

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO (PPGA)
MESTRADO PROFISSIONAL**

**AÇÃO PARA SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA
IMPLANTAÇÃO DE USINA PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS COM RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA.**

JOSÉ HENRIQUE DE OLIVEIRA

CASCADEL-PR

2016

José Henrique de Oliveira

Ação para Sustentabilidade: Análise de Viabilidade para Implantação de Usina para Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética.

Action for Sustainability: Feasibility Analysis of Plant implementation for treatment of Municipal Solid Waste with Energy Recovery.

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Administração: da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Administração.**

Orientador: Professor Doutor Edison Luiz Leismann

Coorientador: Professor Doutor Ivonei Freitas da Silva

CASCADEL

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

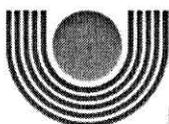
O47a Oliveira, José Henrique de
Ação para sustentabilidade: análise de viabilidade para implantação de usina para tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação energética. /José Henrique de Oliveira.— Cascavel (PR), 2016.
90 f.

Orientador: Prof. Dr. Edison Luiz Leismann
Coorientador: Prof. Dr. Ivonei Freitas da Silva

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2016.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos sólidos urbanos. 3. Energia elétrica. 4. Viabilidade econômica. I. Leismann, Edison Luiz. II. Silva, Ivonei Freitas da. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed. 658.4012
CIP – NBR 12899



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Reitoria
CNPJ 78.680.337/0001-84
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário
Tel.: (45) 3220-3000 - Fax: (45) 3225-4590 - www.unioeste.br
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701
Cascavel - PARANÁ



Programa de pós-graduação em Administração - Profissional

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOSÉ HENRIQUE DE OLIVEIRA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - PROFISSIONAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.

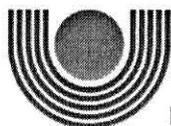
Ao(s) 14 dia(s) do mês de março de 2016 às 14h00min, no(a) Prédio FINEP - Laboratório de Pesquisa 1 – GPEC, realizou-se a sessão pública da Defesa de Dissertação do(a) candidato (a) José Henrique de Oliveira, aluno(a) do Programa de pós-graduação em Administração - Profissional - Mestrado, na área de concentração em Competitividade e sustentabilidade. A comissão examinadora da Defesa Pública foi aprovada pelo Colegiado do Programa de pós-graduação em Administração - Profissional. Integraram a referida Comissão os(as) Professores(as) Doutores(as): Edison Luiz Leismann, Ivonei Freitas da Silva, Claudio Antonio Rojo, Osni Hoss. Os trabalhos foram presididos pelo(a) Edison Luiz Leismann, orientador(a) do(a) candidato(a). Tendo satisfeito todos os requisitos exigidos pela legislação em vigor, o(a) candidato(a) foi admitido(a) à Defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, intitulada: "AÇÃO PARA SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA". O(a) Senhor(a) Presidente declarou abertos os trabalhos, e em seguida, convidou o(a) candidato(a) a discorrer, em linhas gerais, sobre o conteúdo da Dissertação. Feita a explanação, o(a) candidato(a) foi arguido (a) sucessivamente, pelos(as) professores(as) doutores(as): Ivonei Freitas da Silva, Claudio Antonio Rojo, Osni Hoss. Findas as arguições, o(a) Senhor(a) Presidente suspendeu os trabalhos da sessão pública, a fim de que, em sessão secreta, a Comissão expressasse o seu julgamento sobre a Dissertação. Efetuado o julgamento, o(a) candidato(a) foi aprovado (a). O(A) CANDIDATO(A) FARÁ JUS AO TÍTULO DE MESTRE(A) EM ADMINISTRAÇÃO APÓS CUMPRIR TODOS OS REQUISITOS DO REGULAMENTO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - PROFISSIONAL. A seguir, o(a) Senhor(a) Presidente reabriu os trabalhos da sessão pública e deu conhecimento do resultado. E, para constar, o(a) Coordenador(a) do Programa de pós-graduação em Administração - Profissional, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE - Campus de Cascavel, lavra a presente ata, e assina juntamente com os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a).

