sendo que o volume ocupado pelas camadas diárias pode chegar a quase 20% do volume total da obra, enquanto a cobertura final ocupa em torno de 7% (McBEAN *et al.*, 1995).

Desse modo, a valorização de lodos de esgoto como matéria-prima de material de cobertura de aterros sanitários é uma alternativa técnica, ambiental e economicamente preferível ao seu simples descarte, pois evita a exploração de jazidas e o gasto com a aquisição deste material pelo proprietário do aterro, como também reduz os custos com a sua disposição pelo gerador de lodo, além dos benefícios citados anteriormente.

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, pesquisas de inovação tecnológica têm sido estimuladas e financiadas a fim de aumentar a eficiência de um processo produtivo, elaborar um novo produto ou aprimorá-lo. É o caso, por exemplo, da pesquisa de mestrado que deu origem a este trabalho. A Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN), juntamente com a Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina (FAPESC), e em parceria com o Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos (LARESO) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com o intuito de atender às recomendações do Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina - um estudo de alternativas para o aproveitamento do seu lodo desaguado - resolveu financiar um amplo projeto de pesquisa que teve por objetivo estudar diversas maneiras de valorizar o lodo gerado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Insular, a fim de reduzir os custos elevados da destinação e disposição deste resíduo em um aterro sanitário.

Dentre os estudos financiados, insere-se a pesquisa de mestrado de Pimentel (2012) – Aproveitamento de Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto em Camada de Cobertura de Aterro Sanitário –

que foi realizada no LARESO e sob coordenação dos professores Dr. Paulo Belli Filho e Dr. Armando Borges de Castilhos Júnior. Apesar de o processo proposto pelo autor ter comprovada viabilidade técnica e ambiental, sua aplicação prática só será viável economicamente se resultados positivos forem verificados nas análises do fluxo de caixa da proposta em questão.

Logo, o presente trabalho de conclusão de curso, sob orientação do Mestre em Engenharia Ambiental Francisco José Guedes Pimentel e co-orientação do Professor Doutor Artur Santa Catarina, tem por objetivo complementar a pesquisa de dissertação de mestrado citada através de um estudo de análise econômica do uso do lodo da ETE Insular como material de cobertura de aterro para um cenário simulado.

Além do mais, o cenário determinado poderá servir de base instrumental para análise de projetos futuros de mesma natureza, auxiliando na tomada de decisão quanto à melhor disposição dos resíduos provenientes de estações de tratamento de efluentes (ETEs).

1.2 OBJETIVOS

Este item apresenta o objetivo geral, que pretende solucionar a problemática do trabalho, e os objetivos específicos para se chegar ao objetivo geral.

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica da proposta de aproveitamento da torta de lodo da ETE Insular como material de cobertura de aterro sanitário em cenário específico.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral do trabalho, os seguintes objetivos específicos serão considerados:

- Verificar o volume de lodo gerado na ETE Insular e os atuais gastos relativos a sua destinação final;
- Levantar os custos envolvidos para a aquisição e a aplicação do lodo tratado como material de cobertura por parte do aterro sanitário;
- Estimar os custos e as receitas decorrentes do processo de estabilização alcalina em estufa agrícola do lodo, considerando

sua aplicação posterior em coberturas de aterros para um cenário definido;

- Realizar a avaliação econômica para um cenário definido, considerando os dados levantados e métodos de análise de investimentos adotados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é fornecer embasamento teórico e apresentar os conceitos utilizados durante o desenvolvimento deste trabalho, conferindo validação acadêmica às conclusões encontradas durante a pesquisa.

2.1 LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

As estações de tratamento de esgotos (ETEs) são as unidades de operação do sistema de esgotamento sanitário que garantem a preservação da qualidade dos corpos d'água a partir da remoção das cargas poluidoras do esgoto por processos biológicos e/ou físico-químicos, de forma que a devolução ao meio ambiente do efluente tratado seja mantida dentro dos padrões exigidos pela legislação ambiental.

O processo de tratamento escolhido para a remoção dos poluentes do esgoto irá influenciar na composição dos subprodutos e dos resíduos resultantes do tratamento, os quais ocorrem na forma sólida, líquida ou gasosa. Segundo Von Sperling (2005), os subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos são, basicamente, os seguintes: sólidos grosseiros (material gradeado); areia (sólidos inorgânicos); espuma, que pode ou não ocorrer sistematicamente, além de ser variável de processo para processo; lodo primário, oriundo de uma etapa de tratamento primário (decantador primário); lodo secundário, biológico ou excedente, que é originado da etapa biológica de tratamento e, por fim, lodo químico (caso haja etapa físico-química). Quando o lodo primário e o secundário são tratados em conjunto, a mistura resultante é chamada de lodo misto.

Apesar de mais de 95% do lodo, antes de ser desaguado ou desidratado, ser constituído de água, designa-se este subproduto por fase sólida para ser distinguido do líquido sendo tratado na fase líquida do esgoto. Dentre todos os subprodutos sólidos removidos no tratamento, o lodo é o maior em volume e massa, por isso sua transformação e eliminação é um problema complexo no contexto da engenharia sanitária e ambiental (TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2003).

2.1.1 Características dos lodos de esgoto

A composição do lodo de esgoto é variável, pois depende da origem (industrial ou residencial) e do processo de tratamento empregados. A princípio, todos os tipos de tratamento de esgotos geram lodo. Os cinco principais tipos de lodo gerados no tratamento de esgotos, com suas respectivas origens e descrição são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Origem e descrição dos cinco principais tipos de lodo

| Tipo de lodo | Origem | Descrição |
|--|---|--|
| LODO PRIMÁRIO | -Tratamento Primário (decantação primária) | Composto por sólidos sedimentáveis (SS) removidos por sedimentação nos decantadores primários. Taxa de decomposição maior que a do lodo químico. |
| LODO QUÍMICO | -Tratamentos com etapa físico-química | Resultado da precipitação química com cal ou com sais metálicos. Taxa de decomposição menor que a do lodo primário. |
| LODO BIOLÓGICO ANAERÓBIO (ESTABILIZADO) | -Reatores anaeróbios (filtros anaeróbios, UASB) -Lagoas de estabilização (facultativas, anaeróbias-facultativas, aeradas facultativas, aeradas de mistura completa, de decantação) | Longo período de retenção da biomassa anaeróbia a fim de favorecer a digestão (anaeróbia) do próprio material celular, fato que torna desnecessária a existência de uma etapa de digestão posterior. Neste caso o lodo já sai estabilizado do reator ou lagoa. |
| LODO BIOLÓGICO AERÓBIO (ESTABILIZADO) | -Reatores aeróbios com biofilmes - baixa carga (filtro biológico de baixa carga, biodisco, biofiltro aerado) -Lodos ativados por aeração prolongada | Predomínio de microrganismos aeróbios, ou seja, que oxidam a matéria orgânica na presença de oxigênio. A biomassa tende a usar as próprias reservas celulares de matéria orgânica nos sistemas onde a disponibilidade de alimento é menor (sistemas de baixa carga), resultando num lodo com maior teor de sólidos inorgânicos, ou seja, menor quantidade de matéria orgânica. Assim como o lodo biológico anaeróbio não requer uma etapa de digestão posterior. |

| Tipo de lodo | Origem | Descrição |
|---|--|--|
| LODO BIOLÓGICO AERÓBIO (NÃO ESTABILIZADO) | -Reatores aeróbios com biofilmes - alta carga (filtro biológico de alta carga, biofiltros aerados submersos e biodiscos) -Lodos ativados convencional | É a biomassa de microrganismos aeróbios oriunda do processo de digestão aeróbia da matéria orgânica (alimento) presente no esgoto afluente. Para manter o equilíbrio do sistema a biomassa excedente precisa ser retirada. Neste caso, o lodo não sai digerido (estabilizado), pois as condições para a realização da respiração endógena pela biomassa não são favorecidas. |

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003) e Gonçalves, Luduvic e Von Sperling (2001)

Há ainda, o *Lodo misto*, que, segundo Von Sperling (2005), é o lodo resultante da mistura do lodo primário com o lodo secundário (biológico), para posterior tratamento em conjunto.

Os processos aeróbios produzem quantidades maiores de lodo do que os processos anaeróbios. Segundo Outwater (1994), os processos aeróbios produzem de 15 a 20 mil litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, com 0,5 a 2 % de sólidos, contendo 50 a 60 % de matéria orgânica.

As propriedades mecânicas do lodo e o volume do lodo estão diretamente relacionados ao seu teor de umidade, sendo que ambos influenciam no tipo de manejo e de disposição final do lodo.

A Tabela 1 apresenta a composição química típica de lodo de ETE (bruto e digerido).

Tabela 1: Composição química típica do lodo (bruto e digerido) de ETE

| Item | Lodo Bruto | | Lodo Digerido | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | Varição | Característica | Varição | Característica |
| Sólidos Totais (ST), (%) | 2,0 – 8,0 | 5,0 | 6,0 – 12,0 | 10,0 |
| Sólidos Voláteis (%) de ST | 60 - 80 | 65 | 30 - 60 | 40 |
| Graxas e gorduras solúveis (%) ST | 6,0 - 30 | - | 5,0 - 20 | 18 |
| Proteínas (%) do ST | 2,0 - 30 | 25 | 15 - 20 | 18 |
| Nitrogênio (%) do ST | 1,5 – 4,0 | 2,5 | 1,6 - 6,0 | 3 |

| Item | Lodo Bruto | | Lodo Digerido | |
|---|-------------|----------------|---------------|----------------|
| | Varição | Característica | Varição | Característica |
| Fósforo P ₂ O ₅ % do ST | 0,8 - 2,8 | 1,6 | 1,5 - 4,0 | 2,5 |
| Potássio K ₂ O% do ST | 0,0 - 1,0 | 0,4 | 0,0 - 3,0 | 1,0 |
| Celulose % do ST | 8,0 – 15,0 | 10,0 | 8,0 – 15,0 | 10 |
| Ferro | 2,0 – 4,0 | 2,5 | 3,0 – 8,0 | 4,0 |
| Sílica (SiO ₂ % do ST) | 15,0 – 20,0 | - | 10,0 – 20,0 | - |
| pH | 5,0 – 8,0 | 6,0 | 6,5 - 7,5 | 7,0 |
| Alcalinidade mg/L CaCO ₃ | 500 - 1500 | 600 | 2500 - 3500 | 3000 |
| Ac. Orgânico mg/L H Ac | 200 - 2000 | 500 | 100 - 600 | 200 |

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003)

Conforme a NBR 10.004 (ABNT, 2004) os lodos de esgoto, apesar de sua periculosidade sanitária, são classificados como resíduos Classe IIA, não-inertes e não perigosos, que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

2.1.2 Principais contaminantes

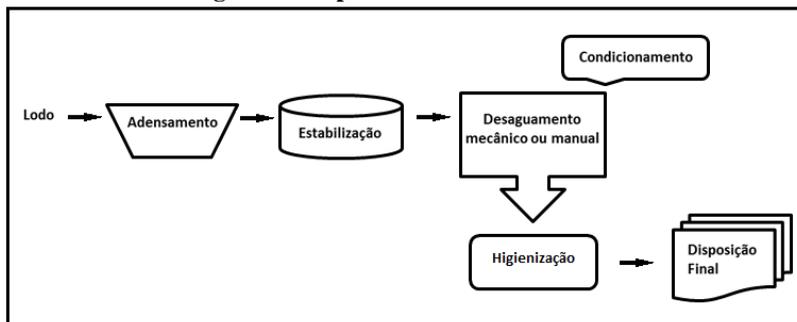
O lodo possui, em proporções variadas, alguns componentes das águas residuárias. Embora certos componentes orgânicos e minerais confirmem características fertilizantes ao lodo, outros elementos são indesejáveis, pois podem ocasionar riscos sanitários e ambientais, são eles: os metais pesados (poluentes inorgânicos), diversos poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos (SILVA *et al.*, 2001). A presença desses elementos depende das características do esgoto bruto que a eles deu origem e do processo de tratamento usado, tanto para o esgoto, quanto para o biossólido.

2.1.3 Tratamento

O tratamento dos lodos de esgoto é fundamental para minimizar os riscos de contaminação pela presença de organismos patogênicos, reduzir possíveis odores e promover a remoção da umidade (FERNANDES, 1999). As características do lodo e a destinação final desejada pelo gerador determinam os tipos de tratamento pelos quais os

lodos produzidos nas ETEs devem passar. A Figura 1 abaixo apresenta as etapas mais comuns de tratamento de lodo.

Figura 1: Etapas de tratamento de lodo.



Fonte: Adaptado de Lima (2010)

A primeira etapa referente ao tratamento dos lodos de esgoto é a remoção da umidade para a redução da massa e do volume do lodo a ser tratado ou descartado pelas estações. Numa ETE poderá haver duas etapas de remoção da umidade dos lodos: adensamento ou espessamento e desaguamento ou desidratação. Enquanto a primeira etapa acarreta consequências no dimensionamento e operação dos digestores, a segunda etapa, que é realizada com o lodo digerido, tem grande influência nos custos de transporte e destinação final do lodo (GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001). Segundo os mesmos autores, as principais razões que justificam a realização do desaguamento são:

- Redução do custo de transporte para o local de disposição final;
- Melhoria nas condições de manejo do lodo;
- Aumento do poder calorífico, com vistas à preparação para incineração;
- Redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura;
- Diminuição da produção de lixiviados, quando da sua disposição em aterros sanitários.

Ambas as etapas de remoção da umidade do lodo podem ser realizadas por processos físicos ou mecânicos, sendo que os principais processos utilizados são:

- Adensamento por gravidade;
- Adensamento por flotação (ar dissolvido);
- Centrífugas;
- Leitões de secagem;
- Prensas desaguadoras;
- Filtros prensa.

Além da etapa de desidratação do lodo, dependendo do tipo e do destino final escolhido, o material deverá ainda passar pelas etapas de estabilização e higienização, que irão garantir, entre outras coisas, a estabilidade do lodo, a redução de maus odores (por meio da redução de sólidos voláteis) e patógenos, a redução de vetores (moscas, roedores, mosquitos, etc.) transmissores de doença e de elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral.

Caso a destinação final seja o uso do lodo como material de cobertura de aterro sanitário, tanto o processo de estabilização quanto o de secagem e higienização são procedimentos fundamentais para que o material atenda aos quesitos legais para essa forma de disposição final, principalmente em razão das características indesejáveis citadas acima que acabam por dificultar a sua manipulação e processamento. Nos tópicos seguintes, detalham-se as duas formas de tratamento avaliadas neste trabalho.

2.1.3.1 Estabilização Alcalina de Lodo de Esgoto

Os processos de estabilização do lodo têm por objetivo estabilizar a matéria orgânica biodegradável, diminuindo o risco de putrefação e consequente geração de maus odores, bem como reduzir a concentração de patógenos (LUDUVICE, 2001).

Com o objetivo de atenuar ou eliminar esses inconvenientes, processos químicos, físicos (estabilização térmica) e biológicos são empregados visando à estabilização do lodo. O processo de estabilização alcalina do lodo de esgoto consiste numa estabilização química onde uma base é adicionada ao lodo a fim de inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. São exemplos de materiais que podem ser utilizados para a estabilização alcalina: a cal hidratada, a cal virgem (óxido de cálcio), as cinzas volantes, cimento pó de forno e carboneto de cal.

No processo de estabilização alcalina normalmente se utiliza a cal virgem devido ao seu poder calorífico e capacidade de melhorar a destruição de patógenos (EPA, 2000). A desinfecção do lodo neste processo é possível devido à, basicamente, três fatores: pela elevação da temperatura em função da reação exotérmica entre o CaO e a água (processo denominado como extinção da cal virgem), pelo aumento do pH e, finalmente, pela ação da amônia que será formada a partir do nitrogênio do lodo em condições de temperatura e pH elevados. (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Estudos mostram que dosagens de cal virgem (CaO) entre 30 a 50% da massa seca do lodo são capazes produzir um bio sólido com concentração de patógenos abaixo dos limites de detecção (PINTO, 2001). Fernandes e Souza (2001) citam uma pesquisa feita pelo PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) sobre a eficiência da caleação como método de desinfecção do lodo, na qual doses de 30%, 40% e 50% de cal em relação ao peso seco de lodo foram testadas. A Tabela 2 se refere à pesquisa citada.

Tabela 2: Comparação dos percentuais de remoção de patógenos entre os tratamentos de caleação a 30%, 40% e 50% em relação ao peso seco de lodo.

| Cal (%) | 30 | 40 | 50 |
|------------------------|--------|--------|--------|
| Coliformes Totais | 99,40% | 98,14% | 99,95% |
| Coliformes fecais | 100% | 100% | 100% |
| Salmonellas | 100% | - | 100% |
| Estreptococos | 92,23% | 98,71% | 100% |
| Ovos de helmintos | 75,33% | 81,00% | 77,33% |
| Larvas de helmintos | 100% | 98,38% | 100% |
| Cistos de protozoários | 100% | 100% | 100% |

Fonte: Adaptado de Fernandes *et al.* (1996, *apud* FERNANDES; SOUZA, 2001)

Percebe-se, assim, que o uso da cal para estabilização e desinfecção do lodo de esgotos é bastante eficiente na remoção de patógenos e indicadores.

O lodo estabilizado com cal pode ser utilizado em diversas situações, tais como: no paisagismo, na agricultura, na recuperação de áreas degradadas e como material de cobertura de aterros, neste último caso deverá ainda ser misturado com solo para atingir a consistência

adequada de material de cobertura de aterros (EPA, 2000). A aplicação mais apropriada para o lodo estabilizado com cal depende, principalmente, da classificação da legislação com relação a sua quantidade de patógenos, conforme se detalha a seguir.

A Resolução nº375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) enquadra o lodo de esgoto ou produto derivado em duas classes distintas: em Classe A ou em Classe B, em função da concentração de patógenos presentes no biossólido (Tabela 3). Cada classe só pode ser utilizada em determinados tipos de cultura.

Esta resolução explicita que a porcentagem de cal com relação aos sólidos totais (ST) do lodo, durante o processo de higienização do lodo, deve ser suficiente para elevar o pH a valores próximos a 12, por um período mínimo de 2 horas, e manter acima de 11,5, por mais de 22 horas, sem que seja feita uma aplicação adicional de cal. Com esse processo é possível enquadrar o lodo como Classe B, caso se queira elevar o produto a Classe A, é necessário que este seja submetido a uma redução adicional de patógenos

Tabela 3: Classes de lodo de esgoto e requisitos do CONAMA.

| Patógeno | Tipo de Lodo de Esgoto | |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | Classe A | Classe B |
| Coliformes Termotolerantes | <10 ³ NMP / g de ST | <10 ⁶ NMP / g de ST |
| Ovos viáveis de helmintos | <0,25 ovo / g de ST | < 10 ovos / g de ST |
| Salmonella <i>sp.</i> | Ausência em 10g de ST | - |
| Vírus entéricos | < 0,25 UFP ou UFF / g de ST | - |

Nota: NMP: Número Mais Provável; ST: Sólidos Totais; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa

Fonte: BRASIL (2006)

Destaca-se ainda que a resolução citada considera estável e, próprio para uso agrônômico, o lodo com valores de SV/ST abaixo de 0,7. Todavia, um percentual de 40% de SV/ST é necessário como máximo desejável para o uso de lodo em coberturas de aterros sanitários, conforme os valores típicos citados pela literatura (GRANATO, 2011; SIMMONS, 2003; PIETZ *et al.*, 1996 *apud* PIMENTEL, 2012).

Com relação à aplicabilidade dessa forma de tratamento, segundo EPA (2000), ela pode ser utilizada como expansão de instalações já existentes ou como um novo mecanismo para reduzir os odores e

patógenos, além de ser especialmente útil em estações de tratamento de efluentes que sofrem grandes variações de vazões, já que o processo se adapta facilmente a mudanças de fluxos.

