

Ritielli Berticelli

GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA
DE CENÁRIOS PARA UM MUNICÍPIO DE MÉDIO
PORTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia, sob a orientação do Prof. Dr. Adalberto Pandolfo e coorientação do Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf.

Passo Fundo

2016

Ritielli Berticelli

Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos: Análise de viabilidade Econômica de Cenários para um Município de Médio Porte.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia, na área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente.

Data de aprovação: 25 de fevereiro de 2016.

Os membros componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

Adalberto Pandolfo, Dr.
Orientador

Eduardo Pavan Korf, Dr.
Coorientador

Helen Treichel, Dr^a.
Universidade Federal da Fronteira Sul

Pedro Domingos Marques Prietto, Dr.
Universidade de Passo Fundo

Vandré Barbosa Brião, Dr.
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo
2016

“Dedico este trabalho a Deus, meu alicerce e o maior responsável por esta conquista.”

AGRADECIMENTOS

Pelo desenvolvimento e pela realização deste estudo sou imensamente grata:

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado o dom da vida, por ter me iluminado nesta caminhada, por ter colocado tantas pessoas especiais em meu caminho e por estar sempre a uma oração de distância de mim.

Ao meu orientador Dr. Adalberto Pandolfo, obrigada pela ajuda, sugestões e confiança ao longo da orientação do nosso trabalho.

Ao meu coorientador Dr. Eduardo Pavan Korf, obrigada pela disponibilidade, ajuda e sugestões.

Ao meu amor e companheiro da vida, Claison, pelo incentivo, ajuda, apoio e estímulo ao longo desta caminhada.

À minha família, pelas orações e apoio.

Às minhas amigas “grupo mestrandas”, pelo carinho e amizade que ganhei neste período, em especial à Janaína Brum Gularte Borges pelas conversas, conselhos e ajuda.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Passo Fundo, especialmente ao Secretário Rubens Astolfi, pelas informações repassadas para realização deste trabalho.

À CODEPAS, especialmente ao Luciano, pelas informações repassadas e visitas autorizadas.

À Contemar Ambiental, especialmente ao Claudionei, pelas informações repassadas e bom atendimento.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Passo Fundo.

À banca examinadora deste trabalho, por aceitarem participar e pelas contribuições de melhorias.

À FAPERGS e à Universidade de Passo Fundo, pela bolsa concedida para realização deste estudo.

E por fim, agradeço a todos que me apoiaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

RESUMO

A gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) justifica-se devido à situação de esgotamento e de comprometimento de recursos naturais, dos problemas sociais, ambientais e econômicos da disposição final. Constatando os impactos ambientais que os RSU podem causar e a precariedade da situação atual no seu processo de gerenciamento verificado no município de Passo Fundo/RS, alternativas são necessárias visando a melhoria da sua gestão, ao aumentar a eficiência e reduzir seus custos, colaborando com a preservação do meio ambiente. Sistemas eficientes de coleta seletiva, sensibilização ambiental e adoção de alternativas de tratamento e disposição final podem diminuir consideravelmente os custos da gestão dos RSU e seus impactos negativos. O objetivo do presente estudo é avaliar a viabilidade econômica de cenários voltados para a gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo/RS, verificando a possibilidade de reduzir custos por meio do estabelecimento de uma nova dinâmica às políticas municipais ao propor a atuação integrada entre os serviços prestados à população, visando maior eficiência, eficácia, integração social e a sustentabilidade. A metodologia consistiu na elaboração de cenários com alternativas de gestão. Foram criados três cenários: o cenário inercial, o qual considera a manutenção das condições atuais do sistema de RSU do município; o cenário emergencial, que propõe algumas adequações ao atual sistema de RSU; e o cenário normativo, que propõe a criação de um novo modelo de gestão dos RSU, de acordo com a Lei 12.305/2010 para o município de Passo Fundo/RS. As principais características técnicas, econômicas e operacionais destes cenários foram levantadas, sendo realizada a análise de viabilidade econômica dos mesmos. O resultado da pesquisa demonstra que o cenário normativo é o que apresenta a melhor viabilidade econômica para o município. Conclui-se que é possível seguir os objetivos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e ao mesmo tempo reduzir os custos com a gestão dos RSU. Os resultados demonstram uma redução de custos de 25% com a aplicação do Cenário Normativo proposto. Dessa forma, com o interesse dos dirigentes municipais na questão de gestão de resíduos, com a participação dos usuários dos serviços e a administração adequada dos recursos, é possível estabelecer uma nova dinâmica às políticas municipais destinadas a RSU.

Palavras-chave: gerenciamento de resíduos sólidos, análise de alternativas de investimentos, Política Nacional de Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

The integrated and sustainable management of municipal solid waste (MSW) is justified because of the situation of depletion and impairment of natural resources, social, environmental and economic problems of disposal. Noting the environmental impacts that the MSW can cause and the precariousness of the current situation in their management process occurred in the city of Passo Fundo/RS, alternatives are needed in order to improve their management, increase efficiency and reduce costs by collaborating with the preservation of the environment. Efficient systems of selective collection, environmental awareness and adoption of treatment and final disposal alternatives can significantly reduce the management costs of MSW and its negative impacts. The aim of this study is to evaluate the economic feasibility of targeted scenarios for the management of municipal solid waste in the city of Passo Fundo/RS, checking the possibility of reducing costs by establishing a new dynamic to the municipal policies to propose the integrated action between the services provided to the population, seeking greater efficiency, effectiveness, social integration and sustainability. The methodology was to draw up scenarios with management alternatives. Three scenarios were created: the inertial scenario, which considers the maintenance of the current conditions of the MSW system of the municipality; the emergency scenario, which proposes some adjustments to the current MSW system; and the normative scenario, which proposes the creation of a new model of management of MSW, according to the Law 12.305/2010 to the city of Passo Fundo/RS. The main technical, economic and operational characteristics of these scenarios have been raised, and held the economic feasibility analysis thereof. The research result shows that the regulatory environment is the one with the best economic viability for the municipality. It follows that it is possible to meet the objectives set by the National Solid Waste Policy and at the same time reducing costs to the management of MSW. The results show a 25% reduction in costs with the implementation of the proposed Regulatory Scenario. Thus, the interest of municipal leaders in waste management issue, with the participation of service users and the proper management of resources, it is possible to establish a new dynamic to the municipal policies to MSW.

Keywords: solid waste management, analysis of investment alternatives, national solid waste policy.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problema da pesquisa	9
1.2	Justificativa	10
1.3	Objetivos	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
1.4	Escopo e delimitação da pesquisa	12
1.5	Estrutura da dissertação	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Resíduos sólidos	14
2.1.1	Legislações Federais sobre resíduos sólidos	16
2.1.2	Legislações Estaduais sobre resíduos sólidos	18
2.1.3	Legislações Municipais sobre resíduos sólidos	18
2.2	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	20
2.3	Coleta seletiva	22
2.3.1	Sensibilização e Educação Ambiental	23
2.4	Tecnologias de gestão, valorização, tratamento e/ou disposição dos RSU	24
2.4.1	Reciclagem	24
2.4.2	Compostagem	27
2.4.3	Aterro Sanitário	33
2.5	Modelos de gestão aplicados em alguns municípios Brasileiros	36
2.6	Análise de alternativas de investimentos	39
2.6.1	Fluxo de caixa	39
2.6.2	Taxa mínima de atratividade (TMA)	39
2.6.3	CrITÉrios econômicos de decisão	40
2.7	Programas e fontes de recursos para o saneamento básico no Brasil	44
2.7.1	Ministério das Cidades	44
2.7.2	Fundação Nacional da Saúde - Funasa	44
2.7.3	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social - BNDES;	45
2.7.4	Caixa Econômica Federal - CEF	46
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	Caracterização do município de Passo Fundo/RS	49
3.2	Classificação da pesquisa	50
3.3	Procedimentos e métodos	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58

4.1	Diagnóstico, prognóstico e ações previstas para o setor de manejo de RSU de Passo Fundo/RS	58
4.1.1	Descrição da quantidade e composição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS	58
4.1.2	Caracterização do atual sistema de gestão de RSU aplicado no município	59
4.1.3	Levantamento dos custos envolvidos no atual sistema de gestão dos RSU no município de Passo Fundo/RS	65
4.1.4	Apresentação dos principais programas, projetos, ações previstas no PMSB de Passo Fundo para o setor de manejo de RSU	66
4.1.5	Prognóstico da projeção populacional e projeção de demandas	67
4.2	Elaboração de Cenários que representem alternativas para gestão, valorização, tratamento e /ou disposição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS	69
4.3	Análise da viabilidade econômica dos cenários propostos para o município	70
4.3.1	Cenário I – Inercial	70
4.3.2	Cenário II – Emergencial	72
4.3.3	Cenário III – Normativo	84
4.3.4	Discussão e análise dos cenários	99
5	CONCLUSÕES	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	APÊNDICE A	121
	APÊNDICE B	137
	APÊNDICE C	143
	APÊNDICE D	151

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é um marco legal completo para o setor. Porém, aplicá-la na prática é um dos grandes desafios a serem enfrentados pelos municípios brasileiros, que têm o dever de proporcionar um sistema de gestão dinâmico, eficiente e, sobretudo, que atenda a legislação.

Fazem parte do presente capítulo o problema e a justificativa da pesquisa, os objetivos, o escopo e delimitação da pesquisa e a estrutura da dissertação.

1.1 Problema da pesquisa

O aumento populacional, a economia em expansão, a rápida urbanização e o aumento dos padrões de vida da comunidade aceleraram a taxa de geração de resíduos sólidos urbanos (MINGHUA et al., 2009). Os municípios, responsáveis pela gestão de RSU têm o desafio de proporcionar um sistema eficaz e eficiente para os habitantes (GUERRERO et al., 2013). No entanto, muitas vezes eles enfrentam dificuldades de solução que vão além da capacidade da autoridade municipal (SUJAUDDIN et al., 2008), principalmente devido à falta de organização, recursos financeiros e à complexidade do sistema de gestão (BURNTLEY, 2007).

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem, gera desperdícios, agrava a degradação ambiental, contribui de forma importante à manutenção das desigualdades sociais, constitui ameaça constante à saúde pública, comprometendo a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros urbanos de médio e grande porte (SCHALCH et al., 2002).

Segundo a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), a gestão dos resíduos sólidos deve ser realizada observando-se a hierarquia da Política Nacional de Resíduos Sólidos, nos seguintes pontos fundamentais: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e por fim, após esgotadas todas as possibilidades de reutilização e reciclagem, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O município de Passo Fundo/RS é uma cidade de médio porte que possui uma geração significativa de RSU, aproximadamente 4.478 t/mês. O município dispõe de uma área, na qual desde o ano de 1991 eram depositados os resíduos sólidos, sendo que até o ano de 2001 foi operada pela Prefeitura Municipal, na forma de lixão. A partir de 2001, o município

terceirizou sua operacionalização quando foram feitas algumas adequações, transformando o local em aterro controlado. Entre 2005 e 2009 foram construídas duas células com maiores controles, porém, no final de 2010, a capacidade da área se esgotou e a partir de 2011 o município adotou uma solução emergencial, enviando todos os resíduos para destinação em outro município. Porém, a medida emergencial tornou-se permanente, e os rejeitos continuam sendo encaminhados para aterro sanitário terceirizado, localizado a mais de 300 km de distância, no município de Minas do Leão.

Sendo assim, a gestão de resíduos sólidos de Passo Fundo/RS não segue o modelo descrito na hierarquia estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois não possui aproveitamento da parcela orgânica dos resíduos, não dispõe de alternativas de tratamento e disposição final e faltam programas de conscientização e educação ambiental. Além disso, o custo com transporte e disposição final dos rejeitos é bastante elevado.

A falta de acompanhamento financeiro específico e análise de dados é uma das principais barreiras para sustentar qualquer melhoria prevista do sistema de gestão dos RSU (HANRAHAN et al, 2006; ZURBRÜGG et al, 2007; PARTHAN et al, 2012).

As políticas públicas direcionadas ao setor de RSU de Passo Fundo/RS estão desprovidas de soluções locais para o gerenciamento e alternativas devem ser propostas. Sistemas eficientes de coleta seletiva, sensibilização ambiental e a adoção de alternativas de tratamento e disposição final podem diminuir consideravelmente os custos da gestão dos RSU e os seus impactos relativos.

Nesse contexto tem-se como questão de pesquisa: qual proposta é a mais adequada, sob aspectos técnicos e econômicos, para a gestão integrada de RSU no município de Passo Fundo/RS?

1.2 Justificativa

A gestão de RSU representa, muitas vezes, uma significativa proporção do orçamento municipal total, recorrente em cidades de renda média ou baixa (SCHEINBERG et al., 2010).

As parcerias público-privadas, por meio da terceirização dos serviços, surgiram como uma alternativa para melhorar o desempenho dos serviços a custos mais baixos (COINTREAU et al. 2000; ZHU et al., 2007; ABDRABO, 2008). Porém, a abordagem dos aspectos financeiros, como contabilidade de custos e avaliação financeira, é fundamental para garantir a sustentabilidade do sistema de gestão de resíduos sólidos, garantindo um serviço de

qualidade com custos compatíveis e com constantes investimentos no setor (LOHRI; CAMENZIND; ZEBRUGG, 2014). Estes métodos são raramente utilizados e muitas vezes o município não sabe o custo real da prestação do serviço (BARTONE et al., 1990; DIAZ et al., 1999; SCHÜBELER, 1996; WILSON et al., 2012).

Sendo assim, antes do poder público tomar qualquer decisão sobre como proceder novas estratégias de gestão de RSU é indispensável estabelecer um entendimento completo dos custos atuais para provisão dos serviços futuros e das respectivas receitas (HOORNWEG et al., 2005).

Existem vários elementos que devem ser considerados numa proposta de gestão integrada de resíduos sólidos para que os municípios exerçam o que está estabelecido na Lei nº 12.305 (BRASIL 2010). Estes elementos podem considerar a forma de geração, acondicionamento na fonte geradora, coleta, transporte, processamento, recuperação e disposição final, a interveniência de vários tipos de profissionais, o arranjo legal-institucional compatível, com ativa participação da comunidade, disponibilização de recursos e uma permanente negociação política. Portanto, deve-se criar um sistema dirigido pelos princípios de engenharia e técnicas de projetos, que possibilite a construção de dispositivos capazes de propiciar a segurança sanitária à comunidade, contra os efeitos adversos dos resíduos (SCHALCH et al., 2002).

O desafio para proporcionar um saneamento básico de qualidade no município de Passo Fundo/RS é algo que deve ser apresentado e solucionado. Isso é possível analisando o que impulsiona a mudança na gestão dos resíduos sólidos, em cidades que já encontraram soluções locais e que aplicam estes conceitos na prática.

Verificando os impactos que os resíduos sólidos podem causar e a precariedade da gestão dos RSU atual no município de Passo Fundo/RS, algumas alternativas devem ser avaliadas visando melhorar a gestão, aumentando sua eficiência, diminuindo seus custos e colaborando com a preservação do meio ambiente.

Constata-se a necessidade de se promover uma gestão adequada, a fim de prevenir ou reduzir os possíveis efeitos negativos sobre o meio ambiente e os riscos para a saúde humana. O cumprimento das diretrizes estabelecidas pela Lei nº 12.305 é obrigatório e, portanto, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de buscar novos modelos de gestão integrada de RSU para o município de Passo Fundo/RS, firmando um marco norteador para a consecução de uma gestão sustentável. O trabalho será desenvolvido na linha de pesquisa de Planejamento Territorial e Gestão da Infraestrutura com ênfase em gestão de projetos ambientais.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é de contribuir para a melhoria da gestão dos RSU do município de Passo Fundo/RS, apresentando a viabilidade econômica de propostas de gestão baseadas em cenários com diferentes configurações.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Elaborar um diagnóstico e prognóstico para o manejo de resíduos sólidos urbanos do município de Passo Fundo/RS;
- b) Elaborar cenários que representem alternativas técnicas para gestão, valorização, tratamento e/ou disposição dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Passo Fundo/RS;
- c) Analisar a viabilidade econômica para implantação destes cenários no município.

1.4 Escopo e delimitação da pesquisa

Esta pesquisa abrange os RSU do município de Passo Fundo/RS, gerados em residências, estabelecimentos comerciais e nas atividades de limpeza de ruas, capinação, poda (resíduos públicos), que são de responsabilidade da Prefeitura Municipal. Os resíduos de serviços de saúde, industriais e de construção e demolição, cujas responsabilidades são dos geradores dos mesmos, não foram incluídos nesta pesquisa.

O diagnóstico do sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos apresentado nesta pesquisa foi realizado no ano de 2015.

1.5 Estrutura da dissertação

Além do presente capítulo, no qual se apresenta o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos e as delimitações do trabalho, esta dissertação é composta por mais quatro capítulos.

O capítulo 2 apresenta a revisão da literatura, abordando as definições e classificações dos resíduos sólidos, a problemática destes materiais, as definições de gestão e gerenciamento destes, assim como as etapas do gerenciamento e as experiências de outras cidades, além da legislação referente ao assunto nos níveis federal, estadual e municipal.

O capítulo 3 caracteriza o município onde foi realizado o estudo, classifica a pesquisa e descreve o procedimento metodológico utilizado, detalhando as atividades realizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 4 apresenta, analisa e discute os resultados.

O capítulo 5, por fim, apresenta as conclusões da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros, elaboradas a partir dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica estão contidos alguns temas principais que englobam o assunto da presente pesquisa. Inicialmente é realizada uma caracterização geral sobre os resíduos sólidos, classificação e legislação aplicada, tanto em nível federal, quanto estadual e municipal, além de enfatizar a gestão integrada de resíduos sólidos. Posteriormente, são apresentadas as principais tecnologias de destinação de resíduos aplicadas no Brasil, como a reciclagem, compostagem e aterro sanitário. Sobre cada tecnologia é apresentada uma conceituação, aspectos gerais, características do processo e os aspectos econômicos e financeiros relacionados para implantação. São abordadas algumas iniciativas de municípios que se destacam na gestão/gerenciamento de RSU. Também é abordada uma conceituação sobre a análise de alternativas de investimentos de projetos. Por fim, são apresentados os principais programas e fontes de recursos para o Saneamento Básico no Brasil.

2.1 Resíduos sólidos

Segundo a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), resíduo sólido é todo material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) ainda define Rejeitos como resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004).

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados

adequadamente. Para os efeitos desta Norma, os resíduos são classificados em Resíduos classe I e II, assim como demonstra o Quadro 1.

Quadro 1: Classificação dos resíduos quanto aos riscos ao ambiente

Classe I - Perigosos	São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
Classe II - Não Perigosos	Classe II A - Não Inertes
	São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe III – Inertes.
	Classe II B - Inertes
	São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da NBR 10.004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Fonte: Adaptado de ABNT (2004).

A Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) também classifica os resíduos sólidos de acordo com a sua origem, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Classificação dos resíduos quanto à sua origem

Resíduos domiciliares (RSD)	Originários de atividades domésticas em residências urbanas;
Resíduos de limpeza urbana	Originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	Engloba os resíduos domiciliares e os resíduos de limpeza urbana;
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Gerados nessas atividades, excetuados os resíduos de limpeza urbana, resíduos dos serviços públicos de saneamento básico, resíduos de serviço de saúde, resíduos da construção civil e resíduos de serviço de transporte;
Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Gerados nessas atividades, excetuados os resíduos sólidos urbanos;
Resíduos industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
Resíduos de serviços de saúde (RSS)	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
Resíduos da construção civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
Resíduos agrossilvopastoris:	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
Resíduos de serviços de transportes	Originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
Resíduos de mineração	Gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

Outros critérios para classificação dos resíduos sólidos podem ser adotados. Segundo Vilhena (2010), os resíduos podem ser classificados quanto à sua natureza física em secos (papéis, plásticos, metais, couros tratados, tecidos, vidros, madeiras, guardanapos e toalhas de papel, pontas de cigarro, lâmpadas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças) e molhados (restos de comida, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, entre outros).

2.1.1 Legislações Federais sobre resíduos sólidos

A Constituição Federal Brasileira dispõe de uma legislação ampla que trata de resíduos sólidos. Entretanto, essas leis não têm conseguido resolver a problemática dos resíduos, devido à falta de diretrizes claras, sincronismo entre as etapas que compõem o sistema de gerenciamento e de integração dos órgãos envolvidos na elaboração e aplicação das leis. No Quadro 3 são apresentadas as principais legislações federais que abordam assuntos relacionados a resíduos sólidos.

Quadro 3: Principais legislações federais que tratam sobre resíduos sólidos

Lei/Resolução/Decreto	Ementa
Resolução nº 23, de 12 de dezembro de 1996	Regulamenta a importação e o uso de resíduos perigosos.
Decreto nº 5940, de 25 de outubro de 2006	Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências.
Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036 de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1996; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008	Estabelece os limites máximos do chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências.
Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010.	Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.
Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010	Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de resíduos sólidos e o Comitê orientador para implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

Fonte: Adaptado de Legislação de Direito Ambiental (2012).

2.1.1.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Lei 12.305 (BRASIL, 2010) institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), e dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis

A PNRS reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

A PNRS estabelece a hierarquia que deve ser observada para a gestão dos resíduos, assim como demonstra a Figura 1, onde institui uma ordem de precedência que deixa de ser voluntária e passa a ser obrigatória.

Figura 1: Aspectos das prioridades de ações da Política Nacional de Resíduos Sólidos



Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos tem alguns objetivos definidos, entre eles, a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; a adoção, aprimoramento e desenvolvimento de tecnologias limpas; a gestão integrada dos resíduos sólidos; incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos; incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

A Lei 12.305 (BRASIL, 2010) em seu artigo 10, diz que incumbe aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios. Também deixa claro que poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com

a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental. O artigo 36 define que cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos: adotar procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos urbanos reutilizáveis e recicláveis, estabelecer sistema de coleta seletiva, articular com os agentes econômicos e sociais medidas para viabilizar o retorno ao ciclo produtivo dos resíduos urbanos sólidos reutilizáveis e recicláveis, implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido e dar disposição final ambientalmente adequada aos resíduos e rejeitos oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

2.1.2 Legislações Estaduais sobre resíduos sólidos

No âmbito estadual, algumas legislações também regem a questão de resíduos sólidos, assim como demonstra o Quadro 4.

Quadro 4: Principais legislações estaduais que tratam sobre resíduos sólidos

Lei/Resolução/Decreto	Ementa
Lei nº 9921 de 27 de julho de 1993	Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, parágrafo 3º da Constituição do Estado e dá outras providências.
Decreto nº 38.356, de 01 de abril de 1998	Aprova o Regulamento da Lei nº 9.921, de 27 de julho de 1993, que dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul.
Lei nº 12037 de 19 de dezembro de 2003	Dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento e dá outras providências.
Lei nº 14.528, de 16 de abril de 2014	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências.

Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2014a).

2.1.3 Legislações Municipais sobre resíduos sólidos

No âmbito municipal, as principais legislações referentes a resíduos sólidos estão listadas no Quadro 5.

Quadro 5: Principais legislações municipais que tratam sobre resíduos sólidos

Lei/Resolução/Decreto	Ementa
Lei Orgânica, de 03 de abril de 1990	Lei Orgânica do Município de Passo Fundo.
Decreto nº 14, de 29 de janeiro de 1996	Institui aos usuários específicos da usina de reciclagem dos resíduos urbanos de Passo Fundo (altera o art. 2º, pelo decreto 82/97).
Lei nº 3262, de 03 de novembro de 1997	Institui a coleta seletiva do lixo em Passo Fundo, a comercialização dos seus produtos e subprodutos, destina os recursos obtidos às creches e programas municipais de atendimento às crianças carentes e dá outras providências.
Lei nº 3596, de 23 de junho de 2000	Institui o Fundo Municipal do Meio Ambiente e dá outras providências.
Lei nº 3886, de 06 de fevereiro de 2002	Altera dispositivos da Lei nº 3596/00 que dispõe sobre o Fundo Municipal do Meio Ambiente.
Lei complementar nº 170, de 09 de outubro de 2006	Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI do município de Passo Fundo.
Lei nº 4568, de 23 de janeiro de 2009	Institui o programa municipal de educação ambiental e dá outras providências.
Lei complementar nº 233, de 03 de novembro de 2009	Dispõe sobre a taxa de coleta de lixo no município de Passo Fundo.
Lei nº 4969, de 03 de janeiro de 2013	Institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos de Passo Fundo e dá outras providências.

Fonte: Adaptado de Leis Municipais (2014).

Segundo a Lei Orgânica do Município de Passo Fundo (PASSO FUNDO, 1990) é de competência comum do Estado e do Município implantar o programa de saneamento urbano e rural, com o objetivo de promover a defesa da saúde pública. Segundo os artigos 192 e 193, o Município formulará a política e o planejamento de execuções de saneamento básico, definido como serviço público essencial, podendo sua execução ser concedida ou permitida na forma da lei, sendo que a lei disporá sobre o serviço de saneamento básico, o controle, a destinação e a fiscalização do processamento do lixo e dos resíduos urbanos, industriais, hospitalares, laboratoriais, de análises clínicas e outros.

O Fundo Municipal do Meio Ambiente, criado em 2000, pela Lei nº 3596 e reformulado em 2002, pela Lei nº 3886 (PASSO FUNDO, 2002), tem a finalidade de arrecadar, administrar e liberar recursos econômicos que serão destinados a possibilitar o financiamento das ações do meio ambiente. Estes recursos serão constituídos de dotações orçamentárias, recursos captados através de convênios, taxas de licenciamento, recursos provenientes de multas e valores destinados através da Lei Complementar nº 233 (PASSO FUNDO, 2009), que estabelece a taxa para o recolhimento do lixo.

Uma das diretrizes da gestão da infraestrutura do município da Lei Complementar nº 170 (PASSO FUNDO, 2006) que institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado

(PDDI) do Município de Passo Fundo/RS é “aprimorar o sistema de gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana”, viabilizando assim, a implantações de infraestruturas de saneamento básico.

A Política Municipal de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 4969 (PASSO FUNDO, 2013), reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Executivo Municipal, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Esta lei busca atingir melhores condições ambientais e de saúde pública no município.

Considerando as principais leis, resoluções e decretos federais, estaduais e municipais existentes no que se refere a resíduos sólidos, percebe-se que tratam do tema de forma ampla, sendo que se forem cumpridas e fiscalizadas, irão atender de forma satisfatória as questões relacionadas aos resíduos sólidos.

2.2 Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é definida pela PNRS como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

As cidades usam diferentes tecnologias, políticas e comportamentos para controlar os impactos negativos dos seus resíduos e para encontrar formas de reutilização dos mesmos. Esta combinação de métodos constitui a gestão de resíduos, que pode ser dividida em seis elementos funcionais que descrevem as etapas de gerenciamento, englobando a geração, tratamento, coleta, transporte, processamento e transformação, e disposição final. Todo o processo deve estar de acordo com a legislação existente, com os aspectos sociais de proteção ao meio ambiente e à saúde pública e aos recursos financeiros disponíveis. (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

Segundo Lopes (2003), a realidade brasileira quanto à gestão e ao gerenciamento dos resíduos sólidos, ainda, concentra-se na destinação final e não na prevenção da poluição e minimização da geração de resíduos na fonte. A responsabilidade pela prestação de serviços de limpeza urbana é do município e na maioria das cidades brasileiras, a coleta de lixo é realizada pela iniciativa privada sob forma de concessão, subcontratação ou permissão, onde

ocorre a delegação de prestação dos serviços para pessoa física, jurídica ou consórcio, que demonstre capacidade para seu desempenho, por sua conta e risco.

Duas estruturas de orientação têm sido fundamentais para as decisões de gestão de resíduos: a hierarquia dos resíduos e a gestão integrada de resíduos (WHITE; FRANKE; HINDLE; 1999). A hierarquia lista as seguintes etapas: redução de resíduos, reutilização, reciclagem, recuperação de energia, e deposição final em aterro (WILLIAMS, 2005). A gestão integrada de resíduos surgiu com uma abordagem diferente, sendo representada por um conjunto de princípios de gerenciamento ambientalmente e economicamente adequados, de forma sustentável e socialmente aceitável (TCHOBANOGLIOUS, KREITH, 2002; McDOUGALL et al., 2001; WHITE, FRANKE, HINDLE, 1999), sendo que o conceito “integrado” é utilizado por defender uma visão holística, que inclui todos os fluxos de resíduos, visando controlar os resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Devido ao foco na flexibilidade e especificidades às condições locais, a gestão integrada de resíduos não prescreve soluções, em vez disso, mantém princípios, sendo que cada região deve desenvolver sistemas próprios em respostas aos seus contextos (McDOUGALL et al., 2001).

Os sistemas de gestão dos resíduos sólidos de melhor funcionamento envolvem todas as partes interessadas no planejamento, implementação, e monitoramento das mudanças, sendo constituído por três principais grupos de interessados: os prestadores de serviços, incluindo a autoridade local, que realmente oferecem o serviço; os usuários, que são os clientes; e a agentes externos em um ambiente propício, incluindo o governo nacional e local, que organizam as condições de contorno para que essa mudança seja possível.

A diversidade de cidades acarreta na geração de diferentes composições de resíduos, apontando para a necessidade de um contexto específico de gestão de resíduos, de acordo com cada região. Muitas tentativas de importar soluções de resíduos de países industrializados para países menos industrializados falharam, porque os estudos indicam que os sistemas de gestão de resíduos do mundo em desenvolvimento foram cópias incompletas de um sistema ideal que opera em países desenvolvidos (UN-HABITAT, 2010). As cidades estão reconhecendo a necessidade de adaptação, soluções de gestão de resíduos locais, sustentáveis que levam ao contexto local como um ponto de partida, não de uma tecnologia importada que talvez venha a não dar certo.

Portanto, a Gestão e o Gerenciamento dos resíduos sólidos são tarefas complexas e abrangentes, refletindo na dificuldade da maioria dos municípios, devido principalmente à falta de autonomia, recursos e conhecimento técnico sobre o assunto.

Rodrigo e Castells (2001) realizaram um estudo para elaboração de estratégias para o gerenciamento dos resíduos sólidos do município de Catalunha na Espanha e concluíram que os aspectos econômicos e sociais também devem ser considerados para uma gestão eficiente.

O gerenciamento ambiental deve ser uma abordagem multilateral, considerando que os problemas ambientais e suas soluções são determinados por fatores tecnológicos, bem como por questões econômicas, sociais, físicas, culturais e políticas. Sendo assim, o sistema proposto é integrado, visando propostas sustentáveis em todos os setores (SHEN, 1995).

2.3 Coleta seletiva

A coleta seletiva é uma etapa fundamental para a eficiência do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos e, essencial para se atingir a meta de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Consiste na segregação dos resíduos na fonte geradora e coleta destes materiais previamente separados. Trata-se de um tipo de tratamento dado ao resíduo, que começa na fonte geradora com a segregação ou separação dos materiais em orgânicos e inorgânicos; e em seguida com a sua disposição para a sua coleta (BARROS, 2012).

O manejo diferenciado dos resíduos é a essência do conceito de coleta seletiva e se aplica, além da típica coleta seletiva de papel, plástico, vidros e metais, a todos os resíduos, reconhecidos como bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011). No Brasil, a coleta seletiva vem sendo lentamente implantada desde meados da década de 80, quando começou em caráter experimental em algumas cidades brasileiras (BARROS, 2012).

A lei 12.305 (BRASIL 2010) em seu Art. 35 afirma que, sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva o consumidor deve acondicionar e disponibilizar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados. Portanto, ao contrário do que muitas pessoas pensam, a coleta seletiva envolve uma responsabilidade compartilhada, principalmente entre o gerador e o poder público. Além disso, o decreto 7.404 (BRASIL, 2010) prevê que os consumidores que descumpram suas obrigações estarão sujeitos à advertência, e em caso de reincidência, multa.

Grimberg e Blauth (1998) avaliaram 100 (cem) experiências de coleta seletiva no Brasil, e apenas 20 (vinte) alcançaram resultados promissores. Este fato se deve à falta de planejamento dos programas de coleta seletiva, gerando o insucesso.

Para que o sistema de coleta seletiva ocorra de forma eficiente, é imprescindível a participação e conscientização ambiental da comunidade. Bringhenti e Gunther (2011) estudaram a participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos e concluíram que a falta de divulgação dos resultados da coleta, a acomodação e o desinteresse da população, o descrédito relativo às ações oriundas do poder público, e a falta de espaço, nas residências para armazenar os resíduos recicláveis, dentre outros, são fatores que dificultam a participação na coleta seletiva.

2.3.1 Sensibilização e Educação Ambiental

A gestão dos resíduos sólidos tem evoluído para a regionalização e formalização do setor, assim como as tecnologias e políticas utilizadas para minimizar os impactos sociais e ambientais vem se difundindo. Porém, a gestão dos resíduos é extremamente dependente do comportamento humano, e os municípios devem usar políticas de educação e conscientização ambiental para afetar as mudanças associadas aos elementos de gerenciamento dos resíduos.

A minimização da produção de resíduos na fonte é um meio pelo qual os indivíduos podem reduzir o impacto ambiental de seus resíduos (VERGARA; DAMGAARD; HORVATH, 2011). A redução pode ser uma prática cultural, como por exemplo, a maneira com que as pessoas mais velhas compram produtos e são menos consumistas (STRASSER, 1999), ou pode ser uma forma de ativismo ambiental.

Segundo Ruffino (2002) a educação ambiental é um processo no qual são trabalhados compromissos e conhecimentos capazes de levar o indivíduo a repensar sua relação com o meio, de forma a garantir mudanças de atitudes em prol da melhoria da qualidade de vida da sociedade na qual está inserido, bem como reverter situações que possam comprometer a sobrevivência das espécies animais e vegetais, e conseqüentemente, a manutenção da vida no planeta. Portanto, a Educação Ambiental surge como um dos instrumentos mais importantes para promover mudança comportamental da sociedade (ZANETI, 2003). Por meio da Educação Ambiental, pode-se promover a mudança de hábitos das pessoas e torná-las participantes do processo. Há inúmeras formas de a sociedade alterar seu comportamento mediante a conscientização e a adoção de medidas de manejo dos resíduos sólidos.

O número de barreiras existentes na sociedade é enorme, pois a cultura de consumo atual está associada com a aquisição de novos produtos mais tecnológicos e com a dificuldade de quebrar hábitos, por isso essa questão de conscientização e educação ambiental é tão

importante e essencial para que ocorra a mudança de atitudes com relação a minimização na geração e a correta segregação dos resíduos sólidos.

2.4 Tecnologias de gestão, valorização, tratamento e/ou disposição dos RSU

O tratamento de resíduos pode ser compreendido como uma série de procedimentos físicos, químicos e biológicos que tem por objetivo diminuir a carga poluidora do meio ambiente, reduzir os impactos sanitários negativos do homem e o beneficiamento econômico do resíduo (FADE, 2014). No Brasil, a prática amplamente aceita para o tratamento dos RSU é a disposição final em aterros sanitários, embora ainda existam no país alguns lixões e aterros controlados. Em contrapartida, os países desenvolvidos tiveram inovações e evoluções tecnológicas significativas que acompanharam as necessidades energéticas, materiais e ambientais, como por exemplo os incineradores.

No que se refere à tecnologias de tratamento e disposição final de RSU, de uma forma geral, não existem tecnologias melhores que outras, mas sim tecnologias apropriadas e que respeitam os aspectos sociais, ambientais e econômicos do local onde será implantada. Esta tecnologia não se deve definir de forma isolada. O sistema de tratamento (rota tecnológica), o modelo de gestão, o arranjo institucional todos devem ser definidos de forma conjunta, apoiados em políticas públicas, em estudos de viabilidade econômica e com um grande envolvimento da sociedade (FADE, 2014).

O objetivo desta seção é apresentar as principais tecnologias existentes para valorização e tratamento dos RSU, em cumprimento àquilo que determina a PNRS.

2.4.1 Reciclagem

2.4.1.1 Conceituação e aspectos gerais

A reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vista à transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010).

A reciclagem é uma atividade econômica, que deve ser vista como um elemento dentro do conjunto de atividades integradas no gerenciamento dos resíduos, não se traduzindo, portanto, como a principal "solução" para os resíduos, já que nem todos os

materiais são recicláveis sob os aspectos técnico ou econômico. No passado, procurava-se reciclar tudo o que gerasse renda. Porém, a sociedade de consumo vem se tornando diversificada, que em muitos casos é mais barato para as indústrias produzirem materiais utilizando matéria-prima virgem, em vez de reciclar (SCHALCH et al., 2002).

Segundo Barros (2012), a reciclagem traz os seguintes benefícios: diminui a exploração de recursos naturais; aproveitamento energético; contribui para reduzir a poluição do solo, água e ar; melhora a limpeza das cidades e qualidade de vida da população; prolonga a vida útil dos aterros sanitários; melhora e facilita a segregação dos resíduos; gera empregos; gera receita; estimula a concorrência; contribui para a valorização da limpeza pública e formação consciência ambiental.

Os benefícios ambientais da reciclagem derivam principalmente das economias dos recursos naturais e energia (CHRISTENSEN et al., 2009), embora estes benefícios possam variar localmente. A reciclagem exige um fornecimento (coleta e triagem) e um pedido (um mercado para o produto reciclado). A cadeia de reciclagem varia de formalidade em todo o mundo, mas há cada vez mais mercado globalizado dos materiais recicláveis (VERGANA; TCHOBANOGLIOUS, 2012). Existem duas forças motrizes para a reciclagem de resíduos: o seu valor de mercadoria e seu valor de serviço. O valor de mercadoria deriva de seu valor econômico, este valor leva todas as atividades de reciclagem privadas, incluindo a reciclagem não regulamentada prevalente em países menos industrializados. O valor do serviço é a economia para o sistema de gestão de resíduos, que divide os serviços com o setor de reciclagem, sendo que este valor de desvio, juntamente com a preocupação com o meio ambiente, dirige programas de reciclagem municipais comuns em mais nações industrializadas (UN-HABITAT, 2010).

Segundo um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada em 2010 (IPEA, 2010), o Brasil perde bilhões de reais todo ano por deixar de reciclar todo resíduo reciclável que vai para aterros como sendo rejeitos. No Quadro 6 podem-se observar as principais vantagens e desvantagens da reciclagem.

Quadro 6: Vantagens e desvantagens da reciclagem

Vantagens	Desvantagens
Diminuição de materiais a serem coletados e dispostos, aumentando a vida útil dos aterros sanitários.	Alteração do processo tecnológico para o beneficiamento, quando da reutilização de materiais no processo industrial.
Economia no consumo de energia.	Necessidade de participação ativa da população.
Geração de emprego e renda.	Custo de uma coleta diferenciada.
Preservação de recursos naturais e insumos.	

Fonte: ICLEI (2011)

2.4.1.2 Características do processo

As atividades de reciclagem permitem minimizar a quantidade de resíduos que são direcionados ao aterro e ao mesmo tempo valoriza o lixo, gerando insumos (materiais e compostos orgânicos) para outros processos.

A reciclagem aparece como uma maneira de reintroduzir no sistema econômico uma parte da matéria e/ou da energia, que se tornaria lixo e ficaria sem condições de aproveitamento. Neste processo os resíduos são separados, coletados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, desse modo aliviando o comprometimento dos recursos naturais devido às várias etapas do processo de consumo desde a extração das matérias-primas, passando pelo seu processamento/manufatura, pelo seu consumo e até a sua disposição final (BARROS, 2012).

A reciclagem é realizada pelo setor formal e pelo setor informal. O setor formal é constituído por trabalhadores com vínculo empregatício, já o setor informal da gestão de resíduos é constituído por pessoas que separam, coletam e revendem os materiais recicláveis; o trabalho é geralmente de pequena escala, baixa tecnologia, o trabalho é intensivo e não regulamentado ou registrado (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006). Segundo Mitchell (2008), o termo informal é usado para descrever a relação entre os trabalhadores e o Estado – não se referindo ao seu nível de organização. Em várias cidades, como Port-au-Prince no Haiti (CLAUDEL, 2010) ou Delhi na Índia (WILSON et al., 2009), estes trabalhadores são essenciais na gestão dos resíduos, pois recuperam materiais que muitas vezes seriam encaminhados diretamente para destinação final, sem reaproveitamento ou reciclagem. O desafio é a integração deste setor, através do reconhecimento ambiental, econômico e social, considerando os benefícios da reciclagem (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006).

Para Bidone e Povinelli (1999), a reciclagem para a recuperação de um resíduo depende dos seguintes fatores: proximidade da instalação de reprocessamento, custos de transportes com os resíduos, volume dos resíduos disponíveis para o processamento e custos de estocagem do resíduo no ponto de geração ou fora do local de origem. Sendo assim, para que a reciclagem de um determinado resíduo seja viável, faz-se necessário uma análise de custos e benefícios e uma integração com o setor informal.