Orientador(ã) - Edison Luiz Leismann

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Ivonei Freitas da Silva

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Reitoria
CNPJ 78.680.337/0001-84
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário
Tel.: (45) 3220-3000 - Fax: (45) 3225-4590 - www.unioeste.br
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701
Cascavel - PARANÁ



Programa de pós-graduação em Administração - Profissional

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOSÉ HENRIQUE DE OLIVEIRA, ALUNO(A) DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - PROFISSIONAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE, E DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO DO PROGRAMA E O REGIMENTO GERAL DA UNIOESTE.



Claudio Antonio Rojo
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Osni Hoss
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Pato Branco (UTFPR)



José Henrique de Oliveira
Candidato(a)



Coordenador(a) do Programa de pós-graduação
em Administração - Profissional

Prof. Dr. Edison Luiz Leismann
CRA-PR 8246
Coordenador Mestrado Profissional
em Administração - PPGA

RESUMO

Este estudo apresenta uma proposta para a especificação de um software para gestão de resíduos sólidos urbanos, com recuperação energética e uma análise de viabilidade econômica – financeira para a implantação de uma usina de incineração de resíduos sólidos urbanos, para consórcios de municípios como demonstrativo das funcionalidades esperadas para este software. Embora a política nacional de resíduos sólidos preconize a utilização de aterros sanitários para a destinação de resíduos sólidos dos aglomerados urbanos, essa solução apresenta diversos impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa e a produção de efluentes tóxicos advindos do processo de decomposição dos resíduos. A incineração e a reciclagem já são os principais métodos de tratamento de resíduos nos países desenvolvidos, enquanto no Brasil, a reciclagem é restrita a poucas iniciativas e a incineração é utilizada apenas para tratamento de rejeitos industriais e tratamento de resíduos de serviços de saúde. Considerando que todos os municípios brasileiros deverão abandonar a prática de deposição de seus resíduos em lixões e sendo esta a prática mais comum em municípios de pequeno porte, a mudança para práticas mais ambientalmente amigáveis acarretará em dispêndios financeiros contínuos, já que todo aterro sanitário ou controlado possui uma vida útil limitada, a incineração pode ser uma alternativa viável para o aumento da vida útil desses aterros, além de fornecer uma fonte extra de receitas pela produção de energia elétrica e pela venda de créditos de carbono. Dessa forma, este estudo tem por objetivo analisar a viabilidade econômica financeira da implantação de uma usina de geração de energia a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos para diferentes faixas populacionais e propor uma especificação de um software para esse tipo de análise. Para a análise de viabilidade e especificação do software foram levantados os dados de produção de resíduos sólidos urbanos na região de Foz do Iguaçu-PR, nas prefeituras municipais da região e nas concessionárias dos serviços de coleta, bem como nos portais de transparência municipais, no sítio eletrônico do Ministério de Minas e Energia e em outros sítios eletrônicos pertinentes. Após a coleta de dados, foi realizada uma análise qualitativa dos requisitos necessários para a especificação do software e uma análise quantitativa para determinar de forma empírica a viabilidade econômica da implantação de uma usina de incineração de resíduos. Além de apresentar a especificação do software para gerenciamento e análise de projetos ambientais, foi verificada a viabilidade econômica e financeira da implantação de uma usina de incineração de resíduos sólidos na região de Foz do Iguaçu-PR.

Palavras-chave: Sustentabilidade; resíduos sólidos urbanos; energia elétrica; viabilidade econômica.