Os equipamentos mais tipicamente utilizados são: misturador de lodo e cal, silo para estocagem da cal, filtro para respiro do silo, fundo vibrante (instalado na parte inferior do silo), rosca transportadora de cal; dosador de cal e transportador da torta de lodo (CANZIANI *et al.*, 1999; EPA, 2000; TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003; SILVA, 2009).

Algumas estações de tratamento de esgotos já possuem a estabilização alcalina instalada em suas dependências como uma etapa do processo de tratamento do lodo, como exemplo, pode-se citar: a ETE Belém em Curitiba, sob responsabilidade da SANEPAR, a ETE Brasília Sul, gerida pela CAESB e a ETE Lavapés, da SABESP.

Como principais vantagens e desvantagens dessa forma de tratamento podem-se citar (EPA, 2000):

- Vantagens: tecnologia simples e de fácil operação; requer pequena quantidade de área; operação flexível (facilmente parada e reiniciada) e fácil de construir.
- Desvantagens: aumento do volume de lodo (em torno de 15 a 50%) a ser transportado, quando o material deve ser movido para fora do local de tratamento, potencial de geração de odores (oriundos da amônia volatilizada) e de poeira e capacidade de recrescimento de patógenos caso haja um decaimento do pH abaixo de 9,5 enquanto o material está estocado.

2.1.3.2 Higienização e Secagem de Lodo em Estufa Agrícola

Os processos de estabilização e tratamento, como a estabilização alcalina citada anteriormente, podem reduzir significativamente os níveis de patogenicidade do lodo. Porém, muitos parasitas intestinais e, principalmente, seus ovos não são destruídos por processos de digestão convencional, fazendo-se necessária a etapa de higienização para a sua completa inativação. O objetivo da higienização de lodos de esgoto é reduzir a concentração de microrganismos patogênicos a níveis que não venham causar riscos à saúde da população, aos trabalhadores que irão manuseá-lo e ao meio ambiente, quando da sua disposição e de acordo com as exigências para cada tipo de utilização (PINTO, 2001).

As estufas agrícolas, ou estufas plásticas, podem ser uma solução prática e viável para a secagem e higienização do lodo de esgoto, principalmente em climas quentes e subtropicais como no sul do Brasil (ANDREOLI *et al.*,2001). As duas grandes vantagens do uso das estufas são: a capacidade de usar a energia solar para aquecer o lodo e reter calor, acelerando o processo de secagem, e a redução da concentração de bactérias patogênicas e do volume de lodo a ser disposto (LIMA, 2010). Nesse processo, a cobertura plástica serve para a proteção contra a chuva e as geadas ocorridas em climas frios e, também, para a maximização da energia solar (VAN HAANDEL E LETTINGA, 1994 *apud* ANDREOLI *et al.*,2001; LIMA, 2010). Portanto, citando Pimentel (2012), a diminuição do volume a ser disposto é bastante significativa, principalmente em virtude do decaimento acelerado da umidade ao longo do tempo, que pode atingir níveis de menos de 10%. Conforme citado por Yeager e O'Brien (1983, *apud* COMPARINI, 2001), quando a umidade é menor que 10%, ou seja, teor de ST acima de 90%, a sobrevivência de patógenos torna-se inviável.

Na literatura não há muitas pesquisas publicadas sobre a utilização da técnica de secagem e higienização do lodo de esgoto em estufas agrícolas. Porém, alguns autores, como Comparini (2001), Andreoli *et al.* (2003), Lima (2010), Prim (2011) e Pimentel (2012), deram maior contribuição científica e enfoque para esta técnica. No âmbito comercial, já existem algumas empresas fabricantes de estufas como a PARKSON CORPORATION, a HUBER TECHNOLOGY e a VAN DER HOEVEN, as quais realizam a secagem e/ou higienização de lodo de esgoto e lodo de água em pequenas e grandes escalas. A Figura 2 ilustra uma das estufas agrícolas fabricada pela empresa VAN DER HOEVEN.

Figura 2: Exemplo de estufa agrícola



Fonte: VAN DER HOEVEN (2012)

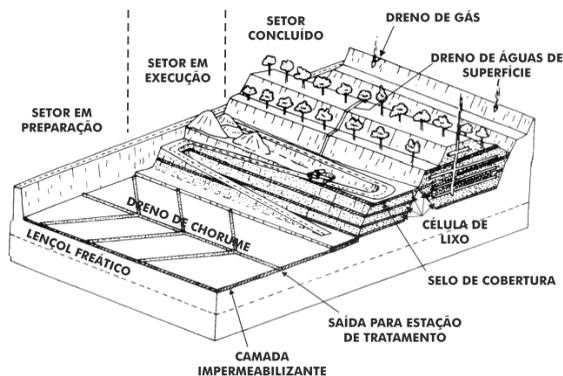
2.2 ATERRO SANITÁRIO

Segundo a NBR 8419 de 1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992, p.1) um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos (RSU) pode ser definido da seguinte maneira:

Técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se necessário.

Atualmente, é o método de tratamento de resíduos sólidos urbanos de menor custo e de maior utilização (CASTILHOS JUNIOR *et al.*, 2003). A Figura 3 ilustra os principais constituintes de um aterro sanitário.

Figura 3: Etapas de implantação de um aterro sanitário.



Fonte: D'Almeida e Vilhena(2010)

Os resíduos sólidos urbanos, citando ainda a norma acima, são os “resíduos sólidos gerados em um aglomerado urbano, excetuando os

resíduos industriais perigosos¹ hospitalares sépticos² e de aeroportos e portos³”. De modo geral, os resíduos passíveis de disposição em aterro são aqueles cujos líquidos lixiviados gerados podem sofrer alguma forma de degradação ou de retenção (filtração, adsorção ou troca iônica) no solo (CASTILHOS JUNIOR *et al.*, 2003).

Os resíduos sólidos urbanos acumulados continuamente nos aterros são uma grande mistura de compostos químicos sob a ação da chuva e de microrganismos, sendo objeto de mecanismos físicos, químicos e biológicos, tais como (CASTILHOS JUNIOR *et al.*, 2003):

- dissolução dos elementos minerais;
- carreamento de partículas e de materiais solúveis pela água;
- degradação dos resíduos em formas solúveis e gasosas pela matéria orgânica.

Logo, o biogás e o lixiviado, vetores da poluição em aterros sanitários, são resultado do efeito conjunto desses processos físicos, químicos e biológicos.

Cabe aqui ressaltar a diferença dos aterros sanitários para os lixões. Os aterros sanitários são locais controlados, impermeabilizados e tratados para a futura destinação final do lixo, distintamente dos lixões que não possuem o mínimo controle e tratamento.

2.2.1 Sistema de cobertura

O sistema de cobertura em aterros (camadas diárias, intermediárias e finais) tem por função impedir a infiltração de águas da chuva através da massa de resíduos para evitar o aumento da formação de lixiviados, controlar a entrada de ar para dentro do aterro, garantir o confinamento dos resíduos e lixiviados gerados, prevenir a migração de gás para fora do aterro, reduzir a exalação de odores, eliminar a proliferação de vetores de doenças e facilitar a recomposição da

¹Todos os resíduos sólidos, semi-sólidos e os líquidos não passíveis de tratamento convencional, resultantes da atividade industrial e do tratamento de seus efluentes que, por suas características, apresentam periculosidade efetiva ou potencial à saúde humana ou ao meio ambiente, requerendo cuidados especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte, armazenamento, tratamento e disposição (ABNT, 1992, p.2).

² Resíduos sólidos de serviços de saúde que requerem condições especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte e disposição final por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana (ABNT, 1992, p.2).

³ Resíduos sólidos provenientes de navios e portos (ABNT, 1992, p.2).

paisagem, no caso da camada de cobertura final (MARINHO, 2006; CASTILHOS JUNIOR, 2006; REICHERT, 2007).

As camadas de cobertura diária e intermediária são executadas ao longo do processo de enchimento do aterro, enquanto que a cobertura final é efetuada na finalização do aterramento (LANGE *et al.*, 2006).

2.2.1.1 Camadas de cobertura diária e intermediária

A cobertura diária é realizada ao final de cada jornada de trabalho ou de acordo com a necessidade local (Mc BEAN; ROVERS; FARQUHAR, 1995). Segundo os mesmos autores e EPA (2003), ela é usada para:

- Melhorar o acesso ao aterro (de veículos à frente de serviço) e permitir a operação;
- Evitar a dispersão e o espalhamento dos resíduos pela ação dos ventos;
- Reduzir a geração de odores e a chance de fogo;
- Minimizar o impacto visual;
- Limitar o contato de aves e vetores de doença com os resíduos;
- Diminuir a infiltração de água pluvial no maciço de resíduos.

Segundo Nahas (2004), as soluções mais comumente empregadas como materiais de coberturas diárias é a utilização de solos provenientes de áreas de escavação do próprio aterro e seus entornos, ou mediante a importação de solos de jazidas externas. Porém, outros tipos de materiais, que seriam dispostos no aterro, podem ser utilizados, tais como (EPA, 2003; NAHAS, 2004; PIMENTEL, 2012):

- Cinzas de combustão;
- Areia de fundição e de estações de tratamento de esgotos;
- Resíduos de jardim (folhas, ramos de árvores e restos de podas);
- Lodos tratados com cal ou misturados com terra ou cinzas;
- Restos de demolições ou construções;
- Carpetes descartados;
- Pedacos de pneu;

No Brasil não há norma técnica que especifique a espessura das camadas de cobertura. A NBR 13896 (ABNT, 1997) apenas considera

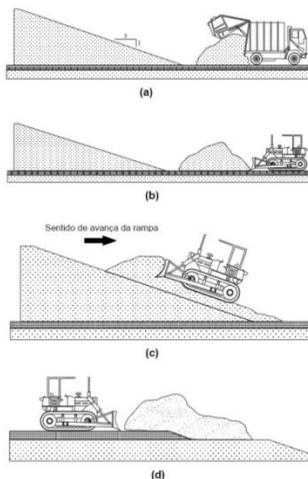
que o aterro deve ser construído com sistemas de impermeabilização (como as camadas artificiais ou naturais citadas acima) de modo a impedir ou reduzir a infiltração dos líquidos percolados no solo através da massa de resíduos. As espessuras normalmente empregadas para coberturas naturais variam entre 10 e 20 cm (JARAMILLO, 1991 *apud* LANGE *et al.*, 2006), e, segundo Mc Bean, Rovers e Farquhar (1995), 15 cm de camada diária compactada são suficientes para que ela atinja as suas funções usuais citadas no início deste tópico.

Outro tipo de camada essencial num aterro são as camadas de cobertura intermediárias. Elas permitem uma menor infiltração dos lixiviados, pois possuem uma espessura duas vezes maior à normalmente usada para a cobertura diária - aproximadamente 30 cm. São empregadas nas áreas do aterro que não serão utilizadas por um longo período de tempo (cerca de 2 anos ou mais), como as áreas de topo do aterro (REGUEIRO, 2007). Todavia, os autores D'Almeida e Vilhena (2010) consideram que a cobertura intermediária é necessária nos locais em que a superfície de disposição ficará inativa por períodos de mais ou menos um mês, por exemplo, no período em que se aguarda a conclusão de um patamar para o início do seguinte, enquanto que Mc Bean, Rovers e Farquhar (1995) afirmam que ela pode ser aplicável numa área de disposição do aterro que ficará inativa por um período de tempo maior que um ano.

O volume ocupado pelo material de cobertura no aterro reduz o volume disponível para aterramento, o que ocasiona a redução da sua vida útil. Desse modo, quanto maior é a espessura das camadas diárias e intermediárias, maior será essa perda, que, segundo Engecorps (1996 *apud* Carvalho, 1999) pode chegar até 20% do volume total do aterro, ocasionando uma despesa de percentual semelhante (entre 20 a 30%) no custo total da obra. Por isso as chamadas “mantas de sacrifício” - cobertura têxtil de vida única ou reaproveitável- também têm sido utilizadas como material de cobertura de aterros, pois possuem a vantagem de não ocupar o volume que as camadas de solo argiloso ou arenoso ocupariam.

Normalmente, o espalhamento e a compactação do material de cobertura, em aterros de grande porte, são realizados com trator-de-esteira, conforme se observa no item (d) da Figura 4 Os itens (a), (b) e (c), representam, respectivamente, a descarga na frente de serviço e o espalhamento e compactação dos resíduos em rampa 3:1, indicando o sentido de avanço da rampa.

Figura 4: Descarga, espalhamento e compactação dos resíduos e do material de cobertura



Fonte: Adaptado de Reichert (2007)

Cabe ainda destacar a questão da origem do material de cobertura e os custos do seu transporte e do próprio material. Devido à elevada demanda deste material ao longo de toda a vida útil do aterro, o ideal seria que ele fosse obtido das áreas de escavação do próprio aterro. Todavia, muitas vezes o material de cobertura disponível na própria área do aterro não acompanha a sua vida útil, de modo que se torna necessário a previsão de outras fontes, como jazidas fora da área de operação do aterro e materiais alternativos. Segundo Reichert (2007), no caso das jazidas externas de solo arenoso ou de argila, além da necessidade de elas serem licenciadas, este caso implica em maiores custos, como o de transporte do material até o aterro e do próprio material.

Dentre as principais motivações para o uso de materiais alternativos como camadas de coberturas de aterros, citando Lange *et al.* (2006) pode-se destacar as seguintes:

- O aumento contínuo do incentivo da reciclagem dos materiais;
- Minimização dos impactos ambientais associados a esta prática;
- Busca por redução de custos com gerenciamento dos resíduos.

Segundo Nahas (2004), a escolha do material de cobertura deve ser feita a partir de estudos técnicos e econômicos para avaliar as vantagens e desvantagens de cada metodologia. Logo, é imprescindível que estes novos produtos tenham, além da viabilidade técnica comprovada para a sua função, um estudo de viabilidade econômica para respaldá-los nos quesitos econômicos e financeiros.

2.2.1.2 Camada de cobertura final

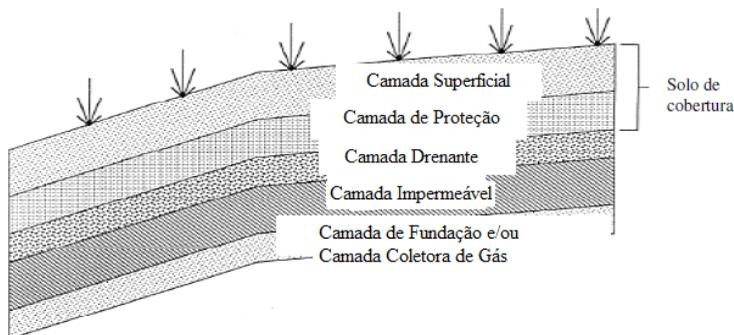
Normalmente, a camada de cobertura final, que é composta de várias camadas de solo e/ou geomembranas, é colocada sobre o aterro após a finalização de todas as operações do aterro. Sua principal função é promover uma barreira para a entrada de água da chuva, além de melhorar a drenagem superficial, oferecer suporte a revegetação e controlar a emissão de gases (REICHERT, 2006). Segundo Lange *et al*, (2006), ela isola a massa de resíduos do ambiente externo de modo a evitar a atração de vetores, a saída de gases para a atmosfera e a geração de lixiviado. Além disso, a camada de cobertura final deve exigir pouca manutenção, garantindo as suas características de projeto, mesmo após a vida útil do aterro.

Cabe ainda destacar que este sistema de cobertura deve possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao solo natural do aterro, ser suficientemente flexível, não estar sujeito à erosão e acomodar assentamento sem fratura pelos seguintes motivos: por ser suscetível à erosão, ao ressecamento da argila, à escavação por animais, à penetração de raízes e a grandes adensamentos diferenciais (REICHERT, 2006; QUISSINI, 2009).

Segundo Qasim e Chiang (1994) *apud* Quissini (2009), a cobertura final deve ter de 3% a 5% de inclinação e, no mínimo, 60 cm de espessura.

Os materiais que são normalmente utilizados nos componentes de uma camada de cobertura final de aterro sanitário (Figura 5) são descritos no Quadro 2.

Figura 5: Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário



Fonte: Adaptado de D'Almeida e Vilhena (2010)

Quadro 2: Materiais típicos utilizados em uma camada de cobertura final.

| Componentes | Tipo de Material |
|---|---|
| Camada superficial | Solo; blocos rochosos; camada geossintética de controle de erosão |
| Camada de proteção | Solo; blocos rochosos; material residual recuperado ou reciclado |
| Camada drenante | Areia ou cascalho; georrede ou geocompósitos |
| Camada impermeável | Argila compactada; geomembrana; argila geossintética; rejeitos |
| Camada de fundação e/ou coletora de gás | Areia ou cascalho; georrede ou geotêxtil; solo; material residual recuperado ou reciclado |

Fonte: Adaptado de D'Almeida e Vilhena(2010)

Todavia, sabe-se que na prática a camada de cobertura final pode ser construída de maneira mais simplificada que essas conformações, podendo não possuir todas as camadas descritas acima (QUISSINI, 2009).

Por fim, a conformação final das camadas de cobertura vai depender do tipo de aterro, do seu tamanho, do seu processo operacional, do tipo de resíduo aterrado, das características locais e dos materiais à disposição.

2.2.2 Lodo de esgoto como material de cobertura de aterro

A disposição do lodo em aterro sanitário vem se mostrando cada vez mais impraticável devido a questões técnicas e operacionais. Por exemplos têm-se os seguintes itens: não ser uma alternativa sustentável em longo prazo; devido à capacidade de saturação dos aterros e à forte rejeição por parte da população; custo relativamente elevado para sua implantação e dificuldade de se encontrar áreas que atendam às necessidades técnicas requeridas (LIMA, 2010).

Nesse sentido, estudiosos e pesquisadores têm buscado alternativas que venham a minimizar a geração de resíduos sólidos e a favorecer a reciclagem de resíduos, com o objetivo de reduzir a exploração sobre as reservas naturais, preservando e aumentando sua disponibilidade. Exemplo disto são os estudos de reaproveitamento de lodos de estações de tratamento de esgoto (ETEs) na composição de material de cobertura de aterro sanitários.

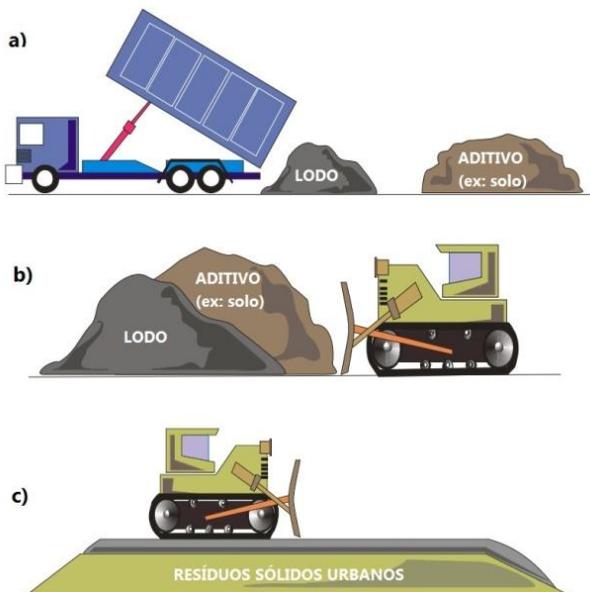
Tal uso ainda não é prática recorrente, contudo, alguns países como os Estados Unidos, o Canadá, a Itália, a Noruega, a China, a Austrália e a África do Sul já a utilizam, pois além de valorizar um resíduo, minimiza-se a demanda de solo oriundo de jazidas naturais (LeBLANC; MATTHEWS; RICHARD, 2008).