As usinas de triagem e reciclagem (UTC's) são bastante utilizadas, porém é absolutamente fundamental que a cidade faça a coleta seletiva. As instalações e equipamentos necessários para implantação de uma usina são basicamente um pátio impermeabilizado ou um galpão, mesa ou esteira de triagem, baias de separação, balança, prensas e depósito, além

de instalações sanitárias para os funcionários. O Quadro 7 apresenta três alternativas de galpão de triagem adotadas em usinas, bem como os equipamentos previstos para cada situação.

Quadro 7: Instalações e equipamentos para implantação de uma UTC

Itens	Galpão		
	Pequeno	Médio	Grande
Área edificada	300	600	1.200
Equipamentos	1 prensa 1 balança 1 carrinho	1 prensa 1 balança 1 carrinho 1 empilhadeira	2 prensas 1 balança 2 carrinhos 1 empilhadeira

Fonte: Pinto e González (2008).

2.4.1.3 Aspectos econômicos e financeiros da reciclagem

Os custos estimados para cada uma das alternativas de galpão apresentadas anteriormente estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Custos estimados para implantação de UTC's

Itens	Galpão		
	Pequeno	Médio	Grande
Obras Civis	R\$ 161.700,00	R\$ 323.300,00	R\$ 646.800,00
Equipamentos	R\$ 23.100,00	R\$ 32.100,00	R\$ 52.700,00
Total	R\$ 184.800,00	R\$ 355.400,00	R\$ 699.500,00

Fonte: Pinto e González (2008).

Em um estudo realizado por IBAM (2012) foram elencados os custos com instalação e operação de galpões de triagem e beneficiamento primário. Para municípios de 100.000 a 2,5 milhões de habitantes o custo com instalação é de R\$ 36,00/t e os custos com operação é R\$ 596,80/t.

2.4.2 Compostagem

2.4.2.1 Conceituação e aspectos gerais

A compostagem é utilizada desde a história antiga, porém, até recentemente de forma empírica. Os povos orientais, gregos e romanos já sabiam que os resíduos orgânicos poderiam contribuir com a fertilidade do solo. Somente a partir de 1920 é que o processo começou a ser

estudado cientificamente e aplicado de forma racional por Alberto Howard. Hoje esta tecnologia pode ser utilizada em escala industrial, graças aos avanços dos trabalhos científicos que lançaram base para o desenvolvimento da técnica (FERNANDES; SILVA, 1996).

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação exotérmica aeróbica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (FERNANDES et al., 1993). O processo permite o controle de microrganismos patogênicos (HAUG, 1980; BURGE et al., 1981; POLPRASERT, 1996) e pode produzir um insumo agrícola de boa qualidade (FERNANDES et al., 1993). Segundo Butler et al. (2001) a compostagem é uma estratégia sustentável e depende da qualidade do produto final, pois, se não houver a estabilização do composto, o mesmo poderá causar fitotoxicidade e afetar adversamente o ambiente.

Na compostagem, microrganismos são responsáveis, num primeiro momento, por transformações químicas na massa de resíduos, e, num segundo momento, pela humificação. O composto resultante, o húmus, pode ser utilizado como fertilizante (tanto para a agricultura quanto para áreas verdes urbanas) apresentando, portanto, valor econômico (CATAPRETA, 2008; RUSSO, 2011).

As principais vantagens e desvantagens da compostagem estão apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8: Vantagens e desvantagens da compostagem

Vantagens	Desvantagens
Baixa complexidade na obtenção da licença ambiental.	Necessidade de investimentos em mecanismos de mitigação dos odores e efluentes gerados no processo.
Facilidade de monitoramento.	
Diminuição da carga orgânica do rejeito a ser enviado ao aterro, minimizando os volumes a serem dispostos.	Requer pré-seleção da matéria orgânica na fonte.
Tecnologia conhecida e de fácil implantação.	Necessidade de desenvolvimento de mercado consumidor do composto gerado no processo.
Viabilidade comercial para venda do composto gerado.	

Fonte: ICLEI (2011); BNDES (2014a).

2.4.2.2 Características do processo

O processo de compostagem prevê duas etapas distintas no seu desenvolvimento, a primeira de biodegradação do resíduo orgânico e a segunda de maturação, cura ou humificação do composto (DIAZ, 1999; JAHNEL, 1999). Para que ocorra o pleno

desenvolvimento das fases da compostagem, certos fatores de controle fazem-se necessários, tais como: temperatura, taxa de oxigenação, concentração de nutrientes, teor de umidade, pH, homogeneização e tamanho da partícula (DALTRO FILHO; CARVALHO, 1999; CASALI, 2011). As informações sobre as propriedades biológicas e bioquímicas incluindo a atividade enzimática também são importantes no processo (GODDEN et al., 1983; GARCIA et al., 1992; VUORINEN, 2000, MONDINI et al., 2004).

As fases de biodegradação e humificação são bem distintas entre si. Na fase de biodegradação, também chamada de bioestabilização, há intensa atividade microbiológica e rápida transformação da matéria orgânica. Portanto, há grande consumo de oxigênio (O₂) pelos microrganismos, elevação da temperatura e mudanças visíveis na massa de resíduos em compostagem, pois ela se apresenta escura e não apresenta odor. Na fase de maturação, a atividade biológica é pequena, e a necessidade de aeração diminui. O processo ocorre à temperatura ambiente e com predominância de transformações de ordem química: polimerização de moléculas orgânicas estáveis no processo conhecido como humificação (MOREIRA, 2006).

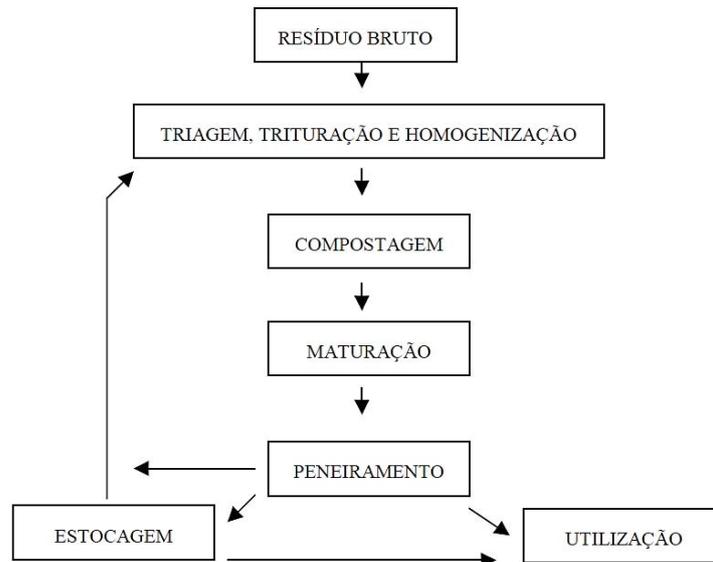
Durante o processo de compostagem, alguns componentes da matéria orgânica são utilizados pelos microrganismos para formação de seus tecidos, outros são volatilizados, e outros são transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme e aspecto de massa amorfa, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas, químicas e físico-químicas inteiramente diferentes da matéria prima original (BIDONE; POVINELLI, 1999).

2.4.2.3 Métodos de Compostagem

Existem vários métodos de realizar a compostagem, alguns mais tecnológicos, outros mais convencionais. Primitivamente, o método era utilizado através da estocagem simples de materiais putrescíveis, levando alguns meses para ser degradado, porém, este método espontâneo e sem biotecnologia não é mais aceito ambientalmente, pelo fato de não garantir a qualidade final do composto e pelo fato de não se ter condições de assegurar que não haverá contaminação do solo e das águas pelo lixiviado gerado.

Na Figura 2 pode-se observar o fluxograma típico de um processo de compostagem, sendo aplicado a qualquer operação de compostagem de resíduos sólidos urbanos, sendo que o peneiramento nem sempre é requerido.

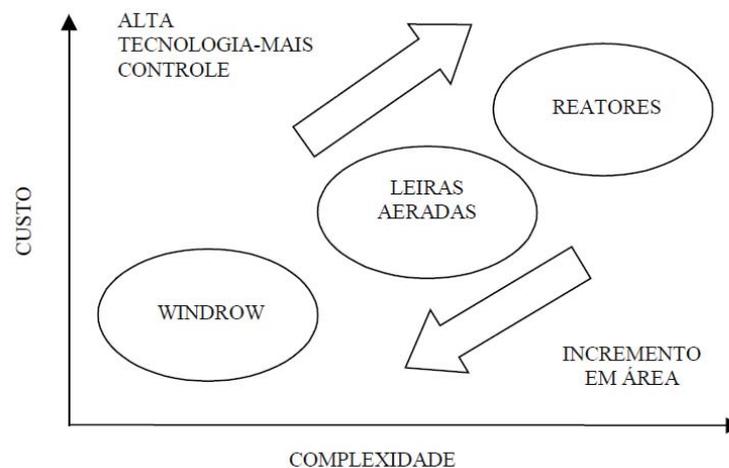
Figura 2: Fluxograma típico de um processo de compostagem.



Fonte: Shaub e Leonard (1996).

A maior diferença entre os processos de compostagem está na metodologia de aeração, onde genericamente, podem ser divididos em três tipos, compostagem de leiras com revolvimento mecânico (sistema Windrow), compostagem em leiras estáticas aeradas e compostagem em reatores biológicos. Geralmente os sistemas com maior tecnologia requerem maiores investimentos, conforme representa a Figura 3, mas resultam em melhores condições de controle e maiores taxas de oxidação. Portanto, a seleção do método a ser utilizado depende das condições locais, como natureza do resíduo, localização da unidade de processamento e recursos financeiros (SHAU; LEONARD, 1996).

Figura 3: Comparação esquemática dos métodos de compostagem.



Fonte: Shaub e Leonard (1996).

Para determinação da tecnologia mais adequada é necessário realizar um estudo sobre as características dos materiais a serem compostados e avaliar os critérios técnicos e econômicos de cada sistema, as principais vantagens e desvantagens de cada sistema estão apresentados no Quadro 9.

Quadro 9: Principais vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de compostagem.

Sistemas de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; 3. Simplicidade de operação; 4. Uso de equipamentos simples; 5. Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; 6. Possibilidade de rápida diminuição de teor de umidade das misturas devido ao revolvimento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior necessidade de área, pois as leiras têm que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas; 2. Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento; 3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito; 4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.
Leiras estáticas aeradas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixo investimento inicial; 2. Melhor controle de odores; 3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior; 4. Possibilidade de controle da temperatura e aeração; 5. Melhor uso da água disponível que o sistema anterior. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; 2. Operação também influenciada pelo clima;
Compostagem em reator biológico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menor demanda de área; 2. Melhor controle de processo de compostagem; 3. Independência de agentes climáticos; 4. Facilidade para controlar odores; 5. Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maior investimento inicial; 2. Dependência de sistemas mecânicos especializados, o que torna mais delicada e cara a manutenção; 3. Menos flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos; 4. Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta foi inadequada.

Fonte: Fernandes e Silva (1996).

2.4.2.4 Aspectos econômicos e financeiros da compostagem

As usinas de triagem e compostagem são centros de separação das frações orgânicas e inorgânicas dos resíduos sólidos domésticos, operacionalizados em maior ou menor escala por equipamentos eletromecânicos (GALVÃO JÚNIOR, 1994).

A instalação de usinas de resíduos no Brasil iniciou-se em Brasília-DF, em meados de 1960, embora o maior incremento na utilização desses centros tenha ocorrido a partir da segunda metade da década de 80, por iniciativa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que colocou à disposição das prefeituras municipais uma linha de crédito para a compra de equipamentos (BLEY JÚNIOR, 1993).

Segundo Jardim (1995), geralmente as instalações das usinas de triagem e compostagem possuem cinco setores:

- 1) Recepção/estocagem: balança rodoviária, pátio de recepção de preferência pavimentado e com drenagem, fosso de descarga coberto e com captação de chorume;
- 2) Triagem: esteira com separação manual e/ou com eletroímã ou polia magnética ou peneiras;
- 3) Pátio de compostagem: pátio com inclinação adequada e sistema de drenagem, como revolvedoras mecânicas;
- 4) Beneficiamento: peneiras rotativas e formação dos fardos;
- 5) Outras instalações: administração, manutenção, almoxarifado, etc.

Os custos com implantação e operacionalização de unidades de compostagem apresentam amplas faixas de variação e dependem significativamente do seu nível tecnológico. Para pequenos municípios os custos são menores, pelo fato de contato com sistema manual, já para cidades de médio e grande porte os custos são mais relevantes.

A Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010) elaborou um relatório técnico com estudos de custos relacionados com a constituição de consórcios públicos de resíduos sólidos urbanos, apresentando alguns custos com implantações de tecnologias de compostagem. Os custos com implantação de UTC's tradicionais, com o método de compostagem natural para uma unidade com processamento de 1t/dia na região Sul do Brasil é de R\$ 44.513,21, já para uma usina de processamento de 9 t/dia é de R\$ 114.824,02 e para processamento de 25 t/dia o custo é de R\$ 194.382,28. Estes valores incluem a locação do empreendimento, limpeza e cercamento do terreno, pátio

dimensionado para um tempo de maturação do composto de 120 dias com drenagem, área de administrativa e de apoio e um galpão para armazenamento e tratamento paisagístico.

Segundo um estudo feito pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2014a), para municípios com faixa populacional de 30 a 250 mil habitantes os custos com instalação de unidades de compostagem é de R\$ 3,00/t e os custos com operação é de R\$ 90,00/t.

2.4.3 Aterro Sanitário

2.4.3.1 Conceituação e aspectos gerais

De acordo com a norma NBR 8419 (ABNT, 1992), aterro sanitário é:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos 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 for necessário (ABNT, 1992).”

A prática de aterrar resíduos sólidos não é uma tecnologia atual, pois vem sendo difundida desde 2500 anos a.C, quando os Nabateus, na Mesopotâmia, enterravam seus resíduos domiciliares e agrícolas em trincheiras escavadas no solo e depois de algum tempo abriam estas trincheiras e utilizavam a matéria orgânica já decomposta como fertilizante orgânico na produção de cereais (LIMA, 1991).

Segundo Russo (2005), as principais vantagens dos aterros sanitários são:

1. Grande flexibilidade para receber uma gama muito grande de resíduos;
2. Fácil operacionalidade;
3. Relativo baixo custo, comparativamente a outras soluções como a incineração;
4. Disponibilidade de conhecimento;
5. Não conflitante com formas avançadas de valorização dos resíduos;
6. Devolução a utilização do espaço imobilizado durante a fase de exploração;

As principais vantagens e desvantagens do aterro sanitário estão apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10: Vantagens e desvantagens do aterro sanitário

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo operacional.	Geração de odores característicos.
Tecnologia amplamente conhecida.	Necessidade de grandes áreas para o empreendimento.
Possibilidade de aproveitamento de biogás.	Exige captura e tratamento de gases e lixiviados.
	Após capacidade esgotada, ainda exige cuidado e manutenção, por anos.

Fonte: PARO et al. (2008); ICLEI (2011).

2.4.3.2 Características do processo

Para Brito Filho (2005), o aterro sanitário é a maneira de dispor resíduo sólido sobre o solo, compactando-o com trator, reduzindo-o ao menor volume possível e recobrando-o com camada de terra compactada, de modo a ocupar a menor área possível.

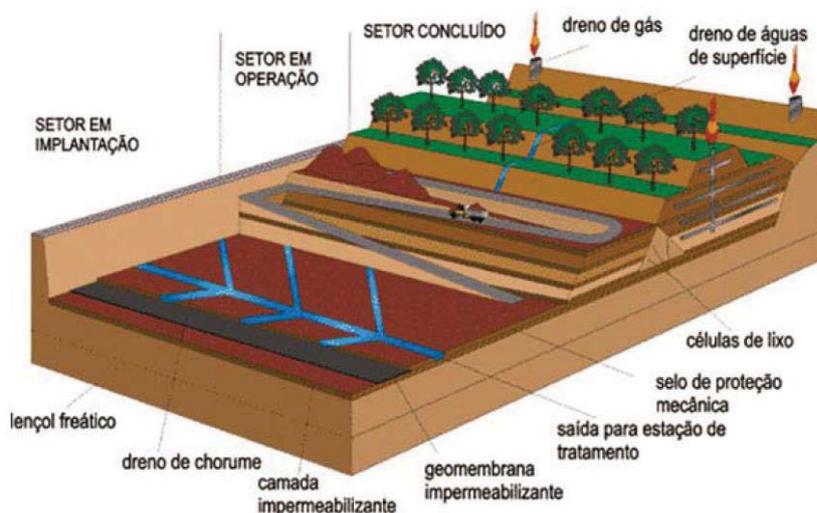
Existem vários elementos que devem ser projetados e planejados em um aterro sanitário, tais como o sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases gerados na decomposição da massa de resíduos, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados e outros. Esse conjunto de sistemas e unidades visam garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos, a redução das emissões gasosas, bem como a redução de riscos à saúde da população (FADE, 2014).

Os aterros sanitários podem ser classificados de acordo com a forma em que são projetados (FADE, 2014):

- 1) Aterro em vala: a instalação para disposição dos RSU no solo, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, dando oportunidade de uma operação não mecanizada;
- 2) Aterro em trincheira: instalação para a disposição dos RSU no solo, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada.
- 3) Aterro em encosta: instalação para a disposição dos RSU no solo, caracterizada pelo uso de taludes pré-existentes, usualmente implantados em áreas de ondulações ou depressões naturais, encostas de morros ou pedreiras e áreas de mineração desativadas;
- 4) Aterro em área: Instalação para disposição de RSU no solo, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

Na Figura 4 pode-se observar uma ilustração de um aterro sanitário em área.

Figura 4: Aterro sanitário de RSU.



Fonte: IPT (2000).

A operação de um aterro sanitário deve ser procedida pelo processo de seleção de áreas, licenciamento, projeto executivo e implantação. Um aterro sanitário deve contar com unidades operacionais e unidades de apoio. As unidades operacionais geralmente possuem: células com impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional); sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados (chorume); sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás; sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais; sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico e pátio de estocagem de materiais. Já para a unidade de apoio, indica-se: cerca e barreira vegetal; estradas de acesso e de serviço; balança rodoviária e sistema de controle de resíduos; guarita de entrada e prédio administrativo; oficina e borracharia (IBAM, 2001).

2.4.3.3 Aspectos econômicos e financeiros de aterros sanitários

Os aterros sanitários devem possuir infraestrutura básica, constituída de galpão (para equipamentos), guarita, balança, escritório, banheiros, vestiários e refeitórios, cercamento, serviços de paisagismo, além de todos os sistemas de controle à poluição já citados anteriormente.

Os custos variam de acordo com o tipo, capacidade e características do aterro. Para municípios com população inferior a 10.000 habitantes o valor pode chegar a R\$ 20,00/t, com

população de 10.000 a 30.000 habitantes R\$ 9,00/t, de 30.000 a 250.000 habitantes R\$ 11,00/t e para municípios que possuem de 250.000 a 1.000.000 de habitantes R\$ 9,00/t de resíduos processados. Os custos de operação também apresentam variações e incluem atividades de disposição nas células, monitoramento e tratamento de lixiviados. Os custos unitários para aterros de pequeno porte oscilam em torno de R\$ 140,00/t, para municípios de médio porte os valores se aproxima de R\$ 50,00/t, enquanto naqueles com capacidade superior a 1.000 t/dia, remontam R\$ 35,00/t (FADE, 2014).

Um relatório de consultoria solicitado pela Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de resíduos (ABETRE, 2007) apresentou aspectos econômicos e financeiros para implantação, operação e encerramento de aterros sanitários para resíduos classe IIA. O estudo abrangeu os custos de três portes de aterro sanitário, grande porte (capacidade de recebimento 2.000 t/dia), médio porte (capacidade de recebimento 800 t/dia) e pequeno porte (capacidade de recebimento 100 t/dia), sendo que os custos foram computados assumindo-se conformidade com os padrões e normas oficiais de funcionamento de aterros sanitários. O investimento foi simulado sendo financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES.

O custo total para pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-encerramento de um aterro sanitário de grande porte foi de R\$ 525.794.167,00, para um aterro sanitário de médio porte o custo foi de R\$ 236.535.037,00 e para um aterro sanitário de pequeno porte o custo foi de R\$ 52.444.448,00. Após a análise de viabilidade econômica, concluiu-se que o empreendimento possuía Valor Presente Líquido (VPL) positivo para os 3 portes estudados, produzindo retorno financeiro aos acionistas, sendo que o aterro de grande porte produziu um VPL superior aos aterros de médios e pequenos (ABETRE, 2007). O aumento da receita e, portanto, a sustentabilidade pode ser possível com o aproveitamento energético dos resíduos, recomendado apenas para instalações de grande porte.

2.5 Modelos de gestão aplicados em alguns municípios Brasileiros

Alguns municípios brasileiros vêm investindo continuamente nos serviços básicos de saneamento para sua população e tornam-se modelos. A seguir serão destacados alguns exemplos positivos de gestão de resíduos sólidos urbanos na região Sul do Brasil.

Como referência em todo o país em coleta seletiva, Caxias do Sul – RS consegue atender a 93% das residências com o serviço e 99% dos moradores sabem o que é coleta

seletiva. O programa de coleta seletiva, implementado na cidade em 1991, tem profundo impacto sobre o conhecimento e os hábitos da população: a cidade apresentou o maior nível de informação da população sobre materiais recicláveis e perigosos ao meio ambiente. Todo o material reciclável recolhido é destinado a 13 associações de catadores, que vendem o material para a indústria, depois de triado e prensado. Hoje, o serviço é feito de várias formas na cidade: em contêineres dispostos nas ruas do centro, e em alguns bairros, com base em troca por alimentos, batizada de troca solidária: a prefeitura dá um quilo de alimento fresco, adquiridos de agricultores da região, para cada quatro quilos de resíduos recicláveis (PAGANELA, et al., 2013).

O município de Londrina – PR também é referência em coleta seletiva. Com mais de 400 mil habitantes o município mostra seu exemplo, onde a partir de 2001 uma nova modalidade de coleta seletiva foi implantada. Primeiramente houve uma capacitação de todos os catadores e foram formadas as associações. A Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização – CMTU, órgão responsável pelo gerenciamento da coleta seletiva, no último trimestre de 2001, demarcou a área do entorno da região central e a dividiu em setores entregando cada setor para uma associação. Os catadores passaram a realizar a coleta com carrinhos fornecidos pela prefeitura, mantendo um contato direto com a população. O engajamento do setor público permitiu a ampliação da taxa de cobertura de 36 %, em 2001, para 100 %, em 2005. A modalidade de coleta seletiva porta a porta com catadores possibilitou a mensuração da participação da população e viabilizou a inclusão dos catadores. A taxa de material recolhido pela coleta seletiva em relação à quantidade coletada de resíduos domiciliares, passou de 2,92 %, em 2001, para 26,56 %, em 2006 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

O município de Tibagi – PR, localizado a 200 km de Curitiba, apresenta um histórico de gestão de resíduos sólidos que atesta a viabilidade da implementação de projetos de reciclagem e compostagem através do Programa Recicla Tibagi. Com aproximadamente 20 mil habitantes, o município trata todo o resíduo sólido domiciliar gerado através da implantação do Centro de Triagem e Compostagem de Tibagi – CTCT. Após a coleta, os resíduos passam pela triagem e a fração orgânica que representa 56% dos resíduos é destinada ao pátio de compostagem. O composto produzido é comercializado. Com o investimento realizado, o município reduziu gastos com a terceirização dos serviços, permitiu ainda mais distribuição de renda para os associados ao CTCT e diminuiu a quantidade de resíduos

encaminhados para disposição final (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ, 2013).

Os consórcios municipais para destinação dos resíduos sólidos é uma forma de gestão prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos e que apresenta resultados positivos para os municípios que aderem esse modelo de destinação. Como no Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos – CIGRES que é composto por trinta municípios do noroeste do Rio Grande do Sul, e geram mensalmente a quantia de 1.380.308,45 kg de resíduos. Esses resíduos são separados, resultando no percentual de 18,91% de material reciclável que é comercializado ajudando na manutenção do aterro, 59,49% de material orgânico e o restante do material é destinado ao aterro sanitário. Dos trinta municípios consorciados verificou-se que 43,33% deles destinavam seus resíduos de forma inadequada antes do consórcio. E todos os municípios que fazem parte do CIGRES reconheceram que o consórcio auxiliou na prestação dos serviços e no desenvolvimento da microrregião, trazendo vantagens econômicas, administrativas e ambientais aos municípios (CALDERAN, 2013).

Como pode ser verificado através dos exemplos, a gestão adequada no setor de resíduos sólidos proporciona benefícios gerais, sendo que os efeitos das intervenções relacionadas a este setor são positivos, por se constituírem em um serviço que assegura melhoria e bem-estar da população (VANDERSLICE; BRISCOE, 1995).

Todavia, os investimentos devem atender a requisitos técnicos, ambientais, sociais e econômicos, de forma a se trabalhar o conceito de desenvolvimento sustentável, de preservação e conservação do meio ambiente, refletindo diretamente no planejamento das ações de saneamento.

No Brasil, o investimento em saneamento ocorre de forma pontual, sendo predominantemente realizado pelo setor público. Além disso, soma-se o fato de que a falta de uma definição clara das responsabilidades peculiares à União, estados, Distrito Federal e municípios tornou difusa a aplicação dos recursos, não respeitando uma visão de planejamento global dos investimentos. Desse modo, torna-se necessário, além da melhoria na governança das organizações do setor, um planejamento consistente dos recursos a serem investidos para que os modelos de gestão eficazes em alguns municípios possam ser estendidos para todas as regiões do Brasil.

2.6 Análise de alternativas de investimentos

A decisão de se fazer investimento de capital é parte de um processo que envolve a geração e a avaliação das diversas alternativas que atendam às especificações técnicas dos investimentos. Depois de relacionadas as alternativas viáveis tecnicamente é que se analisam quais delas são atrativas financeiramente. Sendo assim, é nesta última parte que os indicadores gerados auxiliarão o processo decisório. Essencial para a decisão de investimento é a estimativa do retorno esperado e do grau de risco associado a esse retorno (SOUZA E CLEMENTE, 2001).

2.6.1 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa resume as entradas e saídas efetivas de dinheiro ao longo do tempo, permitindo desse modo, conhecer a rentabilidade e a viabilidade econômica do projeto, representando assim, a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil. O fluxo de caixa é um item muito importante para estimar o valor de uma empresa, medir a rentabilidade de um projeto de investimento, planejar as operações ou estabelecer a capacidade de pagamento de uma dívida (SAMANEZ, 2009).

2.6.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)

Entende-se como taxa mínima de atratividade (TMA) a melhor taxa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital em análise (SOUZA; CLEMENTE, 2001), ou seja, é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. Ao se analisar uma proposta de investimento deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos. A nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2007).

2.6.3 Critérios econômicos de decisão

A seguir serão apresentados os métodos mais usuais e aceitos para verificar a rentabilidade de um projeto e analisar a viabilidade econômica das alternativas de investimento.

2.6.3.1 Método do valor presente líquido (VPL)

O Método do valor presente líquido (VPL) tem como finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento, ou seja, ele mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil. O objetivo do VPL é encontrar alternativas de investimento que tenham um valor presente líquido positivo (SAMANEZ, 2009).

Para Yeo e Qiu (2002), o VPL é a diferença entre o valor presente da estimativa líquida das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa. Finnerty (1999), afirma que a viabilidade econômica de um projeto é encontrada quando o VPL dos fluxos de caixa esperados é superior ao valor presente dos custos do investimento.

Caso o VPL encontrado no cálculo seja negativo, o retorno do projeto, descontado pela TMA, será menor que o investimento inicial, neste caso o projeto deverá ser reprovado. Caso ele seja positivo, o valor obtido no projeto, descontado pela TMA, pagará o investimento inicial, o que o torna viável. Se o VPL for positivo, a proposta de investimento é atrativa, e quanto maior o valor positivo, a proposta é mais atrativa, escolhe-se a alternativa que apresentar maior VPL (CASAROTTO FILHO; KOPITKE, 2007).

Do ponto de vista matemático, o valor presente líquido é definido pela Equação 1.

$$VPL = I + \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Sendo:

VPL = Valor Presente Líquido;

T = Período de vida útil;

t = tempo, período do fluxo de caixa;

R_t = Receitas no tempo t;

C_t = Custos no tempo t;

I = Investimento inicial;

i = Taxa de juros.

2.6.3.2 Método do valor anual uniforme (VA)

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2007), o Método do valor anual uniforme também conhecido por Método do valor anual uniforme equivalente (VAUE) consiste em achar a série uniforme anual (A) equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), ou seja, o método caracteriza-se pela transformação de todos os fluxos de caixa do projeto considerado, numa série uniforme de pagamentos, indicando desta forma o valor do benefício líquido, por período, oferecido pela alternativa de investimento. O projeto em análise só será atrativo se apresentar um benefício líquido anual positivo, e entre vários projetos, aquele de maior benefício será o mais interessante.

Para Samanez (2009) é essencial que qualquer estudo sobre aplicação de capital seja realizado dentro de um horizonte de planejamento uniforme, ou seja, para que os projetos possam ser objeto de comparação, é necessário que sejam comparáveis. Embora seja uma ferramenta útil para avaliar alternativas de investimentos, o VPL não responde a todas as perguntas sobre a vantagem econômica de uma alternativa em relação a outra que tenha duração prevista diferente. Algumas vezes a interpretação do valor monetário do VPL apresenta dificuldades para comparação, Souza e Clemente (2001) tratam o VA como uma alternativa de pensar em termos de um VPL médio (equivalente) para cada um dos períodos do projeto, argumentando assim, que é mais fácil para o decisor raciocinar em termos de ganho por período (análogo ao conceito contábil de lucro por período) do que em termos de ganho acumulado ao longo de diversos períodos. Matematicamente, o VA é obtido através da Formula 2.

$$VA = VPL * \frac{(1+i)^t - 1}{i * (1+i)^t} \quad (2)$$

Sendo:

VA = Valor Anual;

VPL = Valor Presente Líquido;

t = tempo, período do fluxo de caixa;

I = Investimento inicial.

2.6.3.3 Método da taxa interna de retorno (TIR)

O método da taxa interna de retorno (TIR) não tem como finalidade a avaliação da rentabilidade absoluta a determinado custo do capital (processo de atualização), como o VPL, mas objetiva encontrar uma taxa intrínseca de rendimento (SAMANEZ, 2009).

Segundo Fleischer (1988), Hirschfeld (1989), Ross, Westerfield e Jordan (1998), Casarotto Filho e Kopittke (2007), Brealey e Myers (2000), a taxa interna de retorno é a taxa que iguala o VPL a zero, ou seja, a TIR indica qual a taxa necessária de desconto a ser utilizada para que o VPL se iguale a zero. Holanda (1976, p. 338) também define a TIR como a “taxa de juros que atualiza uma série de rendimentos futuros de um projeto e a iguala ao valor do investimento inicial”.

Para Pereira e Almeida (2010), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas com o das saídas previstas de caixa. A TIR é usada como método de análise de investimentos, onde o investimento será economicamente atraente se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade. A TIR também é utilizada na comparação entre dois ou mais projetos de investimentos, quando estes forem mutuamente excludentes. Neste caso, o projeto que apresentar o maior valor da TIR será o projeto economicamente mais atraente.

Stella (2000) descreve que a TIR é uma ferramenta de decisão quando esta, em um projeto de investimento, for superior que a Taxa Mínima de Atratividade, o projeto agregará valor ao investidor, e, portanto, deve ser aceito. Porém, caso a TIR seja menor que a Taxa Mínima de Atratividade, o projeto deve ser rejeitado.

A TIR representa a taxa de desconto que se iguala as entradas com saídas previstas em caixa, ou seja, representa a rentabilidade do projeto. Dessa forma, o aceite ou a rejeição de uma proposta de investimento, ocorre em função da comparação entre a TIR alcançada com a rentabilidade mínima almejada pelos investidores (BONFANTE, 2010).

Matematicamente a TIR é obtida a partir da fórmula do VPL, mantendo-se a taxa como variável e igualando-se a expressão à zero (GRANT, 1982; HESS et al., 1992), conforme Equação 3.

$$VPL = 0 = I + \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1 + TIR)^t} \quad (3)$$

Sendo:

TIR = Taxa Interna de Retorno;

VPL = Valor Presente Líquido;

T = Período de vida útil;

t = tempo, período do fluxo de caixa;

R_t = Receitas no tempo t;

C_t = Custos no tempo t;

I = Investimento inicial;

i = Taxa de juros.

2.6.3.4 Método de Recuperação do Capital Investido (Payback)

Para Buarque (1991), Gitman (1997), Clarke (2004) o payback é o período de tempo necessário para recuperar o capital investido. O Método de recuperação do capital investido (payback), também chamado de período de recuperação, consiste no intervalo de tempo necessário até que os fluxos de caixa acumulados estimados igualem o montante inicialmente investido, ou seja, trata-se do tempo decorrido até se recuperar o capital investido (BREALEY E MYERS, 2000). O payback pode ser tanto simples quanto descontado, tendo como diferença a consideração do valor temporal do dinheiro.

As fórmulas para determinação do payback simples e descontado são apresentadas nas equações 4 e 5, respectivamente. Em ambos os casos, o período de payback consiste no valor da variável T que satisfaça a igualdade expressa nas equações.

$$\sum_{t=0}^T (R_t - C_t) = I \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} = I \quad (5)$$

Sendo:

T = Período de recuperação (payback);

t = tempo, período do fluxo de caixa;

R_t = Receitas no tempo t;

C_t = Custos no tempo t;

I = Investimento inicial;

i = Taxa de juros.

2.7 Programas e fontes de recursos para o saneamento básico no Brasil

Para implementação de ações e sistemas de gestão de resíduos sólidos exige-se um investimento que costuma ser elevado. Neste sentido, há entidades públicas e privadas que auxiliam no fomento para disponibilizar recursos financeiros, dispondo de diversas linhas de financiamentos de longo prazo e com juros acessíveis. A seguir serão apresentadas algumas características referentes a alguns financiamentos dos principais agentes financeiros nacionais para o setor de resíduos sólidos.

2.7.1 Ministério das Cidades

O programa Manejo de Resíduos Sólidos do Ministério das Cidades apoia a implantação e ampliação dos sistemas de limpeza pública, acondicionamento, coleta, disposição final e tratamento de resíduos sólidos urbanos, com ênfase à promoção da inclusão e emancipação econômica de catadores e encerramento de lixões. A fonte de recursos é oriunda do Orçamento Geral da União (OGU). O programa é destinado a municípios com população superior a 50 mil habitantes, municípios integrantes de Regiões Metropolitanas (RM), de Regiões Integradas de Desenvolvimento (RIDE) ou de Consórcios Públicos com população superior a 150 mil habitantes. As propostas podem ser apresentadas pelos Estados, Distrito Federal e Municípios ou pelos respectivos representantes legais dos Consórcios Públicos. A forma de acesso é através de emendas parlamentares ou seleção pública do PAC, por meio de carta-consulta cadastrada no sítio eletrônico do Ministério das Cidades (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015).

2.7.2 Fundação Nacional da Saúde - Funasa

O Programa de Resíduos Sólidos da Funasa visa a contribuir para a melhoria das condições de saúde da população, com a implantação de projetos de coleta, transporte, destinação e disposição final adequada de resíduos sólidos. Neste programa, a Funasa apoia e repassa recursos não onerosos necessários à implantação e/ou melhorias de sistemas

integrados de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Porém, para solicitar recursos a condição primária estabelecida pela Funasa é a apresentação do Plano de Gestão de Resíduos Sólidos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

O programa de manejo de RSU da Funasa apoia a execução de infraestrutura e aquisição de veículos e equipamentos para implantação e/ou melhorias nos sistemas convencionais de gerenciamento de rejeitos, com a coleta e disposição adequada em aterros sanitários, sistemas de gerenciamento de reciclagem com a coleta e manejo em unidades de recuperação de recicláveis e sistemas de compostagem com a coleta e manejo em unidades de compostagem. Podem solicitar recursos os municípios com população de até 50 mil habitantes (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

2.7.3 Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social - BNDES;

Os investimentos apoiados pelo BNDES incluem:

- Implantação, expansão e modernização de atividades produtivas e da infraestrutura;
- Comercialização de produtos e serviços no Brasil e no exterior;
- Capacitação tecnológica;
- Treinamento de pessoal, formação e qualificação profissional; e,
- Reestruturação industrial e empresarial.

✓ Programa: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos

Objetivo: Apoio a projetos de investimentos, públicos ou privados, a partir de R\$ 20 milhões, que visem à universalização do acesso aos serviços de saneamento básico e à recuperação de áreas ambientalmente degradadas, a partir da gestão integrada dos recursos hídricos e da adoção das bacias hidrográficas como unidade básica de planejamento. O Quadro 11 apresenta as principais características do programa.

Quadro 11: Principais características do Programa Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Quem pode solicitar	Condições de financiamento	Encargos financeiros
Pessoa jurídica de direito público, pessoa jurídica de direito privado com sede e administração no país e empresário individual.	<ul style="list-style-type: none"> • Financiamento de até 90% do valor total dos itens financiáveis. • Prazos: Será determinado em função da capacidade de pagamento do empreendimento, da empresa e do grupo econômico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Custo financeiro: no mínimo a Taxa de Juros de Longo Prazo – TJLP (nos últimos 3 anos variou entre 5% e 6%); • Remuneração básica do BNDES: a partir de 1% a.a. • Taxa de risco de crédito: 1% a.a.

Fonte: Adaptado BNDES (2014b).

2.7.4 Caixa Econômica Federal - CEF

1. Programa: Saneamento para todos

Modalidade: Manejo dos resíduos sólidos - Destina-se à promoção de ações com vista ao aumento da cobertura dos serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos domiciliares e assemelhados e à implantação de infraestrutura necessária à execução de coleta de resíduos de serviços de saúde, varrição, capina, poda e atividades congêneres, bem como ao apoio à implementação de ações relativas à coleta seletiva, à triagem e à reciclagem, além da infraestrutura necessária à implementação de ações de redução de emissão de gases de efeito estufa em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O Quadro 12 apresenta as principais características deste programa.

Quadro 12: Características do Programa Saneamento para todos.

Origem dos recursos	Quem pode solicitar	Condições de financiamento	Encargos financeiros
Fundo de Garantia do Tempo de Serviço - FGTS e contrapartida do solicitante	Setor público e privado	<ul style="list-style-type: none"> • Contrapartida mínima: Setor público - 5% do valor do investimento e setor privado 20% do valor do investimento; • Prazos: O 1º desembolso deve ocorrer em até 12 meses contados da assinatura do contrato. 	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa nominal de 6% a.a. • Remuneração CEF: 2% sobre o saldo devedor. • Taxa de risco de crédito: definida conforme análise cadastral, limitada a 1% a.a.

Fonte: CEF (2014).

2. Programa Pró-Municípios

Modalidade: Resíduos sólidos - Promove o desenvolvimento de ações integradas de limpeza pública, acondicionamento, coleta e transporte, disposição final e tratamento de resíduos sólidos urbanos para contribuir com a universalização da cobertura, aumentar a eficiência e a eficácia da prestação destes serviços nas áreas mais carentes do país e promover a inserção social de catadores associada à erradicação de lixão. O Quadro 13 apresenta as principais características deste programa.

Quadro 13: Características do Pró-Municípios para o setor de resíduos sólidos urbanos

Origem dos recursos	Quem pode solicitar	Condições de financiamento
Gerido pelo Ministério das Cidades e operado com recursos do Orçamento Geral da União	Setor público	<ul style="list-style-type: none"> • Contrapartida mínima: Municípios com até 50 mil habitantes - 3% do valor do repasse da União e 10% do valor do repasse da União para os demais municípios (exceto os municípios localizados em áreas prioritárias onde a contrapartida é 5%). • Prazos: O 1º desembolso deve ocorrer em até 12 meses contados da assinatura do contrato.

Fonte: CEF (2014).

3. Programa Brasil Joga Limpo

Modalidade: É um programa que tem por objetivo viabilizar projetos no âmbito da Política Nacional do Meio Ambiente, conforme critérios e deliberação do FNMA – Fundo Nacional do Meio Ambiente. O Quadro 14 apresenta as principais características desta modalidade de financiamento.

Quadro 14: Características no Programa Brasil Joga Limpo.

Origem dos recursos	Quem pode solicitar	Condições de financiamento
Orçamento Geral da União	Municípios e concessionárias estaduais e municipais	<ul style="list-style-type: none"> • Contrapartida mínima: Municípios com até 25 mil habitantes - 3% do valor do repasse da União e 20% do valor do repasse da União para os demais municípios (exceto os municípios localizados em áreas prioritárias onde a contrapartida é 5%). • Prazos: O 1º desembolso deve ocorrer em até 12 meses contados da assinatura do contrato.

Fonte: CEF (2014).