ABSTRACT

This study presents a proposal for the specification of a software for municipal solid waste management, energy recovery and economic-financial viability analysis for the implementation of a municipal solid waste incineration plant for municipal consortia as demonstrative of the features expected for this software. Although the national solid waste policy advocates the use of landfills for the disposal of solid waste from urban areas, this solution presents various environmental impacts such as greenhouse gas emissions and the production of toxic effluents arising from the decomposition process of residues. The incineration and recycling are already the main waste treatment methods in developed countries, while in Brazil, recycling is restricted to a few initiatives and incineration is used only for treatment of industrial waste and waste of health services. Whereas all municipalities should abandon the practice of depositing their waste in landfills and considering such practice the most common in small towns, the move to more environmentally friendly practices will result in continuous financial expenditures, since all landfills have a limited life expectancy. Therefore, incineration can be a viable alternative to increase the life expectancy of landfills, provides an extra source of revenue for the production of electricity and the sale of carbon credits. Thus, this study aims to analyze the economic-financial feasibility of implementing a power plant generation from the incineration of municipal solid waste for different population groups and propose a specification of a software for this type of analysis. For feasibility analysis and software specification, production data was raised from municipal solid waste in the region of Foz do Iguacu-PR, in the municipalities of the region and the concessionaires of collection services, as well as in municipal transparency portals in electronic site of the Ministry of Mines and Energy and other relevant electronic sites. After collecting data, it was carried out a qualitative analysis of the requirements for the software specification and a quantitative analysis to empirically determine the economic feasibility of deployment of a waste incineration plant. In addition to presenting the software specification for management and analysis of environmental projects, it was verified the economic and financial viability of the implementation of a solid waste incineration plant in the region of Foz do Iguassu - PR.

Keywords: Sustainability; solid waste; electricity; economic viability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	8
1.1.1 QUESTÃO DE PESQUISA	9
1.2 OBJETIVOS.....	9
1.2.1 GERAL.....	9
1.2.2 ESPECÍFICOS	9
1.3 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICA	9
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	10
2 REFERÊNCIAS TEÓRICAS E PRÁTICAS	12
2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	12
2.1.1 DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	13
2.2 GERAÇÃO ALTERNATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA	14
2.2.1 LEGISLAÇÃO PARA GERAÇÃO ALTERNATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	14
2.2.2 O PROCESSO DE INCINERAÇÃO DE RSU	20
2.2.3 EXPERIÊNCIAS EM GERAÇÃO ALTERNATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	24
2.2.3.1 EXPERIÊNCIAS NO BRASIL.....	24
2.2.3.2 EXPERIÊNCIAS NO EXTERIOR	26
2.2.3.3 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE.....	33
3 MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA DA PRODUÇÃO TÉCNICA	39
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	39
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS.....	39
3.3 COMPETÊNCIAS PROFISSIONAIS EMPREGADAS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA	39
3.4 LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	40
4 TIPO DE INTERVENÇÃO E MECANISMOS ADOTADOS	41

5 CONTEXTO E SITUAÇÃO PROBLEMA	42
6 ANÁLISE E RESULTADOS.....	44
6.1.1 TIPOS DE EQUIPAMENTOS E INVESTIMENTO INICIAL PARA CADA ESCALA	44
6.1.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS	45
6.1.3 ESTIMATIVA DE VALORES PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA.....	45
6.1.4 ESTIMATIVA DE VALORES EM ECONOMIA DE ÁREA PARA ATERRO SANITÁRIO.....	47
6.1.5 ESTIMATIVA DE VALORES PARA COMERCIALIZAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO.....	48
6.2 ESTRUTURA DE ANÁLISE DOS DADOS	48
6.2.1 SÍNTESE DOS DADOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE	49
6.3 ESPECIFICAÇÃO DO SOFTWARE.....	50
6.3.1 ESPECIFICAÇÃO DE CASO DE USO	51
6.3.1.1 REQUISITOS.....	52
6.3.1.2 RESTRIÇÕES DE ESCOPO DO SOFTWARE	56
6.3.1.3 PROTÓTIPO DO SOFTWARE.....	57
6.4 APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MODELO.....	58
6.4.1 ANÁLISE DE CENÁRIOS.....	59
6.4.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	60
6.4.3 ANÁLISE DE RISCO.....	62
7 CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA	64
8 CONCLUSÕES.....	65
9 REFERÊNCIAS	67
10 APÊNDICES	74

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial ocorrida no século XIX alterou drasticamente a forma com que a sociedade humana produz os resíduos de sua existência. De uma sociedade produtora basicamente de resíduos alimentares, passou-se a produzir resíduos cada vez mais elaborados, oriundos dos processos produtivos abastecedores da sociedade de consumo que viria a formar-se a partir do ciclo produto-consumidor, que moldou a humanidade nos dias atuais. Uma escala crescente, tanto da durabilidade desses resíduos quanto de sua produção, atingiu níveis alarmantes, o que se mantém até a atualidade, pois a melhora nas condições econômicas estimula o consumo e, conseqüentemente, a produção desses resíduos (POLETTTO FILHO, 2009).