Idealmente seria interessante aplicar todo o lodo gerado na agricultura devido à ciclagem de nutrientes, porém, nem sempre este subproduto é aceito nesta atividade ou atinge a qualidade requerida para evitar riscos à saúde pública e ambiental. Nesse sentido, o emprego do biossólido em camadas diárias ou finais de cobertura é uma alternativa interessante, pois não demanda um alto grau de qualidade como o uso agrônômico, e é capaz de cumprir as funções requeridas nos aterros sanitários.

O uso do lodo de esgoto como camada de cobertura de aterro sanitário requer a realização de alguns processos imprescindíveis, tais como redução da relação SV/ST e da umidade, e mistura do lodo com solo em proporção a ser definida em função da qualidade do solo e dos parâmetros geotécnicos requisitados para este fim. Segundo Pimentel (2012), o solo não só melhora as características geotécnicas do lodo, como também facilita a sua trabalhabilidade pelos operadores do aterro. No geral, utiliza-se a proporção 1:1 desta mistura. (JAMAL; NORIEH; FARZADKIA, 2011; WILLIFORD *et al.*, 2007; GRIFFIN *et al.*, 1998; PAPIN; WEST, 1999 *apud* PIMENTEL, 2012).

A Figura 6 abaixo ilustra o processo de descarregamento de lodo de esgoto no aterro, sua mistura com aditivo (solo, no caso da figura) e posterior aplicação em cobertura.

Figura 6: a) Descarregamento do lodo de esgoto na área desejada; b) Mistura do lodo com aditivo em área designada; c) Aplicação da mistura em cobertura de aterro.



FONTE: Reinhart *et al.* (2007) *apud* Pimentel (2012)

Cabe aqui destacar as vantagens de se utilizar o lodo na composição das coberturas diárias e finais dos aterros, são algumas delas (Mc BEAN *et al.*, 1995; GRIFFIN *et al.*, 1998; RHEW; BARLAZ, 1995):

- Capacidade de melhorar a qualidade do lixiviado;
- Reduz o potencial de contaminação do solo;
- Reduz a emissão de odores;
- Auxilia no controle de vetores;
- Aumento da geração de metano, possibilitando a comercialização de créditos de carbono e/ou geração de energia pelos operadores de aterro;
- Aumento da decomposição dos resíduos;

- Aproveitamento dos nutrientes no crescimento da vegetação de cobertura;
- Economia para o proprietário do aterro e benefícios ambientais ao se evitar a exploração de jazidas de solo.

Ressalta-se ainda a carência no Brasil de legislação específica relacionada ao uso do lodo de esgotos em coberturas de aterros, apesar desta técnica já ser aplicada e regulamentada em outros países.

2.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS

Hoje em dia, qualquer projeto que venha a ser proposto, seja a uma empresa potencialmente interessada no mesmo ou a um órgão possivelmente financiador do projeto, terá um estudo de viabilidade econômica a respaldá-lo. Assim, após a comprovação da viabilidade técnica de um projeto é imprescindível que a escolha considere aspectos econômicos e financeiros.

A fim de poder realizar a avaliação econômica da proposta deste trabalho é necessário o esclarecimento de alguns conceitos e métodos que embasarão o estabelecimento dos critérios e a forma de análise econômica.

2.3.1 Conceitos e métodos

2.3.1.1 Custos operacionais

A aplicação de recursos, nas suas mais diferentes formas, expressas em valor monetário, pode ser considerada como um custo para a empresa.

Os custos operacionais são decorrentes das operações dos ativos, são os custos de produção somados às despesas gerais (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

2.3.1.1.1 Custos de produção

Os custos de produção são aqueles que ocorrem até a fabricação do produto e são classificados em variáveis e fixos. Os custos fixos normalmente não variam proporcionalmente à produção. São exemplos

os aluguéis e os salários da parte administrativa (WOILER; MATHIAS, 1996; CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010). Os custos variáveis aumentam ou diminuem de valor de acordo com o volume de produção, ou seja, são diretamente proporcionais à quantidade produzida. Podem-se citar como exemplos os custos com mão-de-obra, matéria-prima, transporte, energia e desgaste de equipamentos.

2.3.1.1.2 Despesas gerais

As despesas gerais são aquelas que mesmo importantes para a operação, não fazem parte da fabricação de um produto, incidindo após o mesmo ter sido fabricado (PAMPLONA, 1999; CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010). As despesas gerais, assim como os custos de produção, são classificadas em fixas e variáveis. São exemplos de despesas variáveis os gastos financeiros operacionais e as despesas com vendas. Já os impostos territoriais e prediais, bem como as despesas administrativas são exemplos de despesas gerais fixas.

2.3.1.2 Depreciação dos ativos imobilizados

Segundo Santa Catarina (2010), "para fins de cálculo do Imposto de Renda e apuração do resultado econômico, é permitido lançar como despesa a depreciação." A depreciação consiste no encargo periódico que determinados bens sofrem por uso, absolência ou desgaste natural. A taxa anual de depreciação dos ativos imobilizados de uma empresa - máquinas, equipamentos, veículos, instalações, entre outros - é fixada com base nos prazos de vida útil e nas taxas de depreciação constantes nos anexos I e II da Instrução Normativa da Secretaria da Receita Federal (SRF) n 162, de 31 de dezembro de 1998.

Assim, conforme consta na SRF, a taxa de depreciação aplicável a cada bem produtivo da empresa, é obtida mediante a divisão de 100% pelo prazo de vida útil, apurando-se assim a taxa a ser utilizada no período considerado (mês, trimestre ou ano).

Quando o bem (ativo imobilizado) chega a 100% de depreciação e ainda existir fisicamente, caso normal nas empresas, ele deixa de ser depreciado, mas só é baixado contabilmente quando for vendido, doado ou quando cessar sua utilidade para a empresa (PAMPLONA, 1999).

Deste modo, para fins de cálculo do fluxo de caixa de um empreendimento, é prática comum se estabelecer um valor residual aos ativos imobilizados. Segundo a Resolução do Conselho Federal de Contabilidade (CFC) N° 1.177 de julho de 2009, "valor residual é o

montante líquido que a entidade espera, com razoável segurança, obter por um ativo no fim de sua vida útil, deduzidos os custos esperados para sua venda”.

2.3.1.3 Receitas

A projeção das receitas decorre de um estudo de mercado, que em conjunto com as projeções das vendas, determina às quantidades e o preço unitário do produto que se pretende vender (WOILER; MATHIAIS, 1996). Assim, se uma empresa vai produzir um produto que já existe no mercado, os preços praticados dão uma boa avaliação para o projeto.

Ainda segundo Buarque (1984), as receitas do projeto são o fluxo de recursos financeiros que se recebe em cada ano da sua vida útil, direta ou indiretamente, devido às suas operações.

2.3.1.4 Investimentos

É um recurso com um fim de investir em projetos, máquinas equipamentos, melhorias, tornando o produto qualificado, visando recuperar o capital (Motta e Calôba, 2002).

O investimento é uma inversão de capital, que visa à criação de valor, recuperação do valor investido, mais uma rentabilidade de investimento (taxa de juros), com um determinado prazo (Motta e Calôba, 2002). Os autores afirmam que as pessoas não investem e sim poupam.

2.3.1.5 Fontes de recursos

Os investimentos necessitam de uma fonte monetária, que definirá qual o tipo de capital financiador do projeto. Estes capitais podem ser divididos entre próprios e/ou de terceiros. O capital próprio é o capital investido pela empresa patrocinadora no projeto, é a parcela monetária não financiada do projeto sob a forma de empréstimo. O capital de terceiros, ou capital financiado, é o capital proveniente de financiamento do agente financiador.

As principais instituições financiadoras que aportam recursos para entidades públicas ou privadas, responsáveis por sistemas de esgoto sanitário são: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), do Ministério das Cidades; Fundação Nacional da Saúde – FUNASA; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES;

Agência Nacional de Águas – ANA e o Ministério do Meio Ambiente (MMA)(SANEAMENTO, 2011)

2.3.1.6 Sistemas de amortização de dívidas

Segundo Casarotto e Kopittke (2010), “a disponibilidade de recursos é, sem dúvida, um fator imperativo para a concretização de um investimento”. Quando se é tomado um empréstimo para a concretização de um investimento, o valor desse empréstimo terá que ser restituído ao credor, com acréscimo de sua remuneração, que aparece na forma de juros.

A forma de devolução do principal (empréstimo) mais juros chama-se de “sistema de amortização”. Os sistemas de amortização mais usados pelas instituições financeiras são o Sistema Francês de Amortização (PRICE) e o Sistema de Amortização Constante (SAC) que serão detalhados a seguir.

2.3.1.6.1 Sistema Francês de Amortização–PRICE

Também conhecido como “Sistema Price” ou “Sistema de Prestação Constante” esse sistema é bastante utilizado no crédito direto ao consumidor e nas compras de prazos menores (PAMPLONA, 1999).

Neste sistema as prestações são constantes e a parcela de juros decresce com o tempo, enquanto que a parcela de amortização aumenta. A prestação é constituída da soma da amortização com os juros do período, como em todos os sistemas corretos de amortização (*Ibidem*).

Assim sendo, tem-se que:

$$p_k = (p - jk) + (iP_{k-1}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

p_k = prestação no período k

p = prestação

jk = juros no período k

i = taxa de juros

P_{k-1} = saldo devedor anterior

2.3.1.6.2 Sistema de Amortização Constante - SAC

Neste sistema, como as amortizações são constantes, seu valor pode ser encontrado dividindo-se o principal “P” pelo número de prestações “n”. Complementarmente, há a parcela de juros a ser paga, obtida pelo produto da taxa de juros cobrada “i” pelo saldo devedor do período “SD”, ou seja:

$$\text{Prestação} = \text{Amortização (P/n)} + \text{Juros (i x SD)}$$

Assim sendo, tem-se que:

$$P_1 = \frac{P}{n} + iP \quad (\text{Eq. 2})$$

Deste modo, a prestação apresenta um comportamento decrescente devido à redução linear do saldo devedor à taxa de P/n, até chegar a zero, reduzindo assim o montante de juros em cada parcela consecutiva.

2.3.1.6.3 *Período de carência*

Segundo Casarotto e Kopittke (2010), a carência é o período onde o tomador da dívida não realiza amortizações do principal, pagando apenas o valor dos juros incidente sobre seu saldo devedor, mantendo o principal constante até que seja iniciada a amortização do financiamento. A concessão de um período de carência é muito utilizada pelas instituições financeiras.

2.3.1.7 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa possibilita verificar o desempenho do projeto. De acordo com a NBR 14653-4 (ABNT, 2002, p.4), “fluxo de caixa é a série de receitas, custos e despesas de um empreendimento ao longo de um determinado período”.

A construção do fluxo de caixa de um projeto de investimento deve ser realizada para que o projeto possa ser analisado com vistas à tomada de decisão sobre a implantação ou não. O fluxo de caixa é implantado mediante estimação dos valores de entradas e saídas de recursos financeiros. (SOUZA, 2003, p.125).

O fluxo de caixa gerado pelas operações é uma das etapas mais relevantes para o estudo do fluxo de caixa da empresa, pois é a partir dele que a companhia irá buscar se financiar, através da captação de recursos com os acionistas e/ou com as instituições financeiras, para poder suprimir os retornos planejados no plano de investimento.

Assim, a projeção de fluxo de caixa da forma e planifica as expectativas de retorno econômico do novo negócio a ser implantado.

Cabe aqui destacar que o fluxo de caixa de uma alternativa de investimento pode ser apresentado sob diferentes formas, por exemplos, a preços constantes e a preços correntes.

Quando o fluxo de caixa é apresentado a preços constantes, os preços são de uma única data referencial, normalmente a data inicial do fluxo de caixa. Já em um fluxo de caixa a preços correntes, os preços são apresentados nas datas que ocorrem os valores do fluxo de caixa. A conversão de preços constantes para preços correntes é feita por indexadores que refletem a perda do poder aquisitivo provocado pela inflação.

2.3.1.7.1 Fluxo de caixa do empreendimento versus fluxo de caixa do acionista

Durante a análise do fluxo de caixa, deve-se levar em conta a diferenciação do resultado sob a perspectiva do empreendimento e do acionista (PAMPLONA, 1999).

O fluxo de caixa do empreendimento não leva em consideração os custos (juros) do financiamento e as despesas financeiras, amortizações (empréstimos) pagas devido ao financiamento, além desconsiderar o capital total investido no projeto, como se fosse utilizado apenas capital próprio, ou seja, obtêm-se a rentabilidade total do investimento (PAMPLONA, 1999; BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2007). Sob o ponto de vista do empreendimento é calculado o que ele gera de resultados independente da forma de financiamento.

Para os mesmos autores, o ponto de vista do acionista leva em consideração as despesas financeiras e amortizações pagas reduzindo o fluxo de caixa para os acionistas, e considera apenas o investimento feito pelos acionistas ou o capital próprio investido. É válido destacar que os juros do financiamento são dedutíveis para fins de Imposto de Renda, ao contrário da amortização, pois é interpretada como investimento.

Para Casarotto e Kopittke (2010), se o indicador escolhido para a análise da projeção do fluxo de caixa for a Taxa de Retorno, pode-se ter até três taxas em um projeto:

- a. Taxa de Retorno do Projeto, é a taxa de retorno de todos os recursos investidos envolvidos. Essa taxa é interessante para financiadores como indicador de capacidade de pagamento dos custos financeiros do empréstimo;
- b. Taxa de Retorno do Acionista, é a taxa de retorno dos recursos próprios alocados no projeto. Essa taxa interessa somente aos acionistas que investem no projeto;
- c. Taxa do Financiamento, é a taxa de juros dos recursos de terceiros, ou do financiamento.

Segundo Pamplona (1999), se a rentabilidade do empreendimento for maior que a taxa de juros do financiamento, ocorrerá o efeito da “alavancagem financeira positiva” fazendo com que a rentabilidade do acionista seja maior que a rentabilidade do projeto como um todo.

2.3.1.8 Taxa Mínima de Atratividade – TMA

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2010), para uma nova proposta de investimento ser atrativa, ela deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. Logo, a TMA é um valor referencial mínimo que o investidor estipula para o investimento de seu capital com o objetivo de verificar a viabilidade do projeto.

De acordo com Casarotto e Kopitteke (2002) a TMA auxilia na análise de uma proposta de investimento considerando a possibilidade de perda da oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos.

2.3.1.9 Métodos determinísticos de análise de investimentos

A utilização de métodos determinísticos (indicadores econômicos) possibilita uma verificação mais apurada do investimento, bem como a realização de comparações com alternativas de investimento. Os seguintes métodos serão detalhados:

- Valor Presente Líquido (VPL);

- Taxa Interna de Retorno (TIR);
- *Payback*Original;
- *Payback* Descontado.

2.3.1.9.1 Valor Presente Líquido – VPL

Este indicador pode ser descrito, algebricamente, como o somatório dos fluxos de caixa descontados da taxa mínima de retorno. Como se considera o valor do dinheiro no tempo, não se pode somar diretamente os fluxos de caixa (quantias investidas e recebidas) sem antes ajustá-los a essa taxa de desconto.

Para melhor compreensão, este indicador é representado pela (Eq. 3):

$$VPL = \frac{FC0}{(1+i)^0} + \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \frac{FC4}{(1+i)^4} + (...) + \frac{FCn}{(1+i)^n} \text{ (Eq. 3)}$$

Onde:

FC = Representam os retornos gerados (positivos ou negativos);

i = Taxa mínima de atratividade do investimento (desconto).

Percebe-se assim que se o indicador apresentar um valor igual ou maior que zero, o investimento será considerado atraente. Portanto, ao se analisar o valor presente líquido de um empreendimento, ele não significa um resultado econômico final, mas sim um valor econômico comparativo a taxa mínima de atratividade determinada. Dessa forma, quando se obtém um resultado igual ao valor zero no cálculo deste indicador, isto significa que o empreendimento não só pagou os valores investidos como também proporcionou um lucro exatamente igual à TMA estipulada.

Pode-se citar como as principais vantagens do VPL:

-a sua consistência matemática, por trabalhar com fluxo de caixa descontado;

-a apresentação uma de valor em espécie (R\$);

-considera o valor do dinheiro no tempo.

Todavia, este indicador possui como desvantagens a impossibilidade de comparação em termos de taxa e a dificuldade de identificação da taxa de desconto a ser utilizada, devido à subjetividade de critério da sua escolha.

2.3.1.9.2 *Taxa Interna de Retorno – TIR*

A TIR representa a taxa de juros que torna nulo o Valor Presente Líquido de um determinado investimento, pois ela iguala os fluxos de caixa de entrada com os fluxos de caixa de saída. A NBR 14653-4 (ABNT, 2002), refere-se à TIR, como sendo a taxa de juros que anula o fluxo de caixa descontado de um investimento. Casarotto Filho e Kopittke (2010) afirmam que o método TIR requer o cálculo da taxa que zera os valores presentes dos fluxos de caixa das alternativas.

Assim, este indicador pode ser obtido pela mesma fórmula do VPL, deixando como variável a taxa de juros (de desconto), conforme a fórmula abaixo:

$$\text{ZERO} = \frac{\text{FC}_0}{(1 + \text{TIR})^0} + \frac{\text{FC}_1}{(1 + \text{TIR})^1} + \frac{\text{FC}_2}{(1 + \text{TIR})^2} + \frac{\text{FC}_3}{(1 + \text{TIR})^3} + (\dots) + \frac{\text{FC}_n}{(1 + \text{TIR})^n} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

FC = Representam os retornos gerados (positivos ou negativos);

TIR = Taxa interna de retorno.

Um investimento é considerado atraente quando apresentar uma TIR maior ou igual à TMA. Assim, investimentos em que a TIR for maior que a TMA estipulada são considerados rentáveis, e, portanto, passíveis de serem analisados, o inverso torna o projeto inviável frente à margem de ganho pretendida. Todavia, não é um bom critério de classificação nas comparações de projetos com valores investidos diferentes, o melhor método para comparar projetos é o VPL, que representa uma medida absoluta de valor em moeda (R\$).

Portanto, a TIR é melhor utilizada como critério para auxiliar o VPL na tomada de decisão.

2.3.1.9.3 *Payback Original*

Também conhecido como tempo de recuperação do capital, o payback tem como função calcular o tempo de retorno de um

investimento. Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2009) é o principal método não exato e mede o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial. É o indicador que registra o tempo médio, em anos, necessário para que os fluxos de caixa (desembolso) se equiparem ao valor do investimento inicial do projeto.

A NBR 14653-4 (ABNT, 2002), define o *pay-back* como sendo o período no qual os resultados líquidos acumulados da operação do empreendimento equivalem aos investimentos. Segundo Kassaiet al. (2000), um projeto com *payback* menor do que outro indica que o mesmo tem menor grau de risco, logo o *payback* é mais uma medida de risco do que propriamente de retorno de investimento. O *payback* é definido pela (Eq. 5):

$$\text{Payback} = \frac{\text{Valor do Investimento}}{\text{Valor dos Fluxos de Caixa}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Porém, este indicador desconsidera aspectos importantes, tais como: a vida do investimento; sua aplicação pode ser distorcida quando o investimento inicial se der por mais de um ano; quando os projetos em comparação tiverem investimentos iniciais diferentes, e, o valor do dinheiro no tempo, pois não se baseia em valores descontados (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2009; SANVICENTE, 1987).

A utilização deste método é bem aceita em projetos com limitação de capital, ou seja, quando o investidor leva em consideração não a maior lucratividade possível de se obter a partir de certo investimento, mas sim, o tempo mínimo para a recuperação do capital, pois, por exemplo, se a recuperação não ocorrer nos primeiros períodos, o projeto dificilmente terá sucesso posterior ao investimento.