Sendo assim, é possível perceber que linhas de financiamento existem com objetivos focados para o setor de RSU. É possível obter recursos com juros baixos e com boas condições de pagamento. Para se beneficiar destes programas, os interessados deverão participar do processo de seleção pública apresentando projetos completos com soluções favoráveis à universalização sustentável dos serviços de saneamento ambiental.

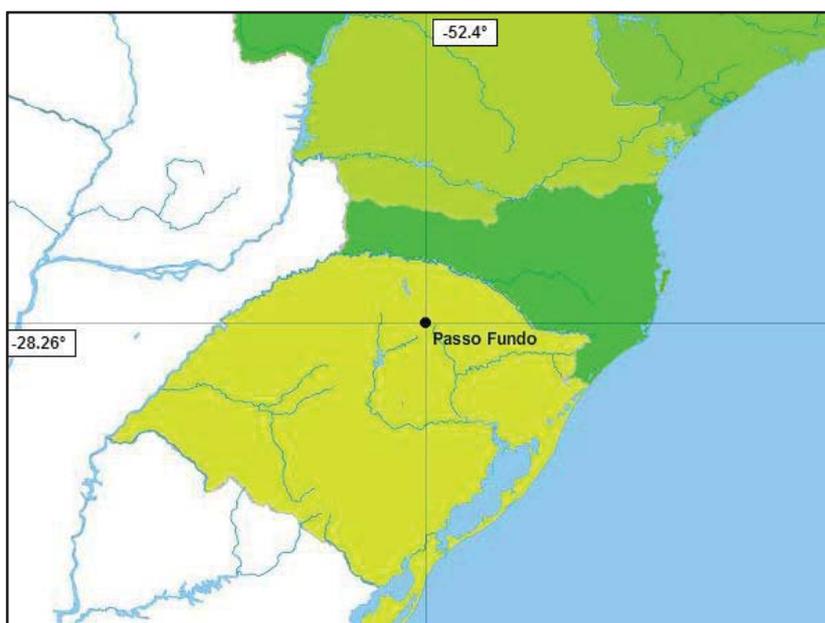
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem por objetivo caracterizar o local de estudo onde a pesquisa foi realizada, classificar a pesquisa do ponto de vista da natureza, abordagem do problema, objetivos e de procedimentos técnicos e também apresentar os procedimentos metodológicos.

3.1 Caracterização do município de Passo Fundo/RS

O município está localizado no estado do Rio Grande do Sul, pertencendo a Mesorregião Noroeste Rio-grandense e a Microrregião de Passo Fundo, estando a uma altitude de aproximadamente 687 m (FAMURS, 2014). Na Figura 5 pode-se observar a localização geográfica do município de Passo Fundo/RS.

Figura 5: Localização geográfica do município de Passo Fundo/RS.



Fonte: IBGE (2010).

Conforme os dados do Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB (PASSO FUNDO, 2014) a população estimada do Município de Passo Fundo/RS em 2015 é de 193.055 habitantes. A população do município encontra-se altamente concentrada na área urbana, sendo que apenas 2,5% dos habitantes residem na zona rural. Isso representa uma das maiores taxas de urbanização em municípios do Rio Grande do Sul. O município de Passo Fundo/RS ocupa lugar de destaque na economia gaúcha. Considerando o PIB municipal de

2010, ocupa o posto de 10ª maior economia do estado, com uma participação de 1,8% no PIB estadual e com um PIB per capita de R\$ 24.618,50 (PASSO FUNDO, 2014).

3.2 Classificação da pesquisa

De acordo com Silva e Menezes (2005), do ponto de vista da natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. Nesta pesquisa foram levantados e analisados dados sobre a gestão dos resíduos sólidos do município de Passo Fundo/RS.

Quanto à abordagem do problema, esta pesquisa se classifica como quantitativa, pois os dados foram analisados em números, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Ou seja, os resultados voltados à elaboração de cenários que representem alternativas técnicas para gestão, valorização, tratamento e /ou disposição dos resíduos sólidos domiciliares bem como a análise da viabilidade econômica dos cenários foram traduzidos em números, possibilitando uma análise objetiva.

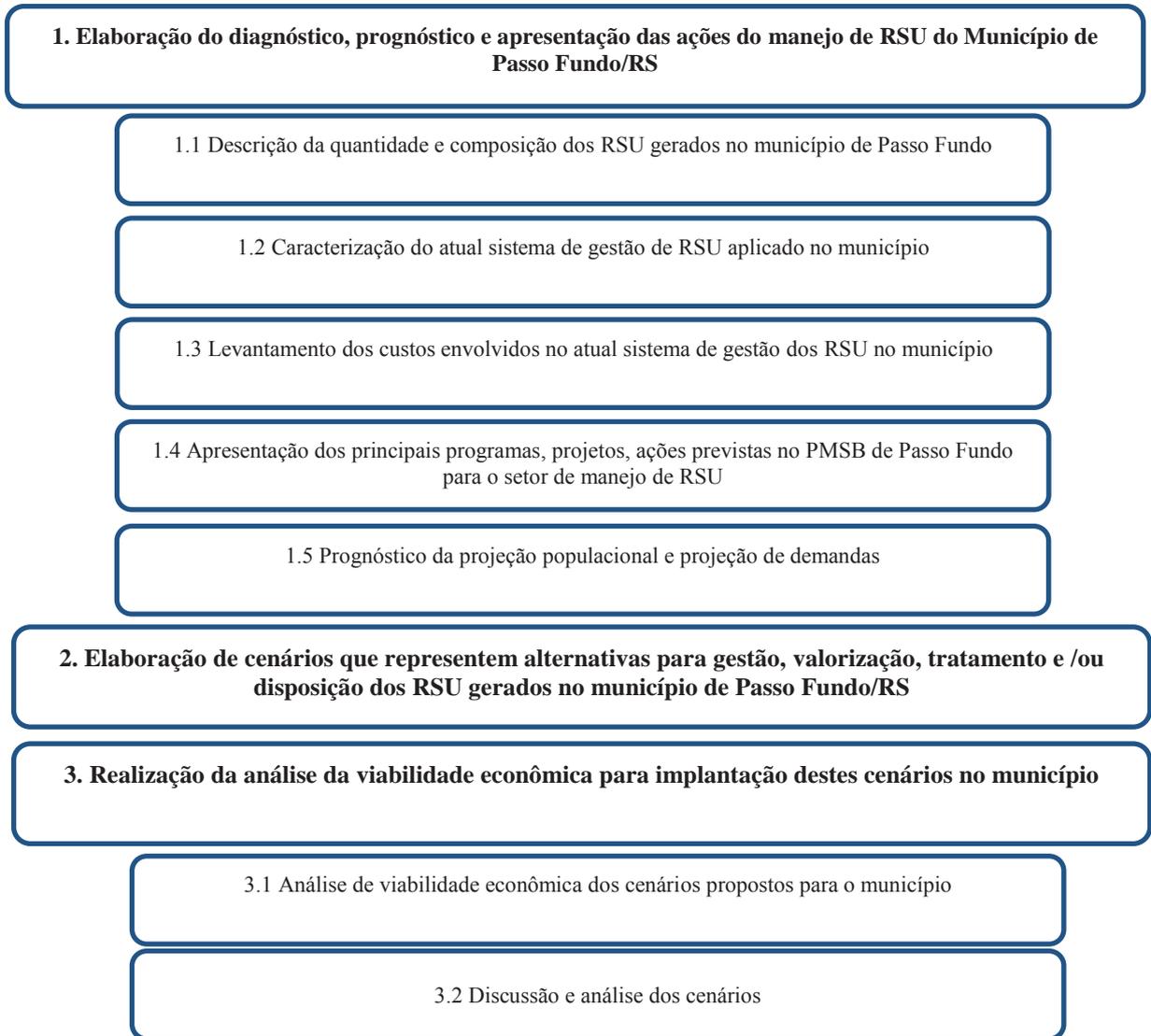
No que se refere aos objetivos esta pesquisa é classificada como descritiva (GIL, 1991), pois busca descrever as características de uma determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, requerendo o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionários e observação sistemática. Para a análise de viabilidade dos cenários foram levantadas as características técnicas, operacionais e os custos de implantação e operação dos sistemas adotados.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, esta pesquisa se classifica como estudo de caso (GIL, 1991), pois envolve um estudo referente aos resíduos sólidos do município de Passo Fundo/RS, caracterizando-se com a coleta e registro das informações para posterior análise das alternativas técnicas, econômicas e operacionais para a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

3.3 Procedimentos e métodos

O procedimento metodológico foi desenvolvido em uma estrutura de etapas e fases atendendo a sequência apresentada nos objetivos específicos. A Figura 6 apresenta o fluxograma que detalha as etapas da pesquisa.

Figura 6: Estrutura metodológica para desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Próprio autor (2015).

Na sequência encontra-se a descrição de cada etapa desenvolvida no trabalho, conforme a estrutura do fluxograma da Figura 6.

1) Elaboração do diagnóstico, prognóstico e apresentação das ações para o setor de manejo de RSU

1.1) Descrição da quantidade e composição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS

Nesta fase foi realizado um levantamento referente à origem, composição gravimétrica e quantidade dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Passo Fundo/RS. As informações sobre a composição gravimétrica foram obtidas através da literatura e as informações de geração dos resíduos foram obtidas de forma secundária, através de informações da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAM) de Passo Fundo/RS. Estas informações foram obtidas por meio de questionários enviados à SMAM e também de forma presencial. Através da análise das informações foi possível verificar a oferta do atual sistema de gestão dos resíduos sólidos. Estes dados também foram utilizados para o dimensionamento dos sistemas indicados nos cenários propostos.

1.2) Caracterização do atual sistema de gestão de RSU aplicado no município

Nesta fase foi realizado um diagnóstico da estrutura operacional, fiscalizatória e gerencial existente no território municipal. Esta fase foi necessária para uma sistematização e uma análise de informações já conhecidas ou disponíveis sobre o município e os serviços por ele oferecido em relação ao manejo dos resíduos sólidos, retratando assim, as atuais condições físicas e operacionais dos serviços de gestão dos resíduos sólidos existentes, como caracterização dos resíduos, formas de acondicionamento, coleta, transporte, tratamentos e disposição final adotada. As informações foram obtidas de forma primária, através de visitas técnicas e de forma secundária, através de informações repassadas pela SMAM de Passo Fundo/RS.

1.3) Levantamento dos custos envolvidos no atual sistema de gestão dos RSU do município

Esta fase consistiu no levantamento em relação aos custos dos processos atuais, informações gerais das finanças do município, informações sobre receitas para o

gerenciamento dos resíduos, registros e detalhes de existência ou não da cobrança pelos serviços. Os dados primários foram conseguidos junto à Prefeitura Municipal de Passo Fundo na SMAM e Secretaria de Finanças, através de planilhas, contratos e registros contendo informações sobre os custos envolvidos com o manejo dos resíduos sólidos.

1.4) Apresentação dos principais programas, projetos e ações previstos no Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo/RS para o setor de manejo de resíduos sólidos

Os programas, projetos e ações foram propostos no PMSB (PASSO FUNDO, 2014) visando o atendimento às demandas, à solução dos problemas e necessidades apontados na etapa do diagnóstico do Plano e à melhoria da qualidade da prestação dos serviços relacionados ao setor de resíduos sólidos.

Todos os dados foram obtidos de forma secundária, onde foram sintetizados e apresentados os principais programas, projetos e ações propostos no PMSB de Passo Fundo/RS para o setor de resíduos sólidos. Com estas informações foi possível ter um embasamento para a criação dos cenários, visando aproximar os objetivos do PMSB de Passo Fundo/RS com os cenários indicados no presente estudo.

1.5) Prognóstico da projeção populacional e projeção de demandas

A proposição de cenários foi possível após a realização da projeção da quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados no município de Passo Fundo/RS. Essa fase teve como base a projeção do crescimento da população em função da geração per capita dos resíduos, para que as diversas intervenções atendam plenamente o objetivo da universalização do setor, tanto na zona urbana quanto na zona rural do município para o horizonte de 20 anos.

Os dados para projeção populacional foram obtidos no PMSB (PASSO FUNDO, 2014) que utilizou como fontes a base de dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). A metodologia utilizada para a projeção populacional no PMSB foi realizada em etapas cumulativas, onde foram analisadas as tendências nas taxas de crescimento geométrico, e na taxa de fecundidade da população municipal, fazendo-se um comparativo com as taxas em nível estadual e nacional em períodos intercensitários.

Para avaliar a relação entre demanda futura e oferta do atual sistema de gestão dos resíduos sólidos foi realizada uma estimativa de geração de resíduos ao longo do horizonte de 20 anos. Os dados da projeção populacional foram obtidos do PMSB (PASSO FUNDO, 2014) e a taxa de geração per capita estimada de acordo com os levantamentos obtidos na fase de diagnóstico, constituindo dessa forma a projeção da quantidade de RSU geradas ao longo do período estudado.

2) Elaboração de cenários que representem alternativas para gestão, tratamento e /ou disposição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS

A criação de cenários tem como objetivo identificar soluções integradas para a gestão dos resíduos sólidos. Os cenários descreveram hipóteses de situações possíveis, que permitiram uma reflexão sobre alternativas de futuro, reduzindo as diferenças de percepção e melhorando a tomada de decisão do poder público, servindo de referencial para o planejamento no horizonte temporal de 20 anos (adotado). Dessa forma, refletindo as expectativas favoráveis e desfavoráveis para aspectos como intensidade de geração de resíduos e incorporação de novos procedimentos e de novas capacidades gerenciais.

O processo de geração de cenários englobou os temas de educação e sensibilização ambiental, coleta seletiva, reciclagem, aproveitamento da parcela orgânica dos resíduos sólidos urbanos e disposição final dos rejeitos. O embasamento para indicações propostas foi obtido a partir das conclusões do diagnóstico e nos objetivos e metas propostas para o setor no PMSB (PASSO FUNDO, 2014), além de pesquisas bibliográficas.

A criação dos cenários foi realizada com base na adaptação da metodologia descrita por Buarque (2003), em que é possível distinguir dois grandes conjuntos diferenciados segundo sua qualidade, particularmente quanto à isenção ou presença de desejo dos formuladores do futuro: cenários tendenciais e cenários desejados ou normativos.

O cenário inercial teve um conteúdo essencialmente técnico, com um tratamento racional das probabilidades e procurou intencionalmente excluir as vontades e os desejos dos formuladores no desenho e na descrição dos futuros, onde as tendências do passado foram mantidas ao longo do período de planejamento. Também foram criados os cenários emergencial e normativo, que por sua vez, aproximaram-se das aspirações do decisor em relação ao futuro, refletindo a melhor previsão possível.

O cenário desejável refletiu a melhor situação possível para o futuro, onde a melhor tendência de desenvolvimento é realizada ao longo do período de planejamento, considerando a realidade atual do município, sem preocupação com a plausibilidade. O cenário normativo possui uma conotação legal, procurando administrar o destino com base na Lei 12.305 (BRASIL, 2010), ajustando-se às probabilidades e às circunstâncias, refletindo a melhor situação possível, a mais plausível e indicada.

O objetivo desta etapa foi criar cenários distintos que representem alternativas de gestão integrada para os RSU. O cenário inercial considerou a continuidade da atual gestão, sem investimentos no setor e com a terceirização da disposição final dos rejeitos. O cenário emergencial considerou investimentos no sistema de gestão de resíduos sólidos, realizando pequenas adequações na central de triagem e a implantação de uma alternativa local de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O cenário normativo considerou adequações conforme a Lei 12.305 (BRASIL, 2010), como ampliação da coleta seletiva, implantação de medidas de educação e conscientização ambiental, aproveitamento da parcela orgânica dos resíduos através da compostagem e implantação de um aterro sanitário no município. No Quadro 15 é possível observar os cenários que serão criados para a gestão dos resíduos sólidos domiciliares do município de Passo Fundo/RS.

Quadro 15: Cenários de soluções integradas para a gestão dos RSU no município de Passo Fundo/RS.

Cenário Inercial	Cenário Emergencial	Cenário Normativo
Manutenção das condições atuais do sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos do município;	Adequações ao atual sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos do município	Criação de um novo sistema de gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de acordo com a Lei 12.305/2010.

Fonte: Próprio autor (2015).

3) Realização da análise da viabilidade econômica para implantação destes cenários no município

3.1) Análise da viabilidade econômica dos cenários propostos para o município

Cada cenário criado na etapa anterior foi definido com base nas principais características técnicas e econômicas envolvidas para implantação, instalação e operacionalização do sistema proposto. Para isto, foi realizada uma pesquisa sobre o tema com análise de pesquisas já existentes e projetos já implantados. Foi realizada também uma

pesquisa de mercado, visando compilar dados de gastos com materiais e equipamentos utilizados na instalação e implantação, mão-de-obra especializada e serviços diversos para implementação de cada sistema.

Foram realizadas consultas e pedidos de cotação a empresas do ramo, consulta a editais de licitação e planilhas de cálculos realizados em diversos municípios, consulta a trabalhos desenvolvidos sobre o tema, pesquisas no Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, no Sistema de Custos Rodoviários- SICRO do DNIT e no software Pleo – Planilha Eletrônica de Orçamentos, com o intuito de se obter um orçamento e estabelecer um levantamento para posterior avaliação econômica.

A inflação não foi considerada em nenhum dos cenários, pois o índice é o mesmo, não acarretando diferenças nas comparações entre eles. Assim, levando em consideração que os custos e despesas anuais sejam corrigidos pela inflação do período, o total apurado no período de análise (20 anos) pode ser considerado como o valor atual dos gastos futuros descontados pela inflação.

O processo de análise de investimentos foi desenvolvido com a projeção de fluxo de caixa e do valor presente.

Foi realizada a análise de viabilidade econômica visando indicar o cenário mais adequado para o município. Para esta análise, foram relacionados em um fluxo de caixa os investimentos e os gastos para construção e instalação, bem como os custos e despesas com materiais, equipamentos e mão-de-obra utilizados na operação de cada sistema:

- 1) Investimento inicial: contemplando os gastos com programas e projetos, licenças ambientais, implantação e/ou construção, instalações e materiais e/ou equipamentos;
- 2) Custos e despesas: gastos com materiais de escritório e limpeza, contas de água, luz e telefone, pessoal, veículos, equipamentos gerais e despesas legais;
- 3) Custos de manutenção: gastos com manutenções preventivas e corretivas dos sistemas e programas;

O desenvolvimento da avaliação econômica foi realizado em planilhas do Excel®.

3.2) Discussão e análise dos cenários

Nesta fase foram comparados os resultados obtidos na análise da viabilidade econômica, através da verificação dos critérios econômicos de decisão, indicando o cenário mais apropriado e vantajoso para o município de Passo Fundo/RS. Através do fluxo de caixa e

dos custos totais com a implantação de cada cenário no município foi possível indicar a melhor alternativa de investimento do ponto de vista econômico. Também foram levantadas algumas questões como geração de emprego e renda, diminuição de impactos ambientais e o seguimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

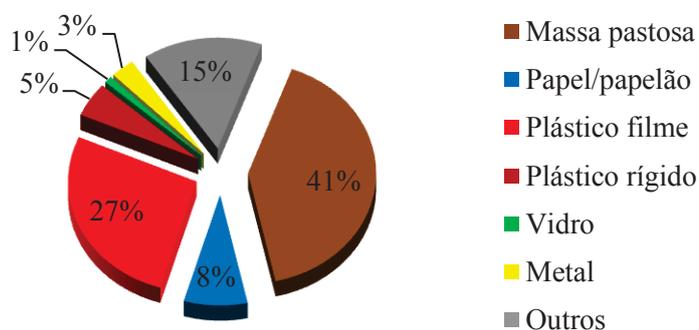
Este capítulo apresenta os resultados e discussão do presente estudo. Primeiramente, é apresentado o diagnóstico do setor de RSU, que contou com uma sistematização e análise de informações disponíveis sobre o município e os serviços por ele oferecidos em relação ao manejo dos resíduos sólidos. Posteriormente foram elaborados cenários que representam alternativas para gestão, tratamento e /ou disposição dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Passo Fundo/RS. Por fim, foi realizada a análise de viabilidade econômica dos cenários propostos, indicando o cenário mais viável a ser aplicado no município de Passo Fundo/RS.

4.1 Diagnóstico, prognóstico e ações previstas para o setor de manejo de RSU de Passo Fundo/RS

4.1.1 Descrição da quantidade e composição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS

O município de Passo Fundo/RS não dispõe de dados oficiais sobre a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos. Em um estudo realizado na área do aterro controlado de São João da Bela Vista de Passo Fundo/RS por Mattei e Escosteguy (2007), foi obtida a composição gravimétrica, assim como demonstra a Figura 7.

Figura 7: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares



Fonte: Adaptado de Mattei e Escosteguy (2007).

A massa pastosa é composta por orgânicos putrescíveis, como restos de alimentos, folhas, galhos, e materiais inertes, como solo e pedras. Os resíduos classificados como outros inclui tecido, couro, borracha, madeira, fralda, etc. (MATTEI E ESCOSTEGUY, 2007).

Segundo Plano Estadual de Resíduos Sólidos (RIO GRANDE DO SUL, 2014b), nos municípios de médio porte, em torno de 60% dos resíduos são matéria orgânica. A composição gravimétrica dos RSU no Brasil é 51,4% matéria orgânica, 31,9% recicláveis e 16,7% outros (ABRELPE, 2011). Os resultados encontrados para o município de Passo Fundo estão próximos aos índices encontrados no Rio Grande do Sul e no Brasil.

A geração dos resíduos domiciliares varia de acordo com o porte dos municípios e regiões geográficas do país, em função da atividade econômica, tamanho e renda da população e possíveis populações flutuantes presentes no local (IBAM, 2001).

Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (RIO GRANDE DO SUL, 2014b) a geração per capita de RSU adotada para municípios de médio porte (50.001 a 300.000 habitantes) é de 0,8 kg.hab.⁻¹ dia⁻¹. De acordo com os dados da Prefeitura Municipal de Passo Fundo – RS, em 2014, o município gerou de aproximadamente 4.300 t/mês de resíduos sólidos, exceto os de poda, capina e roçada.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, através do Plano de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de Orientação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012), os resíduos de varrição, poda e capina representam aproximadamente 15% da geração total de resíduos domiciliares. Seguindo esta metodologia, e considerando que os resíduos de varrição já estão incluídos no total de 4.300 t/mês levantados anteriormente, estima-se que os resíduos de poda e capina representam 10%, o que seria aproximadamente 478 t/mês para o Município de Passo Fundo. Com isso o total da geração média de 4.778 t/mês (4.300/0,90) de RSU com a inclusão dos resíduos de poda e varrição.

Tomando por base a população de 2015 estimada em 193.055 habitantes (PASSO FUNDO, 2014), a geração *per capita* média é de 0,82 kg.hab.⁻¹ dia⁻¹. Sendo assim, o valor estimado de geração per capita do município está próximo do valor estimado de geração para municípios de médio porte no Rio Grande do Sul.

4.1.2 Caracterização do atual sistema de gestão de RSU aplicado no município

4.1.2.1 Coleta dos resíduos

A coleta dos resíduos domiciliares no município de Passo Fundo/RS é realizada de duas maneiras: coleta seletiva (separação dos resíduos) e coleta convencional (sem segregação).

A coleta seletiva é realizada apenas na área central do município, sendo contratada a empresa pública Companhia de Desenvolvimento de Passo Fundo (CODEPAS) para realizá-la. A coleta é realizada por 2 caminhões compactadores: um utilizado para a coleta dos resíduos dispostos nos contêineres laranjas (resíduos orgânicos) e outro para a coleta dos resíduos dispostos nos contêineres azuis (resíduos recicláveis).

O custo para coleta dos resíduos recicláveis é de R\$ 14,30 por km percorrido durante a coleta, e para o resíduo orgânico R\$ 95,92 por tonelada coletada. Na Figura 8 pode-se visualizar o modelo de contêiner utilizado para a coleta seletiva.

Figura 8: Imagem contêiner utilizado para coleta seletiva



Fonte: PASSO FUNDO (2014).

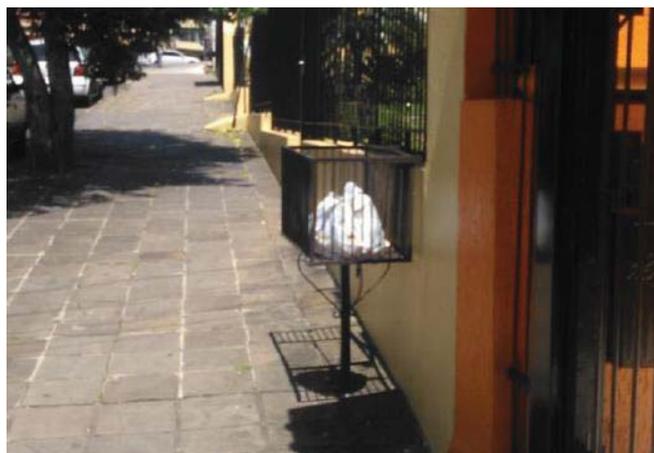
A manutenção das lixeiras e dos contêineres é realizada pela empresa Contemar Ambiental Comércio de Contêineres LTDA. Na área central da cidade foram instalados 575 contêineres para a disposição dos resíduos orgânicos com capacidade de 660 litros, e 575 contêineres para a disposição dos resíduos recicláveis com capacidade de 1.000 litros. Nos passeios públicos do centro da cidade foram instaladas 400 lixeiras com capacidade de 50 litros cada.

O custo unitário mensal pago a empresa pela manutenção e limpeza é calculado por litro de cada contêiner e lixeira, sendo um valor fixo de R\$ 0,14/l, tanto para os contêineres da coleta seletiva quanto para as lixeiras dos passeios públicos.

A coleta convencional é realizada na zona rural e na zona urbana. Na zona rural a empresa responsável pela coleta é a CODEPAS, a periodicidade é semanal e a empresa cobra R\$ 14,30 por km percorrido durante a coleta. Na zona urbana, a empresa responsável pela coleta convencional é a Via Norte Coleta e Transporte de Resíduos LTDA, com periodicidade de coleta diária porta a porta.

A empresa Via Norte cobra R\$ 126,99 por tonelada coletada e transportada até a Central de Triagem, no Bairro São João, sendo que disponibiliza 5 caminhões compactadores e 1 caminhão reserva para eventual substituição para realizar a coleta convencional. Cada caminhão possui a capacidade de 15 toneladas. Na Figura 9 pode-se observar as lixeiras utilizadas para coleta convencional no município.

Figura 9: Lixeiras para coleta convencional



Fonte: PASSO FUNDO (2014).

4.1.2.2 Triagem, reciclagem, transporte e disposição final

Após a coleta, a maior parte dos resíduos é transportada até a Usina de São João da Bela Vista localizada no interior, em São João da Bela Vista, distante 10 km do centro do município de Passo Fundo/RS, a qual possui a licença de operação para Classificação/Seleção de resíduos sólidos urbanos. A operação da central que engloba o trasbordo, classificação dos resíduos e transporte dos rejeitos é de responsabilidade da empresa CODEPAS. A triagem é realizada através de uma parceria com a Associação RECIBELA que fica com a receita da venda dos resíduos recicláveis.

Existem pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis, organizados por outras associações de recicladores que possuem ao todo 50 associados. O município possui um projeto chamado Transformação, que busca articular e prestar assistência às associações e cooperativas. As cooperativas de recicladores são apoiadas pelo Projeto Transformação em suas atividades de coleta, seleção e comercialização de materiais recicláveis. O Projeto presta assessoria na organização produtiva, autogestão, organização interna, relação com a sociedade

e o poder público. A seguir serão apresentadas as associações do município. As informações foram repassadas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

- 1) RECIBELA - Cooperativa de Trabalho dos Recicladores do Parque Bela Vista, localizada na linha São João da Bela Vista, é formada atualmente por 25 trabalhadores/as, com produção média de 64 toneladas/mês;
- 2) AAMA - Associação dos Amigos do Meio Ambiente: localizada na Rua Capitão Aguiar, nº 99, Vila Popular. O recolhimento, a triagem e a compactação do que é recebido beneficia atualmente 10 cooperados e suas famílias, produzindo em média 20 toneladas/mês. O espaço de triagem é cedido gratuitamente pela Associação das Entidades do Projeto Transformação;
- 3) COOTRAEMPO - Cooperativa Mista de Produção e Trabalho dos Empreendedores Populares da Santa Marta Ltda. Conta com a colaboração de nove cooperados que realizam seus trabalhos no pavilhão da cooperativa, localizado na Avenida Domingos Gomes, no Bairro Santa Marta. Possui também cerca de 450 pontos de coleta distribuídos na cidade de Passo Fundo e produz em média 18 toneladas/mês, além disso, contém um cronograma de recolhimento, permitindo maior área de abrangência na coleta dos resíduos recicláveis. Conta com o apoio da Sociedade Cultural Recreativa e Beneficente São João Bosco – Socrebe que cede o pavilhão onde o grupo trabalha;
- 4) AREVI - Associação de recicladores Esperança da Vitória: localizada na Rua São Roque, bairro Bom Jesus, atualmente com 6 associados. Possui aproximadamente de 150 pontos de coleta e com produção média de 9 toneladas/mês.

Desde o ano de 2014 as cooperativas (AAMA e COOTRAEMPO) e associação (AREVI), possuem um convênio com o poder público municipal, que as subsidia com o pagamento de 2 (dois) motoristas, combustível, manutenção de dois caminhões, com valor mensal de R\$ 6.000,00.

O resíduo sólido reciclável coletado pelas empresas nos pontos de entrega voluntária é transportado até os galpões de reciclagem, e o rejeito desse material é recolhido pela empresa CODEPAS e levado para a Usina de São João da Bela Vista.

São recicladas pelas cooperativas e associações do município aproximadamente 2,3 % (111 t/mês) dos resíduos gerados. Na Figura 10 pode-se observar o galpão onde os resíduos são descarregados para passar pelo processo de triagem pela Cooperativa RECIBELA.

Figura 10: Vista da área de transbordo da Usina de São João da Bela Vista



Fonte: Próprio Autor (2015).

A Usina de São João da Bela Vista necessita de investimentos, principalmente na aquisição de uma balança, adequações e ampliações na esteira de segregação e implantação de um sistema de impermeabilização e drenagem.

Segundo informações repassadas pela CODEPAS e pela Secretaria de Meio Ambiente, estima-se que 5% dos RSU gerados no território municipal estão sendo recuperados através da reciclagem, somando a reciclagem formal (realizada pelas associações e cooperativas) e a reciclagem informal (realizada através dos catadores que não possuem nenhum vínculo com as associações e cooperativas).

A CODEPAS também é a responsável por firmar contratos para transporte e disposição dos rejeitos. O valor pago pela Prefeitura à CODEPAS para realizar a operação na central de triagem e dispor os resíduos adequadamente é por tonelada de rejeito encaminhado para disposição final, fixado em R\$ 183,23/t. Deste valor, a CODEPAS terceiriza o transporte e a disposição final dos rejeitos. O rejeito atualmente está sendo encaminhado para o aterro sanitário de Minas do Leão, pertencente à Companhia Rio-grandense de Valorização de Resíduos (CRVR), sendo o valor fixado no contrato de R\$ 117,60/t. O valor da diferença que a CODEPAS recebe da Prefeitura e paga para dispor o rejeito, R\$ 65,63/t é utilizado para operação da central de triagem. Na Figura 11 pode-se observar o local na Usina onde os rejeitos são carregados para serem encaminhados para disposição final.

Figura 11: Rejeitos sendo carregados para serem encaminhados ao aterro sanitário.



Fonte: Próprio autor (2015).

Em média, são carregadas 170 toneladas por dia na Usina de Triagem, com destino ao aterro sanitário de Minas do Leão, que fica distante 300 km da Usina de São João da Bela Vista.

4.1.2.3 Limpeza urbana

Os serviços de limpeza urbana realizados no município de Passo Fundo/RS são compostos pela varrição, capina e roçada, poda, remoção de carcaças de animais, remoção de veículos abandonados e limpeza de feiras livres. São 25 funcionários da Prefeitura Municipal envolvidos neste setor.

A empresa SERVIPLAN SERVIÇOS GERAIS LTDA é contratada para a prestação de serviços gerais nas ruas, avenidas, praças, canteiros, jardins, passeios públicos, cemitérios, capelas, escolas, parques e outros em regime de empreitada global por lote. A SERVIPLAN dispõe de 75 funcionários para realizar este serviço e o valor do contrato é de aproximadamente R\$ 275.000,00 por mês.

Segundo a Secretaria, os resíduos da varrição possuem como destino final os contêineres de resíduo orgânico. Os resíduos de poda, capina e roçada estão sendo encaminhados ao viveiro municipal ou para empreendimentos que necessitem deste material ou de serragem. Atualmente o município não dispõe de local devidamente licenciado para descarte.

O serviço de poda é realizado por uma equipe composta por cinco funcionários, equipados com motosserras e motos podadoras. A coleta dos resíduos é feita com um

caminhão equipado com triturador de galhos. A Prefeitura Municipal de Passo Fundo não dispõe de dados de quantificação dos resíduos gerados.

4.1.3 Levantamento dos custos envolvidos no atual sistema de gestão dos RSU no município de Passo Fundo/RS

Os custos envolvidos com a gestão dos RSU de Passo Fundo/RS estão apresentados na Tabela 2. Os valores apresentados foram obtidos através de uma média dos 12 últimos meses, repassados pela Secretaria de Meio Ambiente de Passo Fundo.

Tabela 2: Custos envolvidos com a gestão dos resíduos sólidos urbanos de Passo Fundo/RS no ano de 2014.

Responsável	Serviços	Custo (R\$)	Total mensal (R\$)	Total anual (R\$)
CODEPAS	Coleta	95,92/t (orgânicos) + 14,30/km (recicláveis)	175.000,00	2.100.000,00
VIA NORTE	Coleta	126,99/t	374.572,24	4.494.866,88
CONTEMAR AMBIENTAL	Manutenção de contêineres	0,14/l	136.430,00	1.637.160,00
COOPERATIVAS/ASSOCIAÇÕES	Triagem e Reciclagem	-	6.000,00	72.000,00
CODEPAS	Operação da central, transporte e disposição final	183,23,00/t	839.235,54	10.070.826,51
SERVIPLAN	Limpeza urbana	-	275.000,00	3.300.000,00
Total			1.806.237,78	21.674.853,39

Fonte: Próprio autor (2015).

Na Tabela 2 verifica-se que a Prefeitura Municipal de Passo Fundo/RS tem um gasto anual de R\$ 21.674.853,39 com o atual sistema de gestão de RSU, o que representa aproximadamente 6% das despesas totais do município.

O serviço de coleta dos resíduos sólidos domiciliares é tarifado conforme a Lei Complementar 233 de 2009 (PASSO FUNDO, 2009). Os valores cobrados atualmente, de acordo com a Secretaria Municipal da Fazenda, estão listados no Quadro 16.

Quadro 16: Valores Atuais da Taxa de Coleta de resíduos.

Ocupação/localização/periodicidade	Taxa mensal (R\$)
Comercial, industrial e serviços, coleta diária	12,02
Comercial, industrial e serviços, coleta alternada	6,01
Residenciais, coleta diária	6,01
Residenciais, dias alternados	2,74

Fonte: Adaptado de Secretaria Municipal da Fazenda (2015).

Conforme apresentado no Quadro 16, as taxas de coleta dos resíduos variam de acordo com o tipo da ocupação e periodicidade da coleta. Este valor é cobrado mensalmente através da conta de energia elétrica. Segundo informação repassada pela Secretaria Municipal da Fazenda, a arrecadação das taxas de coleta no ano de 2014 foi de R\$ 2.784.293,10.

O artigo 7º da Lei 233 de 2009 (PASSO FUNDO, 2009) prevê que 20% do valor arrecadado têm como destino a Secretaria do Meio Ambiente, com a finalidade de ser aplicado em atividades referentes ao gerenciamento de resíduos.

4.1.4 Apresentação dos principais programas, projetos, ações previstas no PMSB de Passo Fundo para o setor de manejo de RSU

Entre as necessidades levantadas no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Passo Fundo/RS para o setor dos resíduos sólidos domiciliares, menciona-se:

1. Falta de conscientização da população na segregação dos resíduos;
2. Deficiências na central de triagem para a segregação dos resíduos e;
3. Inexistência de um local adequado para a destinação final dos resíduos dentro do município.

Neste sentido, o grupo que desenvolveu Plano Municipal Saneamento Básico (PMSB) propôs algumas ações para a solução dos problemas levantados.

Os principais objetivos e ações relacionadas com o presente estudo estão apresentados no Quadro 17, o qual apresenta também a estimativa de investimento de cada objetivo.

Quadro 17: Principais objetivos para o setor de resíduos sólidos domiciliares.

Objetivo	Ação
Objetivo R11: Ampliar o atendimento de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares;	Ação 77: Expansão do processo de coleta seletiva de resíduos nas demais áreas do município;
Objetivo R10: Reduzir a quantidade de resíduos sólidos encaminhados ao aterro sanitário;	Ação 87: Criação e implantação de programas contínuos de educação ambiental que priorizem a segregação dos resíduos na fonte geradora, redução e reutilização;
	Ação 88: Elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos domiciliares gerados no município, priorizando alternativas de segregação, tratamento e valorização;
Objetivo R8: Garantir área própria ou em consórcio com outros municípios para a disposição final dos resíduos domiciliares;	Ação 91: Elaboração de estudos sobre avaliação da viabilidade técnica e econômica de alternativas de disposição final dos resíduos sólidos domiciliares, como por exemplo, a reciclagem do material do resíduo, compostagem do resíduo orgânico, aterros sanitários, incineração ou pirólise;
	Ação 92: Aplicação da alternativa definida no estudo de disposição final dos resíduos sólidos domiciliares;

Fonte: Adaptado de PASSO FUNDO (2014).

O objetivo de apresentar as principais ações indicadas no PMSB é para embasar a criação dos cenários, propostos nesta pesquisa, ou seja, aproximar os objetivos do PMSB com o presente estudo. Por exemplo, que os cenários propostos contemplem a ampliação da coleta seletiva, a criação de programas de educação ambiental e uma alternativa de disposição final dos rejeitos gerados no município.

4.1.5 Prognóstico da projeção populacional e projeção de demandas

Os dados da projeção populacional foram obtidos através do PMSB (PASSO FUNDO, 2014). No Quadro 19 pode-se observar a projeção populacional (cenário que considerou a média entre a projeção populacional utilizando método exponencial e a projeção populacional utilizando método geométrico) do Município de Passo Fundo/RS para um horizonte de 20 anos, horizonte definido de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Quadro 18: Projeção populacional do Município

Ano	Taxa anual de crescimento (%)	População (N° de habitantes)
2015	0,875	193.055
2016	0,875	194.744
2017	0,875	196.448
2018	0,875	198.167
2019	0,875	199.901
2020	0,875	201.650
2021	0,815	203.294
2022	0,815	204.950
2023	0,815	206.621
2024	0,815	208.305
2025	0,815	210.002
2026	0,815	211.714
2027	0,815	213.439
2028	0,815	215.179
2029	0,815	216.933
2030	0,815	218.701
2031	0,68	220.483
2032	0,68	221.982
2033	0,68	223.492
2034	0,68	225.012

Fonte: Adaptado de PMSB (2014).

Conforme apresentado no Quadro 19, a tendência é que o crescimento populacional irá aumentar em uma taxa média de 0,815% até 2030, a partir de 2031 esse índice ficará em torno de 0,68%. Sendo que a população passará de 193.055 habitantes no ano de 2015 para 225.012 habitantes no ano de 2034.

A projeção de geração de RSU foi definida a partir da projeção populacional e da geração *per capita*. Na etapa de diagnóstico foi obtida uma geração *per capita* de 0,82 kg.hab.⁻¹ dia⁻¹. Este valor foi mantido para todo o horizonte estudado, pois o aumento na taxa de geração per capita durante este período é baixa, não alterando significativamente o valor gerado. A estimativa de geração dos RSU de Passo Fundo/RS pode ser visualizada no Quadro 19.

Quadro 19: Estimativa de geração de RSU

Ano	População (habitantes)	Geração per capita (kg.hab. ⁻¹ dia ⁻¹)	Geração de RSU (toneladas)		
			Diária	Mensal	Anual
2015	193.055	0,82	159,08	4838,60	58063,22
2016	194.744	0,82	160,47	4880,93	58571,21
2017	196.448	0,82	161,87	4923,64	59083,70
2018	198.167	0,82	163,29	4966,73	59600,71
2019	199.901	0,82	164,72	5010,19	60122,22
2020	201.650	0,82	166,16	5054,02	60648,25
2021	203.294	0,82	167,51	5095,23	61142,70
2022	204.950	0,82	168,88	5136,73	61640,76
2023	206.621	0,82	170,26	5178,61	62143,33
2024	208.305	0,82	171,64	5220,82	62649,81
2025	210.002	0,82	173,04	5263,35	63160,20
2026	211.714	0,82	174,45	5306,26	63675,10
2027	213.439	0,82	175,87	5349,49	64193,91
2028	215.179	0,82	177,31	5393,10	64717,24
2029	216.933	0,82	178,75	5437,06	65244,77
2030	218.701	0,82	180,21	5481,38	65776,51
2031	220.483	0,82	181,68	5526,04	66312,47
2032	221.982	0,82	182,91	5563,61	66763,31
2033	223.492	0,82	184,16	5601,45	67217,45
2034	225.012	0,82	185,41	5639,55	67674,61

Fonte: Próprio autor (2015).