Por óbvio, estes resíduos não são armazenados nos domicílios de seus produtores, obrigando as cidades a elaborar redes de coleta e armazenamento adequadas a esta produção, gerando custos cada vez maiores. Desde a implantação de um aterro sanitário até a sua manutenção, passando pela inutilização de uma considerável área, geralmente agriculturável, para a destinação dos resíduos, os custos advindos do tratamento dos resíduos é diretamente proporcional à sua produção.

Na esteira da Revolução Industrial e do desenvolvimento tecnológico, a necessidade de energia para a manutenção destas conquistas é ainda mais premente. Novos produtos, novas tecnologias e aumento da demanda consumidora destes, eleva a necessidade da produção energética nacional.

Assim, conforme melhoram-se as condições econômicas e sociais da sociedade, é exponencialmente proporcional as suas demandas energéticas.

Neste sentido, aliar a redução da deposição de resíduos em aterros sanitários com produção de energia pode ser uma ótima solução ao debelar duas necessidades primárias da sociedade atual em uma única abordagem.

Dentre as principais propostas para a recuperação do potencial energético de resíduos sólidos urbanos (RSU), ao considerar a premissa da redução dos resíduos, a principal proposta é a das usinas de incineração de resíduos com aproveitamento energético.

Embora comum em países com pouca extensão territorial (POLETTTO FILHO, 2009), a proposta de incineração de resíduos é relativamente nova e pouco explorada no Brasil.

Conforme Brito (2013), em cenários cuja alta demanda energética pressiona os valores da geração para patamares elevados, o empreendimento é recomendável e mesmo operando em alguns períodos em condições desfavoráveis, o empreendimento não é inviabilizado.

Mesmo considerando empreendimentos menores, a viabilidade pode ser recomendada. Novi (2011), analisando uma possível implantação de sistema próprio de tratamento de resíduos em um grande hospital, mesmo desconsiderando o potencial energético dos resíduos a serem tratados, somente a eliminação dos custos de terceirização do tratamento de resíduos viabiliza a implantação do sistema.

Além disso, o conceito de mitigação da emissão de gases do efeito estufa evitados pela incineração dos resíduos, gera Créditos de Carbono, que podem ser comercializados. (BRITO, 2013)

Contudo, embora estudos anteriores apontem uma tendência na viabilidade da incineração de RSU para a geração de energia, é necessária a investigação dos custos inerentes da implantação e manutenção de um possível sistema.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A destinação dos resíduos sólidos urbanos é um grande desafio para todas as nações do planeta. O acréscimo no volume de resíduos é intimamente ligado aos avanços civilizatórios e às melhorias na capacidade da população em ter acesso aos mercados de consumo.

Desta forma, conforme a sociedade desfruta do progresso e de novas tecnologias e confortos, a geração de resíduos sólidos urbanos acompanha e, às vezes, ultrapassa esse crescimento, tornando-se uma grande preocupação.

Maranho (2008) apresentou um estudo de viabilidade para implantação de uma planta de incineração de resíduos para o município de Bauru, no estado de São Paulo em consórcio com os municípios da região. Os resultados desse estudo mostraram ser viáveis à instalação da planta, tanto pelo seu potencial de geração de energia elétrica quanto pela redução no volume de resíduos depositados em aterros e lixões da região.

Segundo Pavan (2010), o Brasil possui potencial de recuperação energética de seus resíduos urbanos na ordem de 16 GW utilizando o processo de incineração. Dentre os diversos benefícios apresentados, destacam-se os benefícios estratégicos, advindos da geração alternativa de energia elétrica, os benefícios ambientais decorrentes da organização e diminuição dos aterros, os benefícios socioeconômicos do desenvolvimento de tecnologia nacional para a área e o emprego de mão-de-obra qualificada e não qualificada nas várias etapas do processo.

Embora haja estudos demonstrando a viabilidade deste empreendimento em casos específicos, há uma lacuna em estudos que permitam a análise do problema de forma mais abrangente, permitindo o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie a tomada de decisão sobre os investimentos necessários.