Assim, apesar deste indicador não ser muito exato, ele é útil para complementar a análise de risco de um projeto.

2.3.1.9.4 *Payback Descontado*

Considerando a falha do *Payback* Original, de não considerar o valor do dinheiro no tempo, é recomendável verificar qual é o prazo de recuperação do capital por meio de um fluxo de caixa descontado, assim como acontece no cálculo do VPL (KASSAI et al.; 2000).

Logo, o *Payback* Descontado é semelhante ao *Payback* Original, com a diferença de que os valores são trazidos em moeda ao período zero pela taxa mínima de atratividade, proporcionando uma

análise mais elaborada, apesar de manter as outras falhas da versão original. O *payback* descontado é definido pela (Eq. 6) abaixo:

$$FCD(t) = -I + \sum_{j=i}^t \frac{(R_j - C_j)}{(1+i)^j}; \quad I \leq t \leq n \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

FDC (t) = é o valor presente do capital, ou seja, o fluxo de caixa descontado para o valor presente cumulativo até o instante t;

I = é o investimento inicial (em módulo), ou seja, -I é o valor algébrico do investimento, localizado no instante 0 (início do primeiro período);

R_j = é a receita proveniente do ano j;

C_j = é o custo proveniente do ano j;

i = é a taxa de juros empregada; e

j = é o índice genérico que representa os períodos j = 1 a t

2.3.1.10 Estudos de abordagem econômica na disposição final do lodo

Na busca por referências que abordam o mesmo tema deste trabalho, foi possível observar que, até o momento, as pesquisas e estudos relacionados ao reaproveitamento do lodo de esgoto no Brasil são recentes e que a maioria está relacionada ao uso do lodo na agricultura. Todavia, três trabalhos aproximaram-se mais ao tema deste projeto de pesquisa, servindo de material auxiliar ao longo da sua elaboração, são eles: o de Silva (2009), o de Lima (2010) e o de Prim (2011).

O estudo realizado por Silva (2009) consistiu numa comparação econômica entre dois processos para o tratamento do lodo: digestão anaeróbia e estabilização química com cal. Foram pesquisados os custos de investimento e os custos operacionais de pessoal, produtos químicos, energia elétrica, manutenção e disposição final para cada um dos processos. Ao término de seu estudo o autor utilizou o método do valor presente com meio de comparação econômica entre os processos de tratamento. Com o trabalho de Silva (2009) foi possível definir, de um modo geral, quais custos de investimento e operacionais, da etapa de estabilização alcalina do lodo da ETE Insular, deveriam ser considerados.

A pesquisa de Lima (2010) teve por objetivo avaliar a secagem e higienização em estufa agrícola de excesso de lodo ativado gerado em estações de tratamento de esgoto que tratam esgoto doméstico, e a partir dos resultados, estimar a área e o custo de investimentos necessários para a instalação da estufa.

Prim (2011) comprovou a viabilidade econômica do uso do lodo de estações de tratamento de água e esgoto como material de cobertura intermediária de aterro sanitário através de métodos de engenharia econômica. Os métodos adotados pela autora foram os seguintes: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *payback* original. A técnica em pauta no seu trabalho foi confrontada com a proposta de disposição do lodo como resíduo e mostrou-se mais vantajosa em todos os critérios de decisão escolhidos. Os principais métodos adotados pela autora e relevantes para este projeto de pesquisa foram: definição dos indicadores econômicos para a realização da avaliação econômica; coleta de dados e informações para a construção do fluxo de caixa da proposta de estudo; tratamento dos dados obtidos para a caracterização do empreendimento e identificação dos custos, investimentos e receitas relacionadas ao mesmo e, por fim, aplicação dos indicadores econômicos adotados na construção dos fluxos de caixa da proposta em questão.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para a análise da viabilidade econômica da proposta de aproveitamento do lodo de esgoto como material de cobertura de aterro sanitário. Inicialmente realiza-se uma breve explanação das principais especificações e resultados da pesquisa de Pimentel (2012), principal referência deste trabalho. Posteriormente, descreve-se a ETE Insular (área de estudo), o seu processo de tratamento e os parâmetros de projeto utilizados. Em seguida, os seguintes itens são detalhados: definição do cenário de avaliação; processo de aplicação do lodo em cobertura; levantamento dos custos envolvidos para a aquisição e a aplicação do lodo tratado como material de cobertura por parte do aterro sanitário e estimativa dos custos e das receitas decorrentes do processo de estabilização alcalina em estufa agrícola do lodo, considerando sua aplicação posterior em coberturas de aterros para o cenário considerado. Por fim, os dados definidos e informações coletadas necessárias para a estruturação e análise do fluxo de caixa do investimento são apresentados, para, posteriormente, expor os resultados encontrados para o investimento em pauta com base nos seguintes métodos determinísticos de engenharia econômica apresentados na seção 2.3.1.9: VPL, TIR e *Payback* descontado.

3.1 CONTEXTO DA PESQUISA

A estabilização alcalina com cal virgem (CaO) com posterior secagem em estufa agrícola foi o processo adotado por Pimentel (2012) para tratar o lodo da ETE Insular visando a sua aplicação como material alternativo de camada de cobertura de aterro sanitário. A aplicação destes métodos, conforme explicado nos itens 2.1.3.1 e 2.1.3.2, acarretam a estabilização, desidratação e higienização do lodo devido à, basicamente, quatro fatores, são eles: elevação da temperatura em função da reação química exotérmica entre CaO e a água; elevação do pH a valores próximos a 12; formação de amônia gasosa e redução da umidade.

O objetivo da realização deste tratamento é o enquadramento do lodo na Classe B estabelecida pela Resolução nº375 de 2006 do CONAMA e nos padrões de umidade e estabilidade requeridos em coberturas de aterros, ou seja, pelo menos 50% de ST (GRIFFIN *et al.*, 1998) e estabilizado com teor de SV/ST abaixo de 40% (GRANATO, 2011; SIMMONS, 2003; PIETZ *et al.*, 1996 *apud* PIMENTEL, 2012).

O processo de caleação foi realizado segundo as especificações da Resolução nº375/2006 do Conama. Esta resolução explicita que a porcentagem de cal com relação ao ST do lodo, durante o processo de higienização do lodo, deve ser suficiente para elevar o pH a valores próximos a 12, por um período mínimo de 2 horas, e manter acima de 11,5, por mais de 22 horas.

Os principais resultados relevantes para o presente trabalho foram os seguintes:

- A porcentagem de cal ideal para satisfazer as exigências legais de higienização e atratividade de vetores é de 30% em relação à massa seca de lodo;
- Uma altura de até 15 cm é recomendável considerando a secagem do lodo em estufa e reviramento de três vezes por semana para a otimização do decaimento da umidade ao longo do tempo;
- A secagem em estufa agrícola sem a adição de cal seria suficiente para atingir os requisitos da Resolução 357/2006 do Conama (padrão Classe B, considerando a secagem do lodo até níveis acima de 90% de ST), possibilitando o uso agrícola do lodo. Contudo, Pimentel (2012) ressalta que para a aplicação do lodo da ETE Insular em coberturas de aterro sanitário é necessário a adição de cal para atingir a concentração de sólidos voláteis (SV/ST) requerida para este fim e, também, para minimizar a geração de odores;
- Os traços estudados de solo:lodo não devem ser utilizados em camadas impermeáveis de cobertura, em camadas drenantes e de fundação (coletora de gases). Contudo, recomenda-se a utilização dos traços de 1:1, com 30% de cal, nas coberturas finais e nas camadas superficiais (vegetativas). Nas camadas de proteção o traço 1:2,33 com 30% de cal é recomendável para coberturas diárias e intermediárias.

3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada nas proximidades da Ponte Pedro Ivo Campos, no município de Florianópolis (SC), bairro Centro, aterro da Baía Sul, a ETE Insular foi inaugurada em 3 de outubro de 1997 e foi projetada para atender 150.000 habitantes, vazão média de projeto equivalente a 248 L/s (TREVISAN, 2012a). Atualmente, a estação que é operada e mantida pela Companhia Catarinense de Água e Saneamento

(CASAN), abrange 5 bacias, sendo que uma delas está em fase de ampliação (VICTORETTE, 2012). Na Figura 7 a seguir está detalhada a localização da ETE.

Figura 7: Município de Florianópolis com localização aproximada da ETE Insular e ao lado a ETE



Fonte: Google Earth (2012); CASAN (2012)

O volume de lodo gerado na ETE Insular foi definido com base em valores de produção diária, mínima e máxima, de lodo em condições normais de operação da estação, e o custo para a sua destinação final através da verificação da tarifa paga atualmente, por m³ de lodo desidratado, para a Proactiva – empresa responsável pelo aterro sanitário de Tijuquinhas, em Biguaçu, a aproximadamente 38 km da estação Insular, para onde o lodo é atualmente destinado. Ambos os dados foram repassados pela CASAN.

A produção diária de lodo da ETE Insular varia de acordo com a época do ano e com o controle operacional do sistema. Contudo, considerou-se adequado adotar o volume máximo diário de produção, pois esse dado foi utilizado para o dimensionamento das máquinas e dos equipamentos.

A seguir detalha-se o sistema de tratamento da estação Insular para melhor entendimento das questões pertinentes ao contexto envolvido neste trabalho.

3.2.1 Sistema de tratamento da ETE

O sistema de tratamento adotado pela CASAN para tratar os esgotos sanitários que chegam à ETE Insular é lodos ativados, modalidade de aeração prolongada, (CASAN, 2012). A denominação lodo ativado, ou lodo biológico, é decorrente da atuação e crescimento

de microrganismos específicos na presença de oxigênio dissolvido e agitação mecânica. Essa fase líquida do tratamento objetiva a remoção de matéria orgânica biodegradável presente nos esgotos. O efluente final gerado nesta fase do tratamento é lançado na Baía Sul por meio de um emissário submarino (CASAN, 2012).

As unidades de tratamento da fase líquida e sólida da ETE insular são apresentadas de maneira resumida no Quadro 3.

Quadro 3: Etapas de tratamento da ETE Insular.

| | | |
|----------------------------------|--------------------------|--|
| Tratamento Fase Líquida | Pré-tratamento | Gradeamento (2 grades mecanizadas tipo cremalheira). |
| | | Calha Parshall (medição de vazão) |
| | | Desarenação gravimétrica (remoção da areia) |
| | Tratamento Secundário | Seletor Biológico |
| | | Câmara de desnitrificação |
| | | Tanques de aeração de mistura completa |
| | Decantadores secundários | |
| Desinfecção | Desinfecção do Efluente | |
| Tratamento da Fase Sólida | Adensamento | Unidade composta por dois tanques de armazenamento e adensamento de lodo de modo gravimétrico, com removedor mecânico. A função desta unidade é reduzir a quantidade de água contida no lodo sedimentado nos decantadores. |
| | Centrífugas | Pré-condicionamento químico de lodo adensado, com suspensão de cal e de solução de polieletrólito catiônico e posterior encaminhamento às centrífugas. |

Fonte: Adaptado de Pimentel (2012)

Os sólidos grosseiros e a areia retidos na etapa de pré-tratamento do efluente (gradeamento e desarenação gravimétrica) são posteriormente encaminhados ao aterro sanitário. Já os sólidos formados nos decantadores secundários (lodo biológico) retornam para o tanque de aeração a fim de inoculá-lo com microorganismos estabilizadores de matéria orgânica. A parcela excedente deste lodo é constantemente retirada para manter o equilíbrio do sistema e, subsequentemente, encaminhada para unidades de adensamento e desidratação, compostas, respectivamente, de dois tanques adensadores e de duas centrífugas.

Após estas etapas de tratamento, os subprodutos sólidos são transformados em uma torta de lodo (lodo desidratado), a qual é transportada e disposta no aterro sanitário de Tijuquinhas.

O transporte da torta de lodo que sai das centrífugas até o interior do caminhão da Proactiva é realizado através de uma rosca transportadora acoplada entre as mesmas.

3.2.2 Parâmetros de projeto utilizados

A projeção populacional utilizada pela CASAN e a produção *per capita* de sólidos, calculada pela (Eq.7), foram itens fundamentais para a realização deste trabalho, já que todas as estimativas (área e custo do investimento, receita decorrente do tratamento, etc.) tiveram por base a projeção de produção de lodo (população estimada para o ano de análise multiplicada pela produção *per capita* de lodo) considerando a projeção populacional utilizada pela CASAN e a produção *per capita* atual de lodo.

Segundo Fernandes (2011) e Lima (2011), este método é adequado para fazer a projeção de produção futura para a população que se deseja estimar, desde que o processo de tratamento da fase líquida não sofra mudanças, pois a taxa de produção de lodo depende da tecnologia de tratamento da fase líquida. Como dito anteriormente, uma das bacias atendidas pela ETE Insular encontra-se em fase de ampliação, de forma que a projeção populacional repassada pela CASAN já considera esta informação.

Os parâmetros de projeto utilizados foram: projeção populacional, após a expansão da rede; população atual de contribuição; produção atual de lodo; umidade inicial da torta de lodo; massa específica da torta de lodo e produção *per capita* de sólidos. O Quadro 4 resume os parâmetros de projeto da CASAN utilizados no trabalho com as suas respectivas referências.

$$Ppl = \frac{Pl}{Pc} \quad (\text{Eq. 7})$$

Ppl= produção *per capita* de lodo (m³/hab/dia)

Pc= população de contribuição (hab.)

Pl = produção atual de lodo (m³)

Quadro 4: Parâmetros de projetoda ETE Insular

| Descrição | Referência |
|--|--|
| Projeção populacional de 2013 à 2022 (hab.) | Trevisan (2011) |
| Produção atual de lodo (m ³ /dia) | Fornari Filho, 2010, <i>apud</i> Pimentel (2012) |
| Forma de geração de lodo (h/dia) | Trevisan (2012d) |
| Umidade inicial da torta de lodo (%) | Pimentel (2012) |
| Massa específica da torta de lodo (kg/m ³) | Pimentel (2011b) |
| População atual de contribuição (hab.) | Fornari Filho, 2010 <i>apud</i> Pimentel (2012) |
| Produção <i>per capita</i> de lodo (m ³ /hab/dia) | Autora (2011) |

Fonte: Autora(2011)

3.3 DEFINIÇÃO DO CENÁRIO DE AVALIAÇÃO

O cenário de avaliação foi definido após as seguintes etapas: estimativa das áreas necessárias para a estabilização alcalina do lodo em estufa agrícola, considerando os estudos de Pimentel (2012) e Lima (2010); análise da área útil disponível na ETE Insular e análise das vantagens e desvantagens de se instalar a estabilização alcalina no mesmo local da estufa agrícola. Cabe aqui destacar, que, neste trabalho, quando se fala em estabilização alcalina do lodo, refere-se ao processo de mistura e homogeneização do lodo com a cal virgem, não significando que o processo de estabilização termina após a mistura da torta de lodo com a cal, pois este processo continua na estufa agrícola com a cura da mistura lodo/cal.

A estação não possui área útil disponível para a implantação de ambos os processos de tratamento e nem algum outro local onde possa ser implantado o tratamento proposto por Pimentel (2012). Deste modo, foi feito um levantamento de terrenos disponíveis para locação em três

imobiliárias da região da grande Florianópolis, são elas: Guerreiro Imóveis, Brognoli Negócios Imobiliários e Giacomelli Imóveis Ltda.

Nenhuma das imobiliárias contatadas possuía terreno com a metragem necessária para a instalação do projeto. Todavia, a Brognoli Negócios Imobiliários possui um terreno na área industrial de Biguaçu (ver Figura 8) com área aproximada ao valor necessário para a instalação do processo de tratamento, além de condizer com a realidade logística deste estudo de caso, pois o terreno se localiza a aproximadamente 19km do aterro de Tijuquinhas e a 24km da ETE Insular. Assim, foi feito uma estimativa de custo do aluguel da área com base na área atualmente disponível para locação e no valor do aluguel mensal atual do terreno repassados por esta imobiliária:

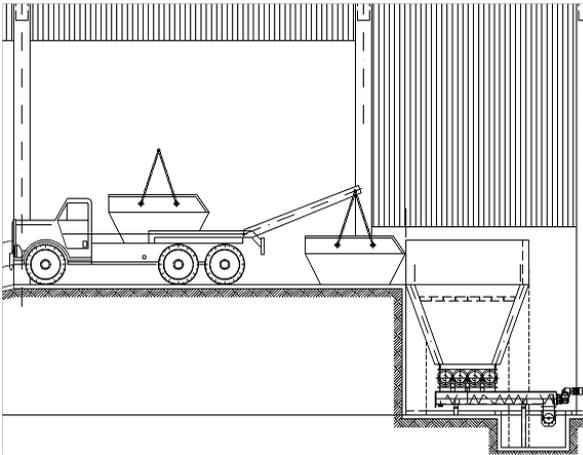
Figura 8: Área do terreno definido



Fonte: Autora (2012)

Inicialmente, optou-se por instalar o processo de estabilização alcalina juntamente com a estufa agrícola, pois se pensava que assim os custos decorrentes do tratamento seriam menores, já que ao se adicionar cal ao lodo desidratado o volume de lodo a ser transportado aumentaria. Todavia, pelo fato de o sistema de tratamento de lodo proposto não poder ser instalado em contínuo com a saída do tratamento da fase sólida da ETE Insular (logo após a rosca transportadora de lodo acoplada às centrífugas), caso ambas as etapas de tratamento (estabilização alcalina e estufa agrícola) fossem instaladas no local definido, haveria a necessidade de uma moega receptora de lodo (ver Figura 9), que possibilitaria a realização do tratamento de modo contínuo.

Figura 9: Moega receptora de lodo



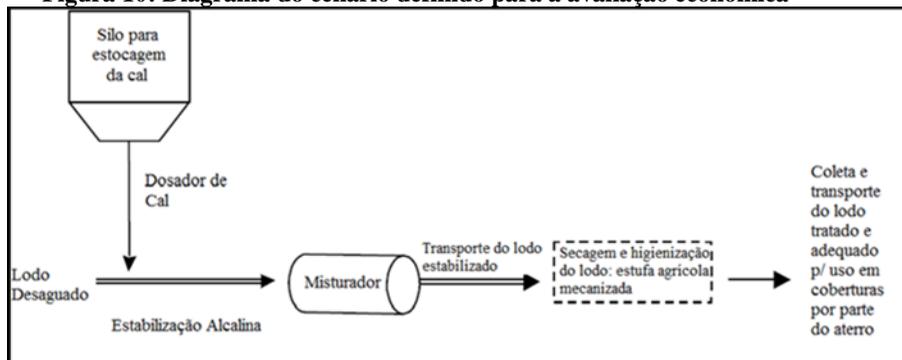
Fonte: Adaptado de MF Carneiro Ltda. (2012)

Assim, verificou-se, mediante cálculos em planilha Excel, que, caso esse cenário de avaliação fosse definido, os custos de investimento, de manutenção e de operação seriam maiores, pois apenas a moega receptora de lodo custaria em torno de R\$400.000,00 reais (MF Carneiro Ltda., 2012). A melhor solução encontrada, para o caso específico da ETE Insular, foi considerar que a etapa da estabilização alcalina do lodo será implantada em contínuo com o sistema de tratamento da fase sólida da estação, já que a demanda de área para esta fase do tratamento é pequena (em torno de 80 m²), além de ter apresentado um acréscimo não significativo ao volume total de lodo desidratado a ser transportado por dia, enquanto que só o custo de manutenção da moega ficaria em torno de R\$1.600,00 reais por mês, (MF Carneiro Ltda., 2012). Dessa forma, o seguinte cenário para a avaliação econômica foi definido:

A estabilização alcalina do lodo será feita no próprio local da ETE Insular, em contínuo com o sistema de desidratação atualmente existente (ver Figura 11). Após o lodo ser misturado com cal na estação, ele será transportado pela CASAN até o local onde a estufa estará instalada (terreno na área industrial de Biguaçu, Figura 8) para realizar a secagem e higienização do lodo. O lodo processado será coletado e transportado ao aterro sanitário mais próximo da região (Tijuquinhas), mediante pagamento, pela empresa responsável pelo aterro (Proactiva), onde será descarregado e misturado com a argila existente no aterro, para garantir as condições geotécnicas exigidas para a sua aplicação como cobertura diária, intermediária e final.