A partir do Quadro 19 pode-se verificar qual a demanda de geração de resíduos nos próximos 20 anos no município de Passo Fundo – RS, sendo que em 2015 serão geradas aproximadamente 160 t/dia, e pela estimativa, em 2034 a geração será de aproximadamente 186 t/dia.

4.2 Elaboração de Cenários que representem alternativas para gestão, valorização, tratamento e /ou disposição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS

Os cenários estudados representam alternativas de gestão de RSU para o município de Passo Fundo/RS. Através do estudo aprofundando na etapa de revisão, foi possível propor cenários realísticos para o município. Poderia ser avaliado um cenário que considerasse a incineração, porém, esta não é uma tendência. A incineração é pouco utilizada no Brasil, os custos de implantação e operação são bem elevados. Portanto, os cenários criados representam alternativas locais para a gestão dos RSU e a maior preocupação na criação dos cenários foi apresentar e comparar alternativas em que o município realmente terá condições de aplicar na prática.

O Cenário I (inercial) considera que não haverá investimentos no setor nos próximos 20 anos, ou seja, considera que se prossiga o método de gestão aplicado no município atualmente.

O Cenário II (emergencial) considera uma alternativa local de disposição final dos rejeitos. Dessa forma, o município passaria a ter um aterro sanitário e os rejeitos não seriam mais encaminhados para outro município como vem acontecendo.

O Cenário III é um cenário normativo, que atende a hierarquia estabelecida pela Lei 12.305 (BRASIL, 2010). Onde se propôs a ampliação da coleta seletiva, implantação de programas de educação e conscientização ambiental, investimentos na central de triagem, aproveitamento da parcela orgânica dos resíduos através da compostagem e a implantação de um aterro sanitário no município.

O Quadro 20 apresenta o resumo dos cenários que serão avaliados para a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Quadro 20: Resumo dos cenários estudados

CENÁRIO I (INERCIAL)	CENÁRIO II (EMERGENCIAL)	CENÁRIO III (NORMATIVO)
Situação atual – Sem investimentos e com terceirização da disposição final.	Alternativa de disposição final local - implantação de um aterro sanitário no município;	Ampliação da coleta seletiva; implantação de programas de educação e conscientização ambiental; investimentos na central de triagem; compostagem e aterro sanitário no município;

Fonte: Próprio Autor (2015).

4.3 Análise da viabilidade econômica dos cenários propostos para o município

4.3.1 Cenário I – Inercial

O Cenário I considera a continuação do atual sistema de gestão de resíduos sólidos, sem novos investimentos, mantendo os custos atuais para os próximos 20 anos. As empresas terceirizadas continuam sendo contratadas para realização da coleta, triagem, segregação, transporte, destinação final e limpeza urbana por isso não há gastos com investimento inicial.

Os custos operacionais considerados foram os custos totais com a atual gestão dos resíduos, conforme Tabela 3. Neste cenário, há continuação da terceirização sob responsabilidade de empresas contratadas para os serviços de coleta, limpeza e manutenção

dos contêineres, operação da central de triagem, transporte e disposição final dos rejeitos e limpeza urbana.

Tabela 3: Custos operacionais – Cenário I

Serviços	Total anual (R\$)
Coleta	6.594.866,88
Manutenção de contêineres	1.637.160,00
Triagem/reciclagem	72.000,00
Operação da central de triagem, transporte e disposição final	10.070.826,51
Limpeza urbana	3.300.000,00
Total	21.674.853,39

Fonte: Próprio autor (2015).

A projeção deste cenário para os próximos 20 anos foi realizada considerando-se o parâmetro de aumento populacional utilizado no prognóstico, levando em consideração o custo atual por habitante, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Custo total Cenário I

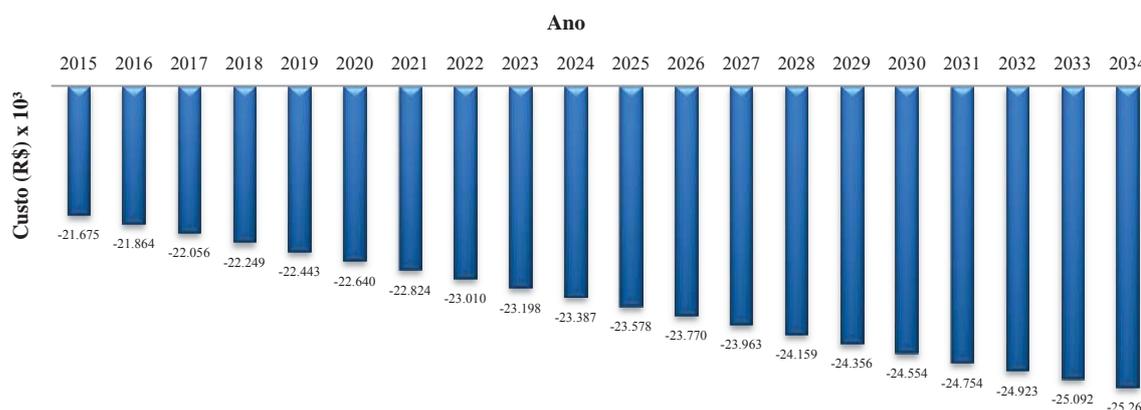
Ano	Habitantes	Custo anual (R\$)
2015	193.055	21.674.853,39
2016	194.744	21.864.482,40
2017	196.448	22.055.795,50
2018	198.167	22.248.792,69
2019	199.901	22.443.473,98
2020	201.650	22.639.839,36
2021	203.294	22.824.416,08
2022	204.950	23.010.340,08
2023	206.621	23.197.948,17
2024	208.305	23.387.015,81
2025	210.002	23.577.542,99
2026	211.714	23.769.754,28
2027	213.439	23.963.425,11
2028	215.179	24.158.780,03
2029	216.933	24.355.706,78
2030	218.701	24.554.205,34
2031	220.483	24.754.275,73
2032	221.982	24.922.572,87
2033	223.492	25.092.105,02
2034	225.012	25.262.759,90
Total (R\$)		469.758.085,48

Fonte: Próprio autor (2015).

Conforme a Tabela 4, em 20 anos a gestão municipal terá um gasto de aproximadamente R\$ 469.758.085,48 para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, levando em conta o crescimento populacional. O gráfico do fluxo de caixa é apresentado na Figura 12.

Se levarmos em conta que os custos com a coleta e transporte serão corrigidos pela inflação do período, o total de R\$ 469.758.085,48 pode ser considerado como o valor presente líquido dos gastos futuros descontados pela inflação.

Figura 12: Fluxo de caixa Cenário I.



Fonte: Próprio Autor (2015).

Conforme o fluxo de caixa do Cenário I representado pela Figura 12, observa-se um aumento gradativo do gasto com a gestão dos resíduos ao longo do período estudado, devido ao aumento populacional do município.

Para 2016 estima-se um gasto de R\$ 21.864.482,40, e para o ano de 2034 tem-se como estimativa que este valor será de aproximadamente R\$ 25.262.750,90 como valor atual descontado pela inflação do período em análise.

4.3.2 Cenário II – Emergencial

O Cenário II considera a implantação de um aterro sanitário no município de Passo Fundo/RS. Neste Cenário está previsto a mudança na disposição final dos rejeitos, com a aquisição de uma nova área onde será implantado o aterro sanitário. O empreendimento avaliado no Cenário II é um aterro sanitário que atenda a demanda do município pelos próximos 20 anos.

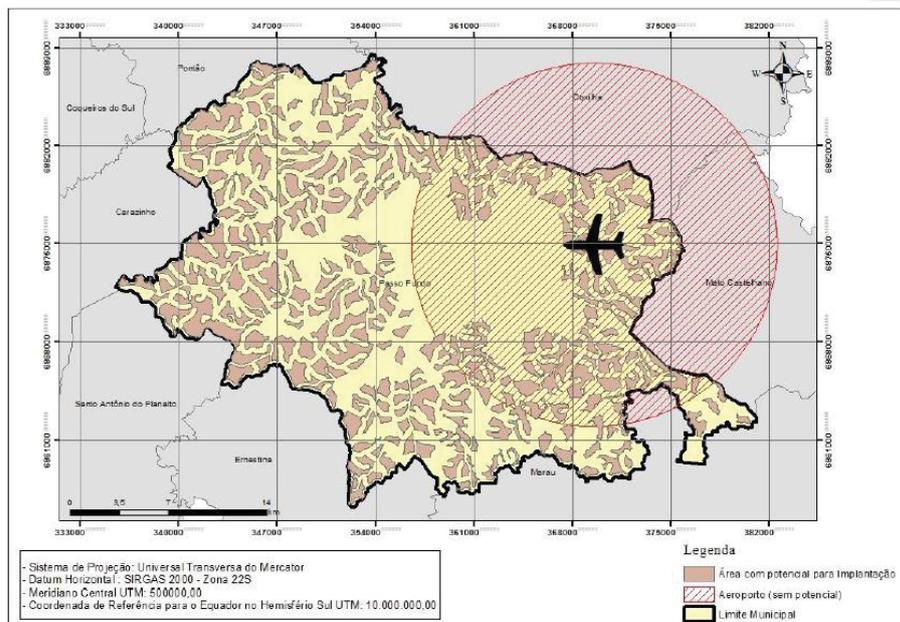
Os custos com a coleta e manutenção dos contêineres, auxílio financeiro às associações/cooperativas, operação da central de triagem e limpeza urbana serão mantidos conforme cenário I, pelo fato de não haver mudanças nestas etapas do gerenciamento no Cenário II, que deverá ser realizado através da terceirização dos serviços. Sendo os custos mensais de coleta de R\$ 549.572,24, R\$ 136.430,00 com a manutenção dos contêineres, R\$

6.000,00 com ajuda de custo para as associações/cooperativas, R\$ 300.600,49 com a operação da central de triagem e R\$ 275.000,00 com a limpeza urbana.

O Cenário II prevê a operação da Central de triagem no mesmo local onde vem sendo operada em São João da Bela Vista. Além das despesas citadas anteriormente, neste cenário será considerado o custo com o transporte dos rejeitos (central de triagem até o aterro sanitário).

A definição do local do aterro sanitário será considerada a uma distância média de 20 km entre o aterro e a usina. Este valor foi estimado, com base na análise do mapa elaborado no PMSB com indicação de áreas potenciais para receberem o aterro sanitário, conforme Figura 13.

Figura 13: Áreas com potencial para a implantação de aterros sanitários no município de Passo Fundo/RS.



Fonte: Passo Fundo (2014).

As áreas apresentadas na Figura 13 possuem potencial para a instalação de aterro sanitário, mas para a implantação do mesmo é necessário realizar estudos mais detalhados *in situ*, e a área deverá atender os requisitos da NBR 13896/1997 (ABNT, 1997). Estes estudos não foram realizados no presente trabalho, por isso considerou-se uma distância média de 20 km entre a central de triagem e o aterro sanitário, sendo uma distância média coerente com a maioria das áreas potenciais apresentadas.

a) Investimento Inicial

A operação da usina de segregação e triagem continuará sendo realizada conforme o cenário atual, ou seja, através de parceria firmada entre as associações de catadores, em que as mesmas são responsáveis por operar a triagem e em contrapartida, ficam com a receita da venda dos resíduos recicláveis.

O investimento inicial para o projeto do aterro sanitário foi determinado através do dimensionamento do mesmo para atender a demanda de geração de RSU do município.

A área total necessária para implantação do aterro sanitário foi estimada de acordo os cálculos para dimensionamento do aterro sanitário, para o qual será necessária uma área de 30 hectares para que todas as instalações sejam feitas.

O valor da área foi estimado através de uma consulta a empresa do setor imobiliário. O valor da área no município de Passo Fundo/RS varia de 600 a 1.000 sacas de soja por ha. Para o mês de referência abril/2015 a soja era cotada a R\$ 64,00/saca. Adotou-se o valor médio de 850 sacas/ha totalizando um valor de R\$ 55.000,00/ha.

O valor da aquisição da área para implantação do aterro sanitário foi calculado multiplicando-se o custo estimado por hectare (R\$ 55.000,00) pela área necessária (30 ha) o que resultou no total de R\$ 1.650.000,00.

O orçamento compreendeu a aquisição de uma área para implantação de 30 ha, além dos custos com:

- 1) Projeto básico e executivo do empreendimento;
- 2) Licenciamentos ambientais (consultoria e taxas);
- 3) Sondagens no solo;
- 4) Topografia e locações de implantação;
- 5) Terraplenagem;
- 6) Abertura de acessos empedrados;
- 7) Cercamento da área com tela e com barreira vegetal;
- 8) Instalação de infraestrutura básica (rede elétrica, poço tubular, fossa séptica);
- 9) Sistema de vigilância;
- 10) Poços de monitoramento;
- 11) Guarita com balança rodoviária com capacidade para veículos de até 20 m, área administrativa equipada, vestiários, refeitório equipado que somam uma área de 400 m²;

- 12) Galpão aberto pré-moldado para depósito das máquinas de 800 m²;
- 13) Células de disposição para atender a demanda de disposição final de todos os rejeitos gerados no município por um período de 20 anos (9 células), com sistema de impermeabilização, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem de lixiviados, sistema de drenagem de gases e sistema de cobertura superficial (conforme memorial do aterro – APENDICE A);
- 14) Estação de tratamento de efluentes – ETE;
- 15) Verba para plano de recuperação da área com ações de recuperação;

O cálculo do volume de rejeitos encaminhados para disposição final, dimensionamento e a metodologia utilizada para implantação do aterro sanitário estão descritos no APÊNDICE A.

O investimento inicial para o empreendimento, contemplando os gastos incidentes, foi orçado em R\$ 19.201.851,05, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Custo com investimento inicial – Cenário II.

Etapas	Total (R\$)
1. Projetos	200.000,00
2. Licenciamentos	363.513,75
3. Infraestrutura	2.962.263,99
4. Operação trincheira	13.236.624,64
5. Operação área	1.601.711,10
6. Sistema de drenagem de águas superficiais	251.357,28
7. Estação de tratamento de efluentes	72.059,98
8. Máquinas e equipamentos	120.000,00
9. Paisagismo, encerramento e cuidados posteriores	174.500,00
10. Execução (engenheiro)	30.000,00
11. Imprevistos/contingências	189.820,31
Total	19.201.851,05

Fonte: Próprio Autor (2015).

O orçamento detalhado encontra-se no APÊNDICE B.

Portanto, o Cenário II prevê um investimento inicial de R\$ 19.201.851,05 com o aterro sanitário. Com base na premissa de buscar um financiamento para o empreendimento, pode-se enquadrar o município em um dos programas do governo federal para obter este financiamento.

Foi simulado em outubro de 2015, quando da realização desta etapa do estudo, um financiamento do Programa Saneamento para Todos, setor de manejo de resíduos sólidos. O

Programa Saneamento Para Todos possui uma taxa de juros total (incluindo juros nominal + taxas) de 9% a.a. A contrapartida mínima é de 5% do valor do investimento e o prazo de amortização é de 180 meses (CEF, 2015). O sistema de amortização do financiamento é constante (SAC) e o financiamento possibilita carência de até 4 anos. Para este estudo como hipótese de simplificação não se considerou período de carência. O valor da contrapartida mínima (5%) que deverá ser pago de entrada no financiamento é de R\$ 960.092,55. O valor restante R\$ 18.241.758,50 será financiado nas condições descritas anteriormente, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Financiamento do investimento inicial do Cenário II.

Período (anos)	Saldo devedor (R\$)	Prestação (R\$)	Amortização (R\$)	Juros (R\$)
0	18.241.758,50	-	-	-
1	17.025.641,26	2.857.875,50	1.216.117,23	1.641.758,26
2	15.809.524,03	2.748.424,95	1.216.117,23	1.532.307,71
3	14.593.406,80	2.638.974,40	1.216.117,23	1.422.857,16
4	13.377.289,56	2.529.523,84	1.216.117,23	1.313.406,61
5	12.161.172,33	2.420.073,29	1.216.117,23	1.203.956,06
6	10.945.055,10	2.310.622,74	1.216.117,23	1.094.505,51
7	9.728.937,86	2.201.172,19	1.216.117,23	985.054,96
8	8.512.820,63	2.091.721,64	1.216.117,23	875.604,41
9	7.296.703,40	1.982.271,09	1.216.117,23	766.153,86
10	6.080.586,17	1.872.820,54	1.216.117,23	656.703,31
11	4.864.468,93	1.763.369,99	1.216.117,23	547.252,75
12	3.648.351,70	1.653.919,44	1.216.117,23	437.802,20
13	2.432.234,47	1.544.468,89	1.216.117,23	328.351,65
14	1.216.117,23	1.435.018,34	1.216.117,23	218.901,10
15	0,00	1.325.567,78	1.216.117,23	109.450,55

Fonte: Próprio Autor (2015).

Conforme apresentado na Tabela 6 o valor anual da prestação será de aproximadamente R\$ 2.857.875,50 no primeiro ano, sendo que a mesma vai reduzindo gradativamente ao longo do período (Sistema SAC).

b) Gastos para a operação do aterro sanitário

O gasto de operação será composto pelos gastos com insumos tais como materiais de escritório e limpeza, contas de água, luz, internet e telefone, mão de obra, despesas com máquinas e equipamentos e despesas legais.

Alguns parâmetros que foram utilizados para o dimensionamento da infraestrutura a ser implantada e os equipamentos que devem ser adquiridos para a operação da central de triagem foram extraídos da publicação “Elementos para a organização da coleta seletiva e projetos dos galpões de triagem” (PINTO E GONZÁLEZ, 2008) e do guia Unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ, 2013).

Os gastos operacionais fixos compostos pela mão de obra foram determinados com base nos salários para operação do empreendimento e foram estimados através dos valores praticados na região para cada profissional, com base no Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção e do Mobiliário de Passo Fundo (SINDUSCON, 2015), considerando a operação do aterro de 8 horas por dia.

A Tabela 7 apresenta o custo com mão de obra e o número de funcionários necessários para a operação do aterro sanitário com capacidade média de recebimento de 163 t/dia. Os dados com a quantidade de profissionais necessários para operação do aterro sanitário foram extraídos do Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos (OBLADEN et al., 2009) com algumas adaptações para este trabalho.

Tabela 7: Custo de mão-de-obra para operação do aterro sanitário.

Profissional	Quantidade	Salário mensal	Salário anual
Responsável técnico - Engenheiro	1	6304,00	75648,00
Técnico de Manutenção	1	1350,00	16200,00
Vigia	2	1050,00	25200,00
Auxiliar de operação	3	880,00	31680,00
Auxiliar administrativo	1	1200,00	14400,00
Fiscal/Balanceiro	1	1200,00	14400,00
Auxiliar de limpeza	1	880,00	10560,00
	Subtotal R\$		188.088,00
	Encargos 85%		159.874,80
	Total R\$		347.962,80

Fonte: Próprio Autor (2015).

Sendo assim, conforme apresentado na Tabela 7, considerando a mão de obra e encargos trabalhistas os custos anuais são de R\$ 347.962,80.

Os encargos sociais levam em conta impostos e contribuições como INSS (Instituto Nacional de Seguro Social), SESI (Serviço Social da Indústria), SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Social), INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), SEBRAE (Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa), Salário Educação, Seguro Contra

Acidentes de trabalho, FGTS (Fundo de Garantia por Tempo Serviço). Os encargos trabalhistas são formados pela provisão de férias, 13º salário, descanso semanal remunerado, acidente de trabalho, auxílio doença (enfermidade), licença maternidade/paternidade, faltas justificadas (abonadas legalmente) e aviso prévio.

A soma da incidência destes encargos sobre o salário varia de 70% a 100% dependendo do tipo de indústria e das condições de trabalho dos operários. Para este estudo foi definido o valor médio entre estes percentuais, resultando no índice de 85%.

Quanto aos insumos utilizados, à água será fornecida pelo poço tubular, sendo o seu valor de perfuração, instalação e outorga definidos nos custos de implantação, tendo como custo somente as análises necessárias e manutenções do poço, que custarão aproximadamente de R\$ 2.000,00/ano, de acordo com informações obtidas por empresa que realizam este tipo de serviço.

O consumo de energia foi calculado em função da estimativa de consumo no escritório, guarita, refeitório e iluminação noturna. O custo unitário foi obtido da concessionária que fornece energia em Passo Fundo, RGE, que para o primeiro semestre de 2015 é de aproximadamente R\$ 1,85/kWh, estima-se que o empreendimento terá um consumo de 800 kWh com base na demanda dos equipamentos e instalações através de simulação de consumo realizada no site da RGE (RGE, 2015), conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14: Simulação de consumo de energia elétrica



Fonte: RGE (2015).

Multiplicando-se o valor de 800 kWh por R\$ 1,85/kWh, chega-se a um custo com energia elétrica aproximado de R\$ 1.480,00/mês, o que representa um custo anual de R\$ 17.760,00/ano.

De acordo com dados de fornecedores e empresas que prestam serviços de manutenção, os custos com a manutenção da balança rodoviária é de aproximadamente R\$ 3.000,00/ano.

Para a operação e manutenção da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) foram consideradas despesas como produtos químicos e com a manutenção dos equipamentos, totalizando aproximadamente R\$ 12.000,00/ano.

As máquinas necessárias para operação do aterro sanitário foram definidas de acordo com o Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos (OBLADEN et al., 2009) e Barros (2012).

Os custos operativos com as máquinas foram calculados utilizando metodologia do DNIT através do Sistema de Custos Rodoviários- SICRO (DNIT, 2015), com o mês de março de 2015 como referência, conforme apresentado na Tabela 8. Nesta foram calculados os valores médios da hora para o equipamento com base no custo da hora operativa e improdutiva. A metodologia considera os custos de propriedade (depreciação, custo de oportunidade de capital, seguros e impostos), custo de operação (combustível, filtros e lubrificantes, mão de obra) e custo de manutenção (reparos em geral, material rodante/pneus, partes de desgaste).

Para cálculo do custo mensal, o custo horário foi multiplicado pela estimativa do número de horas trabalhadas (operativas) e pelo número de horas que a máquina fica no local sem operar (hora improdutiva) totalizando 8 h por dia. A quantidade de horas trabalhadas por dia foi estimada de acordo com editais e planilhas de custo de aterro.

Tabela 8: Custo horário das máquinas necessárias para operação do aterro sanitário.

Máquina	Custo operativo (R\$/h)	Custo Improdutivo (R\$/h)	Tempo Operativo (h/d)	Tempo Improdutivo (h/d)	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Retroescavadeira	77,00	17,16	6	2	10.919,04	131.028,48
Caminhão caçamba	114,73	11,87	4	4	11.140,80	133.689,60
Compactador/trator esteira	203,19	17,16	7	1	31.668,78	380.025,36
Trator	70,28	13,94	5	3	8.650,84	103.810,08
Total					62.379,46	748.553,52

Fonte: Próprio Autor (2015).

Considerando uma operação média diária de cada máquina, estimou-se o valor mensal com os custos das máquinas em um total de R\$ 62.379,46/mês, totalizando um custo anual de R\$ 748.553,52.

Os custos com EPIs (equipamentos de proteção individual) de aproximadamente R\$ 3.920,00/ano. O custo com EPIs foi calculado de acordo com o que cada funcionário para desempenhar sua função irá necessitar, considerando também o período de troca de cada equipamento, conforme apresenta Tabela 9, baseando-se na metodologia de Jadovski (2005).

Tabela 9: Custo com EPIs

Descrição EPI	Período troca (meses)	Custo unitário (R\$/un.)	Custo total (R\$/un./mês)	Total (R\$/mês)
Calça	6	30,00	5,00	50,00
Jaqueta	12	65,00	5,40	54,20
Camiseta	6	30,00	5,00	50,00
Botina	6	55,00	9,20	91,60
Luvas	3	5,10	0,90	6,00
Capacete	12	45,00	3,80	37,50
Óculos	6	35,20	5,90	35,20
Protetor auricular descartável	4	0,80	0,20	2,00
	Total R\$/mês			326,38
	Total R\$/ano			3.916,52

Fonte: Adaptado de Jadovski (2005)

As despesas administrativas foram estimadas em R\$ 17.256,00/ano, referentes aos gastos com contabilidade de R\$ 788,00/mês (um salário mínimo nacional), material escritório e limpeza de R\$ 400,00/mês (como estimativa de verba) e internet e telefone para o escritório, que foi considerado R\$ 3.000/ano, com base em previsão de demanda para estes serviços.

A Tabela 10 apresenta um somatório dos gastos operacionais do empreendimento.

Tabela 10: Custos e Despesas para a operação do aterro sanitário

Parâmetros operacionais	Gasto mensal (R\$)	Gasto anual (R\$)
Mão de obra	28.996,90	347.962,80
Manutenção poço tubular	166,67	2.000,00
Energia	1.480,00	17.760,00
Manutenção balança rodoviária	250,00	3.000,00
ETE	1.000,00	12.000,00
Custo horário máquinas	62.379,46	748.553,52
EPI	326,67	3.920,00
Despesas Administrativas	1.438,00	17.256,00
Total (R\$)	96.037,69	1.152.452,32

Fonte: Próprio Autor (2015).

Conforme apresentado, será gasto aproximadamente R\$ 1.152.452,32 com a operação do aterro sanitário.

Além dos custos e despesas para a operação do aterro sanitário, foi adicionado o valor gasto com a coleta dos resíduos, manutenção dos contêineres e operação da central de triagem, incentivo às associações/cooperativas e limpeza urbana. Além disso, considerou-se também o transporte dos rejeitos da central de triagem até o local do aterro sanitário (considerando 20 km de distância).

O valor do transporte foi calculado de acordo com a quantidade de rejeitos transportada em função da distância percorrida (40 km ida e volta). Ou seja, foram consideradas 6 cargas/dia, 240 km percorridos/dia, sendo necessário dois caminhões. A estimativa do custo foi baseada na metodologia do DNIT através do Sistema de Custos Rodoviários- SICRO (DNIT, 2015), com o mês de março de 2015 como referência. Foram calculados os valores médios da hora para o equipamento com base no custo da hora operativa e improdutiva. A metodologia considera os custos de propriedade (depreciação, custo de oportunidade de capital, seguros e impostos), custo de operação (combustível, filtros e lubrificantes, mão de obra) e custo de manutenção (reparos em geral, material rodante/pneus, partes de desgaste).

Na Tabela 11 observa-se o cálculo para estimativa do custo com transporte da central de triagem até o aterro sanitário.

Tabela 11: Estimativa do gasto com transporte.

Máquina	Custo operativo (R\$/h)	Custo Improdutivo (R\$/h)	Tempo Operativo (h/d)	Tempo Improdutivo (h/d)	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Caminhão basculante 40t	195,39	11,88	4	4	18.239,76	218.877,12
Caminhão basculante 40t	195,39	11,88	4	4	18.239,76	218.877,12
Total					36.479,52	437.754,24

Fonte: Próprio autor (2015).

Portanto, o gasto com transporte será de aproximadamente R\$ 36.479,52 por mês ou R\$ 437.754,24 por ano. Na Tabela 12 apresenta-se os gastos operacionais para implantação do Cenário II.

Tabela 12: Gastos operacionais com a implantação do Cenário II.

Ano	Coleta (R\$)	Manutenção contêineres (R\$)	Associações/ Cooperativas (R\$)	Operação central de triagem (R\$)	Transporte (R\$)	Disposição final (R\$)	Limpeza Urbana (R\$)	Total (R\$)
2015	6.594.866,88	1.637.160,00	72.000,00	3.607.205,84	437.754,24	1.152.452,32	3.300.000,00	16.801.439,28
2016	6.652.455,04	1.651.429,12	72.055,28	3.637.817,92	442.068,88	1.152.452,32	3.328.174,96	16.936.453,52
2017	6.710.663,68	1.665.879,04	72.685,76	3.669.648,64	445.936,96	1.152.452,32	3.357.296,32	17.074.562,72
2018	6.769.384,72	1.680.456,16	73.321,79	3.701.759,56	449.839,09	1.152.452,32	3.386.674,03	17.213.887,67
2019	6.828.618,16	1.695.160,48	73.963,37	3.734.150,68	453.775,27	1.152.452,32	3.416.308,09	17.354.428,37
2020	6.888.364,00	1.709.992,00	74.610,50	3.766.822,00	457.745,50	1.152.452,32	3.446.198,50	17.496.184,82
2021	6.944.523,04	1.723.933,12	75.218,78	3.797.531,92	461.477,38	1.152.452,32	3.474.294,46	17.629.431,02
2022	7.001.092,00	1.737.976,00	75.831,50	3.828.466,00	465.236,50	1.152.452,32	3.502.595,50	17.763.649,82
2023	7.058.173,36	1.752.146,08	76.449,77	3.859.680,28	469.029,67	1.152.452,32	3.531.152,89	17.899.084,37
2024	7.115.698,80	1.766.426,40	77.072,85	3.891.137,40	472.852,35	1.152.452,32	3.559.932,45	18.035.572,57
2025	7.173.668,32	1.780.816,96	77.700,74	3.922.837,36	476.704,54	1.152.452,32	3.588.934,18	18.173.114,42
2026	7.232.150,24	1.795.334,72	78.334,18	3.954.817,52	480.590,78	1.152.452,32	3.618.192,26	18.311.872,02
2027	7.291.076,24	1.809.962,72	78.972,43	3.987.040,52	484.506,53	1.152.452,32	3.647.672,51	18.451.683,27
2028	7.350.514,64	1.824.717,92	79.616,23	4.019.543,72	488.456,33	1.152.452,32	3.677.409,11	18.592.710,27
2029	7.410.431,28	1.839.591,84	80.265,21	4.052.308,44	492.437,91	1.152.452,32	3.707.384,97	18.734.871,97
2030	7.470.826,16	1.854.584,48	80.919,37	4.085.334,68	496.451,27	1.152.452,32	3.737.600,09	18.878.168,37
2031	7.531.699,28	1.869.695,84	81.578,71	4.118.622,44	500.496,41	1.152.452,32	3.768.054,47	19.022.599,47
2032	7.582.905,12	1.882.407,36	82.133,34	4.146.623,76	503.899,14	1.152.452,32	3.793.672,38	19.144.093,42
2033	7.634.486,72	1.895.212,16	82.692,04	4.174.830,56	507.326,84	1.152.452,32	3.819.478,28	19.266.478,92
2034	7.686.409,92	1.908.101,76	83.254,44	4.203.224,16	510.777,24	1.152.452,32	3.845.455,08	19.389.674,92
Total	142.928.007,60	35.480.984,16	1.548.676,29	78.159.403,40	9.497.362,83	23.049.046,40	71.506.480,53	362.169.961,21

Fonte: Próprio autor (2015).

Conforme a Tabela 12, em 20 anos a gestão municipal terá um gasto de R\$ 362.169.961,21 para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

Os valores foram ajustados conforme o índice de crescimento populacional ao longo de 20 anos, ou seja, conforme a população aumenta os custos com o gerenciamento aumentam proporcionalmente.

Sendo assim, para que o modelo de gestão dos resíduos sólidos do Cenário II seja implantado no município por um período de 20 anos, foi considerado:

- 1) Investimento inicial com a implantação do aterro sanitário;
- 2) Custos operacionais com coleta, manutenção de contêineres, repasse de verba para as associações/cooperativas, operação da central de triagem, transporte, disposição final dos rejeitos e limpeza urbana.

A Tabela 13 apresenta o resumo com o gasto total do Cenário II.

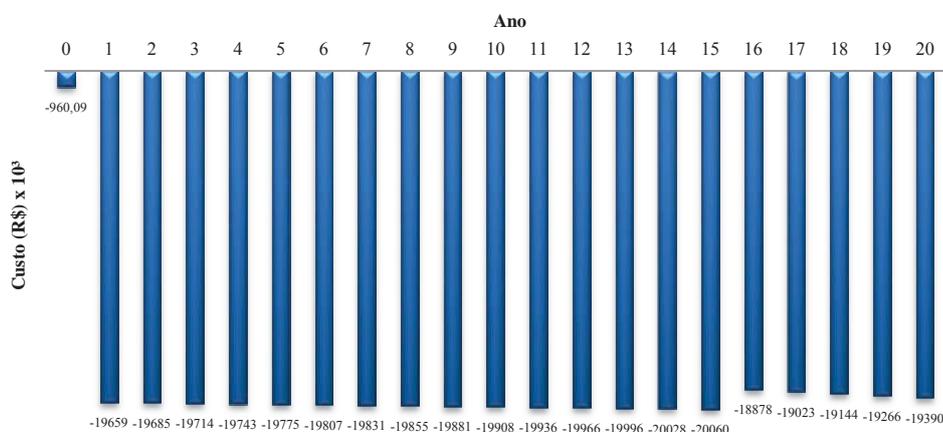
Tabela 13: Gasto total do cenário II.

Ano	Financiamento - investimento inicial (R\$)	Custos operacionais (R\$)	Total (R\$)
0	960.092,55	-	960.092,55
1	2.857.875,50	16.801.439,28	19.659.314,78
2	2.748.424,95	16.936.453,52	19.684.878,47
3	2.638.974,40	17.074.562,72	19.713.537,12
4	2.529.523,84	17.213.887,67	19.743.411,51
5	2.420.073,29	17.354.428,37	19.774.501,66
6	2.310.622,74	17.496.184,82	19.806.807,56
7	2.201.172,19	17.629.431,02	19.830.603,21
8	2.091.721,64	17.763.649,82	19.855.371,46
9	1.982.271,09	17.899.084,37	19.881.355,46
10	1.872.820,54	18.035.572,57	19.908.393,11
11	1.763.369,99	18.173.114,42	19.936.484,41
12	1.653.919,44	18.311.872,02	19.965.791,46
13	1.544.468,89	18.451.683,27	19.996.152,16
14	1.435.018,34	18.592.710,27	20.027.728,61
15	1.325.567,78	18.734.871,97	20.060.439,75
16	-	18.878.168,37	18.878.168,37
17	-	19.022.599,47	19.022.599,47
18	-	19.144.093,42	19.144.093,42
19	-	19.266.478,92	19.266.478,92
20	-	19.389.674,92	19.389.674,92
Total (R\$)			394.505.878,37

Fonte: Próprio Autor (2015).

O gasto total do Cenário II para um horizonte de 20 anos foi estimado em R\$ 394.505.878,37 e o gráfico do fluxo de caixa é apresentado na Figura 15.

Figura 15: Fluxo de caixa do Cenário II.



Fonte: Próprio autor (2015).

Conforme a Figura 16, no ano zero é quando haverá a contrapartida de R\$ 960.092,55 do valor do financiamento. No ano 1 o empreendimento começa a operar e o financiamento começa a ser pago, o gasto anual no primeiro ano é de R\$ 19.659.314,78, pois a primeira parcela do financiamento passa a ser somada aos custos operacionais do empreendimento. Isso acontece até o ano 15 quando o financiamento é quitado.

Considerando que os custos e despesas anuais sejam corrigidos pela inflação do período, o total de R\$ 394.505.878,37 pode ser considerado como o valor presente líquido dos gastos futuros descontados pela inflação.

4.3.3 Cenário III – Normativo

O cenário normativo considerou adequações conforme a Lei 12.305 (BRASIL, 2010), como ampliação da coleta seletiva para todos os bairros urbanos do município, implantação de medidas de educação e conscientização ambiental, aproveitamento da parcela orgânica dos resíduos através da compostagem e a implantação de um aterro sanitário no município. Sendo assim, será proposta a instalação de uma Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos (CMRSU).

a) Ampliação da coleta seletiva

Segundo o PMSB (PASSO FUNDO, 2014), a coleta seletiva no município de Passo Fundo atende aproximadamente 6% da área urbana. Com a ampliação da coleta seletiva, os resíduos possuem um maior potencial de serem reutilizados/reciclados quando são conduzidos ao processo de triagem, pois há a separação dos resíduos sólidos recicláveis e orgânicos pelos geradores. Também haveria uma redução do volume de resíduos dispostos no aterro, reduziria a exploração de recursos naturais para a obtenção de matérias-primas e aumentaria a geração de empregos formais.

Neste sentido, a ampliação da coleta seletiva para todos os bairros é importante para a gestão dos resíduos sólidos do município.

Este cenário considera a ampliação da coleta seletiva já existente no bairro Centro para os demais bairros da área urbana do município, buscando realizar a integração dos catadores para a triagem nas associações.

Alguns municípios criaram uma lei que obriga a existência de local específico para a armazenagem temporária de RSU, onde o responsável pela instalação e manutenção das lixeiras é o proprietário de cada edificação. Entre as cidades que já utilizam este modelo, cita-se o município de Erechim/RS (ERECHIM, 2007).

Este cenário considera que seja criada uma Lei Municipal que estabeleça os critérios para a obrigatoriedade de cada residência, estabelecimento ou prédio realize a instalação das lixeiras, que condicionem separadamente os resíduos recicláveis e não recicláveis, sendo esta separação realizada por cores das lixeiras.

Portanto, sugere-se que a coleta seletiva nos bairros (exceto área central) seja ampliada e realizada de maneira convencional, através da instalação de conjunto de lixeiras identificadas que permitam a correta segregação. A coleta da área central continuará sendo executada através de contêineres e haverá cobrança adicional por este serviço.

O modelo proposto pelo presente cenário considera que serão instalados pelos proprietários dos imóveis novos modelos de lixeiras nos bairros, sendo as mesmas, identificadas para haver a correta segregação na fonte geradora. O conjunto será composto por 2 (duas) lixeiras plásticas em polietileno de alta densidade (PEAD) injetado, resistente a ação de raios ultravioleta, de cesto sextavado monobloco vazado. Ambas devem conter as inscrições nos dois lados de material orgânico e material reciclável.

A periodicidade da coleta na zona central continuará sendo diária. A periodicidade de coleta nos bairros será de duas vezes na semana para os resíduos recicláveis e três vezes na semana o resíduo não reciclável.

A população deverá ser orientada através de programas de sensibilização e material explicativo sobre o novo modelo de coleta, assim os resíduos deverão ser separados na fonte, em recicláveis e não recicláveis. O material será recolhido por caminhões que irão fazer o transporte até a Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos (CMRSU). Uma empresa seria contratada para realizar toda a coleta dos resíduos gerados.

O valor do investimento com a ampliação da coleta seletiva foi obtido através de entrevistas com os responsáveis pela coleta na área central (CODEPAS). A distância a ser percorrida rodada foi estimada de acordo com a periodicidade da coleta na zona central (diária) e a periodicidade de coleta nos bairros (duas vezes na semana para o resíduo reciclável e três vezes na semana o resíduo não reciclável).

Dessa maneira, estima-se que seriam percorridos ao todo (contemplando área central e bairros) aproximadamente 45.000 km mês pelos caminhões de coleta. O valor estimado por

km rodado pago pelo município foi de R\$ 13,00/km. Assim, o custo mensal com coleta seletiva em todo o município é estimado em R\$ 585.000,00, equivalente a R\$ 7.020.000,00 por ano.

b) Programas de educação e sensibilização ambiental

Deverão ser implantados Programas de educação e sensibilização ambiental, principalmente no que tange o assunto coleta seletiva. Os programas deverão abordar e explicar como deverá ser feita a segregação dos resíduos na fonte, demonstrando a importância do papel de cada cidadão para construção de uma política de gestão de resíduos sólidos.