Assim, ao propor a construção de uma ferramenta de avaliação que permita a análise de um ou mais municípios com base na população e na produção de resíduos estimada, este trabalho espera contribuir com a mitigação de um dos problemas mais proeminentes da sociedade atual.

1.1.1 Questão de Pesquisa

Qual a viabilidade econômica financeira na implantação de uma usina de geração de energia, a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Analisar a viabilidade econômica financeira da implantação de uma usina de geração de energia a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos para diferentes faixas populacionais e propor uma especificação de um software para esse tipo de análise.

1.2.2 Específicos

- a) investigar a cadeia de produção e armazenagem de Resíduos Sólidos Urbanos produzidos no município de Foz do Iguaçu – PR como referência empírica.
- b) identificar as formas de diminuição do volume de resíduos armazenados em aterros sanitários municipais.
- c) analisar a legislação, os custos e as receitas da auto-geração de energia elétrica, a partir de uma usina de incineração de resíduos sólidos urbanos.
- d) especificar um software para análise de viabilidade da incineração de resíduos sólidos urbanos.

1.3 JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICA

Aterros sanitários são a forma mais difundida atualmente no Brasil de destinação final ecologicamente correta dos resíduos sólidos urbanos produzidos diariamente. Embora boa parte dos resíduos sólidos urbanos ainda seja depositada a céu aberto em “lixões”, a Política

Nacional de Resíduos Sólidos estabelece prazos para que esses sejam substituídos por aterros sanitários (BRASIL, 2010).

Contudo, a disposição dos resíduos em aterros inviabiliza grandes áreas territoriais, coloca em risco permanente todo o ecossistema aquático ao redor do aterro e, principalmente, tem capacidade limitada, que quando esgotada leva à exploração de novas áreas, levando estes problemas a novos espaços (THEMELIS, 2013).

Pela rejeição que a deposição de resíduos causa na população, as áreas a serem exploradas são alocadas a consideráveis distâncias dos centros urbanos, trazendo custos adicionais para o transporte dos resíduos e ocupando grandes áreas anteriormente destinadas a plantio/agropecuária ou de reserva ambiental.

Além de ser uma alternativa viável para a redução do volume de resíduos a serem depositados em aterros, a incineração pode ser uma excelente opção para geração de energia elétrica, gerando uma receita adicional para a municipalidade (WILSON, 2013).

Desta forma, um estudo de viabilidade econômica e financeira para incineração de resíduos sólidos com produção de energia elétrica além de propor uma alternativa aos grandes volumes de resíduos depositados em aterros ou lixões, provê requisitos para o desenvolvimento de uma ferramenta prática de análise, através de um software, para os tomadores de decisão.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em capítulos, no capítulo 1 é realizada a introdução do trabalho, o problema de pesquisa, a questão de pesquisa, objetivos geral e específicos, a justificativa e contribuição da produção técnica e a estrutura do relato.

No capítulo 2 são apresentadas as referências teóricas e práticas, subdividida em geração de resíduos sólidos urbanos, destinação de resíduos sólidos urbanos, geração alternativa de energia elétrica, a legislação para geração alternativa de energia elétrica, as experiências em geração alternativa de energia elétrica e as ferramentas para a análise de viabilidade econômica financeira .

O capítulo 3 apresenta os métodos e técnicas de pesquisa, sendo dividido em métodos e técnicas de pesquisa da produção técnica, delineamento da pesquisa, procedimentos de coleta dos dados, métodos de análise de viabilidade e aborda ainda as competências profissionais empregadas na solução do problema e as limitações dos métodos e técnicas de pesquisa.

O capítulo 4 apresenta o tipo de intervenção e mecanismos adotados, o capítulo 5 apresenta o contexto da situação problema e o capítulo 6 apresenta os resultados, tanto da análise de viabilidade econômica, quanto da especificação de um software para automatizar estas análises.

No capítulo 7 encontram-se as contribuições para a prática, oriundas deste estudo e no capítulo 8 são apresentadas as conclusões. No capítulo 9 encontram-se as referências e no capítulo 10 os apêndices.