A Figura 10 mostra o diagrama do cenário definido para a avaliação econômica

Figura 10: Diagrama do cenário definido para a avaliação econômica



Fonte: Autora (2011)

Figura 11: Local estabilização alcalina do lodo



Fonte: Autora (2012)

3.4 APLICAÇÃO DO LODO EM COBERTURA

Conforme 2.2.2 (Lodo de esgoto como material de cobertura de aterro), para o lodo processado poder ser utilizado como material de cobertura de aterro sanitário, ele ainda deverá ser misturado com algum aditivo, geralmente solo, para garantir as condições geotécnicas exigidas

para a cobertura de aterros, além de deixar o biossólido com melhor trabalhabilidade para os operadores dos aterros (PIMENTEL, 2012). Assim, após a Proactiva dispor o lodo tratado no aterro, ele deverá ser misturado com a argila já existente no local, nas seguintes proporções, segundo resultados obtidos na pesquisa de Pimentel (2012) e apresentados no Item 3.1:

- Mistura argila:lodo na proporção de 1:1, caso o material alternativo vá ser utilizado como cobertura final nas camadas superficiais (vegetativas) e camadas de proteção;
- Mistura argila:lodo na proporção 1:2,33 para aplicação posterior do lodo em coberturas diárias e intermediárias

O processo de descarregamento do lodo tratado no aterro, sua mistura com a argila e posterior aplicação em cobertura, será realizado conforme a Figura 6.

3.5 LEVANTAMENTO DOS CUSTOS ENVOLVIDOS PARA A AQUISIÇÃO E APLICAÇÃO DO LODO TRATADO COMO MATERIAL DE COBERTURA POR PARTE DO ATERRO

Após a definição do aterro sanitário para onde o lodo tratado será destinado, buscou-se, junto a esta empresa, verificar qual o custo pago pelo material de cobertura diária e intermediária utilizado no aterro e quais máquinas são utilizadas no sistema de cobertura, a fim de verificar se haveria a possibilidade de se estabelecer um preço para o lodo tratado e quais seriam os custos para aplicação do lodo como material de cobertura, e, também, buscar definir quem subsidiaria o transporte do material alternativo, a CASAN ou a Proactiva,

Estes dados foram coletados junto ao Gerente Técnico Operacional da Proactiva Meio Ambiente Brasil Ltda, Sérgio do Couto Bittencourt.

3.6 ESTIMATIVA DOS CUSTOS E DAS RECEITAS DECORRENTES DA ESTABILIZAÇÃO ALCALINA EM ESTUFA AGRÍCOLA DO LODO PARA POSTERIOR APLICAÇÃO EM ATERRO

A estimativa dos custos e das receitas decorrentes da estabilização alcalina em estufa agrícola foi estabelecida ponderando-se os resultados obtidos na pesquisa de Pimentel (2012) quanto às

condições ideais de caleação de lodo de esgoto em estufa agrícola, dados de projeto da ETE Insular, dados levantados e pesquisados pela autora, dados fornecidos por técnicos e pesquisadores de empresas que já possuem alguma técnica de tratamento instalada em suas dependências, e, por fim, contato com fornecedores das máquinas e equipamentos necessários para este processo de tratamento.

As principais referências utilizadas foram:

- Pimentel (2012): para definição das condições ideais da caleação do lodo em estufa agrícola;
- ETE Belém da SANEPAR: para definição da logística e operação geral do sistema, devido à similaridade de certos processos de tratamento (lodos ativados de aeração prolongada, estabilização alcalina e pátio de cura);
- MF CARNEIRO LTDA: estimativa dos custos de investimento, manutenção e operação dos equipamentos de estabilização alcalina;
- Lima (2010): para a realização do dimensionamento da estufa, e, também, como fonte de referência para o estabelecimento de uma parceria com uma empresa especializada em fabricação e montagem de estufas.
- VAN DER HOEVEN ESTUFAS AGRÍCOLAS E GALVANIZAÇÃO À FOGO: para a estimativa dos custos de investimento da estufa agrícola.

Na avaliação, levou-se em consideração o enquadramento do lodo na Classe B, de acordo com a Resolução n° 375 do CONAMA (BRASIL, 2006), e nos padrões de umidade e estabilidade requeridos em coberturas de aterros, ou seja, pelo menos 50% de ST (GRIFFIN *et al.*, 1998) e estabilizado com teor de SV/ST abaixo de 40% (GRANATO, 2011; SIMMONS, 2003; PIETZ *et al.*, 1996 *apud* PIMENTEL, 2012), especificações citadas por Pimentel (2012) para que o lodo da ETE Insular possa ser utilizado como cobertura de aterro.

Aspectos como a operacionalização e logística do sistema; otimização da área do empreendimento, e o volume final do biossólido após o tratamento, foram avaliados.

Assim, foi possível definir a quantidade de cal a ser adicionada ao lodo desidratado, os equipamentos necessários para a instalação do tratamento, a forma de disposição e tempo de secagem do lodo na estufa, o período de revolvimento, os teores de ST inicial e final do

tratamento, o volume de lodo caleado (estabilizado com cal) a ser encaminhado para a estufa, o volume final de lodo após a estabilização alcalina em estufa agrícola e consequente estimativa da receita devido ao tratamento.

A seguir, detalham-se como foram estimadas as áreas de cada etapa do tratamento e os seus custos de investimento, sendo que os custos operacionais e as receitas serão detalhados no decorrer da apresentação dos resultados.

3.6.1 Estimativa da área e do custo de investimento da estabilização alcalina

Para a aplicação do lodo em coberturas de aterro a adição de cal é necessária para atingir a concentração de sólidos voláteis (SV/ST) requerida para este fim e para minimizar o efeito de emanção de odores (PIMENTEL, 2012). Assim, citando o mesmo autor, “a quantidade de cal para satisfazer as exigências legais de higienização e atratividade de vetores é de 30% de cal em relação à massa seca de lodo”. De posse dessa informação, realizou-se uma pesquisa de mercado a fim de se verificar que empresas comercializam cal virgem para a região da Grande Florianópolis, que foi a cal utilizada na pesquisa do autor citado.

A cal adotada para ser utilizada no tratamento, das empresas contatadas, foi a cal virgem comum (CV-C) da Cal Cem Indústria Ltda. (Colombo-PR), pois ela é revendida pelas lojas Casas da Água Materiais de Construção, havendo uma loja instalada nas proximidades da ETE Insular.

Feito isso, procedeu-se à realização do cálculo (Eq.8) da massa de cal (MC) necessária por dia, estimada para o ano de 2022, a ser adicionada ao lodo desidratado da estação Insular, considerando o grau de pureza médio da cal, o teor de umidade inicial do lodo desidratado, a massa de lodo projetada para o último ano do período de análise e o percentual de cal (30% em relação à massa seca do lodo desidratado) a ser adicionada.

$$Mc = [(Ml \times (1 - U)) \times PC] \div GPC \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

Mc = massa de cal impura necessária por dia(kg);

Ml= massa de lodo desidratado por dia(kg);

U = umidade do lodo desidratado (relação entre massa de água e massa total de lodo – adimensional)

PC = percentual de cal (em relação ao peso seco do lodo) desejado (%);

GPC = grau de pureza da cal (relação entre massa de CaO e a massa total de cal – adimensional).

A massa de lodo desidratado gerada por dia é calculada através da Eq. 9:

$$Ml = Vl * \rho l \quad (\text{Eq. 9})$$

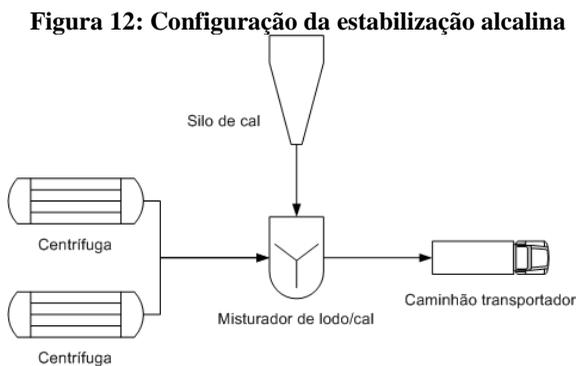
Onde:

Ml = massa de lodo desidratado gerado por dia (kg);

Vl = volume de lodo desidratado por dia (m³);

ρl = massa específica do lodo desidratado (kg/m³);

Após definida a massa de cal necessária por dia estimada para o ano de 2022, buscou-se definir a melhor configuração desta etapa do tratamento, considerando os equipamentos de desidratação do lodo existentes na ETE Insular a forma com que o lodo é gerado e os equipamentos tipicamente utilizados para a estabilização alcalina do lodo (ver Item 2.1.3.1). A conformação determinada é detalhada na Figura 12.



Fonte: Autora (2012)

Feito isso, realizou-se contato com empresa especializada na montagem completa de caleação de lodo (MF Carneiro Ltda.) para que

se avaliasse os custos necessários para a instalação da estabilização alcalina no cenário definido.

Cabe aqui destacar, que no custo de investimento da estabilização alcalina, seguindo as recomendações de Andreoli (2012), a compra de equipamentos de reserva, para o caso de manutenção e eventuais quebras, foram considerados.

Os dados repassados à empresa foram:

- Geração diária e horária de lodo desidratado;
- Massa de cal necessária por dia, considerando seu grau de pureza;
- Volume de cal necessário por dia e por hora;
- Umidade inicial da torta de lodo;

O volume de cal necessário por dia foi calculado através da Eq.10:

$$Vc = Mc/\rho c \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

Vc = volume de cal necessário por dia (m^3);

Mc = massa de cal necessária por dia (m^3);

ρc = massa específica da cal ($1000 \text{ kg}/m^3$);

Após levantado quais seriam os equipamentos e máquinas necessários para a realização da estabilização alcalina, estimou-se a área requerida para a instalação desta etapa do tratamento com o próprio fornecedor.

3.6.2 Estimativa da área e do custo de investimento da estufa agrícola

Para o cálculo do dimensionamento da estufa agrícola, foram utilizadas as seguintes condições definidas por Pimentel (2012): tempo de secagem na estufa de 42 dias, que é uma estimativa de tempo que o lodo levaria para secar até 50% na pior época do ano, para uma altura de 15 cm, com base nos resultados obtidos no Ciclo 1 da pesquisa do referido autor; disposição do lodo na estufa com altura de 15 cm e

período de revolvimento de 3 vezes por semana, para que o decaimento de umidade ao longo do tempo seja otimizado.

Primeiramente, fixou-se uma largura (35 m) e o período de revolvimento a cada três dias, de modo que a cada intervalo de tempo de três dias será realizada uma reorganização do lodo nas células da estufa devido à diminuição do volume. Os resultados apresentados no Apêndice D da Dissertação de Mestrado de Pimentel (2012), referente aos sólidos para o segundo monitoramento (Ciclo 2) foram utilizados para definir a variação do teor de sólidos totais (ST), teor de sólidos totais voláteis (SV) e teor de sólidos totais fixos (STF), ao longo do tempo. É válido destacar que o Ciclo 2 foi escolhido por ter mais dados no período avaliado, resultando numa maior precisão no comportamento da secagem ao longo tempo. Contudo, como margem de segurança, devido às épocas do ano em que o lodo demora mais para secar, adotou-se o tempo que o lodo demora para atingir 50% de ST no 1º monitoramento: 42 dias

Para calcular a redução do volume de lodo caledado, estimado para o ano de 2022, a ser submetido à secagem na estufa, utilizaram-se as equações 11, 12 e 14 sugeridas por Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003), considerando a densidade específica de sólidos fixos do lodo de 2,5 e de sólidos voláteis de 1,0, segundo os mesmos autores, e a Eq.13 para o cálculo da massa seca de lodo e de cal estimada para o ano de 2022.

A Eq. 11 foi usada para calcular a densidade dos sólidos do lodo; a Eq. 12, para determinar a densidade do lodo, que é função das frações de sólidos (ST) e água, contidas no material e, finalmente, a Eq.14 foi usada para calcular o volume de lodo misturado com cal em função das características físicas do material (teor de umidade e sólidos).

Cálculo da densidade dos sólidos do lodo:

$$\frac{1}{S_s} = \frac{(SF/ST)}{2,5} + \frac{(SV/ST)}{1,0} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

S_s = densidade dos sólidos do lodo

SF= sólidos totais fixos

ST = sólidos totais

SV = sólidos totais voláteis

Cálculo da densidade do lodo:

$$\frac{1}{Ssl} = \frac{FSl}{Ss} + \frac{FAI}{\rho w} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

Ssl = densidade do lodo

Ss= densidade dos sólidos do lodo

FSl = fração de sólidos no lodo (ST), em decimais

FAI = fração de água no lodo (1-ST), em decimais

ρw = densidade da água (1,0)

Cálculo da massa seca de lodo e de cal estimada para o ano de 2022:

$$Ms = (1 - U) * Ml + Mc \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde:

Ms = massa seca de lodo e de cal (kg)

U = umidade do lodo desidratado (%)

Ml= massa de lodo desidratado por dia(kg)

Mc = massa de cal necessária por dia(kg)

Cálculo do volume de lodo caleado:

$$V = \frac{Ms}{\rho w * Ssl * Ps} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

V = volume de lodo caleado (m³);

Ms= massa de sólidos totais (kg);

ρw = massa específica da água (10³ kg/m³);

Ssl = massa específica do lodo (kg/m³);

Ps = porcentagem de sólidos expressa em decimais.

Com esses valores foi possível definir as condições ideais de operação e manutenção do sistema, considerando a configuração

definida para o ano de 2022. Após isso, realizou-se contato com empresa especializada em fabricação e montagem de estufas (VAN DER HOEVEN ESTUFAS AGRÍCOLAS E GALVANIZAÇÃO À FOGO) para que se avaliasse os custos de investimento da implantação desta etapa do tratamento do lodo.

3.6.3 Estimativa das receitas e demais custos

Baseando-se nos resultados obtidos nos itens anteriores, foi possível definir os dados secundários (demais custos, tanto de investimento quanto de operação, e receitas) decorrentes do processo de tratamento em estudo.

Primeiramente, realizou-se uma pesquisa junto à SANEPAR (ETE Belém) a fim de verificar quais são as máquinas e equipamentos utilizados na estação para o carregamento, transporte e descarregamento do lodo estabilizado, bem como a retirada e carregamento deste material do pátio de cura, depois de finalizado o tratamento do lodo. Após a pesquisa os seguintes custos de investimentos extras foram definidos:

- Caminhão Ford Cargo 2423, para o carregamento, transporte, e descarregamento do lodo estabilizado;
- Poliguindaste duplo;
- Caçambas estacionárias;
- Minicarregadeira Caterpillar 216B: para a retirada do lodo da estufa agrícola e posterior despejo no caminhão da Proactiva.

Os fornecedores contatados para o levantamento dos custos destas máquinas e equipamentos foram: Ford Caminhões, São José (SC); Metalúrgica MC, Palhoça (SC) e Pesa, revendedora da Caterpillar de São José (SC).

Posteriormente, buscou-se definir os demais custos decorrentes da instalação da estufa agrícola na área industrial de Biguaçu (Figura 8). Os seguintes custos foram determinados: pista de rolagem; galpão de estoque; guarita; vigias; cercas e portão. As cercas e o portão estão discriminados em “Outros custos”, no valor total do investimento.

O custo da pavimentação da pista de rolagem foi levantado junto à CCL Construtora Ltda., o custo do galpão de estocagem foi calculado com base no CUB GI (Galpão Industrial) de maio de 2012, cujo valor por metro quadrado é R\$578,32, valor que também foi utilizado para o cálculo do custo da infraestrutura física necessária para a estabilização

alcalina do lodo; o custo da guarita foi calculado com base no CUB Residência Popular (RP1Q), também de maio de 2012, cujo valor por metro quadrado é R\$1.080,17; para o cálculo do salário dos vigias, considerou-se o mesmo salário definido para os motoristas dos caminhões, conforme será detalhado adiante, e o custo do metro linear das cercas e de um portão de 5 metros de largura por 2,5 metros de altura foram levantados junto à WJ Brun Construtora e Imobiliária. Os seguintes custos operacionais foram levantados neste trabalho e serão detalhados na apresentação dos resultados: mão-de-obra, matéria prima, energia elétrica, manutenção, combustível, e aluguel.

A estimativa das receitas do tratamento e adequação do lodo para posterior aplicação em aterro foi definida após o levantamento dos custos envolvidos, por parte do aterro, para a aquisição e aplicação do lodo da ETE Insular como material de cobertura, e após o cálculo da redução de volume do lodo na estufa, conforme se detalhará adiante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa da pesquisa os dados definidos, as informações coletadas e os resultados obtidos para a estruturação do fluxo de caixa do investimento no cenário definido, são apresentados e analisados. Para realizar a análise dos dados levantados e resultados encontrados, os seguintes métodos determinísticos de engenharia econômica citados no Item 2.3.1.9 foram utilizados: TIR, VPL e *Payback* Descontado.

4.1 DADOS DEFINIDOS E INFORMAÇÕES COLETADAS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA

Neste item são apresentadas as premissas básicas utilizadas e informações coletadas necessárias para a estruturação do fluxo de caixa da proposta de uso do lodo em coberturas. Cabe aqui destacar que o fluxo de caixa projetado foi o do acionista, conforme item 2.3.1.7.1, que demonstra o patrimônio líquido do acionista.

4.1.1 Período de análise

O período de análise do fluxo de caixa é limitado a 10 anos de operação, mesmo que não necessariamente as atividades se encerrem dentro de tal período. Considerou-se esse horizonte de tempo adequado em função do constante surgimento de novas tecnologias que podem tornar o tratamento proposto hoje, economicamente inferior aos mais modernos. Além do mais, segundo Andreoli (2012), o ideal é que o sistema de tratamento possa ser modular, de forma que os investimentos sejam feitos apenas quando necessários, caso definido para este trabalho.

4.1.2 TMA

A taxa mínima de atratividade adotada para o fluxo de caixa é de 6,19% e representa uma taxa real, sem a incidência da inflação. A TMA global (efetiva) de 12% a.a., foi corrigida pelo Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M), que é usado principalmente como indicador macroeconômico, deflator de valores monetários e indexador de contratos, como de concessões públicas.

A TMA global de 12% a.a. foi considerada por ser o valor comumente utilizado por empresas de consultoria que prestam serviços no setor de saneamento.

O Banco Central divulga semanalmente o Relatório Focus que mostra os indicadores econômicos de mercado e apresenta uma expectativa média do índice econômico IGP-M de 5,47% até 2013, valor este adotado para o cálculo da TMA real.

A relação entre taxa real e taxa efetiva está apresentada pela Eq. 15.

$$(1+i_{efetiva})=(1+i_{real}).(1+i_{inflação}) \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde:

i = taxa

Esta conversão foi realizada (taxa efetiva para taxa real) porque o fluxo de caixa deste trabalho não está considerando a inflação (fluxo de caixa a preços constantes) por causa da incerteza quanto ao valor médio da inflação para o período de 10 anos avaliado. Deste modo, a taxa utilizada no cálculo do financiamento também foi a taxa real, sem incidência de correção monetária, conforme será detalhado a seguir.