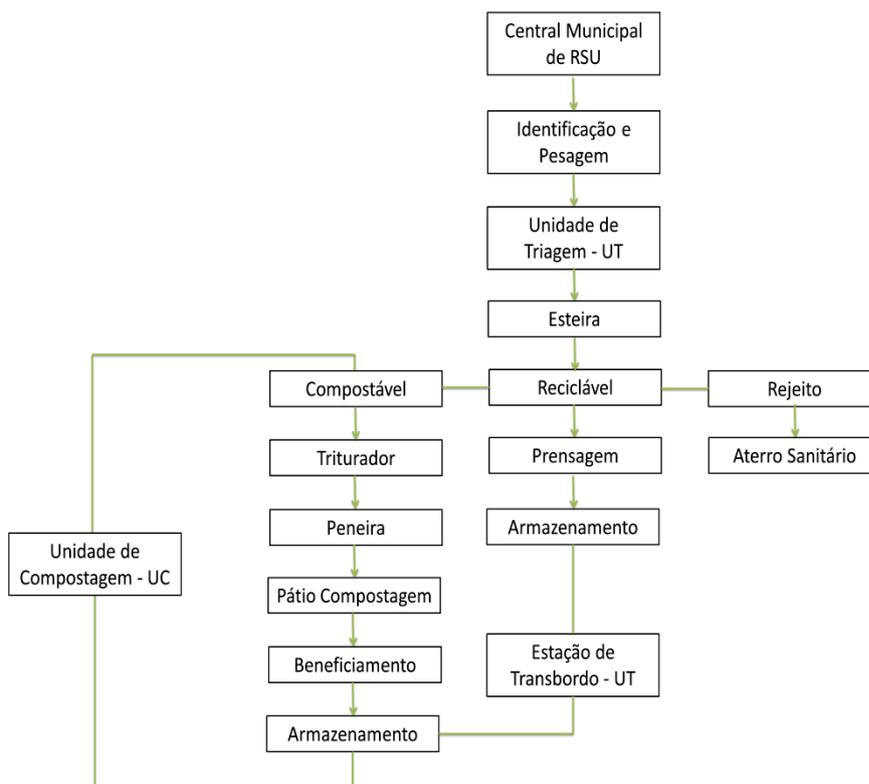
Além disso, deverá ser explicado aos munícipes o Art. 29 da Lei 4.969 (PASSO FUNDO, 2013) que Institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos, onde regulamenta que todos os consumidores deverão acondicionar de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados. Foram previstos os custos com a educação ambiental, campanhas periódicas na TV local e rádios do município, além da distribuição de folders explicativos para que os munícipes possam segregar com distinção os resíduos gerados em seus domicílios. O valor anual destinado à educação ambiental será de R\$ 60.000,00, este valor foi estimado considerando custos com impressão de material explicativo e campanhas nas mídias locais.

c) Investimento inicial - Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos - CMRSU

A Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos (CMRSU) será composta por Unidade de Triagem (UT), Unidade de Compostagem (UC) e aterro sanitário. As instalações destas unidades estão previstas para serem operadas em um mesmo local.

O fluxograma do processo está representado na Figura 16.

Figura 16: Central Municipal de RSU.



Fonte: Adaptado de Kiehl (1985), IBAM (2001) e Barros (2012).

Os resíduos sólidos urbanos serão pesados na chegada da CMRSU e serão encaminhados para a triagem onde serão segregados em recicláveis, orgânicos e rejeitos.

O seguimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos é imprescindível neste cenário. Sendo assim, será proposto o aproveitamento da parcela orgânica dos resíduos gerados no território municipal através da compostagem.

Segundo Eigenheer (2005) a implantação de um programa de coleta seletiva eficiente, com triagem e reciclagem pode reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final.

Os melhores programas de reciclagem e coleta seletiva conseguem alcançar índices de 35% do resíduo total. Para D’Almeida e Vilhena (2000), uma usina de triagem e compostagem, quando bem operada, permite diminuição de 50%, em média, do volume de resíduos sólidos que seria destinado aos aterros, permitindo, com isso, redução de custos dos serviços e do aumento da vida útil dos aterros sanitários ou controlado existentes.

Habitzreuter (2008) verificou o potencial de aproveitamento dos resíduos gerados em Santa Maria/RS. A média dos dados analisados indica uma eficiência de cerca de 86% na triagem efetuada na esteira, sendo que grande parte do material caracterizado foi matéria

orgânica. Os resíduos da região de Santa Maria apresentaram um potencial de aproveitamento de 62%, seja com a triagem dos recicláveis, seja com a compostagem da matéria orgânica.

O Cenário III considera um aproveitamento dos RSU através da ampliação da coleta seletiva e implantação da Unidade de Triagem, permitindo maior eficácia na triagem e consequentemente na reciclagem. A meta proposta é reciclar através da triagem 20% dos RSU com a implantação do Cenário III no município de Passo Fundo/RS. Este percentual foi definido de acordo com a realidade do município apresentada no diagnóstico e com estudos de que este valor pode ser atingido através de programas eficientes.

Além da Unidade de Triagem, a CMRSU contará com a Unidade de Compostagem, a qual tem como objetivo o aproveitamento da parcela orgânica dos RSU. Segundo Termo de Referência Técnico, elaborado pelo Ministério das Cidades (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011) - Elaboração do projeto básico e executivo completo de unidade de compostagem (UCO) de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos - as UCOs deverão ser projetadas para atender a 20% dos resíduos orgânicos, previamente segregados. A meta estabelecida para o presente cenário é que através da Unidade de Compostagem se aproveite 20% dos resíduos domiciliares orgânicos através da compostagem, além dos resíduos de roçada, poda e capina que serão totalmente aproveitados.

Na etapa de diagnóstico, levantou-se que são gerados aproximadamente 4.778 t/mês de RSU no município de Passo Fundo, 4.300 t/mês são resíduos coletados na coleta municipal e 478 t/mês são resíduos de poda, capina e roçada. Aproximadamente 41% (1.763 t/mês) dos resíduos sólidos domiciliares gerados no município são orgânicos e possuem potencial para ser compostado.

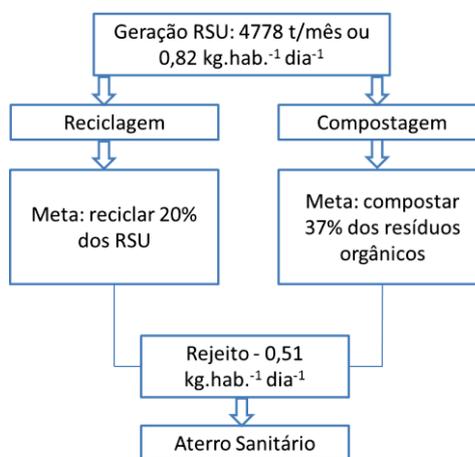
Os resíduos de poda, capina e roçada serão totalmente aproveitados nesta etapa. A Unidade de Compostagem deverá processar aproximadamente 830 t/mês de RSU para atender a condição de processar todos os resíduos de poda, capina e roçada (478 t/mês) e mais 20% do restante de resíduos orgânicos coletados (352 t/mês) na coleta domiciliar. Portanto, a meta estabelecida para a compostagem é de processar 37% dos resíduos orgânicos gerados no município. Sendo assim, a Unidade de Compostagem será dimensionada para processar 850 t/mês de RSU.

O composto orgânico produzido na unidade de compostagem deverá ser submetido a análises físico-químicas de forma a assegurar o padrão mínimo de qualidade estabelecido em legislação específica. O composto produzido poderá ser doado à comunidade e/ou utilizado na revitalização de espaços públicos municipais.

O Cenário III estabelece metas para redução de rejeitos encaminhados para destinação final, através da ampliação da coleta seletiva e triagem dos resíduos e da reciclagem e compostagem. Estima-se reciclar 20% dos RSU e realizar a compostagem de 37% dos resíduos sólidos orgânicos com a implementação deste Cenário no município de Passo Fundo/RS. Assim, a quantidade de rejeitos reduziria 37% em relação à quantidade de RSU gerados. A meta estabelecida para o presente cenário é atingir uma geração per capita de rejeitos de $0,51 \text{ kg.hab.}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Na Figura 17 apresenta-se esquematicamente a meta estabelecida para o Cenário III.

Figura 17: Meta de aproveitamento dos RSU estabelecida para o Cenário III.



Fonte: Próprio autor, 2015.

O investimento inicial para a CMRSU foi determinado através do dimensionamento para atendimento da demanda de geração de RSU do município.

A área total necessária para implantação da CMURS foi estimada de acordo os cálculos para dimensionamento da central de triagem e compostagem e do aterro sanitário. A área necessária é de aproximadamente 30 hectares para que todas as instalações sejam feitas. O valor é o mesmo considerado no Cenário II, o número de células do aterro sanitário será menor neste cenário, porém, haverá um pátio de compostagem e demais instalações da CMRSU.

O valor da aquisição da área para implantação do aterro sanitário é de R\$ 1.650.000,00, que é o mesmo apresentado no Cenário II (no qual a memória de cálculo está detalhada).

Os parâmetros para o dimensionamento da infraestrutura e os equipamentos necessários para a instalação e operação da CMRSU também foram levantados conforme o

Cenário II, adaptados da metodologia de Pinto e Gonzalez (2008) e Ministério Público do Estado do Paraná (2013).

O orçamento compreendeu a aquisição de uma área para implantação de 30 ha, além dos custos com:

1. Projeto básico e executivo do empreendimento;
2. Licenciamentos ambientais (consultoria e taxas);
3. Sondagens no solo;
4. Topografia e locações de implantação;
5. Terraplenagem;
6. Abertura de acessos empedrados;
7. Cercamento da área com tela e com barreira vegetal;
8. Instalação de infraestrutura básica (rede elétrica, poço tubular, fossa séptica);
9. Sistema de vigilância;
10. Poços de monitoramento;
11. Guarita com balança rodoviária com capacidade para veículos de até 20 m, área administrativa equipada, vestiários, refeitório equipado que somam uma área de 1.200 m²;
12. Galpão aberto para recepção dos resíduos com piso impermeabilizado de 400 m²;
13. Galpão para unidade para unidade triagem dos resíduos de 800 m² equipada com sistema de segregação dos resíduos, prensas, balanças elevadores de cargas;
14. Galpão para unidade de compostagem de 500 m²; equipada tulha, esteira, triturador, peneira rotativa, ensacadora, prensa, balança, empilhadeira, carriola, etc.;
15. Pátio de compostagem pavimentado de 18.000 m²;
16. Estação de transbordo (depósito de materiais comercializados da UTC) de 500 m²;
17. Galpão aberto pré-moldado para depósito das máquinas de 800 m²;
18. Células de disposição para atender a demanda de disposição final de todos os rejeitos gerados no município por um período de 20 anos (6 células), com sistema de impermeabilização, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem de lixiviados, sistema de drenagem de gases e sistema de cobertura superficial (conforme memorial da CMRSU – APENDICE C);
19. Estação de tratamento de efluentes – ETE;
20. Verba para plano de recuperação da área com ações de recuperação;

O dimensionamento da CMRSU com descrição dos seus equipamentos e instalações e orçamento para implantação do Cenário III estão descritos no APÊNDICE C.

O investimento inicial para o empreendimento, contemplando investimentos e impostos incidentes foi orçado em R\$ 18.017.412,43, conforme Tabela 14.

Tabela 14: Custo com investimento inicial – Cenário III.

Etapas	Total (R\$)
1. Projetos	375.000,00
2. Licenciamentos	375.513,75
3. Infraestrutura	3.595.437,56
4. Usina de triagem e compostagem	2.951.052,00
5. Aterro - Operação trincheira	8.824.415,58
6. Aterro - Operação área	1.068.610,06
7. Sistema de drenagem de águas superficiais	239.730,30
8. Estação de tratamento de efluentes	72.059,98
9. Máquinas e equipamentos	120.000,00
10. Paisagismo, encerramento e cuidados posteriores	187.500,00
11. Execução (engenheiro)	30.000,00
12. Imprevistos/contingências	178.093,19
Total	18.017.412,43

Fonte: Próprio Autor (2015).

O orçamento detalhado está apresentado no APÊNDICE D.

Portanto, o Cenário III prevê um investimento inicial de R\$ 18.017.412,43 com a CMRSU. Sendo assim, será necessário enquadrar o município em um dos programas do governo federal para o financiamento deste investimento.

De maneira semelhante ao Cenário II, foi simulado em outubro de 2015, quando da realização desta etapa do estudo, um financiamento da linha Saneamento para Todos, setor de manejo de resíduos sólidos. O Programa Saneamento Para Todos possui uma taxa de juros total (incluindo juros nominal + taxas) de 9% a.a., e o prazo de amortização é de 180 meses.

O valor da contrapartida mínima (5%) que deverá ser pago de entrada no financiamento é de R\$ 900.870,62. O valor restante R\$ 17.116.541,81 será financiado nas condições descritas anteriormente, conforme simulado na Tabela 15.

Tabela 15: Financiamento do investimento inicial do Cenário III.

Período (anos)	Saldo devedor (R\$)	Prestação (R\$)	Amortização (R\$)	Juros (R\$)
0	17.116.541,81	-	-	-
1	15.975.439,02	2.681.591,55	1.141.102,79	1.540.488,76
2	14.834.336,23	2.578.892,30	1.141.102,79	1.437.789,51
3	13.693.233,45	2.476.193,05	1.141.102,79	1.335.090,26
4	12.552.130,66	2.373.493,80	1.141.102,79	1.232.391,01
5	11.411.027,87	2.270.794,55	1.141.102,79	1.129.691,76
6	10.269.925,08	2.168.095,30	1.141.102,79	1.026.992,51
7	9.128.822,30	2.065.396,04	1.141.102,79	924.293,26
8	7.987.719,51	1.962.696,79	1.141.102,79	821.594,01
9	6.846.616,72	1.859.997,54	1.141.102,79	718.894,76
10	5.705.513,94	1.757.298,29	1.141.102,79	616.195,51
11	4.564.411,15	1.654.599,04	1.141.102,79	513.496,25
12	3.423.308,36	1.551.899,79	1.141.102,79	410.797,00
13	2.282.205,57	1.449.200,54	1.141.102,79	308.097,75
14	1.141.102,79	1.346.501,29	1.141.102,79	205.398,50
15	0,00	1.243.802,04	1.141.102,79	102.699,25

Fonte: Próprio Autor (2015).

Conforme apresentado na Tabela 15 o valor anual da prestação no ano 1 será de aproximadamente R\$ 2.681.591,55, sendo que ao longo do período o valor da parcela decresce (Sistema SAC).

d) Gastos para a operação da CMRSU

O gasto de operação será composto pelos gastos com insumos tais como materiais de escritório e limpeza, contas de água, luz, internet e telefone, mão de obra, despesas com máquinas e equipamentos e despesas legais.

Os gastos operacionais fixos compostos pela mão de obra foram determinados com base nos salários para operação do empreendimento e foram estimados através dos valores praticados na região para cada profissional, com base no Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção e do Mobiliário de Passo Fundo (SINDUSCON, 2015), considerando a operação da CMRSU de 8 horas por dia.

No Cenário III a triagem dos resíduos continuaria sendo de responsabilidade das associações, atualmente são 77 cooperados envolvidos nas associações de reciclagem do município. As Associações atuais serão uniformizadas em apenas uma, que operará na Usina de Triagem da nova CMRSU, sendo o número de associados ampliado para atender a demanda. O lucro da venda dos recicláveis continuará sendo revertido para a Associação.

A Tabela 16 apresenta o custo com mão de obra e o número de funcionários necessários para a operação da CMRSU com capacidade média de recebimento de 108 t/dia. O dimensionamento das equipes, área estimada, equipamentos necessários e dimensionamento das instalações de apoio para a Usina de Triagem e Compostagem foram adaptadas conforme metodologia de Pinto e González et al. (2008) e do aterro sanitário foram extraídos e adaptadas do Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos (OBLADEN et al., 2009) com algumas adaptações para este trabalho.

Tabela 16 Custo de mão-de-obra para operação da CMRSU.

Profissional	Quantidade	Salário mensal	Salário anual
Responsável técnico - Engenheiro	1	6304,00	75648,00
Fiscal/Balanceiro	2	1200,00	28800,00
Vigia	3	1050,00	37800,00
Auxiliar de recepção dos RSU	1	880,00	10560,00
Técnico de Manutenção	2	1350,00	32400,00
Fiscal de Usina de Triagem	1	1200,00	14400,00
Fiscal de Usina de Compostagem	1	1200,00	14400,00
Auxiliar de operação da Usina de Compostagem	30	880,00	316800,00
Auxiliar de operação do aterro	3	880,00	31680,00
Auxiliar administrativo	5	1200,00	72000,00
Auxiliar de limpeza	3	880,00	31680,00
Subtotal R\$			666.168,00
			Encargos 85%
			566.242,80
Total R\$			1.232.410,80

Fonte: Próprio Autor (2015).

Sendo assim, conforme apresentado na Tabela 16, considerando a mão de obra e encargos trabalhistas os custos anuais são de R\$ 1.232.410,80.

Os encargos sociais levam em conta impostos e contribuições como INSS (Instituto Nacional de Seguro Social), SESI (Serviço Social da Indústria), SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Social), INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), SEBRAE (Serviço de Apoio à Pequena e Média Empresa), Salário Educação, Seguro Contra Acidentes de trabalho, FGTS (Fundo de Garantia por Tempo Serviço). Os encargos trabalhistas são formados pela provisão de férias, 13º salário, descanso semanal remunerado, acidente de trabalho, auxílio doença (enfermidade), licença maternidade/paternidade, faltas justificadas (abonadas legalmente) e aviso prévio.

Quanto aos insumos utilizados a água será fornecida pelo poço tubular, sendo o seu valor de perfuração, instalação e outorga definidos nos custos de implantação, tendo como custo somente as análises necessárias e manutenções do poço, que custarão aproximadamente R\$ 3.000,00/ano, de acordo com informações obtidas por empresa que realiza este tipo de serviço.

O consumo de energia foi calculado em função da estimativa de consumo no escritório, guarita, refeitório e iluminação noturna, usina de triagem e compostagem. Estima-se que serão consumidos em torno de 7.000 kWh por mês. A energia elétrica na região é R\$ 1,85/kWh, portanto, um custo com energia elétrica aproximado de R\$ 12.950,00/mês, ou um custo anual de R\$ 155.400,00.

De acordo com dados fornecidos por fornecedores e empresas que prestam serviço de manutenção, os custos com a manutenção da balança rodoviária é de aproximadamente R\$ 3.000,00/ano.

Para a operação e manutenção da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) foram consideradas despesas como produtos químicos e com a manutenção dos equipamentos, totalizando aproximadamente R\$ 12.000,00/ano.

As máquinas necessárias para operação da CMRSU foram definidas de acordo com adaptações ao Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos (OBLADEN et al., 2009) e Barros (2012).

Os custos operativos com as máquinas foram calculados utilizando metodologia do DNIT através do Sistema de Custos Rodoviários- SICRO (DNIT, 2015), com o mês de março de 2015 como referência, conforme apresentado na Tabela 17. Nesta foram calculados os valores médios da hora para o equipamento com base no custo da hora operativa e improdutiva. A metodologia considera os custos de propriedade (depreciação, custo de oportunidade de capital, seguros e impostos), custo de operação (combustível, filtros e lubrificantes, mão de obra) e custo de manutenção (reparos em geral, material rodante/pneus, partes de desgaste).

Para cálculo do custo mensal, o custo horário foi multiplicado pela estimativa do número de horas trabalhadas (operativas) e pelo número de horas que a máquina fica no local sem operar (hora improdutiva) totalizando 8 h por dia. A quantidade de horas trabalhadas por dia foi estimada de acordo com editais e planilhas de custo de aterro.

Tabela 17: Custo horário das máquinas necessárias para operação da CMRSU.

Máquina	Custo operativo (R\$/h)	Custo Improdutivo (R\$/h)	Tempo Operativo (h/dia)	Tempo Improdutivo (h/d)	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Usina de triagem e compostagem						
Retroescavadeira	77,00	17,16	6	2	10.919,04	131.028,48
Empilhadeira	28,83	6,80	5	3	3.620,10	43.441,20
Trator	70,28	13,94	5	3	8.650,84	103.810,08
Reviradora de leiras	75,30	15,80	5	3	9.325,80	111.909,60
Retroescavadeira	77,00	17,16	6	2	10.919,04	131.028,48
Carregadeira de	53,19	17,16	3	5	5.398,14	64.777,68
Empilhadeira	28,83	6,80	5	3	3.620,10	43.441,20
Aterro Sanitário						
Retroescavadeira	77,00	17,16	6	2	10.919,04	131.028,48
Caminhão caçamba	114,73	11,87	4	4	11.140,80	133.689,60
Compactador/trator	203,19	17,16	6	2	27.576,12	330.913,44
Trator	70,28	13,94	4	4	7.411,36	88.936,32
Total					109.500,38	1.314.004,56

Fonte: Próprio Autor (2015).

Considerando uma operação média diária de cada máquina, estimou-se o valor mensal com os custos das máquinas que ficará em torno de R\$ 109.500,38/mês, totalizando um custo anual de R\$ 1.314.004,56.

Os custos com EPIs (equipamentos de proteção individual) de aproximadamente R\$ 19.350,00/ano. O custo com EPIs foi calculado de acordo com o que cada funcionário para desempenhar sua função irá necessitar, considerando também o período de troca de cada equipamento, conforme apresenta Tabela 18.

Tabela 18: Custo com EPIs

Descrição EPI	Período troca (meses)	Custo unitário (R\$/un)	Custo total (R\$/un/mês)	Total (R\$/mês)
Calça	6	30,00	5,00	195,00
Jaqueta	12	65,00	5,40	280,80
Camiseta	6	30,00	5,00	260,00
Botina	6	55,00	9,20	377,20
Luvas	3	5,10	0,90	37,80
Capacete	12	45,00	3,80	197,60
Óculos	6	35,20	5,90	253,70
Protetor auricular descartável	4	0,80	0,20	10,40
Total R\$/mês				1.612,50
Total R\$/ano				19.350,00

Fonte: Adaptado de Jadovski (2005)

As despesas administrativas foram estimadas em R\$ 24.056,00/ano, referentes aos gastos com contabilidade de R\$ 788,00/mês (um salário mínimo nacional), material escritório e limpeza de R\$ 800,00/mês (como estimativa de verba) e internet e telefone para o escritório, que foi considerado R\$ 5000/ano, este valor foi estimado de acordo com empresas da região que oferecem este tipo de serviço. A Tabela 19 apresenta um somatório dos gastos operacionais do empreendimento.

Tabela 19: Custos e Despesas para a operação da CMRSU.

Parâmetros operacionais	Valor mensal (R\$)	Valor anual (R\$)
Mão de obra	102.700,90	1.232.410,82
Manutenção poço tubular	250,00	3.000,00
Energia	12.950,00	155.400,00
Manutenção balança rodoviária	250,00	3.000,00
ETE	1.000,00	12.000,00
Custo horário máquinas	109.500,38	1.314.004,56
EPI	1.612,50	19.350,00
Despesas Administrativas	2.004,67	24.056,00
Total (R\$)	230.268,45	2.763.221,38

Fonte: Próprio Autor (2015).

Conforme apresentado na Tabela 19, será gasto aproximadamente R\$ 2.763.221,38 com a operação da CMRSU. Além dos custos e despesas para a operação da CMRSU, foi adicionado o valor gasto com a coleta dos resíduos, manutenção dos contêineres e educação ambiental.

Na Tabela 20 observar-se os custos operacionais para implantação do Cenário III.

Tabela 20: Custos operacionais com a implantação do Cenário III.

Ano	Coleta (R\$)	Manutenção contêineres (R\$)	Educação ambiental (R\$)	Cooperativa de Recicladores (R\$)	Operação da CMRSU (R\$)	Limpeza Urbana (R\$)	Total (R\$)
2015	7.020.000,00	1.637.160,00	60.000,00	72.000,00	2.763.221,38	3.300.000,00	14.852.381,38
2016	7.080.891,84	1.651.429,12	60.370,64	72.055,28	2.786.786,64	3.328.174,96	14.979.708,48
2017	7.142.849,28	1.665.879,04	60.898,88	72.685,76	2.811.170,88	3.357.296,32	15.110.780,16
2018	7.205.352,12	1.680.456,16	61.431,77	73.321,79	2.835.769,77	3.386.674,03	15.243.005,64
2019	7.268.400,36	1.695.160,48	61.969,31	73.963,37	2.860.583,31	3.416.308,09	15.376.384,92
2020	7.331.994,00	1.709.992,00	62.511,50	74.610,50	2.885.611,50	3.446.198,50	15.510.918,00
2021	7.391.769,84	1.723.933,12	63.021,14	75.218,78	2.909.137,14	3.474.294,46	15.637.374,48
2022	7.451.982,00	1.737.976,00	63.534,50	75.831,50	2.932.834,50	3.502.595,50	15.764.754,00
2023	7.512.739,56	1.752.146,08	64.052,51	76.449,77	2.956.746,51	3.531.152,89	15.893.287,32
2024	7.573.969,80	1.766.426,40	64.574,55	77.072,85	2.980.844,55	3.559.932,45	16.022.820,60
2025	7.635.672,72	1.780.816,96	65.100,62	77.700,74	3.005.128,62	3.588.934,18	16.153.353,84
2026	7.697.921,04	1.795.334,72	65.631,34	78.334,18	3.029.627,34	3.618.192,26	16.285.040,88
2027	7.760.642,04	1.809.962,72	66.166,09	78.972,43	3.054.312,09	3.647.672,51	16.417.727,88
2028	7.823.908,44	1.824.717,92	66.705,49	79.616,23	3.079.211,49	3.677.409,11	16.551.568,68
2029	7.887.683,88	1.839.591,84	67.249,23	80.265,21	3.104.311,23	3.707.384,97	16.686.486,36
2030	7.951.968,36	1.854.584,48	67.797,31	80.919,37	3.129.611,31	3.737.600,09	16.822.480,92
2031	8.016.761,88	1.869.695,84	68.349,73	81.578,71	3.155.111,73	3.768.054,47	16.959.552,36
2032	8.071.265,52	1.882.407,36	68.814,42	82.133,34	3.176.562,42	3.793.672,38	17.074.855,44
2033	8.126.169,12	1.895.212,16	69.282,52	82.692,04	3.198.170,52	3.819.478,28	17.191.004,64
2034	8.181.436,32	1.908.101,76	69.753,72	83.254,44	3.219.921,72	3.845.455,08	17.307.923,04
Total	152.133.378,12	35.480.984,16	1.297.215,27	1.548.676,29	59.874.674,65	71.506.480,53	321.841.409,02

Fonte: Próprio autor (2015).

Conforme verifica-se na Tabela 20, ao longo de 20 anos a gestão municipal terá um gasto de aproximadamente R\$ 321.841.409,02 para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos com valores ajustados conforme o índice de crescimento populacional ao longo de 20 anos.

Sendo assim, para que o modelo de gestão dos resíduos sólidos do Cenário III seja implantado no município por um período de 20 anos, foi considerado:

- 1) Investimento inicial com a implantação da CMRSU;
- 2) Custos operacionais com coleta, manutenção de contêineres, educação ambiental, apoio à cooperativa de recicladores, operação da CMRSU e limpeza urbana.

A Tabela 21 apresenta um quadro resumo com o custo total do Cenário III.

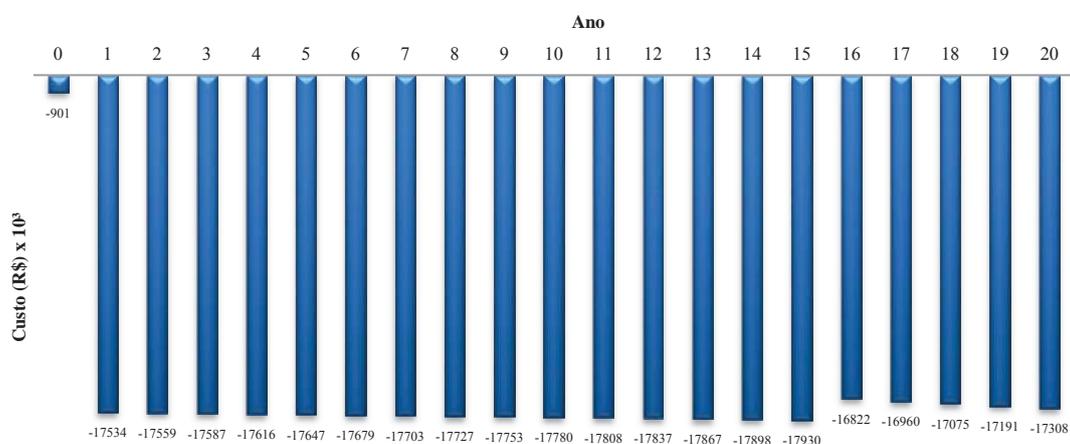
Tabela 21: Gasto total do cenário III.

Ano	Financiamento - investimento inicial (R\$)	Custos operacionais (R\$)	Total (R\$)
0	900.870,62	-	900.870,62
1	2.681.591,55	14.852.381,38	17.533.972,93
2	2.578.892,30	14.979.708,48	17.558.600,78
3	2.476.193,05	15.110.780,16	17.586.973,21
4	2.373.493,80	15.243.005,64	17.616.499,44
5	2.270.794,55	15.376.384,92	17.647.179,47
6	2.168.095,30	15.510.918,00	17.679.013,30
7	2.065.396,04	15.637.374,48	17.702.770,52
8	1.962.696,79	15.764.754,00	17.727.450,79
9	1.859.997,54	15.893.287,32	17.753.284,86
10	1.757.298,29	16.022.820,60	17.780.118,89
11	1.654.599,04	16.153.353,84	17.807.952,88
12	1.551.899,79	16.285.040,88	17.836.940,67
13	1.449.200,54	16.417.727,88	17.866.928,42
14	1.346.501,29	16.551.568,68	17.898.069,97
15	1.243.802,04	16.686.486,36	17.930.288,40
16	-	16.822.480,92	16.822.480,92
17	-	16.959.552,36	16.959.552,36
18	-	17.074.855,44	17.074.855,44
19	-	17.191.004,64	17.191.004,64
20	-	17.307.923,04	17.307.923,04
Total (R\$)			352.182.731,55

Fonte: Próprio Autor (2015).

O custo total do Cenário III para um horizonte de 20 anos foi estimado em R\$ 352.182.731,55 e seu fluxo de caixa do Cenário III pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18: Fluxo de caixa do Cenário III.



Fonte: Próprio autor (2015).

Conforme demonstra a Figura 18, o ano 0 é o valor da entrada do financiamento de R\$ 900.870,62. No ano 1 o custo total do Cenário III é de R\$ 17.533.972,93, sendo este valor a soma do valor do financiamento e os custos operacionais do empreendimento. Isso acontece até o ano de 15 quando o financiamento é quitado.

Considerando que os custos e despesas anuais sejam corrigidos pela inflação do período, o total de R\$ 352.182.731,55 pode ser considerado como o valor presente líquido dos gastos futuros descontados pela inflação.

4.3.4 Discussão e análise dos cenários

O custo total com a implantação de cada Cenário está apresentado na Tabela 22, onde apresenta-se o gasto total ao longo dos 20 anos, a média anual e mensal.

Tabela 22: Diferença média entre os cenários

Cenário	Custo total (R\$)	Custo anual médio (R\$)	Custo mensal médio (R\$)
Cenário I	469.758.085,48	23.487.904,27	1.957.325,36
Cenário II	394.505.878,37	19.725.293,92	1.643.774,49
Cenário III	352.182.731,55	17.609.136,58	1.467.428,05

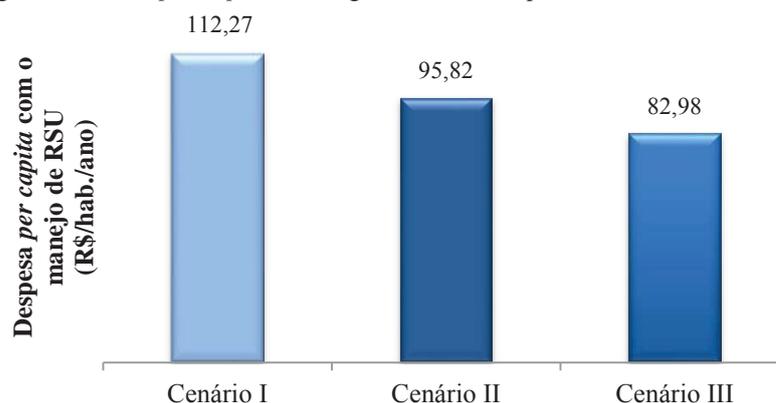
Fonte: Próprio Autor (2015).

Através da Tabela 22 verifica-se que a implantação dos Cenários II e III no município de Passo Fundo/RS diminuiria os gastos com a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

O Cenário II é 16% menor que o Cenário I, ou seja, uma diferença de R\$ 75.252.207,11. O Cenário III é 25% menor que o Cenário I, uma diferença de R\$ 117.575.353,93.

A despesa total com o manejo dos resíduos sólidos urbanos pode ser calculada por habitante. Levando-se os custos dos cenários para valores atuais, tem-se a um valor *per capita* médio de gestão, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19: Custo *per capita* com a gestão dos RSU para os cenários analisados



Segundo Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2013 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013), dentre os municípios que participaram da edição, a despesa total com o manejo dos RSU resulta em um valor médio anual de R\$ 105,77/habitante, partindo de um patamar de R\$78,00/habitante nas regiões Norte e Sul e chegando ao patamar de R\$116,00/habitante nas regiões Sudeste e Centro-Oeste.

Visto de outra forma, segundo o porte populacional dos municípios brasileiros, para os municípios onde o número de habitantes varia de 100.001 a 250.000, a despesa *per capita* anual com o manejo dos RSU é de R\$ 76,47/habitante. (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2013).

Observa-se que o cenário I tem uma despesa per capita com o manejo de RSU próximo da média nacional. Porém, quando se avalia que o município está inserido na região Sul do Brasil e o número de habitantes é de um município de médio porte, o valor do Cenário I é superior. O Cenário III é o que mais se aproxima da média dos municípios do Sul do Brasil.

Analisando os dados a partir do percentual que cada etapa do gerenciamento, pode-se verificar quanto ela representa no valor total do custo, conforme pode ser visto na Figura 20, Figura 21 e Figura 22.

Figura 20: Percentual de cada etapa do gerenciamento do Cenário I

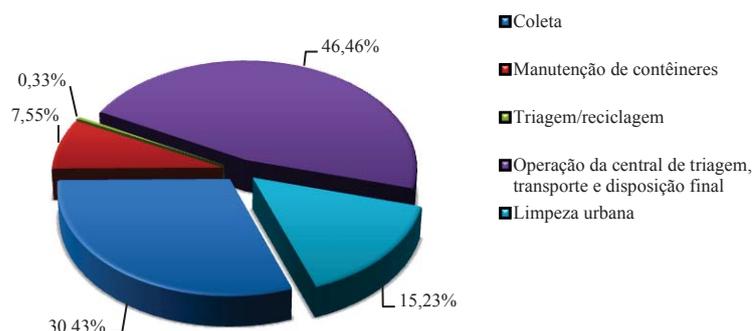


Figura 21: Percentual de cada etapa do gerenciamento do Cenário II

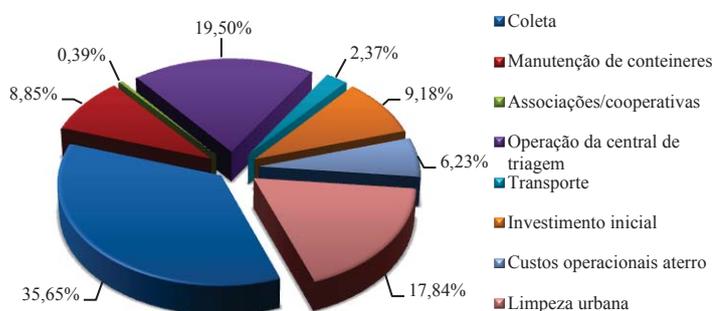
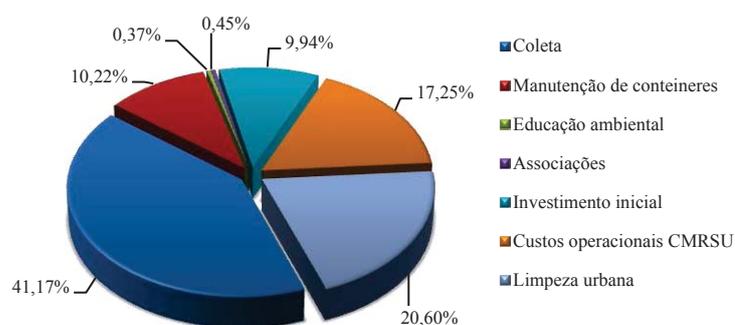


Figura 22: Percentual de cada etapa do gerenciamento do Cenário III



Verifica-se que o investimento inicial, tanto do Cenário II, quanto do Cenário III, representam menos de 10% do valor anual com os custos da gestão dos RSU quando diluídos ao longo do período analisado. Sendo assim, o investimento inicial do Cenário II é recuperado pelo menor custo com transporte, já no Cenário III, é recuperado pelo aproveitamento dos materiais por meio: do aumento da taxa de reciclagem, da ampliação da coleta seletiva; da

triagem mais eficiente e com a compostagem, diminuindo desta forma a quantidade de rejeitos gerados.

Um estudo semelhante realizado por Tan et al. (2014) em Iskandar Malásia, também indicou um modelo de otimização que previu melhorar a combinação de tecnologias de tratamento de resíduos, gerando um custo otimizado em uma solução eficaz para a gestão de RSU. A alocação ótima de resíduos em termos de sistema de porcentagem envolvidos foi aterro sanitário com recuperação de energia (14%), incineração com aproveitamento energético (3%), instalações de reciclagem de materiais (56%), e compostagem (27%). Este cenário seria capaz de atingir a meta de energia renovável, atingir o objetivo de reciclagem e promover a compostagem como alternativa de redução de resíduos para a região em estudo.

Quanto aos custos de triagem, transporte e disposição final, verifica-se que no Cenário I representam 46,77% do custo total; já no Cenário II os custos com a triagem, investimento inicial, transporte e operação do aterro sanitário representam 37,28% do custo total. No Cenário III os custos com investimento inicial e operação da CMRSU representam 27,19% do custo total.

Os custos diminuem significativamente nos cenários quando se propõe o fim da terceirização dos serviços em algumas etapas do gerenciamento, como por exemplo, a etapa de triagem no Cenário II, que é bastante representativa, visto que é pago um valor por tonelada de resíduo para a empresa responsável pela operação. Já no Cenário III, se propõe que esta operação seja realizada pela administração municipal, proprietária da usina, e contabilizada nos custos operacionais da CMRSU, reduzindo o custo desta etapa.

No Cenário III, com a implantação da coleta seletiva em todo o município, o custo do gerenciamento aumentou, sendo assim, a eficiência na etapa de triagem e reciclagem foi melhor, diminuindo desta forma a quantidade de rejeitos para disposição final, e, conseqüentemente reduzindo os custos totais com a gestão de RSU e com os impactos ambientais globais.

Isso também foi concluído em um estudo realizado em Beijing na China. Os autores analisaram a otimização da ecoeficiência para a gestão de RSU considerando os impactos ambientais e os custos com a gestão. Foram analisadas as etapas de coleta seletiva, compostagem, aterro sanitário e incineração. A relação de separação durante a coleta de RSU e a proporção das técnicas utilizadas para o tratamento, foram os principais indicadores para medidas de otimização. Para a cidade de Beijing, um aumento na proporção de separação de

resíduos durante a coleta provou ser a medida mais eficaz, com maior pontuação de ecoeficiência (YANG et al., 2015).

Ferreira et al. (2014) avaliaram a taxa de retorno econômica e ambiental alcançada com a implementação de um sistema de reciclagem de resíduos em Portugal. A conclusão do estudo foi que as operações de eliminação dos resíduos provaram ser mais caras (principalmente do ponto de vista ambiental) do que a reciclagem que reduz os custos econômicos e também os danos ambientais.

No Ásia, Othman et al. (2013) analisou a aplicação da Análise do Ciclo de Vida para a avaliação da gestão integrada de RSU para vários países asiáticos. O estudo incidiu sobre a avaliação de impactos ambientais de diversas tecnologias de tratamento de resíduos e concluiu que a reciclagem, a digestão anaeróbia e os tratamentos térmicos são tecnologias eficazes para os estes países.

A etapa de coleta é a mais representativa nos custos de gestão de RSU para os três cenários. Isso também se confirma em outros estudos realizados, como por Lohri, Camenzind e Zebrugg (2014) e por Guerrero e colaboradores (2013). Segundo Tavares et al. (2009), a etapa de coleta pode representar até 70% dos custos totais de gestão dos RSU. Este custo poderá ser diminuído, através de diferentes medidas que poderão ser adotadas. Como por exemplo, tamanho e uso eficiente dos veículos de coleta, aquisição de veículos que consomem menos combustível, rotas de coleta mais eficientes, etc.

Comparando os três cenários do presente estudo, é possível verificar que o Cenário III é o que apresenta o menor gasto se fosse implantado no município de Passo Fundo/RS. Além disso, é um Cenário que atende a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cumprindo a Lei 12.305 (BRASIL, 2010).

Os benefícios com a implantação do Cenário III no município vão além dos econômicos e administrativos; compreendem também as esferas sociais e ambientais. Além da geração de emprego e renda, o município passaria a ser o responsável pela disposição final dos rejeitos gerados em seu território, eliminando-se os riscos ambientais de se transportar rejeitos por mais de 300 km de distância, conforme vem sendo realizado.

Um dos fatores mais controversos durante a tomada de decisão acerca da adoção de uma tecnologia de tratamento e disposição final, se refere às oportunidades de geração de emprego perdidas ou oportunizadas (FADE, 2014). Dentre os cenários analisados, o Cenário III é o mais intensivo no quesito necessidade de mão de obra local, contribuindo dessa forma

com a inclusão social, por empregar uma comunidade de trabalhadores pouco qualificados, compostos por catadores de materiais recicláveis, associados ou não.