2. REFERÊNCIAS TEÓRICAS E PRÁTICAS

2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), nos termos da Lei Federal nº 12.305/10 que instituiu a política nacional de resíduos sólidos, englobam os resíduos domiciliares, isto é, aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana, quais sejam, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana.

Conforme pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública - ABRELPE (2015), a geração total de RSU no Brasil em 2014 foi de 78.583.405 toneladas, o que representa um aumento de 2,9% em relação ao ano de 2013, índice que é superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,9% (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2013).

O Brasil gerou no ano de 2014, diariamente, 215.297 toneladas de RSU, dos quais 90,6% são coletados pelos serviços municipais, com um total de 71.260.045 toneladas coletadas no ano ABRELPE (2015). Considerando esses dados, mais de sete milhões de toneladas de RSU não foram sequer coletadas durante o ano de 2014 tendo, por consequência, destino impróprio ao preconizado na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A tabela 1 apresenta a compilação dos dados de geração e coleta nos últimos 10 anos no Brasil.

Tabela 1: Dados de geração, coleta e destinação de RSU no Brasil de 2007 a 2014.

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Geração Total de RSU (mil ton/ano)	61.558	62.094	66.695	71.207	72.457	73.386	76.387	78.583
Coleta (%)	83,30%	87,94%	88,15%	88,98%	89,66%	90,17%	90,40%	90,60%
Total Coletado (mil ton/ano)	51.278	54.606	58.792	63.360	64.965	66.172	69.054	71.196
Total sem Coleta (mil ton/ano)	10.280	7.488	7.903	7.847	7.492	7.213	7.333	7.386
RSU depositado em Aterros Sanitários (%)	38,60%	54,80%	56,80%	57,60%	58,10%	57,98%	58,26%	58,40%
Total de RSU depositados de maneira inadequada (mil ton/ano)	31.484	24.681	25.398	26.864	27.220	27.805	28.823	29.617
População (em mil hab.)	189.462	191.532	193.543	195.497	197.397	199.242	201.032	202.768

Fonte: ABRELPE (2015), IBGE (2013).

Do total de municípios brasileiros, em 2014 apenas pouco mais de 64% destes possuía alguma iniciativa em coleta seletiva dos RSU. Convém salientar que, embora esses municípios afirmem dispor de alguma iniciativa de coleta seletiva, muitas vezes estas

atividades resumem-se à disponibilização de pontos de entrega voluntária ou convênios com cooperativas de catadores, que não abrangem a totalidade do território ou da população do município (IBGE, 2013).

Os 1.191 municípios dos três estados da região Sul geraram, em 2014, a quantidade de 22.328 toneladas/dia de RSU, das quais 94,3% foram coletadas, ou seja, 21.055 toneladas/dia. Assim, na região sul do país, aproximadamente 1.300 toneladas de RSU deixam de ser coletados todos os dias e, conseqüentemente, tem destinação final inadequada. (ABRELPE, 2015).

Somente o estado do Paraná produziu diariamente 8.776 toneladas/ dia de RSU no ano de 2014. Destas, 8.262 toneladas são coletadas diariamente. Mais de quinhentas toneladas de RSU deixam de serem coletadas todos os dias no estado, representando um total anual de 182.500 toneladas anuais irregularmente descartadas.

2.1.1 DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A situação da destinação final dos RSU no Brasil em 2014 manteve-se praticamente inalterada em relação a 2012. O índice de 58,4 % correspondente à destinação final adequada no ano de 2014 permanece significativo, porém, a quantidade de RSU destinada inadequadamente cresceu em relação ao ano anterior, totalizando 29,6 milhões de toneladas que seguiram para lixões ou aterros controlados, que do ponto de vista ambiental pouco se diferenciam entre si, pois não possuem o conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública (ABRELPE, 2015).

Ainda conforme ABRELPE (2015), mesmo com uma legislação mais restritiva e dos esforços empreendidos em todas as esferas governamentais, a destinação inadequada de RSU se faz presente em todas as regiões e estados brasileiros e 3.344 municípios, correspondentes a 60,0% do total, ainda fizeram uso em 2014 de locais impróprios para destinação final dos resíduos coletados.