4.1.3 Forma de financiamento

O financiamento escolhido foi o BNDES Automático da Caixa Econômica Federal, que é uma linha de crédito que utiliza recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para financiar empreendimentos, aquisição de equipamentos, projetos, e capital de giro associado (CAIXA, 2012).

Os dados relevantes referentes ao financiamento são:

- a. Prazo de amortização: 5 anos;
- b. Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP): 6,00% a.a.;
- c. Taxa de Risco de Crédito, Renumeração da Caixa e do BNDES: 5,9% a.a.;
- d. Participação do Financiamento: 70%;
- e. Carência: 1 ano.
- f. Sistema de pagamento: Sistema de Amortização Constante (SAC), conforme Item 2.3.1.6.2.

Os juros incorridos devido ao financiamento compõem a soma da Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), que é o indexador de correção monetária, e a taxa média de remuneração da Caixa e do BNDES, já

considerando a taxa de risco do crédito, fornecida por uma das agências da Caixa. Esta taxa média de financiamento repassada considera que o projeto em análise teria como resultado um ranking médio, ou seja, médio risco de financiamento. Para o caso deste estudo, a TJLP e a taxa média de financiamento (renumeração média da Caixa e do BNDES mais o risco de crédito), são, respectivamente, 6,00% a.a. e 5,9% a.a.

Considerando o fluxo de caixa a preços correntes, a taxa utilizada no cálculo do financiamento foi a taxa real de 5,9% a.a.

4.1.4 Capital próprio

O capital próprio é o capital investido pela empresa patrocinadora do projeto, conforme já mostrado no Item 2.3.1.5. O capital próprio considerado para o investimento do tratamento para adequar o lodo como material de cobertura é de 30% do capital total investido.

4.1.5 Depreciação dos ativos imobilizados

A depreciação é um custo ou despesa operacional sem desembolso que pode ser considerada para efeito de abatimento no Imposto de Renda. São exemplos de bens sujeitos à depreciação: os prédios e as edificações, os veículos, as máquinas e equipamentos, os móveis e utensílios.

Vale ressaltar que os equipamentos de reserva considerados no investimento da estabilização alcalina não são objeto de depreciação, pois conforme o Regulamento do Imposto de Renda (RIR) de 1999, Art. 305, § 2º, "o bem somente poderá ser depreciado após instalado, posto em serviço ou em condições de produzir".

As taxas de depreciação utilizadas foram as mesmas da CASAN:

- Construção civil: 4%
- Máquinas e equipamentos: 10%
- Equipamentos de transporte: 20%
- Móveis e utensílios: 10%

Conforme Item 2.3.1.2, é prática comum se estabelecer um valor residual aos ativos imobilizados, depois de finalizada a depreciação contábil. Definiu-se, então, para o cálculo do fluxo de caixa deste estudo, 10% do valor total do investimento como valor residual.

4.1.6 Impostos sobre lucros

O Imposto de Renda (IR) de pessoas jurídicas é calculado através de três alíquotas, são elas (Receita Federal, 2012):

- Alíquota de 15%: incide sobre o lucro real, presumido ou arbitrado apurado pelas pessoas jurídicas;
- Alíquota de 6%: incide sobre o lucro inflacionário acumulado até 31 de dezembro de 1987 realizado no período de apuração do imposto. Esta alíquota incide sobre empresas de energia elétrica, de telecomunicações, empresas de saneamento básico e empresas de transporte coletivo de passageiros.
- Alíquota adicional de 10%: incide sobre a parcela do lucro real que excede ao resultado da multiplicação de R\$20.000,00 pelo número de meses do respectivo período de apuração.

Além das alíquotas do imposto de renda, há a taxa de Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido (CSLL) que é 9%, exceto para pessoas jurídicas de seguros privados, das de capitalização e das referidas nos incisos I a VII, IX e X do § 1º do art. 1º da Lei Complementar nº 105, de 10 de janeiro de 2001 (Receita Federal, 2012b).

A CASAN é tributada pelo Lucro Real com a alíquota de 25% mais 9% da CSLL. Esses 25% são a soma da alíquota de 15% mais a alíquota adicional de 10% sobre o excedente de R\$20.000,00 multiplicado pelos meses do exercício (TREVISAN, 2012c).

Cabe aqui destacar que os impostos sobre as receitas não foram considerados neste estudo porque a receita deste trabalho é decorrente da redução de despesas obtidas com o tratamento do lodo, conforme se detalhará adiante.

4.1.7 Alíquotas consideradas para o cálculo dos salários

Atualmente, o salário base de um operador de ETE ou ETA (Estação de Tratamento de Água) da CASAN é de R\$1.345,36, sendo o piso salarial da empresa corrigido anualmente pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) (TREVISAN, 2012a). Citando o mesmo autor, a CASAN trabalha segundo o regime da CLT, portanto as alíquotas presentes na Tabela 4 foram utilizadas para calcular o salário total dos mensalistas considerados neste trabalho.

Tabela 4: Alíquotas para cálculos dos salários

| Encargos | Alíquotas |
|-----------------------------|------------------|
| 13º salário (1/12) | 8,33% |
| Adicional 1/3 férias | 2,78% |
| INSS | 20,00% |
| FGTS | 3,00% |
| Seguro Acidente de Trabalho | 1,09% |
| Vale Transporte | 6,00% |
| Vale Alimentação (R\$/mês) | 34,34% |
| Total | 75,54% |

Fonte: Trevisan (2012a)

4.2 VOLUME DE LODO GERADO NA ETE INSULAR E OS ATUAIS CUSTOS RELATIVOS A SUA DESTINAÇÃO FINAL

A produção diária máxima da torta de lodo tem ficado em torno de 40 m³/dia, aproximadamente 41,6 toneladas em base úmida, equivalente a 5,4 ton/dia em base seca.

A Tabela 5 abaixo detalha o valor pago em reais, mensalmente e anualmente, para a empresa Proactiva, considerando a geração de 40m³/dia de lodo, a Tabela 6 apresenta a projeção populacional e de produção de lodo desidratado utilizadas para a execução do fluxo de caixa deste trabalho e a Tabela 7 apresenta os valores dos parâmetros de projeto da ETE Insular utilizados no trabalho.

Tabela 5: Custos com a disposição da torta de lodo em aterro sanitário

| Geração de lodo da ETE Insular (m³/dia) | Valor pago pela disposição da torta de lodo (R\$/m³) | Custo mensal (R\$) | Custo anual (R\$) |
|---|--|---------------------------|--------------------------|
| 40 | 138,18 | 165.816,00 | 1.989.792,00 |

Tabela 6: Projeção populacional e projeção de produção de lodo

| Ano | Projeção populacional (hab.) | Produção diária de lodo (m³) |
|------------|-------------------------------------|--|
| 2013 | 195.371,30 | 55,82 |
| 2014 | 201.241,93 | 57,50 |
| 2015 | 207.297,25 | 59,23 |
| 2016 | 212.093,11 | 60,60 |
| 2017 | 217.006,05 | 62,00 |
| 2018 | 222.039,03 | 63,44 |
| 2019 | 227.195,10 | 64,91 |
| 2020 | 232.477,36 | 66,42 |
| 2021 | 236.817,64 | 67,66 |
| 2022 | 241.244,96 | 68,93 |

Tabela 7: Valores dos parâmetros de projeto da ETE Insular

| Descrição | Valor |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Produção atual de lodo | 40 m ³ /dia |
| Forma de geração do lodo | 16h/dia |
| Umidade inicial do lodo | Em torno de 87% (13% ST) |
| Peso específico do lodo desidratado | 1040 kg/m ³ |
| População de contribuição | 140.000 hab |
| Produção <i>per capita</i> de lodo | 2,86E-04 (m ³ /hab/dia) |

4.3 CUSTOS ENVOLVIDOS PARA A AQUISIÇÃO E APLICAÇÃO DO LODO TRATADO COMO MATERIAL DE COBERTURA POR PARTE DO ATERRO

Atualmente, o aterro sanitário para onde o lodo será destinado não possui custos significativos com o material de cobertura utilizado, pois possui jazida própria de argila arenosa siltosa no local, matéria

prima utilizada para a cobertura. A demanda atual é de, aproximadamente, 0,29 m³ de material de cobertura por tonelada de resíduo aterrado, ou seja, 275,5 m³/dia de material de cobertura, considerando a disposição média atual de 950 toneladas de resíduo doméstico por dia.

Cabe aqui destacar que o preço da tarifa paga pela CASAN à Proactiva, para o transporte e disposição da torta de lodo desidratada no aterro, é um valor “fechado”, pois não há distinção de quanto é cobrado devido ao transporte e de quanto é cobrado devido à disposição do lodo não tratado no aterro.

Após o cálculo da redução de volume do lodo estabilizado encaminhado à estufa agrícola, foi possível verificar que o volume de lodo desidratado gerado diariamente na ETE Insular, sofrerá uma redução de 76% do seu volume original, ou seja, haverá uma redução de 76% das despesas com a destinação do lodo ao aterro sanitário no fluxo de caixa da CASAN, pois o valor pago à Proactiva é calculado pela quantidade de metros cúbicos de lodo que é coletado.

Portanto, para a realização deste trabalho, partiu-se do pressuposto que a CASAN, pagará, no máximo, 24% do valor total atualmente cobrado pela Proactiva para dispor a torta de lodo gerada no aterro, já que neste valor estão considerados juntos os custos do transporte e da disposição no aterro, destacando que o lodo será transportado de uma distância muito inferior à atual e passará a ser usado como insumo ao invés de ser disposto como rejeito, resultando num volume maior para a disposição de resíduos domésticos e consequente aumento da vida útil do aterro.

Assim, apesar das vantagens de se utilizar o lodo como material de cobertura (ver Item 2.2.2), além da citada acima, não foi avaliado um preço padrão para o lodo tratado, pois além de o aterro já possuir jazida própria, pode-se perceber que a sua demanda atual de material de cobertura, é muito maior do que a geração de lodo tratado e adequado para este fim, pois o sistema de tratamento reduz em torno de 76% do volume original da torta de lodo, o que representaria, hoje, em apenas 3,5% da demanda atual de material de cobertura da Proactiva.

Para a realização do sistema de cobertura, atualmente a Proactiva utiliza as seguintes máquinas: uma escavadeira hidráulica, para escavamento da jazida de argila e carregamento dos caminhões que irão transportar a argila até a frente de trabalho; três caminhões basculantes, para o transporte e descarregamento da argila até a frente de trabalho, e um trator de esteiras, para espalhamento e compactação da argila nos platôs.

Deste modo, o aterro não apresentará custos adicionais, nem para a aquisição, nem para a aplicação do lodo tratado como material de cobertura, pois irá coletá-lo mediante pagamento da CASAN, além de já possuir todos os equipamentos necessários para a mistura deste material alternativo com a sua argila, e posterior aplicação como material de cobertura (caminhão basculante e trator de esteiras).

Considerou-se, então, como receita desta análise financeira, apenas a redução de despesas que a CASAN terá através da redução do volume de lodo que precisa ser transportado e disposto no aterro sanitário pela Proactiva.

4.4 ESTIMATIVA DOS CUSTOS E DAS RECEITAS DECORRENTES DA ESTABILIZAÇÃO ALCALINA EM ESTUFA AGRÍCOLA PARA POSTERIOR APLICAÇÃO EM ATERRO

As condições definidas para a estimativa dos custos e das receitas decorrentes da estabilização alcalina em estufa agrícola, considerando dados da ETE insular, fatores analisados na pesquisa de Pimentel (2012), e dados levantados e analisados pela autora encontram-se resumidos no Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Condições definidas para a estimativa do custo de investimento da estabilização alcalina em estufa agrícola

| Descrição | Característica |
|---|---------------------------------------|
| Cal escolhida e pureza média | Cal Virgem Comum (CV-C); 52% |
| Massa específica da cal escolhida | 1000 kg/m ³ |
| Quantidade de cal | 30% (em relação ao peso seco do lodo) |
| Tempo de secagem na estufa | 42 dias |
| Forma de disposição do lodo na estufa | h = 15 cm |
| Revolvimento | 3 vezes por semana |
| Tipo de lodo | Desidratado |
| Umidade inicial (lodo desidratado) | Em torno de 87% (13% ST) |
| Umidade inicial (lodo misturado c/ cal) | Em torno de 82% (18% ST) |

| Descrição | Característica |
|---|---------------------------|
| Umidade final (lodo tratado) | Em torno de 34% (66% ST) |
| Produção <i>per capita</i> de lodo (m ³ /hab/dia) | 2,86E-04 |
| Volume de lodo (13% ST) estimado para 2022 | 68,93 m ³ /dia |
| Massa específica do lodo desidratado (torta de lodo) | 1040 kg/m ³ |
| Massa seca de lodo e de cal estimada para 2022 | 14.695,27 kg ST |

A Tabela 9 abaixo apresenta as áreas necessárias para tratar e adequar o lodo como material de cobertura no cenário definido.

Tabela 9: Áreas necessárias para o tratamento do lodo

| Estabilização Alcalina (m²) | Estufa Agrícola (m²) | Pista de rolagem (m²) | Galpão de estocagem (m²) | Guarita (m²) | Total (m²) |
|---|--|---|--|------------------------------------|----------------------------------|
| 80,00 | 11.340,00 | 1.800,00 | 30,00 | 30,00 | 13.280,00 |

4.4.1 Estimativa dos custos de investimento da estabilização alcalina

Os equipamentos orçados com a empresa MF CARNEIRO LTDA., estão presentes na Tabela 10. Os equipamentos de reserva considerados foram: silo de cal, rosca transportadora de cal com eixo, misturador de lodo e cal, e rosca transportadora de lodo estabilizado sem eixo.

Tabela 10: Custo de investimento estimado da estabilização alcalina, considerando a configuração definida para o ano de 2022.

| Equipamentos | Nº de unidades | Preço unitário (R\$) | Preço total (R\$) |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Silo de cal (25 m ³) | 2 | 140.000,00 | 280.000,00 |
| Moega de recepção de lodo | 1 | 2.000,00 | 2.000,00 |

| Equipamentos | Nº de unidades | Preço unitário (R\$) | Preço total (R\$) |
|--|----------------|----------------------|-------------------|
| Rosca transportadora de cal com eixo (L = 5 m) | 2 | 20.000,00 | 40.000,00 |
| Dosador volumétrico de cal | 1 | 25.000,00 | 25.000,00 |
| Misturador de lodo e cal (vol. de 300 litros) | 2 | 120.000,00 | 240.000,00 |
| Rosca transportadora de lodo estabilizado sem eixo (L = 6 m) | 2 | 28.000,00 | 56.000,00 |
| Frete + instalação dos equipamentos + painel elétrico | - | 420.000,00 | 420.000,00 |
| Estrutura física | 1 | 46.265,60 | 46.265,60 |
| Total | 11 | 801.265,60 | 969.265,60 |

4.4.2 Estimativa dos custos de investimento da estufa agrícola

As condições definidas para o dimensionamento da estufa para o lodo caleado gerado na ETE Insular, considerando dados de projeto da estação e resultados da pesquisa de Pimentel, (2012) encontram-se detalhadas na Tabela 11.

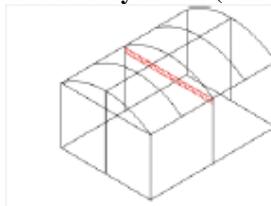
Tabela 11: Condições usadas para estimar a área da estufa

| Dia | Estabilização com 30% de cal | | | Ss | Ssl | Volume lodo caleado (m ³) | h=0,15 | L = 35 m |
|-----|------------------------------|-----|-----|------|------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| | ST | SV | STF | | | | Área (m ² /célula) | Tamanho célula (m) |
| 0 | 18% | 50% | 50% | 1,43 | 1,06 | 77,23 | 514,88 | 14,71 |
| 3 | 21% | 39% | 61% | 1,58 | 1,08 | 66,31 | 442,04 | 12,63 |
| 6 | 23% | 40% | 60% | 1,56 | 1,09 | 58,60 | 390,68 | 11,16 |
| 9 | 30% | 40% | 60% | 1,56 | 1,12 | 44,52 | 296,83 | 8,48 |
| 12 | 36% | 39% | 61% | 1,58 | 1,15 | 35,44 | 236,28 | 6,75 |
| 15 | 36% | 39% | 61% | 1,58 | 1,15 | 35,44 | 236,28 | 6,75 |

| Dia | Estabilização com 30% de cal | | | Ss | Ssl | Volume lodo caleado (m ³) | h=0,15 | L = 35 m |
|-----|---------------------------------|-----|-----|------|------|--|----------------------------------|--------------------------|
| | ST | SV | STF | | | | Área (m ² /célula) | Tamanho célula (m) |
| 18 | 37% | 38% | 62% | 1,59 | 1,16 | 34,25 | 228,34 | 6,52 |
| 21 | 38% | 38% | 62% | 1,59 | 1,16 | 33,21 | 221,37 | 6,32 |
| 24 | 43% | 36% | 64% | 1,62 | 1,20 | 28,53 | 190,21 | 5,43 |
| 27 | 48% | 36% | 64% | 1,62 | 1,23 | 24,97 | 166,48 | 4,76 |
| 30 | 49% | 35% | 65% | 1,64 | 1,24 | 24,26 | 161,73 | 4,62 |
| 33 | 51% | 35% | 65% | 1,64 | 1,25 | 23,08 | 153,89 | 4,40 |
| 36 | 53% | 34% | 66% | 1,66 | 1,27 | 21,91 | 146,05 | 4,17 |
| 39 | 60% | 34% | 66% | 1,66 | 1,31 | 18,88 | 125,86 | 3,60 |
| 42 | 66% | 34% | 66% | 1,66 | 1,35 | 16,45 | 109,64 | 3,13 |

Com base nos valores apresentados na tabela acima foi possível definir a composição do sistema de secagem do lodo estabilizado com cal: três estufas de mesmas dimensões, que receberão lodo de 14 dias, alternados num intervalo de tempo de 3 dias. Isso possibilitará o revolvimento do lodo no período proposto por Pimentel (2012) (a cada 3 dias) ao longo dos 42 dias de secagem definidos. As dimensões das estufas, dentro dos padrões da empresa VAN DER HOEVEN, são apresentadas na Tabela 12 e a Figura 13 mostra o modelo adotado pela empresa para o orçamento da estufa: modelo Poly House (telhado em arcos). O desenho em planta baixa e perspectiva da estufa dimensionada se encontra no ANEXO 1. A configuração final da área onde será instalada a estufa pode ser visualizada na Figura 14, que apresenta a área do galpão, da guarita, da pista de rolagem e das estufas.

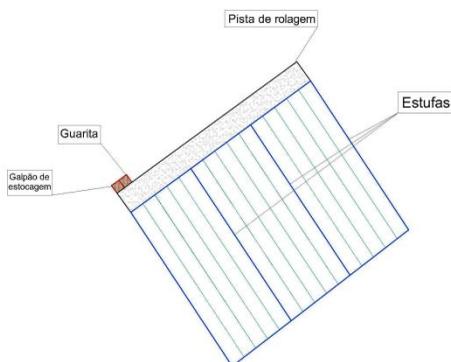
Figura 13: Modelo Poly House (telhado em arcos)



Fonte: VAN DER HOEVEN (2012)

Tabela 12: Dimensões das estufas (padrão VAN DER HOEVEN)

| Item | Quantidade | Tipo | Medida (m) | Total | Unidade |
|-------------|--------------------------|---------|------------|-----------|----------------|
| Largura | 5 | Vãos | 8,00 | 40,00 | m |
| Comprimento | 21 | Módulos | 4,50 | 94,50 | m |
| Altura | | | | 4,50 | m |
| Total | | | | 3.780,00 | m ² |
| Área total | 3 unidades independentes | | | 11.340,00 | m ² |

Figura 14: Estufas, pista de rolagem, galpão de estoque e guarita.