Com a instalação de uma CMRSU, o município seria um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos, que preconizaria acima de tudo o atendimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Atualmente, administração pública vem adotando medidas corretivas, atingidas a curto prazo, que solucionam parcialmente e momentaneamente os problemas relacionados aos RSU. Contudo, é necessário que os gestores públicos mudem esta visão, passando a adotar medidas preventivas de médio e longo prazo, pois somente dessa forma os problemas existentes serão solucionados e novos problemas serão evitados.

Com a conscientização da população sobre educação ambiental e coleta seletiva, espera-se que ocorra uma correta segregação dos resíduos. Através de uma estrutura completa de triagem, seria possível inserir e formalizar a atividade dos catadores e recicladores, valorizando-os. A reciclagem aumentaria de forma gradual, e a parcela orgânica seria aproveitada por meio da compostagem.

A compostagem apresentou várias vantagens no Cenário III. Além da possibilidade de geração de um composto orgânico de qualidade, que poderá ser utilizado para diversos fins, há redução de rejeitos encaminhados para disposição final, diminuindo os impactos ambientais decorrentes. A unidade de compostagem geraria emprego e renda, sendo possível inserção social, e os custos operacionais e de implantação seriam baixos, quando comparados com os custos de disposição no aterro sanitário. Yang e colaboradores (2015) também chegaram à conclusão de que a compostagem é mais eficaz quando comparada a outras tecnologias de tratamento, pois gera menos impacto ambiental e os custos econômicos são menores.

No Cenário III o volume de rejeitos enviado para disposição final seria menor, e por meio de técnicas de engenharia, haveria uma solução segura de disposição, por meio de um aterro sanitário. Além disso, o Cenário III poderá ser complementado com a instalação de sistemas de aproveitamento energético visando a comercialização de energia elétrica e a geração de créditos de carbono. Sendo assim, verifica-se que com a implantação do Cenário III o município de Passo Fundo/RS poderá atender a legislação e ainda ter benefícios econômicos, ambientais e sociais.

A Lei 12.305 (BRASIL, 2010) é um marco regulatório completo para o setor de resíduos sólidos, compondo o arcabouço legal que visa influenciar na postura da totalidade

dos agentes envolvidos. A partir deste princípio, o município adere a uma gestão integrada e visa o cumprimento da hierarquia proposta para a gestão dos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Com a implantação do Cenário III no município de Passo Fundo/RS pode-se firmar o marco norteador para a consecução de uma gestão sustentável dos resíduos. E tal gestão ocorrerá mediante o desenvolvimento e incentivo constantes da prática da coleta seletiva, das ferramentas relacionadas ao incremento da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, do ordenamento das ações de reciclagem e reaproveitamento de materiais reutilizáveis e recicláveis, dos processos de monitoramento e fiscalização, da integração e educação ambiental e social necessárias e da cooperação técnica financeira entre o setor público.

A gestão de resíduos sólidos é uma questão multidimensional. Muitos municípios procuram equipamentos e tecnologias inovadoras como um caminho para encontrar soluções à diversidade de problemas que enfrentam. Um estudo realizado por Guerrero et al., (2013) mostra que um sistema eficaz não se baseia apenas em soluções tecnológicas, mas também em aspectos que devem estar presentes para que o sistema global funcione, como a questão jurídica, institucional, ambiental, sócio cultural e econômica.

Dessa forma, fica evidente que os dados obtidos no presente estudo confirmam o relato de Guerrero et al., (2013). O Brasil possui uma legislação muito ampla e completa no que tange o quesito resíduos sólidos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos considera todos os aspectos que devem estar presentes na gestão, porém, falta colocar em prática os critérios estabelecidos e mudar a realidade dos municípios brasileiros.

Os serviços de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos têm um custo bastante significativo no orçamento público e as despesas não são recuperadas. Nesse sentido, é imprescindível que haja uma infraestrutura adequada, com recursos, equipamentos, manutenções, operação e equipe técnica qualificada. Dessa forma, com o interesse dos dirigentes municipais na questão de gestão de resíduos, com a participação dos usuários dos serviços e a boa administração dos recursos é possível criar um sistema mais sustentável.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões do trabalho desenvolvido

O estudo realizado visou estabelecer uma nova dinâmica às políticas municipais destinadas aos resíduos sólidos, propondo uma atuação integrada entre os serviços prestados à população, visando maior eficiência, eficácia, integração social e sustentabilidade. Com isto será possível garantir a correta gestão dos resíduos sólidos urbanos de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, diminuindo custos e proporcionando à população melhorias contínuas no setor e, conseqüentemente, na qualidade do Saneamento Básico.

Constatou-se que as políticas públicas direcionadas ao setor de RSU de Passo Fundo/RS estão desprovidas e, o presente trabalho teve por objetivo geral propor estratégias que contribuam para a melhoria da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU do município. Sistemas eficientes de coleta seletiva, sensibilização ambiental e a adoção de alternativas de tratamento e disposição final possuem um considerável potencial de redução nos custos da gestão dos RSU e nos seus impactos relativos.

Com relação ao primeiro objetivo específico, conclui-se que o diagnóstico realizado no município de Passo Fundo/RS para o setor de RSU contou com a sistematização e análise de informações disponíveis sobre o município, bem como dos serviços por ele oferecidos em relação ao manejo dos resíduos sólidos. Assim foi possível verificar a situação atual da gestão dos RSU, englobando condições físicas e operacionais dos serviços existentes, tais como: origem, volume, caracterização dos resíduos, formas de acondicionamento, coleta, transporte, tratamentos e disposição final adotada, além dos custos envolvidos.

Com relação ao segundo objetivo específico, foi possível elaborar três cenários que representaram alternativas para a gestão, tratamento e/ou disposição dos RSU gerados no município de Passo Fundo/RS. O cenário inercial considerou que não haverá investimentos no setor, ou seja, considera que se prossiga o método de gestão aplicado no município atualmente. O Cenário emergencial considerou uma alternativa local de disposição final dos rejeitos; dessa forma, o município passaria a ter um aterro sanitário e os rejeitos não seriam mais encaminhados para outro município como vem acontecendo. Já o Cenário normativo considerou uma nova proposta, a criação de uma Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos – CMRSU que contempla a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

No processo de desenvolvimento dos cenários, foi possível levantar as principais características técnicas, econômicas e operacionais de cada um. Os serviços de gerenciamento de RSU representam um custo significativo no orçamento público, e as despesas não são recuperadas. Nesse sentido, é imprescindível que haja um planejamento e uma abordagem dos aspectos financeiros, a fim de garantir a sustentabilidade do sistema de gestão de RSU, garantindo um serviço de qualidade com custos compatíveis e com constantes investimentos no setor.

O terceiro objetivo específico visou analisar a viabilidade econômica para implantação destes cenários no município. Foi possível verificar que o Cenário III (normativo) é o mais viável do ponto de vista econômico, reduzindo os custos com a gestão dos resíduos sólidos urbanos em aproximadamente 25%. Além disso, o Cenário III trará também uma série de outros benefícios sociais e ambientais para o município.

Com a finalização do processo de planejamento do presente trabalho, propõe-se uma alternativa efetiva para a gestão dos RSU gerados no Município de Passo Fundo/RS. Entretanto, o sucesso de implementação dependerá da correta adequação para o cenário normativo proposto. Dessa forma, os benefícios com a implantação do Cenário III no município irão além dos econômicos e administrativos, compreendendo também, as esferas sociais, ambientais e legais.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos considera todos os aspectos que devem estar presentes na gestão, porém, falta colocar em prática os critérios estabelecidos e mudar a realidade dos municípios brasileiros.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se:

1. Identificar áreas adequadas para a construção do cenário normativo proposto;
2. Atualizar e quantificar a geração e a composição gravimétrica dos RSU gerados no município;
3. Avaliar a eficiência do processo de triagem e as adequações necessárias na Usina de Triagem de São João da Bela Vista;
4. Realizar um diagnóstico sobre a atividade informal de catadores de resíduos, contemplando a caracterização da situação atual e propostas de melhorias;

5. Elaborar um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos para o município de Passo Fundo/RS.
6. Ampliação dos cenários, visando verificar a viabilidade da aplicação de tecnologias como, por exemplo, incineração e pirólise.
7. Estudo de aproveitamento energético nos cenários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDRABO, M.A., 2008. Assessment of economic viability of solid waste service provision in small settlements in developing countries: case study Rosetta, Egypt. **Waste Management**, 28, 2503–2511.
- ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos – **Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários**. São Paulo, 2007.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. 2011**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em 15 de jul. de 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1992. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, NBR 8419. São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1997. Aterros de Resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. NBR 13896. São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. Classificação de resíduos, NBR 10.004. Rio de Janeiro.
- BARROS, R. T. de V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Ed. Tessitura, 2012. 424 p.: il.
- BARTONE, C., BERNSTEIN, J., WRIGHT, F. 1990. Investments in Solid Waste Management. **Infrastructure and Urban Development Department**, The World Bank, Washington.
- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC-USP, Caixa Econômica Federal, 1999.
- BLEY JÚNIOR, C. Usinas de lixo no Brasil – Gerenciamento Atual e Perspectivas. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo: ABLP, n. 40, p. 11-19, jan./fev./mar. 1993.
- BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de resíduos sólidos – UFPE, 2014a.
- BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – **Programa Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos**. 2014b. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/saneamento.html>. Acesso em 14 nov. 2014.
- BONFANTE, T. M. **Análise da viabilidade econômica de projetos que visam à instalação de biodigestores para o tratamento de resíduos da suinocultura sob as ópticas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e da geração de energia**. Dissertação

Programa de Pós Graduação em Administração de Organizações. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 de Agosto de 2010.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C. **Principles of Corporate Finance**. 6 ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

BRINGHENTI J. R.; GÜNTHER W. M. R.; Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. **Revista Eng. Sanitária Ambiental**. vol.16 n. 4. Rio de Janeiro Oct./Dec. 2011.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

BUARQUE, Cristovam. **Avaliação Econômica de Projetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

BUARQUE, S. C. **Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais**. Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão e Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2003.

BURGE, W. D.; COLLACICCO, D.; CRAMER, W.N. Criteria for achieving pathogen destruction during composting. **Journal of Water Pollution Control**, v.53, n. 12, p. 1863 – 1689, 1981.

BURNTLEY, S.J., 2007. A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. **Journal of Waste Management**. 27 (10), 1274–1285.

BUTLER, T.A., SIKORA, L.J., STEINHILBER, P.M., DOUGLASS, L.W. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. **Journal of Environmental Quality**, 30, p. 2141–2148, 2001.

CALDERAN, T.B. **Consórcio público intermunicipal de Gerenciamento de resíduos sólidos domésticos: Um estudo de caso**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Mestre em Ambiente e Desenvolvimento. Lajeado, RS. 2013.

CASALI, D. J. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem**. 2011. 146 f. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10 Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**. Tese Apresentada no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal De Minas Gerais. Escola De Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2008.

CEF – Caixa Econômica Federal. **Manual de Fomento Programa Saneamento para Todos**. 2015. SUFUG/GEAVO. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/fgts-manual-fomento-agente-operador/MFOM_SANEAMENTO_PARA_TODOS_VERSAO_3_5.pdf. Acesso em 04 nov. 2015.

CEF – Caixa Econômica Federal. **Programa Meio Ambiente e Saneamento**. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/marcha_prefeitos/meio_ambiente.asp. Acesso em 14 nov. 2014.

CHRISTENSEN, T. H.; GENTIL, E.; BOLDRIN, A.; LARSEN, A.; WEIDEMA, B. P.; HAUSCHILD, M. C balance, carbon dioxide emissions and globalwarming potentials in LCA-modelling of waste management systems. **Waste Management & Research**, v.27(8), p.707-715. 2009.

CLARKE, J. P. **Closing the Business Case**. Article in Air Transportation Systems Architecting. April 21, 2004.

CLAUDEL, N. Solid waste workers and livelihood strategies in Greater Port-au-Prince, Haiti. **Waste Management**, v.30(6), p.1138-1148. 2010.

COINTREAU, S., GOPALAN, P., COAD, A. 2000. **Private Sector Participation in Municipal Solid Waste Management: Guidance Pack (5 Volumes)**. SKAT, St. Gallen, Switzerland.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE PASSO FUNDO –CODEPAS. Passo Fundo, 2013. Disponível em: <<http://www.codepas.com.br/site/>> Acessado em: 26 de jan. de 2015.

D'ALMEIDA, M.L.O.; VILHENA, A. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2º ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 370p. 2000.

DALTRO FILHO, J.; CARVALHO, J. S. Pilhas de Compostagem de Resíduos Orgânicos Mistos: Estudo Experimental Em Sergipe, **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, III-079, 2025 – 2034, 1999.

DANIEL, D. E. Clay liners. In: DANIEL, D. E. **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 33-65.

DIAZ, L. F. **Book review: The Science of Composting By Eliot Epstein Laricaster, Technomic Publishing Co**. *Waste Management & Research*, vol.17, nº. 2, p.66. 1999.

DIAZ, L., SAVAGE, G., EGGERTH, L. 1999. Overview of solid waste management for economically developing countries. In: **Proceedings of Organic Recovery and Biological Treatment**, ORBIT 99, Weimar, Germany, pp. 759–765.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE -. **Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 333.p

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. SICRO – **Sistema de Custos Rodoviários**. Rio Grande do Sul, Março, 2015. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/servicos/sicro/sul>. Acesso em 28 de maio 2015.

EIGENHEER, E. M.. **Reciclagem: mito e realidade**. Rio de Janeiro: In- Fólio, 2005.

ERECHIM. **Decreto nº 3.161, de 11 de janeiro de 2007**. Regulamenta os artigos quarenta e quatro e quarenta e cinco, da Lei 2599, de 04 de janeiro de 1994, que dispõe sobre a obrigatoriedade da existência de local específico para a estocagem temporária dos resíduos sólidos urbanos do município de Erechim. Erechim/RS. 2007

FADE – Fundação Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

FAMURS – **Federação das Associações de Municípios do Rio Grande do Sul**. Informações Municipais. Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <http://www.famurs.com.br/index.php/municipios/informacoes-municipais> Acesso em 15 Out. 2014.

FERREIRA, S.; CABRAL M.; DA CRUZ, N.F.; MARQUES, R.C. Economic and environmental impacts of the recycling system in Portugal. **Journal of Cleaner Production** v. 79 (0959-6526), p. 219 - 230, 2014.

FERNANDES, F.; PIERRO, A.C.; YAMAMOTO, R. Y. **Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v 28 - nº 5, p 567- 574. 1993.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. UEL - Universidade Estadual de Londrina. Londrina PR. 1996.

FINNERTY, J. D. **Project Finance: Engenharia financeira baseada em ativos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

FLEISCHER, G. A. **Teoria da Aplicação do Capital: um estudo das decisões de investimento**. Trad. Miguel Cezar Santoro. 4 reimpressão. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GALVÃO JUNIOR, A.C. **Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil**. Dissertação (mestrado) – EESC - Universidade de São Paulo, São Carlos, 113f. 1994.

GARCIA, C., HERNANDEZ, T., COSTA, F., CECCANTI, B., CIARDI, C. Changes in ATP content, enzyme activity and inorganic nitrogen species during composting of organic wastes. Canada. **Journal of Soil Science**, 72, 243–253, 1992.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GITMAN, Lawrence Jefferey. **Princípios da Administração Financeira**. 7 ed. São Paulo: Harbra, 1997.

GODDEN, B., PENNINCKX, A.P., PERARD, A., LANNOYE, R. Evolution of enzyme activities during composting of cattle manure. *European Journal of Applied Microbiology and Biotechnology*. 17, 306–310, 1983.

GRANT, E. L. **Principles of Engineering Economy**. 7th edition, 1982.

GRIMBER, E., BLAUTH, P. (Org). **Coleta seletiva. Reciclando materiais, reciclando valores**. Pólis, Estudos, Formação e Assessoria em políticas sociais. São Paulo. 1998. 104 p.

GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. 2013. **Journal of Waste Management**. 33, 220–232.

HABITZREUTER, M. T. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da região de Santa Maria, pré e pós triagem**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

HANRAHAN, D., SRIVASTAVA, S., RAMAKRISHNA, A. 2006. Improving Management of Municipal Solid Waste in India: Overview and Challenges. **Environment and social Development Unit**, South Asia Region, World Bank, New Delhi, India.

HUAG R. T. **Composting Engineering: Principles and Practice**. Ann Arbr Science, USA. 1980.

HESS, G.; MARQUES, J. L.; ROCHA PAES, L. C.; PUCCINI, A. **Engenharia Econômica**. 21ª Ed. – Editora Bertrand Brasil, 1992.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e análise de Custos**. 4 ed. rev. E. ampl. São Paulo: Atlas, 1989.

HOLANDA, N. **Planejamento e projetos**. Rio de Janeiro: APEC. 1976.

HOORNWEG, D., LAM., D., CHAUDHRY, M. 2005. Waste Management in China: Issues and Recommendations. **East Asia Infrastructure Development**, The World Bank, Washington, DC, USA.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva. Componente: produtos e embalagens**. Disponível em: <http://www.aliancaspublicoprivadas.org.br/app/wp-content/uploads/2014/07/12case_evte-vpsite.pdf>. Acesso em: jan. 2015.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Gestão integrada de resíduos sólidos: **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades: Passo Fundo – RS**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em 15 Out. 2014.

ICLEI. **Tratamento e Destinação**. ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2011. Disponível em: <http://www.iclei.org.br/residuos/?page_id=356>. Acesso em: jan. 2015. In: Estudo técnico desenvolvido pela consultoria Arcadis Logos para o Projeto GeRes, 2011.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. 2010. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100514_aprespsau.pdf. Acesso em 05 de ago. 2014.

IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica. **Manual de Gerenciamento Integrado**. Lixo Municipal: 2. ed. São Paulo: 2000. p. 29.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. Dissertação de mestrado profissional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia. Porto Alegre/RS. 2005.

JAHNEL, MC;MELLONI, R.;CARDOSO, EJBN. Maturidade de Composto de Lixo Urbano. **Agricola Scientia**. 1999, v. 56, n° 2, p. 301-304.1999.

JARDIM, N.S. et al. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento integrado**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas: CEMPRE, 1995. 278 p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KOERNER, R. M. Collection and removal systems. In: DANIEL, D. E. **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 187-213.

KOERNER, R. M. **Designing with geosynthetics**. 5. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 796 p.

LEGISLAÇÃO DE DIREITO AMBIENTAL. Obra coletiva de autoria da Editora Saraiva com a colaboração de Luiz Roberto Curia, Livia Céspedes e Juliana Nicoletti. 5. Ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

LEIS MUNICIPAIS. **Legislação atualizada e consolidada do município de Passo Fundo**. Disponível em: < <https://www.leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/4158/leis-de-passo-fundo>>. Acesso em 10 nov. 2014.

LIMA, L. M.Q. **Tratamento de lixo**. São Paulo: Hemus, 2ª ed., 1991.

LOHRI, C. R.; CAMENZIND, E. J., ZURBRÜGG, C. 2013. Financial sustainability in municipal solid waste management – Costs and revenues in Bahir Dar, Ethiopia. **Waste Management**, 34 (2014) 542–552.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos/SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências da

Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - São Carlos, 2003.

MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Composição gravimétrica de resíduos sólidos aterrados. *Revista de Engenharia. Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.12, n. 3, p. 247-251, 2007.

McDOUGALL F.; WHITE P.; FRANKE M.; HINDLE P. **Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory**. Oxford, UK/Malden, MA: Blackwell Sci. 2ª Ed. 2001.

MINGHUA, Z., XIUMIN, F., ROVETTA, A., QICHANG, H., VICENTINI, F., BINGKAI, L., GIUSTI, A. YI, L., 2009. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. **Journal of Waste Management**. 29, 1227–1233.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de orientações técnicas para o programa de resíduos sólidos** – Funasa. Brasília, 2014.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Programa Manejo de Resíduos Sólidos**. 2015. Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/index.php/saneamento/progrmas-e-acoos/97-secretaria-nacional-de-saneamento/programas-e-acoos/1525-residuos-solidos>>. Acesso em 15 de julho de 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Resíduos sólidos domiciliares: Um programa de coleta seletiva com inclusão social**. Autora: Rosimeire Suzuki Lima. Brasília, 2007.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos** – 2013.– Brasília: MCIDADES.SNSA.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Termo de Referência Técnico - Elaboração do projeto básico e executivo completo de unidade de compostagem (UCO) de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos**. 2011. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/12_TRProjRSUUnidade_Compostagem2010_2011.pdf. Acesso de 04 de jun. 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia para Elaboração de Planos de Gestão dos Resíduos Sólidos. Brasil**, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Planos de Gestão de Resíduos Sólidos: Manual de orientação**. Brasília, DF. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil**. Relatório Técnico 1, Estudos de custos relacionados com a Constituição de Consórcios Públicos de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília/DF. 2010.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Apostila para gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. 2º Ed. Curitiba – PR. 2013.

MITCHELL C.L. Altered landscapes, altered livelihoods: The shifting experience of informal waste collecting during Hanoi's urban transition. **Geoforum**, v.39(6), p.2019-202. 2008.

MONDINI, C., FORNASIER, F., SINICCO, T. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. **Soil Biology and Biochemistry** 36, 1587–1594. 2004.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J. O.; **Microbiologia e Bioquímica do Solo**, 2ª Ed. Editora da Universidade Federal de Lavras, 729p. 2006.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N. T. R.; BARROS, A. K. R.. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos** – Volume III. 4 Série de Publicações Temáticas do CREA-PR. Paraná – PR, 2009.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P.; **Uso da compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicos**. Embrapa Agroindustrial Tropical. Fortaleza, Ceará. 2004.

OTHMAN, S. N.; NOOR, Z. Z., ABBA, A. H.; YUSUF, R. O.; HASSAN, M. A. A.(2013). Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. **Journal of Cleaner Production** 41 (2013) 251 – 262.

PAGANELA, et al. Responsabilidade ambiental: uma percepção dos acadêmicos na questão da reciclagem do lixo no município de Vacaria/RS. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v.14. nº 1, 2013.

PARO, A. C., COSTA, F. C., COELHO, S. T. Estudo comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários X incineração. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 14, nº2, 2º semestre, pp. 113-125, 2008.

PARTHAN, S.R., MILKE, M.W., WILSON, D.C., COCKS, J.H., 2012. Cost estimation for solid waste management in industrializing regions – precedents, problems and prospects. **Waste Management**. 32, 584–594.

PASSO FUNDO. **Lei complementar nº 170 de 09 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - PDDI do município de Passo Fundo. Disponível em: <<http://pmpf.rs.gov.br/index.php?p=1145&a=1&pm=1&if=1>>. Acesso em 10 nov. 2014.

PASSO FUNDO. **Lei nº 233 de 3 de novembro de 2009**. Dispõe sobre a taxa de coleta de lixo no município de Passo Fundo. Disponível em: <<http://pmpf.rs.gov.br/index.php?p=1145&a=1&pm=1&if=1>>. Acesso em 10 nov. 2014.

PASSO FUNDO. **Lei nº 3886 de 06 de fevereiro de 2002**. Altera os dispositivos da Lei nº 3596 que dispõe sobre o Fundo Municipal do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://pmpf.rs.gov.br/index.php?p=1145&a=1&pm=1&if=1>>. Acesso em 10 nov. 2014.

PASSO FUNDO. **Lei nº 4969 de 03 de janeiro de 2013**. Institui a Política Municipal de Resíduos Sólidos de Passo Fundo e dá outras providências. Disponível em: <<http://pmpf.rs.gov.br/index.php?p=1145&a=1&pm=1&if=1>>. Acesso em 10 nov. 2014.

PASSO FUNDO. **Lei Orgânica do Município de Passo Fundo/RS, de 3 de abril de 1990.** Disponível em: < <http://pmpf.rs.gov.br/index.php?p=1145&a=1&pm=1&ifr=1>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

PASSO FUNDO. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo –RS.** Prefeitura Municipal de Passo Fundo/RS. Passo Fundo, 2014.

PEREIRA, W. A.; ALMEIDA, L. da S. **Método manual para cálculo da taxa interna de retorno.** Disponível em: <<http://www.faculdadeobjetivo.com.br/arquivos/MetodoManual.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2014.

PINTO, T. P., GONZÁLEZ, J. L. P. (Orgs.). **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem.** Brasília: Ministério das Cidades e Ministério do Meio Ambiente, 2008. 57p.

POLPRASERT C. **Organic Waste Recycling: Technology and Management.** 2ª Ed. John Wiley & Sons. USA. 1996.

RGE – Rio Grande Energia Elétrica. **Simulador de Consumo.** Disponível em: http://www.rge-rs.com.br/ServicosRGE/servicosonline/simuladorconsumo/calculo_consumo.asp . Acesso em 10 de abril de 2015.

RIO GRANDE DO SUL. **Assembleia Legislativa.** Legislações estaduais. 2014a. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/legislativo/Legisla%C3%A7%C3%A3oEstadual.aspx>. Acesso em 05 nov. 2014.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015-2034.** Porto Alegre, RS. 2014b.

RODRIGO, J. CASTELLS, F. Environmental evaluation of different strategies for the management of municipal solid waste in Catalonia. Life Cycle Management. In: **1ª International Conference on Life Cycle Management.** Copenhagen. Denmark. P. 305-8. 2001.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, **Bradford D.** **Princípios de administração financeira:** Essentials of Corporate Finance. São Paulo: Atlas, 1998.

RUFFINO, P. H. P. **Proposta de Educação Ambiental como instrumento de apoio à implantação e manutenção de um posto de orientação e recebimento de recicláveis secos em uma Escola Estadual de Ensino Fundamental.** São Carlos. 63p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

RUSSO, M.A.T. 2005. **Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário.** 298 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal.

RUSSO, M. **Rota Tecnológica dos Resíduos Biodegradáveis**. 1º Seminário projeto BNDES – FADE: Recife, 5 a 7 de setembro de 2011. Disponível em: <<http://www.tecnologiare residuos.com.br/secao/publicacao/>>. Acesso em: mar. 2015.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia Econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SCHALCH, V., LEITE, W. C. A., FERNANDES JUNIOR, J. L., CASTRO, M. C. A. A. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

SCHEINBERG, A., WILSON, D.C., RODIC´, L. 2010. Solid Waste Management in the World's Cities. **UN-Habitat's Third Global Report on the State of Water and Sanitation in the World's Cities**. Earthscan, London.

SCHÜBELER, P. 1996. Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in Low Income Countries. **Working Paper No.9, Urban Management and Infrastructure**, UNDP/UNCHS/World Bank-UMP, Nairobi, Kenya.

SHAUB, S. M., LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**. v.7, p. 263-264. 1996.

SHEN, T. T. Industrial Pollution Prevention. Springer Verlag. In: **Gerenciamento Ambiental**, Cap. II, p. 74-6. 1995.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SINDUSCON – Sindicato da Construção Civil de Passo Fundo. **Convenção Coletiva Passo Fundo 2014**. Disponível em: <http://www.sindusconpf.com.br/index.php?t=9&c=50>. Acesso em 10 de maio 2015.

SOUZA, A. CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. 4 Ed, 168 p. São Paulo: Atlas, 2001.

STELLA, R. **Fixed-Income Securities & Equity Analysis: Comprehensive Study Guide for the CFA Exam**. Westlake/Ohio: Argentum Inc., 2000.

STRASSER, S. **Waste and Want: A Social History of Trash**. New York City: **Metropolitan Books**. 355 p. 1999.

SUJAUDDIN, M., HUDA, M.S., RAFIQUH HOQUE, A.T.M., 2008. Household solid waste characteristics and management in Chittagong, Bangladesh. **Journal of Waste Management**. 28, 1688–1695.

TAN, S. T.; LEE, C. T.; HASHIM, H.; HO, W. S.; LIM, J. S. (2014). Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. **Journal of Cleaner Production** v. 71 (0959-6526), p. 48 – 58.

TAVARES, G., ZSIGRAIOVA, Z., SEMIAO, V., CARVALHO, M.G., 2009. Optimization of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. **Waste Management**, 29, 1176–1185.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management**. 2^a Ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. Boston: McGraw-Hill, 1993. 978 p.

UN-HABITAT - United Nations Human Settlements Programme. **Solid Waste Management in the World's Cities**. London: UN Hun. Washington, DC. Settl. Programm. 2010.

VANDERSLICE, J.; BRISCOE, J. Environmental interventions in developing countries: interactions and their implications. **American Journal of Epidemiology**, v. 141, p. 135-144, 1995.

VERGANA, S. E.; TCHOBANOGLIOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 277-309, 2012.

VERGARA, S. E.; DAMGAARD, A.; HORVATH, A. Boundaries matter: Greenhouse gas emission reductions from alternative waste treatment strategies for California's municipal solid waste. **Resources Conservation And Recycling**, v.57, p.87-97. 2011.

VERTEMATTI, J. C. **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 413 p.

VILHENA, A. (Coord.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 3. ed. São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 2010. 350p.

VUORINEN, A.H. Effect of bulking agent on acid and alkaline phosphomonoesterase and b-glucosidase activities during manure composting. **Bioresource Technology**. 55, 201–206. 2000.

WHITE P.; FRANKE M.; HINDLE P. **Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory**. New York: Chapman & Hall. 1999.

WILLIAMS, P. T. **Waste Treatment and Disposal**. 2^a Ed. West Sussex, UK: Wiley. 380 p., 2005.

WILSON, C. D., RODIC, L., SCHEINBERG, A., VELIS, C.A., ALABASTER, G., 2012. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. **Waste Management**. Res. 30 (3), 237–254.

WILSON, D. C.; ARABA, A. O.; CHINWAH, K.; CHEESEMAN, C. R. Building recycling rates through the informal sector. **Waste Management**, v.29(2), p.629-635. 2009.

WILSON, D. C.; VELIS, C.; CHEESEMAN, C. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. **Habitat International**, v.30(4), p.797-80. 2006.

YANG, Z., ZHOU, X., XU, L. 2015. Eco-efficiency optimization for municipal solid waste management. **Journal of Cleaner Production**. 104, 242 e 249.

YEO, K.T.; QIU, F.. The value of management flexibility – a real option approach to investment evaluation. **International Journal of Project Management**, USA, 9 p., 2002.

ZANETI, I.C.B.B.; **Educação Ambiental, Resíduos Sólidos Urbanos e Sustentabilidade: Um estudo de caso Porto Alegre, RS**, Tese de Doutorado, Centro de Desenvolvimento Sustentável-UNB. Brasília, 2003.

ZHU, D., ASNANI, P.U., ZURBRÜGG, C., ANAPOLSKY, S., MANI, S., 2007. **Improving Municipal Solid Waste Management in India: A Sourcebook for Policymakers and Practitioners**. The World Bank, Washington, DC.

ZURBRÜGG C., BECKER, B., VOEGELI, Y. 2007. Cash Flow in Solid Waste Management. **Sandec News**, 8, 14–15. Eawag, Dübendorf.

APÊNDICE A

Memorial técnico e descritivo simplificado do aterro sanitário – CENÁRIO II

Memorial técnico e descritivo simplificado do aterro sanitário – CENÁRIO II

A célula de disposição possuirá as fases de operação na forma de trincheira (abaixo do nível do terreno) e em área (acima do nível do terreno). Na fase de operação em trincheira, os resíduos serão espalhados e compactados no interior da trincheira até o preenchimento total da mesma. Para preparo da trincheira todos os taludes serão regularizados através de corte com inclinação de 45° (1:1) ou aterro com inclinação de 33,69° (1:1,5). O fundo da trincheira será regularizado através de cortes para inclinações de 2 %, forma a realizar o preparo para o sistema de drenagem de lixiviado.

Na fase de operação em área os resíduos serão espalhados e compactados em uma nova célula que será formada sobre a trincheira. A operação em área irá englobar uma célula de geometria trapezoidal de 15 m de altura. Toda operação será envolta por um dique de solo de 1 m de solo que será construído conforme a evolução da operação, sob forma aterrada com inclinação 1:1,5, contendo 0,5 metro de largura superficial. A célula será construída em 4 patamares de 5 m de altura cada. Após a conclusão de cada patamar, a nova operação iniciará a uma distância horizontal de 1 metro a partir do limite superficial da célula localizada imediatamente abaixo.

- Volume de rejeitos encaminhados para o aterro
- Vida útil: 20 anos
- Cálculo do volume de material produzido para vida útil considerada:

Para estimar a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final do Cenário II, considerando que não haverá mudanças nas etapas anteriores (coleta seletiva, segregação e triagem), foi utilizada a projeção populacional em relação à quantidade média de rejeitos encaminhados para aterro sanitário no município de Passo Fundo no ano de 2014, conforme gestão apresentada de janeiro a dezembro de 2014. A geração média de rejeitos neste período foi de 0,78 kg.hab.⁻¹ dia⁻¹. No Quadro 21 pode-se observar a estimativa da geração de rejeitos no município em um período de 20 anos.

Quadro 21: Estimativa de geração de rejeitos

Ano	População (habitantes)	Geração per capita (kg.hab. ⁻¹ dia ⁻¹)	Geração de rejeitos (t)		
			Diária	Mensal	Anual
2015	193.055	0,78	150,58	4580,23	54962,76
2016	194.744	0,78	151,90	4620,30	55443,62
2017	196.448	0,78	153,23	4660,73	55928,75
2018	198.167	0,78	154,57	4701,51	56418,14
2019	199.901	0,78	155,92	4742,65	56911,81
2020	201.650	0,78	157,29	4784,15	57409,76
2021	203.294	0,78	158,57	4823,15	57877,80
2022	204.950	0,78	159,86	4862,44	58349,27
2023	206.621	0,78	161,16	4902,08	58825,00
2024	208.305	0,78	162,48	4942,04	59304,43
2025	210.002	0,78	163,80	4982,30	59787,57
2026	211.714	0,78	165,14	5022,91	60274,98
2027	213.439	0,78	166,48	5063,84	60766,08
2028	215.179	0,78	167,84	5105,12	61261,46
2029	216.933	0,78	169,21	5146,74	61760,83
2030	218.701	0,78	170,59	5188,68	62264,17
2031	220.483	0,78	171,98	5230,96	62771,51
2032	221.982	0,78	173,15	5266,52	63198,28
2033	223.492	0,78	174,32	5302,35	63628,17
2034	225.012	0,78	175,51	5338,41	64060,92
Total					1191205,30

A massa total de rejeitos ao longo de 20 anos de operação do aterro será de aproximadamente 1.191.205,30t.

Volume – Cálculo do volume de material produzido para vida útil considerada.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

m = Estimativa da produção acumulada durante a vida útil (t)

$\rho = \text{Densidade (Adotado } 0,6 \text{ t/m}^3\text{)}$

$$V = \frac{1191205,30 \text{ t}}{0,6 \text{ t/m}^3}$$

$$V = 1.985.342,17 \text{ m}^3$$

- **Célula de disposição - Trincheira**

Dimensões adotadas para operação em trincheira:

Altura da célula = 8 m

Comprimento da célula = 150 m

Largura da célula = 100 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

$$\begin{array}{ccc} 1,5 & \text{-----} & 8 \\ 1 & \text{-----} & x \\ x = 5,33 \text{ m cada lado} \end{array}$$

a) Área da célula:

$$A = 150 \text{ m} * 100 \text{ m} = 15000 \text{ m}^2$$

b) Comprimento de fundo

$$C_F = 150 \text{ m} - (2 * 5,33) = 139,34 \text{ m}$$

c) Largura de fundo

$$L_F = 100 \text{ m} - (2 * 5,33) = 89,34 \text{ m}$$

d) Volume de célula

$V_C = \text{comprimento médio} * \text{largura média} * \text{altura}$

$$V = \frac{(150 \text{ m} + 139,34 \text{ m})}{2} * \frac{(100 \text{ m} + 89,34 \text{ m})}{2} * 8 \text{ m}$$

$$V_C = 109567,27 \text{ m}^3$$

e) Volume útil da célula

$$V_{UC} = V_c * 75\%$$

$$V_{UC} = 109567,27 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 82175,45 \text{ m}^3$$

Célula de disposição – Área

(3 patamares de 5 m de altura cada)

Patamar 1

a) Dimensões adotadas para operação em área :

Altura do patamar 1 = 5 m

Comprimento do patamar 1 = 150 m

Largura do patamar 1 = 100 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

$$\begin{array}{ccc} 1,5 & \text{-----} & 5 \\ 1 & \text{-----} & x \\ x = 3,33 \text{ m cada lado} \end{array}$$

b) Área do patamar:

$$A = 150 \text{ m} * 100 \text{ m} = 15000 \text{ m}^2$$

c) Comprimento de superfície

$$C_F = 150 \text{ m} - (2 * 3,33) = 143,34 \text{ m}$$

d) Largura de superfície

$$L_F = 100 \text{ m} - (2 * 3,33) = 93,34 \text{ m}$$

e) Volume de patamar 1

$$V_C = \text{comprimento médio} * \text{largura média} * \text{altura}$$

$$V = \frac{(150 \text{ m} + 143,34 \text{ m})}{2} * \frac{(100 \text{ m} + 93,34 \text{ m})}{2} * 5 \text{ m}$$

$$V_C = 70892,94 \text{ m}^3$$

f) Volume útil do patamar 1

$$V_{UC} = V_C * 75\%$$

$$V_{UC} = 70892,94 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 53169,71 \text{ m}^3$$

Patamar 2

a) Dimensões adotadas para operação em área :

Altura do patamar 2= 5 m

Comprimento do patamar 2= 141,34 m

Largura do patamar 2= 91,34 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

b) Área do patamar 2

$$A = 141,34 \text{ m} * 91,34 \text{ m} = 12909,10 \text{ m}^2$$

c) Comprimento de superfície

$$C_F = 141,34 \text{ m} - (2 * 3,33) = 134,68 \text{ m}$$

d) Largura de superfície

$$L_F = 91,34 \text{ m} - (2 * 3,33) = 84,68 \text{ m}$$

e) Volume de patamar 2

$V_C = \text{comprimento médio} * \text{largura média} * \text{altura}$

$$V = \frac{(141,34 \text{ m} + 134,68 \text{ m})}{2} * \frac{(91,34 \text{ m} + 84,68 \text{ m})}{2} * 5 \text{ m}$$

$$V_C = 60731,30 \text{ m}^3$$

f) Volume útil do patamar 2

$$V_{UC} = V_C * 75\%$$

$$V_{UC} = 60731,30 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 45548,48 \text{ m}^3$$

Patamar 3

a) Dimensões adotadas para operação em área :

Altura do patamar 3= 5 m

Comprimento do patamar 3= 132,68 m

Largura do patamar 3= 82,68 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

b) Área do patamar 3

$$A = 132,68 \text{ m} * 82,68 \text{ m} = 10969,99 \text{ m}^2$$

c) Comprimento de superfície

$$C_F = 132,68 \text{ m} - (2 * 3,33) = 126,02 \text{ m}$$

d) Largura de superfície

$$L_F = 82,68 \text{ m} - (2 * 3,33) = 76,02 \text{ m}$$

e) Volume de patamar 3

$V_C = \text{comprimento médio} * \text{largura média} * \text{altura}$

$$V = \frac{(132,68 \text{ m} + 126,02 \text{ m})}{2} * \frac{(82,68 \text{ m} + 76,02 \text{ m})}{2} * 5 \text{ m}$$

$$V_C = 51319,61 \text{ m}^3$$

f) Volume útil do patamar 3

$$V_{UC} = V_c * 75\%$$

$$V_{UC} = 51319,61 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 38489,71 \text{ m}^3$$

- **Volume útil total da célula (operação em trincheira + área)**

$$\text{Trincheira} = 82175,45 \text{ m}^3$$

$$\text{Patamar 1} = 53169,71 \text{ m}^3$$

$$\text{Patamar 2} = 45548,48 \text{ m}^3$$

$$\text{Patamar 3} = 38489,71 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total por célula} = 219383,33 \text{ m}^3$$

- **Número de células do aterro sanitário**

$$N = \frac{\text{Volume total}}{\text{Volume útil da célula}}$$

$$N = \frac{1985342,17 \text{ m}^3}{219383,33 \text{ m}^3}$$

$$N = 9$$

Serão necessárias 9 células de iguais dimensões para atender a demanda de rejeitos de Passo Fundo, sendo que a vida útil de cada uma será de aproximadamente 2,2 anos.

- ✓ **Sistema de impermeabilização**

A impermeabilização de fundo será composta por 80 cm de revestimento mineral de solo argiloso compactado com peso específico seco de 15,82 kN/m³. Após regularização do terreno com a inclinação de 2%, será iniciado o preenchimento com solo para o sistema de fundo. A compactação se dará em camadas de 20 cm em 20 cm, sendo o solo espalhado no estado solto sobre a superfície do terreno.

Para garantir o sistema de impermeabilização também será utilizado geomembrana e geotêxtil. A geomembrana utilizada será de polietileno de alta densidade lisa (PEAD), com espessura de 1,5 mm. O geotêxtil será sobreposto a geomembrana e acompanhará a mesma até o ancoramento e fixação na base do talude, o mesmo possuirá gramatura 150 g/m². O geotêxtil foi adotado conforme especificação mínima, de acordo com catálogos comerciais.

Revestimento mineral compactado

Volume de material necessário:

a) Parâmetros utilizados:

$$\text{Altura de solo compactado (H}_{s,\text{comp}}): 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Peso específico do solo compactado } (\gamma_{\text{comp}}) = 19,1 \text{ kN/m}^3 \text{ ou } 1,91 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Peso específico de solo natural na área de empréstimo } (\gamma_N) = 1,65 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Coeficiente de empolamento } (\varphi) = 0,6$$

b) Área total a ser revestida na trincheira

$$A_{\text{revest}} = A_{\text{fundo}} = 12448,64 \text{ m}^2$$

c) Volume de material necessário

$$V_{\text{revest}} = A_{\text{revest}} * H_{s,\text{comp}}$$

$$V_{\text{revest}} = 12448,64 \text{ m}^2 * 0,8 \text{ m}$$

$$V_{\text{revest}} = 9958,91 \text{ m}^3$$

d) Massa de solo a ser transportado

$$M_s = V_{\text{revest}} * \gamma_{\text{comp}}$$

$$M_s = 9958,91 \text{ m}^3 * 1,91 \text{ t/m}^3$$

$$M_s = 19021,51 \text{ t}$$

e) Volume de solo a ser extraído

$$V_{\text{ext}} = \frac{M_s}{\gamma_N}$$

$$V_{\text{ext}} = \frac{19021,51 \text{ t}}{1,65 \text{ t/m}^3}$$

$$V_{\text{ext}} = 11528,19 \text{ m}^3$$

f) Volume de solo solto para transporte

$$V_{\text{solo}} = \frac{V_{\text{ext}}}{\phi}$$

$$V_{\text{solo}} = \frac{11528,19 \text{ m}^3}{0,6}$$

$$V_{\text{solo}} = 19213,65 \text{ m}^3$$

Geomembranas

O dimensionamento da espessura de geomembrana (t) pode ser feito considerando as sobrecargas de resíduos e características do material, segundo KOERNER (2005):

$$t = \frac{\sigma_n * x * (\tan \delta_v + \tan \delta_L)}{\sigma_{\text{adm}} * (\cos \beta - \sin \beta * \tan \delta_L)}$$

a) Parâmetros utilizados

x (distância de mobilização) = 100 mm

δ_v = ângulo de cisalhamento entre a geomembrana e o material sobrejacente = 11° (VERTEMATTI, 2004)

δ_L = ângulo de cisalhamento entre a geomembrana e o material subjacente = 10° (VERTEMATTI, 2004)

$\sigma_{\text{adm, geomembrana}}$ = 7000 kPa

β = ângulo de deflexão máximo da geomembrana = 20°

$\gamma_{\text{residuo compactado}}$ = 6 kN/m³

b) Tensão normal aplicada aos resíduos

$H_{\text{prevista}} = H_{\text{operação em área}} + H_{\text{trincheira}}$

$H_{\text{prevista}} = 15 \text{ m} + 8 \text{ m}$

$H_{\text{prevista}} = 23 \text{ m}$

$\sigma_n = \gamma_{\text{residuo compactado}} * H_{\text{prevista}} * FS$

$\sigma_n = 6 \text{ kN/m}^3 * 23 \text{ m} * 1,2$

$\sigma_n = 165,6 \text{ kPa}$

$$t = \frac{201,6 \text{ kPa} * 0,1 \text{ m} * (\tan 11 + \tan 10)}{7000 \text{ kPa} * (\cos 20 - \sin 20 * \tan 10)}$$

$$t = 0,0009 \text{ m}$$

Será adotado t = 1,5 mm

No que se refere a distância de ancoragem, será adotado 1 m.

Área total a ser revestida:

a) Parâmetros utilizados

Ângulo médio de inclinação dos taludes da trincheira (α) = 41°

Profundidade média da trincheira (H_m) = 8 m

Perímetro de fundo da trincheira (P_{fundo}) = 457,36 m

Perímetro superficial da trincheira ($P_{\text{superficial}}$) = 500 m

Profundidade do canal de drenagem ($H_{\text{canal.drenagem}}$) = 1 m

Largura do canal de drenagem ($B_{\text{canal.drenagem}}$) = 1 m

Largura de ancoragem da geomembrana do canal de drenagem ao solo ($B_{\text{ancoragem.canal.drenagem}}$) = 1 m

Largura de ancoragem da geomembrana na base dos taludes ($B_{\text{ancoragem.base.talude}}$) = 1 m

Comprimento do canal de drenagem ($L_{\text{canal.drenagem}}$) = 139,34 m

b) Perímetro médio da trincheira

$$P_{\text{médio}} = \frac{P_{\text{fundo}} + P_{\text{superficial}}}{2} \rightarrow \frac{457,36 + 500}{2} \rightarrow 478,68 \text{ m}$$

c) Área lateral da trincheira

$$A_{\text{lateral}} = P_{\text{médio}} * \frac{Hm}{\text{sen}\alpha} \rightarrow 478,68 \text{ m} * \frac{8 \text{ m}}{\text{sen}(41)} \rightarrow 5837,03 \text{ m}^2$$

d) Comprimento e área equivalente à ancoragem

$$L_{\text{total.ancoragem}} = L_{\text{ro}} + H_{\text{ancoramento}} + B_{\text{ancoragem}} \rightarrow 1 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 2,5 \text{ m}$$

$$A_{\text{ancoragem}} = L_{\text{total.ancoragem}} * P_{\text{superficial}} \rightarrow 2,5 \text{ m} * 500 \text{ m} = 1250 \text{ m}^2$$

e) Comprimento e área equivalente ao ancoramento ao solo na base do talude

$$A_{\text{ancoragem.base.talude}} = B_{\text{ancoragem.base.talude}} * P_{\text{fundo}}$$

$$A_{\text{ancoragem.base.talude}} = 1 \text{ m} * 457,36 \text{ m} = 457,36 \text{ m}^2$$

f) Área total a ser revestida

$$A_{\text{total.revestida}} = A_{\text{lateral}} + A_{\text{ancoragem}} + A_{\text{canal.drenagem}} + A_{\text{ancorage.base.talude}}$$

$$A_{\text{total.revestida}} = 5837,03 \text{ m}^2 + 1250 \text{ m}^2 + 457,36$$

$$A_{\text{total.revestida}} = 7544,39 \text{ m}^2$$

A quantidade de material para aquisição receberá um fator de segurança de 10 %: $7544,39 \text{ m}^2 \times 1,1 = 8298,83 \text{ m}^2 \rightarrow 8300 \text{ m}^2$ cada célula.

Geotêxtil de proteção

A área total a ser revestida é equivalente ao revestimento com geomembrana de 8300 m^2 cada célula.

- **Sistema de cobertura superficial**

- ✓ **Sistema de cobertura final**

O sistema de cobertura superficial será composto por uma camada média de 50 cm de solo de proteção natural compactado à um peso específico de $16,5 \text{ kN/m}^3$. Este solo será extraído da área de empréstimo. A execução dessas camadas será realizada com a simples deposição do material e uma prévia compactação com trator de esteira de forma a permitir estrutura semelhante à condição natural do terreno. O preparo da camada deverá promover uma inclinação do terreno de 0,5 % em direção às bordas do terreno.

Área total a ser revestida e volume de material necessário:

> Altura da camada impermeável: $H = 50 \text{ cm} \Rightarrow 0,5 \text{ m}$

> γ natural estimado = $16,5 \text{ KN/m}^3$

> γ área de empréstimo = $16,5 \text{ KN/m}^3 \Rightarrow 1,65 \text{ t/m}^3$

> Coeficiente de empolamento (ϕ) = 0,6

> γ solo proteção = $16,5 \text{ KN/m}^3 = 1,65 \text{ t/m}^3$

a) Volume compactado:

$$V_{\text{comp}} = \text{Área final} \times H$$

$$V_{\text{comp}} = 10969,99 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m}$$

$$V_{\text{comp}} = 5484,99 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{comp}} = V_{\text{comp}} \times \gamma \text{ solo proteção}$$

$$M_{\text{comp}} = 5484,99 \text{ m}^3 \times 1,65 \text{ t/m}^3$$

$$M_{\text{comp}} = 9050,24 \text{ t}$$

$$V_{\text{transp}} = V_{\text{comp}} / \phi$$

$$V_{\text{transp}} = 5484,99 \text{ m}^3 / 0,6$$

$$V_{\text{transp}} = 9142 \text{ m}^3$$

- ✓ **Sistema de cobertura diária**

A cobertura diária será realizada ao final do recebimento diário dos resíduos, será utilizado uma camada de 5 cm de solo solto e o mesmo será proveniente da área de empréstimo.

Para o cálculo do sistema de cobertura diária que deverá ser realizado no aterro utilizou-se os seguintes dados:

- γ resíduo sólido compactado = $6 \text{ KN/m}^3 \Rightarrow 0,6 \text{ t/m}^3$
- γ material solto = $2,8 \text{ KN/m}^3 \Rightarrow 0,28 \text{ t/m}^3$
- γ área de empréstimo = $1,65 \text{ t/m}^3$
- Massa de RS = 208 t/d (22 dias/mês úteis)
- Altura de RS compactado (H_{rscomp}) = 1 m (diário)
- Altura de solo solto (H_{ss}) = $0,05 \text{ m}$
- Coeficiente de empolamento (φ) = $0,6$

a) Volume de Resíduos Sólidos Soltos:

$$V_{\text{rss}} = \frac{Mrs}{\gamma_{\text{soltos}}}$$

$$V_{\text{rss}} = \frac{208 \text{ t/d}}{0,28 \text{ t/m}^3}$$

$$V_{\text{rss}} = 742,86 \text{ m}^3/\text{dia}$$

b) Volume de Resíduos Sólidos Compactados:

$$V_{\text{rsc}} = \frac{Mrs}{\gamma_{\text{comp}}}$$

$$V_{\text{rsc}} = \frac{208 \text{ t/d}}{0,6 \text{ t/m}^3}$$

$$V_{\text{rsc}} = 346,66 \text{ m}^3/\text{dia}$$

c) Área de trabalho diário:

$$A_d = \frac{V_{\text{rsc}}}{H_{\text{rscomp}}}$$

$$A_d = \frac{346,66 \text{ m}^3/\text{d}}{1 \text{ m}}$$

$$A_d = 346,66 \text{ m}^2/\text{d}$$

d) Altura de resíduos sólidos soltos:

$$H_{\text{rss}} = \frac{V_{\text{rss}}}{A_d}$$

$$H_{\text{rss}} = \frac{742,86 \text{ m}^3/\text{d}}{346,66 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$H_{\text{rss}} = 2,14 \text{ m}$$

e) Volume de solo solto:

$$V_{\text{ss}} = A_d * H_{\text{ss}}$$

$$V_{\text{ss}} = 346,66 \text{ m}^2/\text{d} * 0,05 \text{ m}$$

$$V_{\text{ss}} = 17,33 \text{ m}^3/\text{d}$$

f) Massa de solo extraído:

$$M_{\text{se}} = \varphi * V_{\text{ss}} * \gamma_{\text{área de empréstimo}}$$

$$M_{\text{se}} = 0,6 * 17,33 \text{ m}^3/\text{d} * 1,65 \text{ t/m}^3$$

$$M_{\text{se}} = 17,16 \text{ t/d}$$

g) Volume aterrado

$$V_{\text{at}} = \frac{Mrs + M_{\text{se}}}{\gamma_{\text{comp}}}$$

$$V_{\text{at}} = \frac{208 \text{ t/d} + 17,16 \text{ t/d}}{0,6 \text{ t/m}^3}$$

$$V_{\text{at}} = 375,27 \text{ m}^3/\text{d}$$

✓ Sistema de cobertura intermediária

O sistema de cobertura intermediária será realizado ao término da operação em trincheira e no término do segundo patamar. Será inserido ao terreno uma camada de solo de 50 cm, em média, e a inclinação da camada deverá respeitar a inclinação do sistema de drenagem de lixiviado. O solo será proveniente da área de empréstimo e a compactação será realizada em duas camadas de 25 cm.

Considerando a conformação da operação do aterro sanitário, a cobertura intermediária será feita após o preenchimento completo da trincheira e do segundo patamar da operação em área, para facilitar a construção de um novo sistema de drenagem. O preenchimento será de uma nova camada compactada.

Cobertura intermediária trincheira

Parâmetros utilizados:

$$\text{Área superficial } (A_{\text{superficial}}) = 15000 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura média de solo compactado } (H_{\text{s.comp}}) = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Peso específico do solo compactado } (\gamma_{\text{comp}}) = 19,1 \text{ kN/m}^3 = 1,91 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Peso específico de solo natural na área de empréstimo } (\gamma_{\text{N}}) = 1,65 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Coeficiente de empolamento } (\phi) = 0,6$$

- a) Cálculo do volume de material de cobertura intermediária

$$V_{\text{mci}} = A_{\text{superficial}} * H_{\text{s.comp}}$$

$$V_{\text{mci}} = 15000 \text{ m}^2 * 0,5 \text{ m}$$

$$V_{\text{mci}} = 7500 \text{ m}^3$$

- b) Massa de material a ser transportado

$$M_{\text{sc}} = V_{\text{mci}} * \gamma_{\text{comp}}$$

$$M_{\text{sc}} = 7500 \text{ m}^3 * 1,91 \text{ t/m}^3$$

$$M_{\text{sc}} = 14325 \text{ t}$$

- c) Volume de solo a ser extraído

$$V_{\text{sce}} = \frac{M_{\text{sc}}}{\gamma_{\text{N}}}$$

$$V_{\text{sce}} = \frac{14325 \text{ t}}{1,65 \text{ t/m}^3}$$

$$V_{\text{sce}} = 8681,82 \text{ m}^3$$

- d) Volume de solo a ser transportado

$$V_{\text{ci}} = \frac{V_{\text{sce}}}{\phi}$$

$$V_{\text{ci}} = \frac{8681,82 \text{ m}^3}{0,6}$$

$$V_{\text{ci}} = 14469,7 \text{ m}^3$$

Cobertura intermediária Patamar 2

Parâmetros utilizados:

$$\text{Área superficial sem compactação } (A_{\text{superficial}}) = 7945,55 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura média de solo compactado } (H_{\text{s.comp}}) = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Peso específico de solo natural na área de empréstimo } (\gamma_{\text{N}}) = 1,65 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Coeficiente de empolamento } (\phi) = 0,6$$

- a) Cálculo do volume de material de cobertura intermediária

$$V_{\text{mci}} = A_{\text{superficial}} * H_{\text{s.comp}}$$

$$V_{\text{mci}} = 12910 \text{ m}^2 * 0,5 \text{ m}$$

$$V_{\text{mci}} = 6455 \text{ m}^3$$

- b) Massa de material a ser transportado

$$M_{\text{sc}} = V_{\text{mci}} * \gamma_{\text{comp}}$$

$$M_{\text{sc}} = 6455 \text{ m}^3 * 1,91 \text{ t/m}^3$$

$$M_{\text{sc}} = 12329,05 \text{ t}$$

- c) Volume de solo a ser extraído

$$V_{\text{sce}} = \frac{M_{\text{sc}}}{\gamma_{\text{N}}}$$

$$V_{\text{sce}} = \frac{12329,05 \text{ t}}{1,65 \text{ t/m}^3}$$

$$V_{\text{sce}} = 7472,15 \text{ m}^3$$

- d) Volume de solo a ser transportado

$$V_{ci} = \frac{Vsce}{\phi}$$

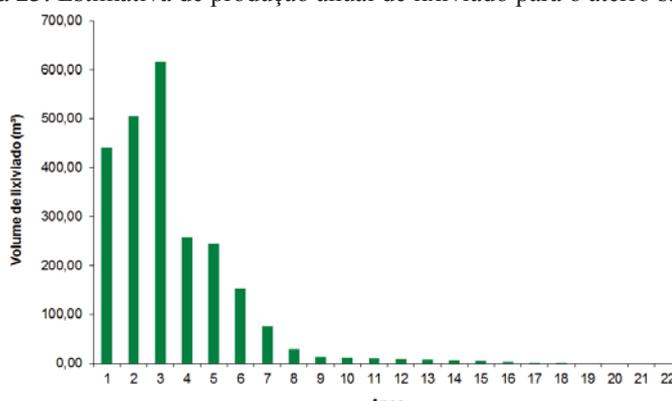
$$V_{ci} = \frac{7472,15 \text{ m}^3}{0,6}$$

$$V_{ci} = 12453,60 \text{ m}^3$$

✓ **Sistema de drenagem do lixiviado**

A estimativa da produção de lixiviado foi realizada segundo Tchobanoglous et al. (1993). Os cálculos seguiram o princípio do balanço hídrico e envolveram a quantidade de resíduos depositados por ano, a água presente nos resíduos, a quantidade de gás gerados e a infiltração no sistema de cobertura. O cálculo de lixiviado formado seguiu até a estabilização da geração de lixiviado para cada ano de disposição e preenchimento do aterro. Simulou-se o que aconteceria ao longo da vida útil de 2,2 anos prevista para cada célula. Com isso obteve-se um período de aproximadamente 18 anos até estabilizar a geração de lixiviado. A figura 20 apresenta a estimativa de produção anual de lixiviado para cada célula ao longo dos 20 anos. O valor de pico de cada célula foi obtido no final da operação da célula a uma taxa de 617 m³/ano, já a vazão de pico do aterro sanitário foi obtida no 18º ano de operação, com uma taxa de 1450 m³/dia.

Figura 23: Estimativa de produção anual de lixiviado para o aterro sanitário



➤ Dimensionamento da drenagem do lixiviado

1) Dimensionamento da base drenante para trincheira

O sistema de drenagem de lixiviado para a operação em trincheira será do tipo “colchão drenante”. Este será composto pela inclinação de 2 %, proveniente do preparo do fundo do terreno e do sistema de impermeabilização, por uma camada de 20 cm de brita 5 que atua como material granular grosseiro e um canal de drenagem de seção retangular, no centro da trincheira com tubulação perfurada de PVC diâmetro nominal de 0,65m, para coleta do lixiviado. O fundo da trincheira possuirá inclinação de 2%, formando uma bacia de drenagem para o canal central que irá conduzir o lixiviado até um tanque de acúmulo. Deste tanque estará conectada uma tubulação que estará conectada a uma bomba que recalcará e conduzirá o efluente para recirculação no aterro ou para as lagoas de tratamento.

O dimensionamento da base drenante foi realizado conforme KOERNER (1993).

a) Cálculo da vazão requerida

Vazão de pico ($Q_{requerida}$) = 617 m³/ano → 1,69 m³/dia → 1,96 . 10⁻⁵ m³/s
Fator de segurança (FS) = 1,5

$$FS = \frac{Q_{disponível}}{Q_{requerida}} \rightarrow \frac{Q_{disponível}}{1,96 \cdot 10^{-5}} = 1,5$$

$$Q_{disponível} = 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

b) Cálculo da área de drenagem

Pela equação de Darcy pode-se calcular a área requerida para drenagem.
Permeabilidade para o material drenante, brita 5 (K) = 1 m/s (DNIT, 2006)
i = gradiente hidráulico equivalente à inclinação = 0,02 (2 %)

$$Q = A \cdot k \cdot i \rightarrow 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = A \cdot 1 \text{ m/s} \cdot 0,02$$

$$A = 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Espessura da base drenante = 20 cm
Comprimento do canal de drenagem da célula (w): 139,34 m

$$A = w \cdot t \rightarrow t = A/w \rightarrow 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / 139,34 \text{ m} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Conclusão: O valor encontrado é muito inferior ao utilizado para espessura da camada drenante (0,2 m), o que garante o dimensionamento adequado.

c) Espaçamento para tubos de coleta (S):

Cálculo do coeficiente adimensional (C):
 $C = Q/k \rightarrow 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} / 1 \text{ m/s} \rightarrow 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$

Hc = altura máxima do lixiviado entre tubos adjacentes => dobro da espessura drenante = 0,4 m
 α = inclinação da camada drenante entre tubos adjacentes = 1,14 ° (resultante da inclinação de 2 %)

$$S = \frac{2 \cdot H_c}{\left(\frac{(\tan \alpha)^2}{C} + 1 - \frac{\tan \alpha}{C} \times \sqrt{(\tan \alpha)^2 + C} \right) \times \sqrt{C}}$$

$$S = \frac{2 \cdot 0,4}{\left(\frac{(\tan 1,14)^2}{2,93 \cdot 10^{-5}} + 1 - \frac{\tan 1,14}{2,93 \cdot 10^{-5}} \times \sqrt{(\tan 1,14)^2 + 2,93 \cdot 10^{-5}} \right) \times \sqrt{2,93 \cdot 10^{-5}}}$$

$$S = 154,4 \text{ m}$$

Será necessário apenas 1 tubo coletor de lixiviado.

d) Diâmetro do tubo coletor

Para tubo de seção cheia – Raio hidráulico (Rh) = D/4
 $n = 0,01$ (coeficiente de rugosidade de Manning, segundo Daniel, 1993)
 Inclinação do tubo (I) = 0,02 (2%)

$$D = \sqrt[2,66]{\frac{9,986 \times Q \times n}{\pi \times I^{0,5}}}$$

$$D = \sqrt[2,66]{\frac{9,986 \times 2,07 \cdot 10^{-5} \times 0,01}{\pi \times 0,02^{0,5}}} = 0,009 \text{ m}$$

$$D = 9 \text{ mm}$$

Será adotado tubulação de diâmetro nominal comercial de 0,65 m, com diâmetro interno (D0) de 0,58 m +/- 1 mm e diâmetro externo de 0,68 m +/- 1 mm, com espessura de 10 mm e furos de 5 mm. Para fins de aquisição o comprimento necessário de tubulação será acrescido por um fator de segurança de 10 %, ou seja, 150 m de tubulação para drenagem do lixiviado.

e) Volume de material necessário

$$\text{Área de fundo (A}_{\text{fundo}}) = 12448,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total a ser revestida (A}_{\text{revestida}}) = 12448 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura da base drenante (H}_{\text{drenante}}) = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Altura do canal de drenagem (H}_{\text{canal.drenagem}}) = 1 \text{ m}$$

$$\text{Largura do canal de drenagem (B}_{\text{canal.drenagem}}) = 1 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento do canal de drenagem (w)} = 139,34 \text{ m}$$

$$V_{\text{canal.drenagem}} = H_{\text{canal.drenagem}} \times B_{\text{canal.drenagem}} \times w = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 139,34 \text{ m} = 139,34 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{drenagem.colchão}} = A_{\text{revestida}} \times H_{\text{drenante}} = 12448 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m} = 2489,6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{material.drenagem.trincheira}} = V_{\text{canal.drenagem}} + V_{\text{drenagem.colchão}} = 139,34 \text{ m}^3 + 2489,6 \text{ m}^3 = 2629 \text{ m}^3$$

Volume total de brita 5 para drenagem de lixiviado na trincheira = 2629 m³. Para aquisição o volume de material será acrescentado de um fator de segurança de 10 %:
 2629 m³ x 1,1 = 2892 m³.

➤ Dimensionamento em relação à colmatação dos materiais

O material escolhido para dreno será 20 cm de Brita nº 5. Como não haverá material filtrante e os resíduos serão diretamente dispostos sobre o colchão drenante apenas será feita verificação da colmatação em relação à tubulação. Para brita 5 utilizou-se diâmetro mínimo e máximo das partículas, segundo DNIT (2006).

Brita 5 □ □ Dmínimo = 75 mm; Dmáximo = 100 mm; Dmedio = 87,5 mm

O material granular para drenagem será composto por brita 5. As tubulações para o dreno da trincheira serão perfuradas para drenagem e condução do lixiviado e serão de PVC.

2) Dimensionamento da drenagem para operação em área

A drenagem nas células em operação em área será realizada através de canais de drenagem com seção retangular composto apenas por material granular e sem tubulação, que terão largura de fundo de 0,5 m e altura de 0,25 m. Serão construídos 2 drenos principais e drenos secundários, formando uma drenagem do tipo espinha de peixe. Estes drenos estarão conectados com as tubulações de drenagem de gás e irão direcionar o fluxo ao dreno central de gás e à base drenante da trincheira.

a) Espaçamento para tubos de coleta (S):

Cálculo do coeficiente adimensional (C):

$$C = Q/k \rightarrow 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} / 1\text{m/s} \rightarrow 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Hc = altura máxima do lixiviado entre tubos adjacentes => dobro da espessura drenante = 0,2 m

α = inclinação da camada drenante entre tubos adjacentes = 0,57° (resultante da inclinação de 1%)

$$S = \frac{2 \cdot H_c}{\left(\frac{(\tan \alpha)^2}{C} + 1 - \frac{\tan \alpha}{C} \times \sqrt{(\tan \alpha)^2 + C}\right) \times \sqrt{C}}$$

$$S = \frac{2 \cdot 0,2}{\left(\frac{(\tan 0,57)^2}{2,93 \cdot 10^{-5}} + 1 - \frac{\tan 0,57}{2,93 \cdot 10^{-5}} \times \sqrt{(\tan 0,57)^2 + 2,93 \cdot 10^{-5}}\right) \times \sqrt{2,93 \cdot 10^{-5}}}$$

$$S = 75,97 \text{ m}$$

A distribuição dos canais de drenagem será realizada de modo que o espaçamento entre os canais principais e os secundários seja sempre inferior a 75,97m.

b) Volume de material necessário para drenagem no início do primeiro patamar

Altura do canal de drenagem ($H_{\text{canal.drenagem}}$) = 0,25 m

Largura do canal de drenagem ($B_{\text{canal.drenagem}}$) = 0,5 m

Comprimento linear total dos canais de drenagem (w) = 1033 m

$$V_{\text{material.drenagem.patamar1}} = H_{\text{canal.drenagem}} \times B_{\text{canal.drenagem}} \times w = 0,25 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 1033 \text{ m} = 129,12 \text{ m}^3$$

Para aquisição o volume será acrescentando em um fator de segurança de 10%:

$$129,12 \text{ m}^3 \times 1,1 = 142 \text{ m}^3$$

➤ Dimensionamento estrutural do tanque de acúmulo de lixiviado e casa das bombas

O tanque de acúmulo de lixiviado será construído externo à célula e estará localizado no mesmo nível do fundo da trincheira. Duas bombas submersas irão ser instaladas no interior para bombeamento do lixiviado para a recirculação da trincheira ou para as lagoas de tratamento.

a) Parametros utilizados:

Vazão de pico de lixiviado ($Q_{\text{requerida}}$) = 1,20 m³/dia

Tempo de detenção hidráulica máximo de lixiviado (TDH) = 1 dia

Altura da caixa de acúmulo ($H_{\text{caixa.acúmulo}}$) = 1,5 m

b) Volume da caixa de acúmulo:

$$V_{\text{caixa.acúmulo}} = \text{TDH} \times Q_{\text{requerida}} = 1 \text{ dia} \times 1,69 \text{ m}^3/\text{dia} = 1,69 \text{ m}^3$$

c) Área da caixa de acúmulo ($A_{\text{caixa.acúmulo}}$) e dimensões

$$A_{\text{caixa.acúmulo}} = \frac{V_{\text{caixa de acúmulo}}}{H_{\text{caixa de acúmulo}}} = \frac{1,69 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} = 1,17 \text{ m}^2$$

O tanque de acúmulo de lixiviado possuirá dimensões 1,5 m x 1,5 m em concreto armado. O concreto utilizado deverá ter resistência característica de 20 MPa e na execução deverá ser utilizado aditivo de impermeabilização em sua composição.

A casa de bombas será construída na superfície do terreno com as dimensões de 1,5 m x 3 m de alvenaria em tijolo a vista, com uma janela e uma porta. Ela terá função de proteção ao acesso às bombas do tanque possuindo um vazio interno de acesso. A cobertura da casa será de telhas de fibro-cimento 6 mm.

O bombeamento para recirculação será realizado através de recalque de efluente do tanque de acúmulo de lixiviado localizado no mesmo nível de fundo da trincheira. Paralelamente o bombeamento do excedente será realizado em direção às lagoas de tratamento de lixiviado. Em dias de chuva, principalmente na operação em trincheira, o lixiviado deverá obrigatoriamente, ser bombeado às lagoas de tratamento.

A bomba que será utilizada será do tipo submersa. Será dimensionada uma bomba capaz de suprir a capacidade de bombeamento de lixiviado para recirculação e para as lagoas de tratamento, além de suprir o bombeamento para operações emergenciais em que devido ao excesso de chuva deverá possuir potencia e vazão suficientes para bombear o efluente até as lagoas de tratamento.

A bomba para realizar este trabalho foi indicada de acordo com pesquisa em outros projetos similares. A bomba a ser indicada será uma bomba submersa centrífuga multiestágio para bombeamento em grandes profundidades, com as seguintes especificações técnicas:

- a) Potencia de 0,5 cv;
- b) Altura manométrica de recalque de 50 metros;
- c) Vazão máxima de bombeamento de 1,7 m³/h
- d) Diâmetro do bocal de saída e tubulação de 1 1/4" ou 34,75 mm.

Deverá ser feita a aquisição de duas bombas. O objetivo é garantir o funcionamento do sistema contínuo em caso de falhas e também utilizar uma para o bombeamento de recirculação e uma para o bombeamento do lixiviado.

Para remoção do lixiviado do tanque de acúmulo partirá uma tubulação de PVC do bocal de saída da bomba até a superfície do terreno em que haverá uma derivação e conexão com mangueiras para envio de lixiviado para recirculação ou para o tanque de equalização, para tratamento nas lagoas. O comprimento estimado de aquisição de mangueira para a recirculação será de 215 m e para envio ao tratamento será de 250 m.

✓ Sistema de drenagem de gás

O sistema de drenagem de gás será disposto sobre a rede de drenagem de lixiviado e atravessará o aterro de forma vertical até a superfície. Os drenos serão constituídos por tubos de drenagem de gás de concreto perfurados e envoltos externa e internamente por brita 5 caracterizada por possuir granulometria variando de 7,5 a 10 cm (DNIT, 2006).

A estimativa da produção de gás foi realizada segundo Tchobanoglous, Theisen e Vigil (1993). A partir da aplicação desta metodologia pôde-se estimar que a taxa máxima de produção de gás será de 0,19 m³/(kg.ano) e a produção total de gás ao longo da vida útil de 2 anos é de 0,47 m³/kg de resíduo disposto.

O dimensionamento da tubulação de drenagem foi realizado conforme KOERNER (1993).

- a) Cálculo da Vazão disponível (Q_{disponível}):

Vazão de pico anual (Q_{pico.anual})

Taxa de produção anual de gás (taxa_{gás}) = 0,19 m³/ano

Produção Anual de resíduo (Produção_{rs.anual}) = 59.560,26 t/ano

$$Q_{\text{pico.anual}} = \text{taxa}_{\text{gás}} \times \text{Produção}_{\text{rs.anual}}$$

$$Q_{\text{pico.anual}} = 0,19 \text{ m}^3/\text{ano} \times 59560,26 \text{ t/ano} \times 1000\text{kg/t} \times 1\text{ano}/(365\text{d} \times 24\text{h} \times 3600\text{s}) = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$FS = 1,5$$

$$FS = \frac{Q_{\text{disponível}}}{Q_{\text{requerida}}} \Rightarrow \frac{Q_{\text{disponível}}}{0,36 \text{ m}^3/\text{s}} \Rightarrow Q_{\text{disponível}} = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

- b) Cálculo da área de drenagem

$$Q_{\text{pico}} = 0,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 0,1 \text{ m/s (adotado Ensinas, 2003)}$$

$$Q_{\text{disponível}} = A_{\text{drenagem}} \cdot v \Rightarrow 0,54 \text{ m}^3/\text{s} = A_{\text{drenagem}} \cdot 0,1 \text{ m/s}$$

$$A_{\text{drenagem}} = 5,4 \text{ m}^2$$

- c) Número de drenos verticais

Adotando tubulações de drenagem de diâmetro nominal de 800 mm, a área de drenagem de cada tubulação (dreno) será de $0,50 \text{ m}^2$. A tubulação será de concreto e perfurada, comprimento de 1 metro e com diâmetro dos furos de 5 mm.

$$N = \frac{A_{\text{drenagem}}}{A_{\text{dreno}}} = \frac{5,4 \text{ m}^2}{0,50 \text{ m}^2} = 10,8 = 11 \text{ drenos}$$

Os drenos partem da área de fundo da trincheira, as tubulações devem ser alocadas de modo que a distribuição seja equivalente e homogênea. Serão necessários em torno de 250 tubos para o sistema de drenagem de gás em cada célula.

d) Volume de material para drenagem de gás

Diâmetro externo de cada tubo de drenagem (D) = 960 mm;

Comprimento da tubulação ($L_{\text{tubulação}}$) = 1 metro

Volume de cada tubo de drenagem ($V_{\text{tubo.drenagem.gás}}$)

Espessura de brita = 0,2 m

$$V_{\text{tubo.drenagem.gás}} = \frac{\pi * D^2}{4} * L_{\text{tubulação}} \implies = \frac{\pi * 0,96^2}{4} * 1 \text{ m} = 0,72 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{externo}} = \frac{\pi * D^2}{4} * L_{\text{tubulação}} \implies = \frac{\pi * 1,36^2}{4} * 1 \text{ m} = 1,45 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{materialdrenagem}} = V_{\text{externo}} - V_{\text{tubo.drenagem.gás}} = 1,45 \text{ m}^3 - 0,72 \text{ m}^3 = 0,73 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{material}} = A_{\text{tubo}} * N_{\text{tubulações}}$$

$$V_{\text{material trincheira}} = 0,73 \text{ m}^3 * 783 = 571,60 \text{ m}^3$$

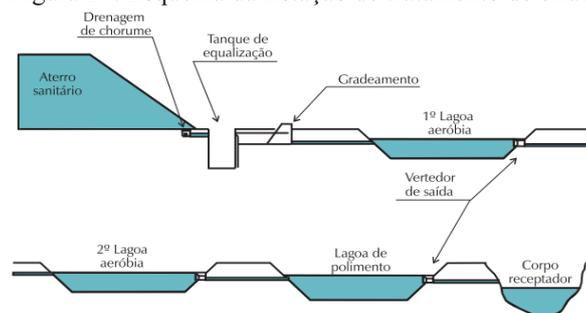
$$V_{\text{material area}} = 0,73 \text{ m}^3 * 1468 = 1071,64 \text{ m}^3$$

Para transformar o metano coletado em CO_2 será instalado um sistema de queima em flares. A extremidade superior do dreno será provida de um tubo de concreto de 800 mm, preenchido com uma camada de concreto de 0,50 m para selamento, através da qual penetra um tubo de aço galvanizado de 50mm para conexão com o tubo de PVC inferior. Na extremidade do tubo de aço será instalado um queimador, também de aço galvanizado.

✓ **Sistema de tratamento de líquidos e percolados**

A estação de tratamento de efluentes foi dimensionada de acordo com o tratamento indicado pelo Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (IBAM, 2001). O tratamento consistirá de um tanque de equalização com conjunto de aeração superficial para homogeneização do efluente, peneira para retenção dos sólidos suspensos, primeira lagoa aeróbia com agitação mecânica, segunda lagoa aeróbia, ambas com tempo de detenção (TDH) de 25 dias, e lagoa de polimento com TDH de 7 dias. O formato das lagoas será em tronco piramidal. Por fim, haverá um leito de secagem de lodo. O esquema do tratamento está representado na Figura 241.

Figura 24: Esquema da Estação de tratamento de efluentes



Fonte: IBAM, 2001.

- Dimensionamento da ETE

A ETE será dimensionada para a vazão de pico considerando a operação das 9 células do aterro sanitário. A vazão máxima será atingida no 18º ano de operação do aterro e será de aproximadamente 4 m³/dia.

a) Tubulação de entrada

$$Q = 4,63 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 0,6 \text{ m/s (adotada)}$$

$$Q = A \cdot v \Rightarrow 4,63 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = A \cdot 0,6 \text{ m/s} \Rightarrow A = 7,72 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A = (\pi \cdot d^2)/4 \Rightarrow 7,72 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = (\pi \cdot d^2)/4$$

$$d = 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow 1 \text{ mm}$$

Será utilizada tubo PVC de boa qualidade de 50 mm.

b) Gradeamento

No sistema de entrada será instalada uma grade fixa e um cesto em aço Inoxidável AISI 304 removível com abertura de 25 mm e 20 mm respectivamente, com o objetivo de reter sólidos de grande dimensão que poderiam causar problemas no sistema de bombeamento e nas tubulações, o tamanho de acordo com o fabricante que consiga suportar uma vazão de $4,63 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

c) Medidor de vazão

Após o sistema de gradeamento será instalado um medidor de fluxo, representado por uma calha parshall. O dispositivo será composto também de uma régua para medida da vazão.

d) Equalizador

Tanque de concreto armado Fck 20MPa e armadura em aço CA-50 com impermeabilização com 2 demãos de impermeabilizante semi-flexível nas proporções mínimas recomendadas pelo fabricante.

As espessuras mínima de parede serão:

Paredes verticais – 15 cm

Teto – 10 cm

Fundo – 10 cm

$$\text{TDH} = 24\text{h}$$

$$\text{Vazão} = 4 \text{ m}^3/\text{d}$$

Dimensões do equalizador:

$$A = 6 \text{ m}^3$$

$$\text{Altura} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Largura} = 2 \text{ m}$$

e) Lagoa aeróbia 1

Formato: Trapezoidal

$$\text{TDH} = 24 \text{ d}$$

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V = 4 \text{ m}^3/\text{dia} \cdot 24 \text{ d}$$

$$V_{\text{efluente}} = 96 \text{ m}^3$$

Dimensões adotadas para a lagoa:

$$V_{\text{efluente}} = 99 \text{ m}^3$$

$$\text{Altura: } 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Largura: } 13 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento: } 7 \text{ m}$$

$$\text{Inclinação: } 1:1,5$$

$$\begin{array}{ccc} 1,5 & \text{—————} & 1,5 \\ 1 & \text{—————} & x \end{array}$$

$$X = 1 \text{ m}$$

Área superficial :

$$A = 13 \text{ m} * 7 \text{ m} = 91 \text{ m}^2$$

Comprimento de fundo

$$CF = 7 \text{ m} - (2 * 1) = 5 \text{ m}$$

Largura de fundo

$$LF = 13 \text{ m} - (2 * 1) = 11 \text{ m}$$

Volume da lagoa

$$VC = \text{comprimento médio} * \text{largura média} * \text{altura}$$

$$V = ((13 \text{ m} + 11 \text{ m})/2) * ((7 \text{ m} + 5 \text{ m})/2) * 1,5 \text{ m}$$

$$VC = 108 \text{ m}^3$$

A lagoa aeróbia 1 será escavada, compactada e revestida com geomembrana de 1,5 mm, será necessário aproximadamente 200 m² de geomembrana. Para aumentar a aeração será instalado 2 aeradores.

- f) Lagoa aeróbia 2
 TDH = 24 d
 Q = 4 m³/dia

A lagoa anaeróbia 2 terá as mesmas dimensões da lagoa anaeróbia 1, será escavada, compactada e revestida com geomembrana de 1,5 mm. Será necessário aproximadamente 200 m² de geomembrana.

- g) Lagoa de Polimento
 Formato: Trapezoidal
 TDH = 7 d
 Q = 4 m³/dia
 V_{efluente} = 28 m³
 Dimensões adotadas para a lagoa:
 Altura: 1,7 m
 Largura: 8 m
 Comprimento: 4 m
 Inclinação: 1:1,5
- | | | |
|-----|-------|-----|
| 1,5 | _____ | 1,7 |
| 1 | _____ | x |
- $$X = 1,13 \text{ m}$$

Área superficial :

$$A = 8 \text{ m} * 4 \text{ m} = 32 \text{ m}^2$$

Comprimento de fundo

$$CF = 4 \text{ m} - (2 * 1,13) = 1,74 \text{ m}$$

Largura de fundo

$$LF = 8 \text{ m} - (2 * 1,13) = 5,74 \text{ m}$$

Volume da lagoa

$$VC = \text{comprimento médio} * \text{largura média} * \text{altura}$$

$$V = ((8 \text{ m} + 5,74 \text{ m})/2) * ((4 \text{ m} + 1,74 \text{ m})/2) * 1,7 \text{ m}$$

$$VC = 33 \text{ m}^3$$

A lagoa de polimento será escavada, compactada e revestida com geomembrana de 1,5 mm. Será necessário aproximadamente 120 m² de geomembrana.