As características gerais da estufa, do lodo estabilizado e do lodo adequado para ser utilizado como material de cobertura de aterro encontram-se presentes na Tabela 13.

Tabela 13: Características gerais da estufa, do lodo estabilizado e do lodo adequado para ser utilizado como material de cobertura de aterro

| Características | Valores |
|---|---------------|
| Dimensões de cada estufa (m) | 40,00 x 94,50 |
| Área total da estufa (m ²) | 11.340,00 |
| Tempo de secagem do lodo (dia) | 42 |
| Teor inicial de ST - lodo estabilizado (%) | 18% |
| Teor final de ST - material alternativo de cobertura de aterro (%) | 66% |
| Volume de lodo estabilizado encaminhado à estufa - 18% ST (m ³ /dia) | 77, 23 |

| Características | Valores |
|--|----------------|
| Volume de lodo gerado após o término da secagem - 66% ST (m ³ /dia) | 16,45 |

A Tabela 14 abaixo apresenta a estimativa do custo de investimento da estufa, considerando a configuração definida para o ano de 2022. Optou-se por um sistema de exaustão automatizado, bem como um revolvedor automático de lodo que auxiliarão na aceleração da secagem do lodo.

Tabela 14: Custo de investimento estimado da estufa, considerando a configuração definida para o ano de 2022.

| Equipamentos | Preço por estufa (R\$) | Preço total (R\$) |
|--|-------------------------------|--------------------------|
| Estrutura metálica | 181.921,95 | 545.765,85 |
| Fundações + mureta | 125.465,76 | 376.397,28 |
| Perfis de fechamentos + portas + cortinas laterais | 65.120,65 | 195.361,95 |
| Sistema de exaustão = exaustores + janelas | 83.934,14 | 251.802,43 |
| Filme p/ cobertura e fechamentos | 15.798,43 | 47.395,29 |
| Total estrutura básica (1) | 472.240,94 | 1.416.722,81 |
| Piso de concreto com esp. 7,5 cm (materiais + mão de obra) | 188.720,00 | 566.160,00 |
| Revolvedor do lodo (05 equipamentos por estufa) | 500.000,00 | 1.500.000,00 |
| Total componentes opcionais (2) | 688.720,00 | 2.066.160,00 |
| Total estrutura geral (1) + (2) | 1.160.960,94 | 3.482.882,81 |

No valor total do custo de investimento estimado da estufa agrícola já estão considerados a montagem dos materiais, incluindo todas as despesas com o seu transporte, além de viagens, hospedagem, alimentação e equipamentos de proteção individual (EPI'S) da equipe de montagem.

4.4.3 Estimativa do custo total de investimentos

A Tabela 15 apresenta o custo total de investimentos (equipamentos, máquinas, veículos e instalações) decorrentes da estabilização alcalina em estufa agrícola.

Tabela 15: Custo total de investimentos estimados decorrentes da estabilização alcalina em estufa agrícola

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| Estabilização alcalina | 1.109.265,60 |
| Estufa agrícola | 3.482.882,81 |
| Caminhão Ford modelo Cargo 2423 | 200.000,00 |
| Poliguindaste duplo | 45.000,00 |
| Caçambas estacionárias | 14.000,00 |
| Galpão de estoque | 17.349,60 |
| Guarita | 32.405,10 |
| Outros custos | 62.828,10 |
| Total | 4.963.731,21 |

4.4.4 Estimativa das receitas e demais custos

Neste item apresentam-se os resultados da estimativa dos custos operacionais avaliados e das receitas.

Cabe aqui destacar que os valores apresentados neste item foram estimados com base na geração atual de lodo desidratado (40 m³/dia) e de qual seria o volume de lodo estabilizado gerado por dia considerando essa geração atual, isto é, 44, 82 m³ de lodo inertizado, com base na Eq.14, para cálculo do volume do lodo caleado, além do volume diário de lodo gerado após o término do tratamento (apenas 24% do volume desidratado gerado), e que os custos que serão apresentados no fluxo de caixa, ao longo do período de análise (2013 a 2022), foram estimados da mesma forma que os valores aqui apresentados, mas com base na projeção de geração de lodo desidratado do referido ano de análise.

Deste modo, na apresentação do fluxo de caixa será possível perceber as receitas e os custos operacionais considerados neste estudo aumentando de valor ao longo do tempo do período avaliado devido ao acréscimo de geração de lodo com o passar do tempo, não significando

que a inflação está embutida nos valores, pois, conforme dito no Item 4.1.2, o fluxo de caixa deste trabalho não está considerando a inflação, pois ele foi feito a preços constantes.

4.4.5 Energia elétrica

O valor da tarifa de energia elétrica considerada para o cálculo do consumo de energia foi R\$ 0,3277/kWh, preço cobrado pela CELESC Distribuição da CASAN, considerando a tarifa de consumo dentro do horário de ponta e a tarifa de consumo fora do horário de ponta, cujos valores, são, respectivamente, R\$ 1,27/kWh e R\$ 0,19308/kWh.

A Tabela 16 e a Tabela 17 abaixo detalham o consumo e o custo de energia elétrica decorrente da utilização das máquinas e equipamentos definidos para o tratamento do lodo.

Tabela 16: Consumo e custo de energia elétrica da estabilização alcalina

| Equipamentos | Horas diárias de operação (h) | Potência instalada (kW) | Consumo mensal de energia (kWh/mês) | Custo mensal de energia (R\$/mês) | Custo anual de energia (R\$/ano) |
|---|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Rosca transportadora de cal | 5,33 | 1,50 | 239,85 | 78,60 | 943,19 |
| Dosador volumétrico de cal | 16 | 1,12 | 537,60 | 176,17 | 2.114,06 |
| Misturador de lodo e cal | 16 | 11,00 | 5.280,00 | 1.730,26 | 20.763,07 |
| Rosca transportadora de lodo estabilizado | 16 | 3,00 | 1.440,00 | 471,89 | 5.662,66 |
| Total | 53,33 | 16,62 | 7.497,45 | 2.456,91 | 29.482,97 |

As horas diárias de operação dos equipamentos de estabilização alcalina foram estimadas em função da forma de geração do lodo (16 h/dia), ou seja, das horas diárias de operação das centrífugas da ETE Insular. A rosca transportadora de cal irá trabalhar de forma descontínua, entrando em funcionamento somente quando o dosador volumétrico de

cal fica quase vazio, por isso as horas diárias de operação desse equipamento equivalem à apenas um terço do período de operação dos outros equipamentos.

Tabela 17: Consumo e custo de energia elétrica da estufa

| Equipamentos | Horas semanais de operação (h) | Potência instalada (kW) | Consumo mensal de energia (kWh/mês) | Consumo mensal de energia (R\$/mês) | Consumo anual de energia (R\$/ano) |
|--|--|-------------------------------|--|--|---|
| Sistema de exaustão: -exaustores (5 por estufa) | 126 | 11,34 | 5.715,36 | 1.872,92 | 22.475,08 |
| -janelas frontais articuláveis (2 por estufa) | 126 | 4,54 | 17.146,08 | 5.618,77 | 67.425,24 |
| Cortinas laterais (2 por estufa) | 7 | 9,07 | 1.905,12 | 624,31 | 7.491,69 |
| Revolvedor do lodo (5 por estufa) | 4 | 73,05 | 8.766,00 | 2.872,62 | 34.471,42 |
| Total | 263 | 98,00 | 33.532,56 | 10.988,62 | 131.863,44 |

Os valores das horas semanais de operação dos equipamentos eletromecânicos da estufa agrícola de lodo foram adotados, pois a empresa escolhida para a fabricação e montagem das estufas (VAN DER HOEVEN ESTUFAS AGRÍCOLAS E GALVANIZAÇÃO À FOGO) ainda não possui tal patente (estufa agrícola com revolvedor automático de lodo) instalada em alguma empresa.

Cabe aqui destacar que os exaustores e as janelas frontais articuláveis, que compõe o sistema de exaustão, funcionarão em conjunto, segundo especificações técnicas da empresa. Deste modo, estimou-se que o sistema de exaustão operará 18 horas por dia, as cortinas laterais apenas 1 hora por dia e os revolvedores de lodo, 4 horas por semana, considerando que irão operar apenas duas vezes por semana, segundo condições técnicas definidas na pesquisa de Pimentel (2012), ou seja, revolvimento do lodo a cada 3 dias.

4.4.6 Mão-de-obra

A mão-de-obra considerada neste estudo é composta por dois motoristas de caminhão, que irão realizar o carregamento, transporte e descarregamento do lodo estabilizado com cal na estufa, além da retirada do lodo da estufa, ao término da secagem, através de uma minicarregadeira, para posterior carregamento do lodo estabilizado e higienizado no caminhão da Proactiva que irá coletar e transportar o lodo para ser utilizado como material de cobertura, e, também, três vigias para manutenção da segurança do local onde será realizada a secagem do lodo. A Tabela 18 abaixo apresenta os resultados obtidos com o custo de mão-de-obra, considerando as alíquotas apresentadas no Item 4.1.7.

Tabela 18: Custo de mão-de-obra

| Vigias (R\$/mês) | Motoristas (R\$/mês) | Custo mensal de mão-de-obra (R\$/mês) | Custo anual mão-de-obra (R\$/ano) |
|-----------------------------|---------------------------------|--|--|
| 7.084,80 | 4.723,20 | 11.808,00 | 141.695,99 |

4.4.7 Combustível

Para o cálculo do consumo de combustível devido ao carregamento, transporte e descarregamento do lodo estabilizado, bem como da retirada do lodo tratado da estufa e posterior carregamento no caminhão da Proactiva, os seguintes dados obtidos com a Ford Caminhões, com a Metalúrgica MC e com a Pesa, foram considerados:

- Consumo diesel Caminhão Ford Cargo 2423: 3,7 km/L ou 5,625 km/h (estimado);
- Tempo médio para carregamento e descarregamento das caçambas: 4 min.;
- Capacidade útil de cada caçamba: 6 m³;
- Consumo diesel minicarregadeira Caterpillar 216B: 4 L/h.

Além desses dados obtidos, os seguintes demais valores foram relevados:

- Distância aproximada ETE Insular - estufa: 24 km;
- Distância média estimada de transbordo interno: 100 m;
- Tempo diário estimado de uso da minicarregadeira: 1h;

- Preço do litro de óleo diesel, segundo o Índice de Preços Ticket Car (IPTC) para o mês de abril, (R\$/l): 2,129,
- Volume de lodo estabilizado encaminhado à estufa por dia, para o cálculo do número de viagens à estufa.

Após o tratamento desses dados em planilha Excel, encontrou-se os resultados apresentados na Tabela 19

Tabela 19: Custo de combustível

| Consumo mensal de combustível minicarregadeira (R\$/mês) | Consumo mensal de combustível caminhão (R\$/mês) | Custo mensal total de combustível (R\$/mês) | Custo anual total de combustível (R\$/ano) |
|---|---|--|---|
| 255,48 | 3.431,72 | 3.687,20 | 44.246,37 |

4.4.8 Aluguel

Os custos de aluguel são decorrentes da estimativa de aluguel da área onde será implantada a estufa agrícola, a pista de rolagem, a guarita e o galpão de estoque para a minicarregadeira, além do custo do aluguel da minicarregadeira, considerando oito horas diárias máximas de uso.

A estimativa do aluguel da área foi feita com base nos seguintes valores:

- Área disponível para locação: 10.000 m²
- Valor mensal do aluguel: R\$ 3.000,00
- Área necessária para implantação da estufa agrícola, da pista de rolagem, da guarita e do galpão de estoque: 13.200 m²

Deste modo, o aluguel mensal estimado dessas áreas foi obtido através da multiplicação de 13.200 m² por 0,3 R\$/m². Os valores mensais e total anual desses alugueis são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20: Custo de aluguel

| Aluguel mensal do terreno (R\$/mês) | Aluguel mensal da minicarregadeira (R\$/mês) | Aluguel anual total (R\$/ano) |
|--|---|--------------------------------------|
| 3.960,00 | 3.500,00 | 89.520,00 |

4.4.9 Matéria prima

O custo de matéria prima é decorrente da necessidade de adição de cal virgem ao lodo desidratado para a sua estabilização química. A cal definida para ser utilizada na estabilização alcalina do lodo é a cal virgem comum (CV-C) da Cal Cem Indústria Ltda. que é revendida pela loja Casas da Água Materiais de Construção, pelo valor de R\$8,00 reais por cada saca de 20 kg de cal virgem comum. Neste valor já está considerado o transporte da cal até a ETE Insular, pois a loja não cobra por esse serviço quando grandes quantidades de materiais são revendidos. A Tabela 21 detalha o consumo e o custo da cal virgem devido à estabilização alcalina do lodo

Tabela 21: Consumo e custo de matéria prima

| Matéria prima | Consumo mensal (ton/mês) | Preço unitários (R\$/ton) | Custo mensal (R\$/mês) | Custo anual (R\$/ano) |
|------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|
| Cal Virgem (CaO) | 93,60 | 400,00 | 37.440,00 | 449.280,00 |

4.4.10 Manutenção

O custo de manutenção foi calculado com base em 1 % do valor das instalações e 5 % do valor das máquinas e equipamentos. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 22 abaixo.

Tabela 22: Custo de manutenção

| Estabilização Alcalina (R\$/mês) | Estufa Agrícola (R\$/mês) | Caminhão + poliguindaste + caçambas (R\$/mês) | Galpão de estoque + guarita + outros custos (R\$/mês) | Custo mensal (R\$/mês) | Custo anual (R\$/ano) |
|----------------------------------|---------------------------|---|---|------------------------|-----------------------|
| 1.434,39 | 8.741,74 | 1.079,17 | 93,82 | 11.349,12 | 136.189,41 |

4.4.11 Receitas

Conforme citado no Item 4.3, as receitas desta análise financeira, provêm, unicamente, da redução do valor (redução de despesa) a ser

pago à Proactiva por consequência da redução do volume de lodo a ser transportado e disposto no seu aterro sanitário.

A Tabela 23 abaixo apresenta o valor decorrente dessa economia utilizado como entrada do fluxo de caixa do investimento avaliado.

Tabela 23: Receita do investimento

| Redução da geração de lodo da ETE Insular (m³/dia) | Valor pago pela disposição da torta de lodo no aterro (R\$/m³) | Receita mensal (R\$) | Receita anual (R\$) |
|--|--|-----------------------------|----------------------------|
| 30,46 | 138,18 | 126.251,80 | 1.515.021,66 |

4.5 AMORTIZAÇÃO DA DÍVIDA

O sistema de amortização da dívida do financiamento é segundo a metodologia do SAC (Item 2.3.1.6.2 da página 43), cujo resultado, para o cenário em estudo, se encontra apresentado na Tabela 24.

Tabela 24: Amortização da dívida

| Ano | Prestação | Juros | Amortização | Saldo devedor |
|------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| 0 | | | | R\$ 3.474.611,85 |
| 1 | R\$ 205.002,10 | R\$ 205.002,10 | R\$ 0,00 | R\$ 3.474.611,85 |
| 2 | R\$ 899.924,47 | R\$ 205.002,10 | R\$ 694.922,37 | R\$ 2.779.689,48 |
| 3 | R\$ 858.924,05 | R\$ 164.001,68 | R\$ 694.922,37 | R\$ 2.084.767,11 |
| 4 | R\$ 817.923,63 | R\$ 123.001,26 | R\$ 694.922,37 | R\$ 1.389.844,74 |
| 5 | R\$ 776.923,21 | R\$ 82.000,84 | R\$ 694.922,37 | R\$ 694.922,37 |
| 6 | R\$ 735.922,79 | R\$ 41.000,42 | R\$ 694.922,37 | R\$ 0,00 |
| Total | R\$ 4.294.620,24 | R\$ 820.008,40 | R\$ 3.474.611,85 | R\$ 0,00 |

4.6 CAPITAL PRÓPRIO

Conforme o Item 4.1.4, o capital próprio considerado para o investimento do tratamento para adequar o lodo como material de cobertura é de 30% do capital total investido, ou seja, R\$1.489.119,36.

4.7 DEPRECIÇÃO DOS ATIVOS IMOBILIZADOS

Os resultados da depreciação estão apresentados no APÊNDICE A deste trabalho devido à sua extensão.

4.8 APRESENTAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA

A projeção do fluxo de caixa está apresentada no APÊNDICE B deste trabalho.

4.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para realizar a análise da projeção do fluxo de caixa do cenário estudado, os seguintes métodos determinísticos de engenharia econômica citados no Item 2.3.1.9 foram aplicados: TIR, VPL e *Payback* descontado. Os resultados encontrados apresentam-se compilados na Tabela 25.

Tabela 25: Resultados da aplicação dos métodos

| TMA: 6,19% | |
|---------------------------|------------------|
| Indicador - Método | Resultado |
| VPL | R\$ 1.602.592 |
| TIR | 18,49% |
| <i>Payback</i> Descontado | 7,30 anos |

4.9.1 Valor Presente Líquido

A projeção do fluxo de caixa apresenta o VPL para o acionista, durante o período de 10 anos, o valor de R\$ 1.602.592.

O VPL positivo mostra que o empreendimento avaliado possui uma atratividade econômica maior do que o investimento na aplicação da TMA.

Apesar de o VPL do acionista mostrar que o empreendimento é viável economicamente, existe ainda a necessidade de avaliação pelas outras ferramentas de análise de fluxo de caixa.

4.9.2 Taxa Interna de Retorno

A TIR do acionista foi de 18,49% a.a., superior à TMA de 6,19% adotada, lembrando que essa taxa é real, sem a incidência da inflação no período de análise.

Com a análise da TIR do acionista e do VPL do acionista, o empreendimento é economicamente viável.

4.9.3 Payback Descontado

Pela análise do VPL do acionista, o *Payback* Descontado mostra que o retorno do investimento é obtido em 7,30 anos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho analisou a viabilidade econômica da proposta de aproveitamento da torta de lodo da ETE Insular como material de cobertura de aterro sanitário em um cenário específico. Com base nos resultados do presente estudo, as principais conclusões são as seguintes:

O sistema de tratamento proposto reduz em torno de 76% do volume original da torta de lodo produzida pela ETE Insular.

A demanda atual de material de cobertura por parte do aterro sanitário de Tijuquinhas é muito maior do que a geração de lodo tratado e adequado para este fim, e representa, atualmente, apenas 3,5% desta demanda.

Para a CASAN tratar o lodo da ETE Insular pelo método de estabilização alcalina (com 30% de cal em base seca) seguida de secagem em estufa agrícola, seria necessário, hoje, um investimento inicial de, aproximadamente, R\$ 4.963.731,00. Desse montante, R\$ 1.109.265,00 seria investido nos equipamentos de caleção e R\$ 3.482.882,00 na estrutura e maquinário da estufa agrícola.

As ferramentas de análise do fluxo de caixa da proposta em estudo (VPL, TIR, *Payback* descontado), mostraram que o sistema de tratamento proposto para adequar o lodo como material de cobertura de aterro é viável economicamente, e, também, apto a conseguir um financiamento segundo os requisitos do BNDES.

O custo mensal de manutenção e operação de todo o processo de tratamento seria de, aproximadamente, R\$85.190,00, incluindo a matéria prima (cal), mão de obra, energia elétrica, combustível e manutenção das máquinas, equipamentos e instalações.

A receita mensal oriunda da redução do volume do lodo ficaria em torno de R\$ 126.251,00.