APÊNDICE B**Orçamento Aterro Sanitário – Cenário II**

Etapas		Quantidade	Unidade	Preço material (R\$)	Preço mão de obra (R\$)	Total (R\$)
1. Projetos						
1.1	Projeto básico e executivo	1	Un.	0,00	200.000,00	200.000,00
Total - Projetos						
2. Licenciamentos						
2.1	Licenciamento ambiental - Consultoria	1	Un.	0,00	40.000,00	40.000,00
2.2	Licença prévia -FEPAM	1	Un.	91.393,75	0,00	91.393,75
2.3	EIA/RIMA	1	Un.	0,00	50.000,00	50.000,00
2.4	Licença de instalação - FEPAM	1	Un.	83.560,00	0,00	83.560,00
2.5	Licença de operação - FEPAM	1	Un.	83.560,00	0,00	83.560,00
2.6	Sondagens no solo	1	Un.	0,00	15.000,00	15.000,00
Total - Licenciamentos						
3. Infraestrutura						
3.1	Aquisição de terreno	30	há	55.000,00	0,00	1.650.000,00
3.2	Regularização e registro do terreno	1	vb	30.000,00	0,00	30.000,00
3.3	Limpeza mecanizada de terreno com remoção de camada vegetal	300000	m ²	0,00	0,46	138.000,00
3.4	Instalação de rede trifásica MT - energia	1	vb	150.000,00	0,00	150.000,00
3.5	Instalação provisória de unidade sanitária	1	vb	416,39	292,18	708,57
3.6	Placa de obra	1	m ²	479,20	27,88	507,08
3.7	Topografia e locações de implantação	300000	m ²	0,00	0,24	72.000,00
3.8	Barração de obra para refeitório e alojamento	40	m ²	284,00	0,00	11.360,00
3.9	Instalação de poço tubular	1	Un.	15.000,00	0,00	15.000,00
3.10	Cercamento (tela 2")	2200	m	37,07	32,72	153.538,00
3.11	Portaria/portão/acesso	1	vb	3.000,00	1.000,00	4.000,00
3.12	Barreira vegetal	6000	md	1,20	3,50	28.200,00
3.13	Reservatório de água e incêndio	1	vb	13.000,00	2.000,00	15.000,00
3.14	Escritório/guarita/vestiário/refeitório	400	m ²	417,53	218,72	254.500,00
3.15	Móveis, equipamentos e utensílios - escritório/refeitório/guarita	1	vb	60.000,00	0,00	60.000,00
3.16	Calha em concreto simples em meia cana	500	m	18,00	2,24	10.120,00
3.17	Poço de visita para drenagem pluvial	1	vb	800,00	271,34	1.071,34

3.18 Galpão aberto pré-moldado - Depósito	800	m ²	175,00	10,00	148.000,00
3.19 Pavimentação com pedra irregular	2300	m ²	45,51	19,82	150.259,00
3.20 Sistema de vigilância e segurança	1	vb	30.000,00	0,00	30.000,00
3.21 Controle de qualidade de obras e insumos	1	vb	10.000,00	0,00	10.000,00
3.22 Instalação de poços de monitoramento	6	Un.	4.000,00	1.000,00	30.000,00
Total - Infraestrutura					2.962.263,99

4 Operação em trincheira

4.1 Escavação mecânica, carga e transporte, mat. 1 categoria	1080000	m ³	6,21	1,66	8.499.600,00
4.2 Sistema de impermeabilização					
4.2.1 Carregamento e transporte do solo a ser compactado	171194,4	m ³	1,47	0,39	318.421,58
4.2.2 Compactação	89630,1	m ³	2,14	0,57	242.897,57
4.2.3 Geomembrana	74700	m ²	15,90	1,85	1.325.925,00
4.2.4 Geotêxtil	74700	m ²	3,11	0,90	299.547,00
4.3 Sistema de drenagem de lixiviado					
4.3.1 Dreno com brita 5	26028	m ³	78,00	1,34	2.065.061,52
4.3.2 Escavação mecânica dos drenos	2250	m ³	6,10	1,74	17.640,00
4.3.3 Tubo PVC ranhurado drenagem 100mm	1350	m	23,61	2,04	34.627,50
4.3.4 Bomba submersível	18	Un.	1.350,00	13,08	24.535,44
4.3.5 Conexões, peças componentes, tubulações e mangueiras	9	Un.	500,00	2,50	4.522,50
4.3.6 Concreto armado fck20MPa c/ formas	31,5	m ³	1.254,71	744,06	62.961,26
4.3.7 Cobertura com telha fibrocimento	54	m ²	15,75	7,42	1.251,18
4.3.8 Impermeabilização	20,25	m ²	6,64	11,88	375,03
4.3.9 Janela	9	Un.	273,48	116,40	3.508,92
4.3.10 Porta	9	Un.	421,82	44,98	4.201,20
4.3.11 Alvenaria tijolo a vista 15 cm	191,25	m ²	60,90	65,63	24.198,86
4.3.12 Estrutura de madeira para cobertura	45	m ²	23,60	1,80	1.143,00
4.3.13 Piso	40,5	m ²	23,74	32,53	2.278,94
4.4 Sistema de drenagem de gás					

4.4.1	Forn. e assentamento tubo concreto armado furado 800 mm	783	m	244,71	76,54	251.538,75
4.4.2	Enrocamento com brita	573	m ³	73,60	17,83	52.389,39
4.5	Sistema de cobertura superficial					
4.5.1	Sistema de cobertura diária					
4.5.1.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	257532,03	m ³	0,00	0,00	0,00
4.5.2	Sistema de cobertura intermediária					
4.5.2.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	78136,38	m ³	0,00	0,00	0,00
Total - Operação em trincheira						
13.236.624,64						
5	Operação em área					
5.1	Escavação mecânica - taludes	90000	m ³	6,21	1,66	708.300,00
5.2	Sistema de drenagem de lixiviado					
5.2.1	Dreno com brita	1278	m ³	78,00	1,34	101.396,52
5.2.2	Escavação mecânica dos drenos	1688	m ³	6,10	1,74	13.233,92
5.3	Sistema de drenagem de gás					
5.3.1	Forn. E assentamento tubo concreto armado furado 1 m	1468	m	244,71	76,54	471.595,00
5.3.2	Enrocamento com brita	1072	m ³	73,60	17,83	98.012,96
5.3.3	Concreto para selagem dos drenos	55	m ³	1.202,00	801,14	110.172,70
5.3.4	Flares	99	Un.	800,00	200,00	99.000,00
5.4.1	Sistema de cobertura diária					
5.4.1.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	482843,34	m ³	0,00	0,00	0,00
5.4.2	Sistema de cobertura intermediária					
5.4.2.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	67249,35	m ³	0,00	0,00	0,00
5.4.3	Sistema de cobertura final					
5.4.3.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	82278	m ³	0,00	0,00	0,00
Total - Operação em área						
1.601.711,10						
6	Sistema de drenagem das águas superficiais					
6.1	Abertura e escavação dos drenos	2250	m ³	6,10	1,74	17.640,00

6.2 Brita 2 para preenchimento dos canais de drenagem superficial
 6.3 Rede de captação + descidas em gabião
 6.4 Brita 5 para preenchimento da bacia de sedimentação

4680	m ³	42,00	1,34	202.831,20
1	vb	20.000,00	2.000,00	22.000,00
112	m ³	78,00	1,34	8.886,08
Total - Sistema de drenagem das águas superficiais				251.357,28

7 Sistema de tratamento de líquidos e percolados -ETE

7.1 Nivelamento do terreno
 7.2 Instalação de água
 7.3 Instalação de luz
 7.4 Preparação de valas e caixas de inspeção das tubulações
 7.5 Tubulação de chegada do efluente -Tubos PVC 50 mm
 7.6 Gradeamento

5	h	158,88	0,00	794,40
1	vb	500,00	1.500,00	2.000,00
1	vb	1.500,00	800,00	2.300,00
60	m ³	0,00	21,45	1.287,00
250	m	22,50	1,74	6.060,00

7.6.1 Piso para instalação da grade

6	m ²	20,92	8,55	176,82
---	----------------	-------	------	--------

7.6.1 Suporte para instalação da grade

1	Un.	250,00	100,00	350,00
---	-----	--------	--------	--------

7.6.1 Grade Fixa

1	Un.	2.500,00	500,00	3.000,00
---	-----	----------	--------	----------

7.7 Medidor de vazão

1	Un.	250,00	100,00	350,00
---	-----	--------	--------	--------

7.7.1 Suporte para instalação

1	Un.	400,00	200,00	600,00
---	-----	--------	--------	--------

7.7.2 Calha Paschall

1	Un.	400,00	200,00	600,00
---	-----	--------	--------	--------

7.8 Equalizador

7	m ³	6,21	1,66	55,09
---	----------------	------	------	-------

7.8.1 Escavação mecânica, carga e transporte, mat. 1 categoria

750	kg	5,20	0,80	4.500,00
-----	----	------	------	----------

7.8.2 Armadura CA 50 + M.O corte e dobra

75	m ²	22,20	16,30	2.887,50
----	----------------	-------	-------	----------

7.8.3 Formas de chapa resinada

19	m ²	12,50	10,10	429,40
----	----------------	-------	-------	--------

7.8.4 Lastro de concreto magro 9MPa espessura 8 cm

2,6	m ³	298,58	203,96	1.306,60
-----	----------------	--------	--------	----------

7.8.5 Concreto 20 Mpa

4	m ²	6,64	11,88	74,08
---	----------------	------	-------	-------

7.8.6 Impermeabilização com pintura asfáltica

1	Un.	1.200,00	200,00	1.400,00
---	-----	----------	--------	----------

7.8.7 Aerador

1	Un.	1.200,00	200,00	1.400,00
---	-----	----------	--------	----------

7.9 Lagoa aeróbia 1

136,5	m ³	6,21	1,66	1.074,26
-------	----------------	------	------	----------

7.9.1 Escavação mecânica, carga e transporte, mat. 1 categoria

72,8	m ³	2,14	0,57	197,29
------	----------------	------	------	--------

7.9.2 Compactação

200	m ²	15,90	1,85	3.550,00
-----	----------------	-------	------	----------

7.9.3 Geomembrana

1	vb	150,00	200,00	350,00
---	----	--------	--------	--------

7.9.4 Tubulação

1	vb	150,00	200,00	350,00
---	----	--------	--------	--------

7.9.5 Aeradores

2	Un.	1.200,00	200,00	2.800,00
---	-----	----------	--------	----------

APÊNDICE C

**Memorial técnico e descritivo Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos -
CMRSU – Cenário III**

Memorial técnico e descritivo da Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos - CMRSU

A estimativa de geração mensal de RSU no município de Passo Fundo é de aproximadamente 4778 t/mês. A CMRSU foi dimensionada conforme dados abaixo:

Processamento da Usina de Triagem = 5300 t/mês

Processamento da Usina de Compostagem = 850 t/mês

Aterro sanitário com vida útil de 20 anos = 778.865.00

Equipamentos e instalações de projeto da Usina de Triagem e Compostagem

O fluxograma de operação prevê que os resíduos sólidos urbanos serão descarregados em um pátio de recepção, na moega receptora, que deverá ter declividade e paredes afunilando para direção do fosso das esteiras. Uma esteira talisca ficará direcionando os resíduos para dentro dos fossos, no qual duas esteiras de seleção com inclinação de 35° que saem de dentro do fosso transportarão os resíduos para serem segregados.

As instalações atuais (máquinas e equipamentos) serão transferidas para a nova unidade, sendo necessário haver ajustes e instalar um novo sistema para ampliar a produtividade. O custo estimado para desmontar, transportar e ajustar os equipamentos para o novo local é de aproximadamente R\$ 80.000,00. Portanto, o presente estudo considera duas linhas de produção, a atual que será reinstalada e adaptada na CMRSU e uma nova linha.

Nas duas esteiras principais ficarão os trabalhadores que farão a triagem dos resíduos. Cada trabalhador ficará responsável pela separação de um tipo de resíduo, sendo que ao lado de cada trabalhador terá uma baia ou bag para armazená-los. Os resíduos serão separados conforme viabilidade de comercialização.

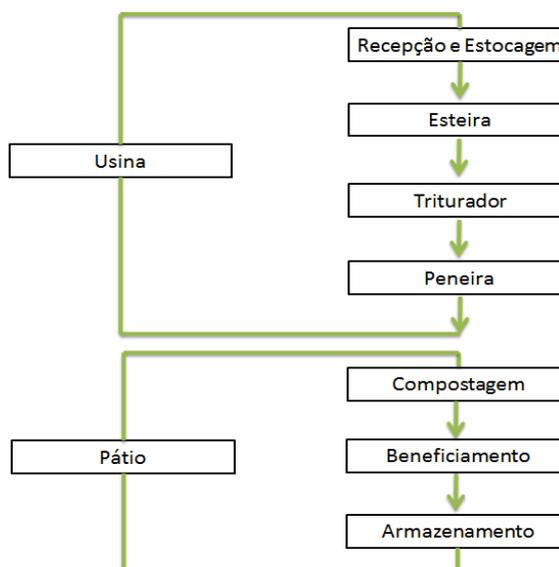
Por fim, os resíduos passarão por uma esteira eletromagnética. Os resíduos serão encaminhados através de uma esteira para seleção dos orgânicos que vão para compostagem e dos rejeitos. Os rejeitos são encaminhados para o aterro e os orgânicos para o pátio de compostagem.

Os resíduos recicláveis separados nos bags vão para as prensas para a confecção dos fardos. Além dos equipamentos já existentes, serão adquiridos outros para que a produção seja aumentada. Os novos equipamentos necessários na Unidade de Triagem e Compostagem, são:

- 01 – Sistema de classificação de resíduos: Esteira de alimentação, esteira de triagem, esteira de saída de material e quadro de comando elétrico;
- 02 – Prensa para alumínio;
- 03 – Prensa vertical enfardadeira para papel / papelão / plásticos / PET;
- 02 – Balança Eletrônica;
- 03 – Elevador de cargas;
- 01 – Carreta ou caçamba basculante forrageira hidráulica;
- 01 - Tulha metálica dosadora;
- 01 - Esteira transportadora e elevatória;
- 01 – Triturador;
- 01 - Peneira rotativa;
- 02 - Ensacadora/prensa hidráulica;
- 02 - Balança eletrônica;
- 01 – Empilhadeira;
- 02 - Carrinho de fardos;
- 02 - Carriola para transporte de produtos;
- 01 - Esteira elevatória taliscada.

O volume total de resíduos a serem compostados ficará em torno de 43 t/dia. O fluxograma do processo a ser utilizado está representado na Figura 25.

Figura 25: Fluxograma do processo de compostagem em pátio



Fonte: Adaptado Kiehl (1985).

O manejo da leira deverá ser feito para se garantir as condições ideais de temperatura e umidade da pilha, fazendo com que a compostagem ocorra eficientemente em cada fase descrita. O revolvimento proposto é com equipamento específico, um compostador, para que aja incorporação de oxigênio dentro da pilha, dissipação de calor e excesso de umidade e aceleração e acelerar o processo de compostagem.

- Dimensionamento da Usina de Compostagem (UCO)

Recepção e estocagem

Unidade concebida para abrigar o triturador de galhos e folhas dos resíduos arbóreos e para a peneira do composto maturado. Esta unidade deverá possuir uma área específica para a estocagem do composto peneirado por um período de 5 dias.

- Dimensionamento do Pátio de Compostagem

O pátio de leiras de uma usina deverá ser plano e bem compactado, pavimentado, de preferência com asfalto, e possuir declividade suficiente (2%) para escoamento das águas pluviais e do chorume produzido durante a compostagem. Esses efluentes, que em leiras bem manejadas são produzidos em pequena quantidade, devem ser recirculados nas próprias leiras quando necessário e o restante deve receber tratamento sanitário, sendo encaminhados para o sistema de tratamento de efluentes da Central.

Será projetado um pátio de compostagem com base impermeabilizada e em condições de receber os resíduos orgânicos por um período de 120 dias. Este pátio possuirá área para montagem das leiras e acessos internos para os veículos e máquinas circularem.

Segundo Termo de Referência Técnico (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011) para dimensionamento do pátio de compostagem, deverá ser concebido um sistema considerando que a massa específica aparente dos resíduos orgânicos a serem processados, no estado solto, deverá ser considerada 0,5 t/m³.

O volume do material foi obtido através da equação abaixo:

O volume do material foi obtido através da equação abaixo:

$$\mu = m / V$$

Sendo que:

μ = massa específica aparente dos resíduos orgânicos (t/m³)

M= Massa (kg)

V= Volume (m³)

Dessa forma temos:

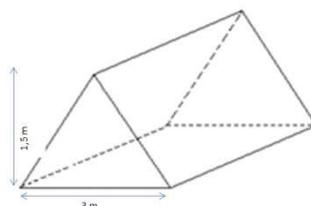
$$V = (830 \text{ t}) / (0,5 \text{ t/m}^3)$$

$$V = 1.660 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Sendo assim, o volume de resíduos a serem compostados diariamente é de aproximadamente 75,45 m³/d.

O dimensionamento do pátio de compostagem foi realizado segundo Oliveira, Lima e Cajazeira (2004). No dimensionamento do pátio, deverá ser previsto espaço entre as leiras para circulação de caminhões, pás carregadeiras ou máquinas de revolvimento. E também áreas para estocagem do composto orgânico pronto. As leiras para compostagem deverão ter forma piramidal ou cônica. O tamanho da pilha é importante para se criar às condições adequadas de temperatura, acelerar a compostagem e facilitar o manejo. A leira deverá ter 1,5 metros de altura e 3 metros de largura, assim como demonstra a Figura 26: Dimensões da pilha de compostagem. Na localização, será previsto um espaço para revolvimento do composto, 1,5 m em cada lado da pilha. Serão construídas também valas de escoamento para águas de chuva ao redor da pilha.

Figura 26: Dimensões da pilha de compostagem



a) Área da Seção Reta:

$$AS = (\text{Largura} \cdot \text{altura}) / 2$$

$$AS = (3\text{m} \cdot 1,5\text{m}) / 2$$

$$AS = 2,25 \text{ m}^2$$

b) Volume da Leira = 75,45 m³ (volume diário)

c) Comprimento da leira

$$L = V / AS$$

$$L = 75,45 \text{ m}^3 / 2,25 \text{ m}^2$$

$$L = 33,53\text{m}$$

d) Cálculo da área do pátio de compostagem:

- Área da base da leira (Ab)

$$Ab = \text{base} \cdot \text{comprimento}$$

$$Ab = 3 \text{ m} \cdot 33,53\text{m}$$

$$Ab = 100,6 \text{ m}^2$$

- Área de folga para reviramento (Af) = 100,6 m²

- Área total de cada pilha (Ap)

$$Ap = Ab + Af$$

$$Ap = 100,6 \text{ m}^2 + 100,6 \text{ m}^2 = 201,2 \text{ m}^2$$

- Área útil do Pátio (Au)

Serão trabalhados 5 dias úteis por semana = média de 22 dias/mês

$$Au = \text{Pilhas} \cdot Ap$$

$$Au = 22 \cdot 201,2 \text{ m}^2$$

$$Au = 4.426,4 \text{ m}^2$$

Tempo de permanência do composto na leira é de aproximadamente 4 meses:

$$\text{Área total do pátio de compostagem} = 4.426,4 \text{ m}^2 \cdot 4$$

$$\text{Área total do pátio de compostagem} = 17.705,6 \text{ m}^2 \text{ ou } 1,8 \text{ ha.}$$

O beneficiamento e armazenamento do composto e do material reciclado será em um galpão coberto de 500 m².

Drenagem pluvial - o sistema deverá ser projetado para coletar e conduzir as águas pluviais até os sistemas naturais hídricos ou galerias pluviais. Deverá ser composto por canais escavados no solo, canaletas de concreto, tubulações de concreto ou PVC, galerias, bueiros e dissipadores de energia.

Memorial técnico e descritivo simplificado do aterro sanitário – CENÁRIO III

A célula de disposição possuirá as fases de operação na forma de trincheira (abaixo do nível do terreno) e em área (acima do nível do terreno). Na fase de operação em trincheira, os resíduos serão espalhados e compactados no interior da trincheira até o preenchimento total da mesma. Para preparo da trincheira todos os taludes serão regularizados através de corte com inclinação de 45° (1:1) ou aterro com inclinação de 33,69° (1:1,5). O fundo da trincheira será regularizado através de cortes para inclinações de 2 %, forma a realizar o preparo para o sistema de drenagem de lixiviado.

Na fase de operação em área os resíduos serão espalhados e compactados em uma nova célula que será formada sobre a trincheira. A operação em área irá englobar uma célula de geometria trapezoidal de 15 m de altura. Toda operação será envolta por um dique de solo de 1 m de solo que será construído conforme a evolução da operação, sob forma aterrada com inclinação 1:1,5, contendo 0,5 metro de largura superficial. A célula será construída em 4 patamares de 5 m de altura cada. Após a conclusão de cada patamar, a nova operação iniciará a uma distância horizontal de 1 metro a partir do limite superficial da célula localizada imediatamente abaixo.

➤ Volume de rejeitos encaminhados para o aterro

- Vida útil: 20 anos
- Cálculo do volume de material produzido para vida útil considerada:

Para estimar a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final do Cenário II, considerando que não haverá mudanças nas etapas anteriores (coleta seletiva, segregação e triagem), foi utilizada a projeção populacional em relação à quantidade média de rejeitos encaminhados para aterro sanitário no município de Passo Fundo no ano de 2014, conforme gestão apresentada de janeiro a dezembro de 2014. A geração média de rejeitos neste período foi de 0,51 kg/hab.⁻¹ dia⁻¹. No Quadro 23 pode-se observar a estimativa da geração de rejeitos no município em um período de 20 anos.

Quadro 22: Estimativa de geração de rejeitos

Ano	População (habitantes)	Geração per capita (kg/hab. ⁻¹ dia ⁻¹)	Geração de rejeitos (toneladas)		
			Diária	Mensal	Anual
2015	193.055	0,51	98,46	2994,77	35937,19
2016	194.744	0,51	99,32	3020,97	36251,60
2017	196.448	0,51	100,19	3047,40	36568,80
2018	198.167	0,51	101,07	3074,07	36888,79
2019	199.901	0,51	101,95	3100,96	37211,57
2020	201.650	0,51	102,84	3128,10	37537,15
2021	203.294	0,51	103,68	3153,60	37843,18
2022	204.950	0,51	104,52	3179,29	38151,44
2023	206.621	0,51	105,38	3205,21	38462,50
2024	208.305	0,51	106,24	3231,33	38775,98
2025	210.002	0,51	107,10	3257,66	39091,87
2026	211.714	0,51	107,97	3284,21	39410,56
2027	213.439	0,51	108,85	3310,97	39731,67
2028	215.179	0,51	109,74	3337,96	40055,57
2029	216.933	0,51	110,64	3365,17	40382,08
2030	218.701	0,51	111,54	3392,60	40711,19
2031	220.483	0,51	112,45	3420,24	41042,91
2032	221.982	0,51	113,21	3443,50	41321,95
2033	223.492	0,51	113,98	3466,92	41603,04
2034	225.012	0,51	114,76	3490,50	41885,98
Total					778865,00

A massa total de rejeitos ao longo de 20 anos de operação do aterro será de aproximadamente 778.865.00 t.

Volume – Cálculo do volume de material produzido para vida útil considerada.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

m = Estimativa da produção acumulada durante a vida útil (t)
 ρ = Densidade (Segundo padrões adota-se 0,6 t/m³)

$$V = \frac{778856 \text{ t}}{0,6 \text{ t/m}^3}$$

$$V = 1.298.108,33 \text{ m}^3$$

- **Célula de disposição - Trincheira**

Dimensões adotadas para operação em trincheira:

Altura da célula = 8 m

Comprimento da célula = 150 m

Largura da célula = 100 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

$$\begin{array}{ccc} 1,5 & \text{-----} & 8 \\ 1 & \text{-----} & x \end{array}$$

$$x = 5,33 \text{ m cada lado}$$

f) Área da célula:

$$A = 150 \text{ m} * 100 \text{ m} = 15000 \text{ m}^2$$

g) Comprimento de fundo

$$C_F = 150 \text{ m} - (2 * 5,33) = 139,34 \text{ m}$$

h) Largura de fundo

$$L_F = 100 \text{ m} - (2 * 5,33) = 89,34 \text{ m}$$

i) Volume de célula

V_C = comprimento médio * largura média * altura

$$V = \frac{(150 \text{ m} + 139,34 \text{ m})}{2} * \frac{(100 \text{ m} + 89,34 \text{ m})}{2} * 8 \text{ m}$$

$$V_C = 109567,27 \text{ m}^3$$

j) Volume útil da célula

$$V_{UC} = V_C * 75\%$$

$$V_{UC} = 109567,27 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 82175,45 \text{ m}^3$$

Célula de disposição – Área

(3 patamares de 5 m de altura cada)

Patamar 1

g) Dimensões adotadas para operação em área :

Altura do patamar 1 = 5 m

Comprimento do patamar 1 = 150 m

Largura do patamar 1 = 100 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

$$\begin{array}{ccc} 1,5 & \text{-----} & 5 \\ 1 & \text{-----} & x \end{array}$$

$$x = 3,33 \text{ m cada lado}$$

h) Área do patamar:

$$A = 150 \text{ m} * 100 \text{ m} = 15000 \text{ m}^2$$

i) Comprimento de superfície

$$C_F = 150 \text{ m} - (2 * 3,33) = 143,34 \text{ m}$$

j) Largura de superfície

$$L_F = 100 \text{ m} - (2 * 3,33) = 93,34 \text{ m}$$

k) Volume de patamar 1

$V_C =$ comprimento médio * largura média * altura

$$V = \frac{(150 \text{ m} + 143,34 \text{ m})}{2} * \frac{(100 \text{ m} + 93,34 \text{ m})}{2} * 5 \text{ m}$$

$$V_C = 70892,94 \text{ m}^3$$

l) Volume útil do patamar 1

$$V_{UC} = V_C * 75\%$$

$$V_{UC} = 70892,94 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 53169,71 \text{ m}^3$$

Patamar 2

g) Dimensões adotadas para operação em área :

Altura do patamar 2= 5 m

Comprimento do patamar 2= 141,34 m

Largura do patamar 2= 91,34 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

h) Área do patamar 2

$$A = 141,34 \text{ m} * 91,34 \text{ m} = 12909,10 \text{ m}^2$$

i) Comprimento de superfície

$$C_F = 141,34 \text{ m} - (2 * 3,33) = 134,68 \text{ m}$$

j) Largura de superfície

$$L_F = 91,34 \text{ m} - (2 * 3,33) = 84,68 \text{ m}$$

k) Volume de patamar 2

$V_C =$ comprimento médio * largura média * altura

$$V = \frac{(141,34 \text{ m} + 134,68 \text{ m})}{2} * \frac{(91,34 \text{ m} + 84,68 \text{ m})}{2} * 5 \text{ m}$$

$$V_C = 60731,30 \text{ m}^3$$

l) Volume útil do patamar 2

$$V_{UC} = V_C * 75\%$$

$$V_{UC} = 60731,30 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 45548,48 \text{ m}^3$$

Patamar 3

g) Dimensões adotadas para operação em área :

Altura do patamar 3= 5 m

Comprimento do patamar 3= 132,68 m

Largura do patamar 3= 82,68 m

Inclinação dos taludes = 1 : 1,5

h) Área do patamar 3

$$A = 132,68 \text{ m} * 82,68 \text{ m} = 10969,99 \text{ m}^2$$

i) Comprimento de superfície

$$C_F = 132,68 \text{ m} - (2 * 3,33) = 126,02 \text{ m}$$

j) Largura de superfície

$$L_F = 82,68 \text{ m} - (2 * 3,33) = 76,02 \text{ m}$$

k) Volume de patamar 3

$V_C =$ comprimento médio * largura média * altura

$$V = \frac{(132,68 \text{ m} + 126,02 \text{ m})}{2} * \frac{(82,68 \text{ m} + 76,02 \text{ m})}{2} * 5 \text{ m}$$

$$V_c = 51319,61 \text{ m}^3$$

l) Volume útil do patamar 3

$$V_{UC} = V_c * 75\%$$

$$V_{UC} = 51319,61 \text{ m}^3 * 0,75$$

$$V_{UC} = 38489,71 \text{ m}^3$$

- **Volume útil total da célula (operação em trincheira + área)**

$$\text{Trincheira} = 82175,45 \text{ m}^3$$

$$\text{Patamar 1} = 53169,71 \text{ m}^3$$

$$\text{Patamar 2} = 45548,48 \text{ m}^3$$

$$\text{Patamar 3} = 38489,71 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total por célula} = 219383,33 \text{ m}^3$$

- **Número de células do aterro sanitário**

$$N = \frac{\text{Volume total}}{\text{Volume útil da célula}}$$

$$N = \frac{1.298.108,33 \text{ m}^3}{219383,33 \text{ m}^3}$$

$$N = 6$$

Serão necessárias 6 células de iguais dimensões para atender a demanda de rejeitos de Passo Fundo, sendo que a vida útil de cada uma será de aproximadamente 3,3 anos.

APÊNDICE D**Orçamento da Central Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos– Cenário III**

Etapas		Quantidade	Unidade	Preço material (R\$)	Preço mão de obra (R\$)	Total (R\$)
1. Projetos						
1.1	Projeto básico e executivo	1	Un.	0,00	375.000,00	375.000,00
		Total - Projetos				375.000,00
2. Licenciamentos						
2.1	Licenciamento ambiental - Consultoria	1	Un.	0,00	43.000,00	43.000,00
2.2	Licença prévia -FEPAM	1	Un.	91.393,75	0,00	91.393,75
2.3	EIA/RIMA	1	Un.	0,00	55.000,00	55.000,00
2.4	Licença de instalação - FEPAM	1	Un.	83.560,00	0,00	83.560,00
2.5	Licença de operação - FEPAM	1	Un.	83.560,00	0,00	83.560,00
2.6	Sondagens no solo	1	Un.	0,00	19.000,00	19.000,00
		Total - Licenciamentos				375.513,75
3. Infraestrutura						
3.1	Aquisição de terreno	30	há	55.000,00	0,00	1.650.000,00
3.2	Regularização e registro do terreno	1	vb	35.000,00	0,00	35.000,00
3.3	Limpeza mecanizada de terreno com remoção de camada vegetal	300000	m²	0,00	0,46	138.000,00
3.4	Instalação de rede trifásica MT - energia	1	vb	180.000,00	0,00	180.000,00
3.5	Instalação provisória de unidade sanitária	2	vb	416,39	292,18	1.417,14
3.6	Placa de obra	1	m²	479,20	27,88	507,08
3.7	Topografia e locações de implantação	300000	m²	0,00	0,24	72.000,00
3.8	Barração de obra para refeitório e alojamento	60	m²	284,00	0,00	17.040,00
3.9	Instalação de poço tubular	1	Un.	15.000,00	0,00	15.000,00
3.10	Cercamento (tela 2")	2200	m	37,07	32,72	153.538,00
3.11	Portaria/portão/acesso	1	vb	3.000,00	1.000,00	4.000,00
3.12	Barreira vegetal	6000	md	1,20	3,50	28.200,00
3.13	Reservatório de água e incêndio	1	vb	13.000,00	2.000,00	15.000,00
3.14	Escritório/guarita/vestiário/refeitório	1200	m²	417,53	218,72	763.500,00
3.15	Móveis, equipamentos e utensílios - escritório/refeitório/guarita	1	vb	80.000,00	0,00	80.000,00
3.16	Calha em concreto simples em meia cana	450	m	18,00	2,24	9.108,00
3.17	Poço de visita para drenagem pluvial	1	vb	800,00	271,34	1.071,34

3.18 Galpão aberto pré-moldado - Depósito	800	m²	175,00	10,00	148.000,00
3.19 Pavimentação com pedra irregular	3200	m²	45,51	19,82	209.056,00
3.20 Sistema de vigilância e segurança	1	vb	35.000,00	0,00	35.000,00
3.21 Controle de qualidade de obras e insumos	1	vb	10.000,00	0,00	10.000,00
3.22 Instalação de poços de monitoramento	6	Un.	4.000,00	1.000,00	30.000,00
Total - Infraestrutura					
3.595.437,56					
4. Usina de triagem e compostagem					
4.1 Galpão aberto - recepção dos resíduos	400	m²	175,00	10,00	74.000,00
4.2 Piso concreto para galpão de recepção	400	m²	56,23	46,82	41.220,00
4.3 Galpão fechado para triagem	800	m²	515,32	218,72	587.232,00
4.4 Transferência, investimentos e ajustes nas instalações atuais	1	Un.	60.000,00	20.000,00	80.000,00
4.5 Moega receptora	1	Un.	25.000,00	8.000,00	33.000,00
4.6 Esteira talisca	1	Un.	15.000,00	6.500,00	21.500,00
4.7 Esteira de seleção	1	Un.	60.000,00	20.000,00	80.000,00
4.8 Instalações para trabalhadores e armazenamento dos recicláveis	2	Un.	65.000,00	12.000,00	154.000,00
4.9 Esteira eletromagnética	2	Un.	25.000,00	5.300,00	60.600,00
4.10 Prensa para alumínio	2	Un.	16.250,00	2.000,00	36.500,00
4.11 Prensa para papel /papelão/plásticos	2	Un.	14.375,00	2.000,00	32.750,00
4.12 Balança eletrônica	4	Un.	4.200,00	1.000,00	20.800,00
4.13 Elevador de cargas	2	Un.	2.500,00	500,00	6.000,00
4.14 Carreta ou caçamba basculante forrageira hidráulica	1	Un.	16.200,00	1.000,00	17.200,00
4.15 Galpão pré moldado para compostagem	500	m²	515,32	218,72	367.020,00
4.16 Tulha metálica dosadora	1	Un.	10.500,00	5.000,00	15.500,00
4.17 Esteira transportadora e elevatória	1	Un.	40.000,00	10.000,00	50.000,00
4.18 Triturador	1	Un.	43.000,00	7.000,00	50.000,00
4.19 Peneira rotativa	1	Un.	35.000,00	7.000,00	42.000,00
4.20 Ensacadora/prensa hidráulica	2	Un.	15.000,00	2.000,00	34.000,00
4.21 Empilhadeira	1	Un.	40.000,00	0,00	40.000,00
4.22 Carrinho para fardos	2	Un.	800,00	0,00	1.600,00
4.23 Carriola para transporte de produtos	2	Un.	1.200,00	0,00	2.400,00
4.24 Esteira elevatória taliscada	1	Un.	13.000,00	2.000,00	15.000,00

4.25 Galpão pré moldado para depósito	500	m ²	515,32	218,72	367.020,00
4.26 Pátio pavimentado com declividade de 2%	18000	m ²	35,59	1,78	672.660,00
4.27 Canaletas de coleta de lixo	680	m	25,00	2,50	18.700,00
4.28 Canalização caixa coletora até ETE	1	vb	150,00	200	350,00
4.29 Ferramentas e utensílios em geral	1	vb	30.000,00	0	30.000,00
Total - Usina de triagem e compostagem					
					2.951.052,00
5 Aterro Sanitário - Operação em trincheira					
5.1 Escavação mecânica, carga e transporte, mat. 1 categoria	720000	m ³	6,21	1,66	5.666.400,00
5.2 Sistema de impermeabilização					
5.2.1 Carregamento e transporte do solo a ser compactado	114129,06	m ³	1,47	0,39	212.280,05
5.2.2 Compactação	59753,46	m ³	2,14	0,57	161.931,88
5.2.3 Geomembrana	49800	m ²	15,90	1,85	883.950,00
5.2.4 Geotêxtil	49800	m ²	3,11	0,90	199.698,00
5.3 Sistema de drenagem de lixiviado					
5.3.1 Dreno com brita 5	17352	m ³	78,00	1,34	1.376.707,68
5.3.2 Escavação mecânica dos drenos	1500	m ³	6,10	1,74	11.760,00
5.3.3 Tubo PVC ranhurado drenagem 100mm	900	m	23,61	2,04	23.085,00
5.3.4 Bomba submersível	12	Un.	1.350,00	13,08	16.356,96
5.3.5 Conexões, peças componentes, tubulações e mangueiras	6	Un.	500,00	2,50	3.015,00
5.3.6 Concreto armado fck20MPa c/ formas	21	m ³	1.254,71	744,06	41.974,17
5.3.7 Cobertura com telha fibrocimento	36	m ²	15,75	7,42	834,12
5.3.8 Impermeabilização	13,5	m ²	6,64	11,88	250,02
5.3.9 Janela	6	Un.	273,48	116,40	2.339,28
5.3.10 Porta	6	Un.	421,82	44,98	2.800,80
5.3.11 Alvenaria tijolo a vista 15 cm	127,5	m ²	60,90	65,63	16.132,58
5.3.12 Estrutura de madeira para cobertura	30	m ²	23,60	1,80	762,00
5.3.13 Piso	27	m ²	23,74	32,53	1.519,29
5.4 Sistema de drenagem de gás					

5.4.1	Forn. e assentamento tubo concreto armado furado 800 mm	522	m	244,71	76,54	167.692,50
5.4.2	Enrocamento com brita	382	m ³	73,60	17,83	34.926,26
5.5	Sistema de cobertura superficial					
5.5.1	Sistema de cobertura diária					
5.5.1.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	171688,02	m ³	0,00	0,00	0,00
5.5.2	Sistema de cobertura intermediária					
5.5.2.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	52090,92	m ³	0,00	0,00	0,00
Total - Aterro Sanitário - Operação em trincheira						
6 Aterro Sanitário - Operação em área						
6.1	Escavação mecânica - taludes	60000	m ³	6,21	1,66	472.200,00
6.2	Sistema de drenagem de lixiviado					
6.2.1	Dreno com brita	852	m ³	78,00	1,34	67.597,68
6.2.2	Escavação mecânica dos drenos	1125	m ³	6,10	1,74	8.820,00
6.3	Sistema de drenagem de gás					
6.3.1	Forn. E assentamento tubo concreto armado furado 1 m	979	m	244,71	76,54	314.503,75
6.3.2	Enrocamento com brita	715	m ³	73,60	17,83	65.372,45
6.3.3	Concreto para selagem dos drenos	37	m ³	1.202,00	801,14	74.116,18
6.3.4	Flares	66	Un.	800,00	200,00	66.000,00
6.4.1	Sistema de cobertura diária					
6.4.1.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	321895,5	m ³	0,00	0,00	0,00
6.4.2	Sistema de cobertura intermediária					
6.4.2.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	44832,9	m ³	0,00	0,00	0,00
6.4.3	Sistema de cobertura final					
6.4.3.1	Execução de serviço de transporte e compactação do material	54852	m ³	0,00	0,00	0,00
Total Aterro Sanitário - Operação em área						
7 Sistema de drenagem das águas superficiais						
7.1	Abertura e escavação dos drenos	2060	m ³	6,10	1,74	16.150,40

7.2 Brita 2 para preenchimento dos canais de drenagem superficial	4285	m ³	42,00	1,34	185.711,90
7.3 Rede de captação + descidas em gabião	1	vb	20.000,00	2.000,00	22.000,00
7.4 Brita 5 para preenchimento da bacia de sedimentação	200	m ³	78,00	1,34	15.868,00
Total - Sistema de drenagem das águas superficiais 239.730,30					
8 Sistema de tratamento de líquidos e percolados -ETE					
8.1 Nivelamento do terreno	5	h	158,88	0,00	794,40
8.2 Instalação de água	1	vb	500,00	1.500,00	2.000,00
8.3 Instalação de luz	1	vb	1.500,00	800,00	2.300,00
8.4 Preparação de valas e caixas de inspeção das tubulações	60	m ³	0,00	21,45	1.287,00
8.5 Tubulação de chegada do efluente -Tubos PVC 50 mm	250	m	22,50	1,74	6.060,00
8.6 Gradeamento					
8.6.1 Piso para instalação da grade	6	m ²	20,92	8,55	176,82
8.6.1 Suporte para instalação da grade	1	Un.	250,00	100,00	350,00
8.6.1 Grade Fixa	1	Un.	2.500,00	500,00	3.000,00
8.7 Medidor de vazão					
8.7.1 Suporte para instalação	1	Un.	250,00	100,00	350,00
8.7.2 Calha Paschall	1	Un.	400,00	200,00	600,00
8.8 Equalizador					
8.8.1 Escavação mecânica, carga e transporte, mat. 1 categoria	7	m ³	6,21	1,66	55,09
8.8.2 Armadura CA 50 + M.O corte e dobra	750	kg	5,20	0,80	4.500,00
8.8.3 Formas de chapa resinada	75	m ²	22,20	16,30	2.887,50
8.8.4 Lastro de concreto magro 9MPa espessura 8 cm	19	m ²	12,50	10,10	429,40
8.8.5 Concreto 20 Mpa	2,6	m ³	298,58	203,96	1.306,60
8.8.6 Impermeabilização com pintura asfáltica	4	m ²	6,64	11,88	74,08
8.8.7 Aerador	1	Un.	1.200,00	200,00	1.400,00
8.9 Lagoa aeróbia I					
8.9.1 Escavação mecânica, carga e transporte, mat. 1 categoria	136,5	m ³	6,21	1,66	1.074,26
8.9.2 Compactação	72,8	m ³	2,14	0,57	197,29
8.9.3 Geomembrana	200	m ²	15,90	1,85	3.550,00
8.9.4 Tubulação	1	vb	150,00	200,00	350,00
8.9.5 Aeradores	2	Un.	1.200,00	200,00	2.800,00