As entradas do fluxo de caixa do cenário avaliado são decorrentes da redução de despesas com a destinação do lodo ao aterro. Todavia, considerando as vantagens citadas pela literatura de se usar o lodo como cobertura de aterro, tais como o aumento da decomposição de resíduos, a capacidade de melhorar a qualidade do lixiviado e o aporte de nutrientes para a camada final (vegetativa), recomenda-se que os trabalhos posteriores avaliem um cenário em que o lodo é vendido como matéria prima ou que o gerador de lodo simplesmente não despense recursos para a disposição final do resíduo. Somando-se a isso, com a utilização de lodo de esgoto em coberturas o tempo de vida útil do aterro seria prolongado, pois ao invés de ocupar o volume onde são destinados os resíduos, o material passaria a fazer parte da estrutura da obra. Este

fato favorece ainda mais o uso de lodo de esgoto em camadas de coberturas.

Recomenda-se, também, que os riscos e as incertezas associados ao projeto sejam analisados, já que esses fatores são intrínsecos em qualquer forma de projeção, como a de fluxo de caixa, pois a avaliação destes itens pode determinar fatores importantes que impactam diretamente no fluxo de caixa e no retorno do acionista.

Sendo assim, conclui-se que a utilização em coberturas de lodo estabilizado com cal e seco em estufa agrícola é uma forma de destinação viável, não só tecnicamente, mas também economicamente, considerando o contexto definido neste trabalho. Deste modo, almeja-se contribuir para que a técnica de aplicação de lodo de esgoto em coberturas seja uma alternativa de disposição final considerada nos processos de gestão de lodo das ETE's do Brasil, onde o assunto ainda é pouco conhecido.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419**: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos – Procedimentos. São Paulo, 1992. p. 1.

_____. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - classificação, 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

_____. **NBR 14653-4**: Avaliação de bens Parte 4: Empreendimentos. Rio de Janeiro, 2002. 16 p.

ANDREOLI, C. V.. **Ajuda pesquisa de conclusão de curso**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 24 de janeiro de 2012.

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; TELES, C. R.; CARNEIRO, C.; FERNANDES, F. Higienização do Lodo de Esgotos. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Cap4, p. 87-116.

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERNICHARO, C. A.; BORGES, E. S. M. Secagem e higienização de lodos com aproveitamento do biogás. In: CASSINI, S. T. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: Abes, RiMa, 2003. cap. 5, p. 121-165.

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.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº375 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso: 24 de novembro de 2010.

BITTENCOURT, S.. **Ajuda pesquisa de conclusão de curso.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 24 de março de 2012.

BORDEAUX-RÊGO, R; PAULO, G. P.; SPRITZER, I.M. de P. A.; ZOTES, L. P. **Viabilidade Econômico-financeira de Projetos.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007

BUARQUE, C; **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática.** Ed. 8 Reimpressão Rio de Janeiro: Campus, 1984, 266p.

CAIXA. **BNDES Automático.** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/pj/pj_comercial/mg/linha_credito/financiamentos/bndes_automatico/index.asp>. Acesso em março de 2012

CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E.S. **Análise Econômica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém.** SANARE, Curitiba, janeiro a junho de 1999, v. 11, p. 51-58

CARVALHO, M. F. **Comportamento Mecânico dos Resíduos Sólidos.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – EESC-USP, 1999. 300 p.

CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento. **Estação de Tratamento de Esgoto.** Disponível em: <<http://www.casan.com.br/index.php?sys=138>>. Acesso em março de 2012.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITKE, Bruno H. **Análise de Investimentos.** 11. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2010

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** Petrópolis - RJ: PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 2006. 494 p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA; I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. Principais Processos de Degradação de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.).

Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. p. 19-50.

COMPARINI, J. B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa.** 2001. 278 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

CONTABILIDADE, R. C. F. **Resolução Conselho Federal de Contabilidade.** Disponível em: <http://www.normaslegais.com.br/legislacao/resolucao/cfc/1177_2009.htm>. Acesso em fevereiro de 2012.

EPA – Environmental Protection Agency (2003). **Subpart C: Operating criteria.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/landfill/techman/subpartc.pdf>> Acessado em novembro de 2011

FERNANDES, F. **Ajuda pesquisa de conclusão de curso.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncoستا@gmail.com> em 22 de dezembro de 2011.

FERNANDES F., ANDREOLI C.V.; LARA A. I. **Reciclagem de Biossólidos – Transformando Problemas em Soluções.** Curitiba: Sanepar, Finep, 1999

FERNANDES, F. (Coord.). **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura.** Rio de Janeiro: PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 1999. 98p.

FERNANDES, F; SOUZA, S. G. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. Cap2, p. 29-55.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná.

v. 6, 2001. Cap. 5, p. 159-260.

GRANATO, T. C. Biosolids land application by the metropolitan water reclamation district of greater Chicago: an overview of the program, its benefits, and environmental impacts. In: **Simpósio Interamericano de BiosólidoS**, 7, 2010, Campinas. Palestra, Campinas, 2010.

GRIFFIN, R. A.; LUE-HING, C.; ZENS, D. R.; SIEGER, R. B.; UHTE, W. Municipal Sewage Sludge Management at Dedicated Land Disposal Sites and Landfills. In: LUE-HING, C.; ZENS, D. R.; TATA, P.; KUCHENRITHER, R.; MALINA, J. F.; SAWYER B. (Comp.). **Water Quality Management Library - Volume 4: Municipal Sewage Sludge Management: A Reference text on Processing, Utilization and Disposal**. 2. ed. Lancaster: Technomic Publishing Company Book, 1998. Cap. 7, p. 409-486.

KASSAI, J. R.; KASSAI, S.; SANTOS, A.; NETO, A. A. **Retorno de Investimento – Abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. 2a ed., São Paulo, Atlas, 2000

LANGE; L. C.; GOMES, L. P.; CASTILHOS JUNIOR, A. B.; RITTER E.; MORAES, C. A. M.; SIMÕES, G. F. PRIM, E. C. C.; FERREIRA, C. F. A.; SILVA, F. V. B.; COELHO, H. M. G.; BOFF, R. D. Processos Construtivos de Aterros Sanitários: Ênfase no Estudo de Camadas de Cobertura como Mecanismo de Controle da Geração de Lixiviado. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.). **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Petrópolis - RJ: PROSAB, 2006. cap. 4, p.109–208.

LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto**. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 284 p.

LIMA, M. R. P. **Ajuda pesquisa de conclusão de curso**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncoستا@gmail.com> em 30 de dezembro de 2011

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto:**

tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 4, p. 123-157.

MF CARNEIRO LTDA.ENC: **Ajuda Pesquisa de Conclusão de Curso.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 31 de maio de 2012

MARINHO, F. A. M. **Cobertura de Aterro: requerimentos, definições e visão geral dos sistemas.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006. Disponível em: <http://www.sns.org.br/full_control/arquivos/full_control_usuario/PAL_ESTRAS/Cobertura%20de%20Aterro%20-%20Marinho.pdf>. Acesso em: Outubro de 2011.

MOTTA, R.R.; CALÔBA, G.M. **Ánalise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais.** 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006. 391-392 p.

Mc BEAN, W. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall, Inc. **Upper Saddle River**, NJ, 1995.521 p.

MF CARNEIRO LTDA. **Moega de Recepção de Lodo.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 5 de junho de 2012.

NAHAS, Cláudio Michel. **Aterros Sanitários: Técnicas Construtivas e Métodos Operacionais.** Barueri, 2004.

PAMPLONA, E. O. 1999. **Engenharia Econômica.** Disponível em: <<http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/Engecon2/CAP4EEAavaliacaodeprojetos.pdf>>. Acesso em: 03 de abril de 2012.

PIMENTEL, F. J. G. Re: **Contato CASAN.** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 13 de novembro de 2011b.

PIMENTEL, F. J. G. **Aproveitamento de Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto em Camada de Cobertura de Aterro Sanitário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. 217 p.

PINTO, M. T. Higienização de Lodos. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 6, p. 261-297.

PRIM, E. C. C. **Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto sanitário como material de cobertura de aterro sanitário**. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

RECEITA FEDERAL – **Alíquotas do Imposto de Renda de Pessoas Jurídicas Tributadas pelo Lucro Real, Presumido ou Arbitrado**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/Aliquotas/ContribPj.htm>>. Acesso em março de 2012a.

RECEITA FEDERAL – **Alíquotas**. Disponível em: <<http://www.receita.fazenda.gov.br/aliquotas/ContribCsl/Aliquotas.htm>>. Acesso em março de 2012b.

REGUEIRO, E. C. G. **Avaliação da Influência de Diferentes Configurações das Camadas dos Aterros na Formação de Lixiviados**. Projeto de Graduação em Engenharia do Ambiente – Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2006.

REICHERT, G. A. **(Manual) Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**. 2007. 109 p.

RHEW, R. D.; BARLAZ, M. A. **Effect of Lime-Stabilized Sludge as Landfill Cover on Refuse Decomposition**. *Journal of environmental engineering*. North Carolina State University – USA. v. 121, n. 7, 1995, p. 499-506.

SANTA CATARINA, A. **Depreciação e Imposto de Renda em Análise de Viabilidade**. Florianópolis: Artur Santa Catarina, 2010. 25 slides.

SANVICENTE, Antônio Z. **Administração Financeira**. São Paulo: Editora Atlas, 3a edição, 1987.

SANEAMENTO, D. **Fontes de Recursos para Sistemas de Esgoto Sanitário**. Disponível em: <www.esgotoevida.org.br/esgotoevida.php> Acessado em novembro de 2011.

SILVA, M. O. S. A. Digestão anaeróbia ou estabilização química, como decidir? In: **IV Simpósio Interamericano de Biosólidos, 2009**. Vol. 2, p. 108-124

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 3, p. 69-121.

SOUZA, A. B. **Projetos de Investimento de Capital: Elaboração, Análise e Tomada de Decisão**. São Paulo: Atlas, 2003.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 4º ed. Metcalf & Eddy, Inc. New York: McGraw Hill, 2003.1819 p.

TICKET CAR. **Indicadores de Combustível**. Disponível em: <<http://www.ticket.com.br/portal/portalcorporativo/empresa/produtos/ticket-car/informes-tc/indicadores-de-combustivel/>>. Acesso em abril de 2012.

TREVISAN, A. B. **População**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 15 de dezembro de 2011.

TREVISAN, A. B. **Ajuda TCC**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 7 de maio de 2012a.

TREVISAN, A. B. **Coleta de lodo**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 8 de maio de 2012b.

TREVISAN, A. B. **Alíquota Imposto de Renda**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabruncosta@gmail.com> em 11 de maio

de 2012c.

TREVISAN, A. B. **Dados ETE Insular**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabrunccosta@gmail.com> em 20 de junho de 2012d.

_____ 40 CFR §258.2: **Guidance for Design and Installation of Final Covers**, 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/earth1r6/6pd/pd-u-sw/swguide.htm>>. Acesso em novembro de 2011.

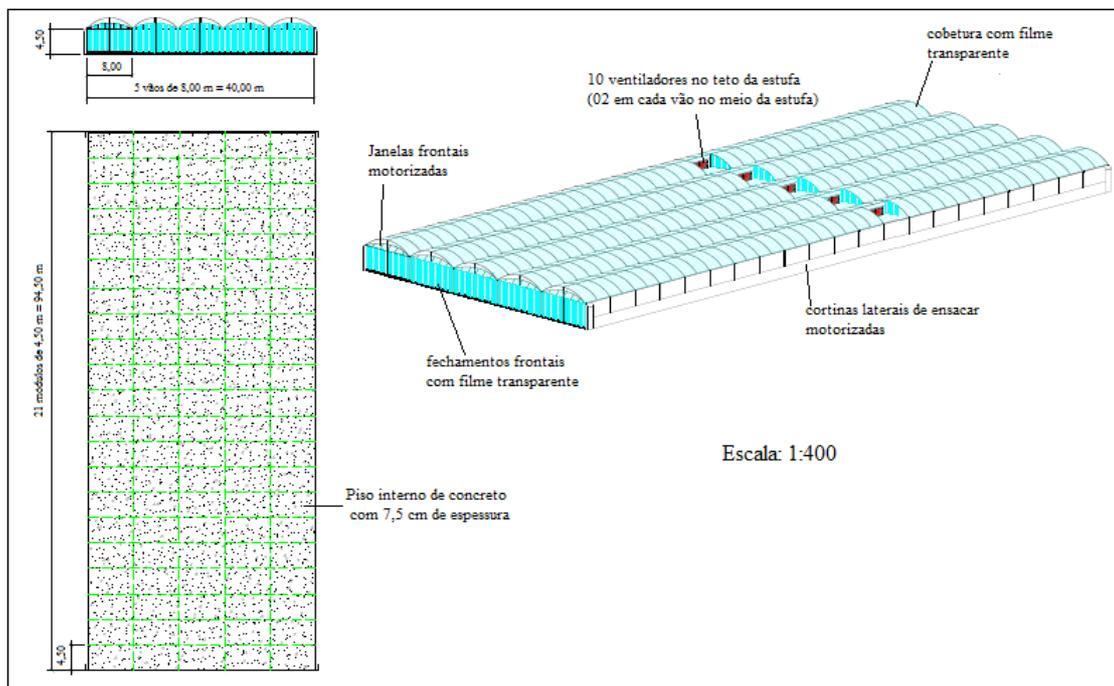
VAN DER HOEVEN. **Aplicações**. Disponível em: <<http://www.estufasagricolas.agr.br/aplicacoes.html>>. Acesso em: 04 de abril de 2012.

VICTORETTE, T. **Dados ETE Insular**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <nanabrunccosta@gmail.com> em 14 de junho de 2012.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005 v.1, cap. 5, p. 357-388.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 1, p.13-14.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: planejamento, elaboração, análise**. São Paulo: Atlas, 1996.

ANEXO 1 – PLANTA BAIXA E PERSPECTIVA DA ESTUFA AGRÍCOLA

Fonte: Adaptado de Seghetto (2012)

APÊNDICE A – DEPRECIÇÃO DOS ATIVOS IMOBILIZADOS

| Equipamentos | Preço total (R\$) | Prazo de vida útil (anos) | Taxa anual de depreciação | Valor da depreciação |
|--|---------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| Silo de cal | 140.000,00 | 10 | 10% | 14.000,00 |
| Moega de recepção de lodo | 2.000,00 | 10 | 10% | 200,00 |
| Rosca transportadora de cal | 20.000,00 | 10 | 10% | 2.000,00 |
| Dosador volumétrico de cal | 25.000,00 | 10 | 10% | 2.500,00 |
| Misturador de lodo e cal | 120.000,00 | 10 | 10% | 12.000,00 |
| Rosca transportadora sem eixo | 28.000,00 | 10 | 10% | 2.800,00 |
| Estrutura física | 46.265,60 | 25 | 4% | 1.850,62 |
| Estrutura metálica | 545.765,85 | 25 | 4% | 21.830,63 |
| Fundações + mureta | 376.397,28 | 25 | 4% | 15.055,89 |
| Perfis de fechamentos + portas + cortinas laterais | 195.361,95 | 25 | 4% | 7.814,48 |
| Sistema de exaustão = exaustores + janelas | 251.802,43 | 10 | 10% | 25.180,24 |
| Filme p/ cobertura e fechamentos | 47.395,29 | 10 | 10% | 4.739,53 |
| Piso de concreto com esp. 7,5 cm (materiais + mão de obra) | 566.160,00 | 25 | 4% | 22.646,40 |
| Revolvedor do lodo (05 equipamentos por estufa) | 1.500.000,00 | 10 | 10% | 150.000,00 |
| Caminhão Ford modelo Cargo 2426 | 200.000,00 | 5 | 20% | 40.000,00 |
| Poliguindaste duplo | 45.000,00 | 10 | 10% | 4.500,00 |
| Caçambas estacionárias | 14.000,00 | 10 | 10% | 1.400,00 |
| Galpão de estoque | 17.349,60 | 25 | 4% | 693,98 |
| Guarita | 32.405,10 | 25 | 4% | 1.296,20 |
| Outros custos | 62.828,10 | 25 | 4% | 2.513,12 |
| Total | 4.235.731,21 | | | 333.021,11 |

APÊNDICE B – PROJEÇÃO DE FLUXO DE CAIXA

| ANO | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | |
|--|------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| RECEITA OPERACIONAL | | | | | | | | | | | | |
| Redução de despesas com a destinação do lodo (+) | | 2.114.227 | 2.177.756 | 2.243.284 | 2.295.183 | 2.348.349 | 2.402.814 | 2.458.611 | 2.515.773 | 2.562.742 | 2.610.652 | |
| Impostos - PIS e Cofins (-) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| RECEITA LÍQUIDA | | 2.114.227 | 2.177.756 | 2.243.284 | 2.295.183 | 2.348.349 | 2.402.814 | 2.458.611 | 2.515.773 | 2.562.742 | 2.610.652 | |
| CUSTOS OPERACIONAIS | | 1.221.495 | 1.240.335 | 1.259.767 | 1.275.158 | 1.290.924 | 1.307.076 | 1.335.153 | 1.352.104 | 1.366.033 | 1.380.241 | |
| Mão de obra + encargos sociais (-) | | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | 141.696 | |
| Aluguel do terreno e minicarregadeira (-) | | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | 89.520 | |
| Matéria prima (-) | | 626.974 | 645.814 | 665.246 | 680.637 | 696.403 | 712.555 | 729.102 | 746.053 | 759.982 | 774.190 | |
| Energia elétrica (-) | | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | 161.346 | |
| Combustível (-) | | 65.769 | 65.769 | 65.769 | 65.769 | 65.769 | 65.769 | 77.300 | 77.300 | 77.300 | 77.300 | |
| Custos de manutenção (-) | | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | 136.189 | |
| RESULTADO DA OPERAÇÃO | | 892.732 | 937.422 | 983.517 | 1.020.025 | 1.057.425 | 1.095.738 | 1.123.458 | 1.163.669 | 1.196.709 | 1.230.411 | |
| Despesas Financeiras (Juros) (-) | | 205.002 | 205.002 | 164.002 | 123.001 | 82.001 | 41.000 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Depreciação (-) | | 333.021 | 333.021 | 333.021 | 333.021 | 333.021 | 293.021 | 293.021 | 293.021 | 293.021 | 293.021 | |
| LUCRO ANTES DO IR | | 354.709 | 399.398 | 486.494 | 564.003 | 642.403 | 761.717 | 830.437 | 870.648 | 903.688 | 937.390 | |
| Imposto de Renda e Contribuição Social (-) | | 96.601 | 111.795 | 141.408 | 167.761 | 194.417 | 234.984 | 258.348 | 272.020 | 283.254 | 294.713 | |
| LUCRO APÓS IR | | 258.108 | 287.603 | 345.086 | 396.242 | 447.986 | 526.733 | 572.088 | 598.627 | 620.434 | 642.678 | |
| Depreciação (+) | | 333.021 | 333.021 | 333.021 | 333.021 | 333.021 | 293.021 | 293.021 | 293.021 | 293.021 | 293.021 | |
| Amortização (-) | | 0 | 694.922 | 694.922 | 694.922 | 694.922 | 694.922 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Investimentos (-) | | -1.489.119 | | | | | | | | | | |
| Valor Residual (+) | | | | | | | | | | | 496.373 | |
| FLUXO DE CAIXA DO AÇONISTA: | | -1.489.119 | 591.129 | -74.298 | -16.815 | 34.341 | 86.085 | 124.832 | 865.109 | 891.648 | 913.455 | 1.432.072 |
| PAYBACK DESCONTADO= 7,31 anos | | -932.449 | -998.337 | -1.012.380 | -985.373 | -921.619 | -834.558 | -266.378 | 285.095 | 817.123 | 1.602.592 | |

TMA= 6,19%

VPL= R\$ 1.602.592

TIR= 18,49%