Nos estados da região sul do Brasil, foram coletados diariamente 21.047 toneladas de RSU, das quais 70,7% foram depositados em aterros sanitários no ano de 2014. Dos resíduos coletados na região, cerca de 30%, correspondentes a 6.094 toneladas diárias, ainda são destinados para lixões e aterros controlados. Além disso, aproximadamente 1.300 toneladas diárias sequer são coletadas, tendo por consequência sua destinação final de forma irregular (ABRELPE, 2015).

No estado do Paraná foram geradas, em 2014, 8.776 toneladas diárias de RSU, das quais foram coletadas diariamente 8.262 toneladas. Do total coletado, 70,2% (5.800 ton./dia) foram depositados em aterros sanitários, 19,7% (1.628 ton./dia) em aterros controlados e 10,1% (834 ton./dia) em lixões (ABRELPE, 2015).

Considerando a Política Nacional de Resíduos Sólidos, somente o estado do Paraná destina inadequadamente aproximadamente mais de 2.900 toneladas/ dia de RSU, disto resulta a deposição anual de mais de 190 mil toneladas de RSU em áreas que serão potencialmente contaminadas como rios, lagos, áreas agriculturáveis e habitacionais.

2.2 GERAÇÃO ALTERNATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA

2.2.1 LEGISLAÇÃO PARA GERAÇÃO ALTERNATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA

Por meio da Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004, ocorreu a reformulação do modelo de comercialização de energia elétrica no setor elétrico brasileiro. Esta nova lei permitiu consideráveis mudanças na forma como a energia elétrica passou a ser comercializada no país.

Dentre outros, essa reformulação teve como principais objetivos promover a modicidade tarifária, a segurança do abastecimento e a universalização do acesso (BRASIL, 2004).

Deste modo, dois ambientes de negócios e de contratos foram criados: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). A principal diferença entre esses ambientes está nos participantes que demandam energia e nas formas de contratação e de competição entre eles (PINTO et al., 2007).

O ACL é regido pelas leis da livre concorrência. Nesse ambiente, somente os consumidores livres podem comprar energia. Consumidores livres são os compradores que cumprem os requisitos necessários para que um agente seja enquadrado na categoria de consumidor livre, isto é, a potência, a tensão e o prazo de migração mínimos. Nesse ambiente, as relações comerciais são livremente acordadas e regidas por contratos de compra e venda de energia elétrica, nos quais serão estabelecidos os prazos e volumes.

Já o ACR é destinado às distribuidoras de energia elétrica, que podem comprar energia para o atendimento de seus consumidores. A contratação neste ambiente dá-se por meio de leilões, sendo que os vencedores estabelecem um conjunto de contratos entre si e entre todos

os agentes de distribuição. No ACR a disputa ocorre pela exclusividade do suprimento do serviço durante dado período (PINTO et al., 2007).

Os leilões propriamente ditos podem ser de energia nova, de energia existente, de ajuste ou leilões específicos para um conjunto de tecnologias, para uma única tecnologia ou, no caso de grandes empreendimentos hidrelétricos, para um projeto específico.

Conforme Viana e Parente (2010) os leilões de energia do ACR são normalmente realizados com antecedência de um ano para o início de suprimento, o qual é normalmente denominado de ano “A”. Esses leilões dividem-se em Leilões de Energia Existente (LEE), Leilões de Energia Nova (LEN), Leilões de Fontes Alternativas (LFA), Leilão de Energia de Reserva (LER) e Leilões de Projetos Estruturantes:

- LEE, A-1: São os leilões de empreendimentos já existentes, em sua maioria, constituídos pela geração de fonte hidráulica.
- LEN A-5 e A-3: São os leilões de novos empreendimentos, que ainda serão construídos, os quais podem ser de fonte hidráulica, térmica ou eólica. Nestas disputas a competição é realizada dentre projetos de diversos tamanhos, podendo ser de propriedade privada, estatal ou mista.
- LFA, entre A-5 e A-1: São leilões normalmente destinados aos novos empreendimentos de fontes alternativas de energia. Normalmente enquadram-se como fontes alternativas os projetos de biomassa, centrais eólicas e pequenas centrais hidroelétricas (PCHs).
- LER, entre A-5 e A-1: Esses leilões visam aumentar a segurança de suprimento do Sistema Integrado Nacional – SIN e não constituem lastro para nenhum dos consumidores. O contrato a ser firmado ocorre entre os geradores e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica na figura de representante dos consumidores.
- Leilões de Projetos Estruturantes: Os projetos estruturantes são empreendimentos indicados como prioritários pelo Conselho Nacional de Política Energética, pois agregam volumes expressivos de capacidade e potência. Nesta categoria somente três empreendimentos foram licitados até o momento, são os empreendimentos hidráulicos Santo Antônio (dezembro/2007), Jirau (maio/2008) e Belo Monte (abril/2010).

A Lei 13.097, de 19 de janeiro de 2015 estabeleceu novos prazos para duração dos contratos. Os leilões de energia nova, chamados de A-5 e A-3, têm o objetivo de promover a construção de nova capacidade para cobrir o aumento de demanda das distribuidoras. Nesse caso, os contratos têm duração entre 15 e 35 anos. Já os leilões de energia existente,

conhecidos como A-1, têm como função complementar os contratos de energia nova. Nesse caso, os contratos possuem duração de 1 a 15 anos.

Os leilões de ajuste possuem contrato com duração de até dois anos, sendo realizados de três a quatro vezes por ano. Os contratos decorrentes desses leilões devem prever o início de entrega da energia elétrica no prazo máximo de quatro meses, a contar da realização do leilão (PINTO *et al.*, 2007).

O primeiro leilão de fontes alternativas foi realizado no dia 18 de junho de 2007. Foram contratados 96,7 MW de Pequenas Centrais Hidrelétricas e 541,9 MW de termelétricas movidas à biomassa (bagaço de cana-de-açúcar e criadouros avícolas), totalizando um acréscimo de 638,64 MW de potência instalada ao SIN (EPE, 2007e).

No dia 14 de agosto de 2008 foi realizado o primeiro leilão de energia de reserva - LER, onde foram contratados 2.379,4 MW de potência a partir de 31 usinas termelétricas movidas à biomassa de bagaço de cana-de-açúcar e de capim elefante (EPE, 2008b).

O resultado expressivo desse leilão deve-se ao mecanismo de Instalação de Transmissão de Interesse Exclusivo de Centrais de Geração para Conexão Compartilhada (ICG). Este programa do Governo Federal teve como objetivo desenvolver subestações coletoras para promover a conexão de usinas no Mato Grosso do Sul e em Goiás. Com essas subestações coletoras, muitas das centrais de biomassa que estão localizadas em pontos distantes das redes existentes, conectam-se a um conjunto de usinas localizadas em uma mesma área geográfica, possibilitando a expansão da Rede Básica (EPE, 2008a).

O Decreto 6.460, de 19 de maio de 2008, regulamenta a possibilidade de prestação do serviço público de transmissão de energia elétrica por meio das ICGs. Essas instalações serão de responsabilidade do Concessionário de Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica o qual seja detentor da instalação de Rede Básica as que estiverem conectadas as instalações e se destinam a possibilitar a conexão de centrais de geração a partir de fonte eólica, biomassa ou pequenas centrais hidrelétricas (BRASIL, 2011).

De acordo com EPE (2008a), o ICG é fundamental para a viabilização da expansão da capacidade de geração instalada, a partir de fontes alternativas em regiões com pouca ou nenhuma capilaridade de redes de transmissão e de subtransmissão.

O segundo leilão de energia de reserva, realizado em 14 de dezembro de 2009, foi o primeiro leilão de comercialização de energia voltado exclusivamente para fonte eólica. Esse leilão resultou na contratação de 1.805,7 MW, distribuídos entre 71 empreendimentos de

geração eólica em cinco estados das regiões Nordeste e Sul do país. O preço médio de venda foi de R\$ 148,39 por MWh (EPE, 2009).

Os leilões de fontes alternativas de energia elétrica de 2010 (A-3 e Reserva), realizados nos dias 25 e 26 de agosto de 2010, resultaram na contratação de 2.892,2 MW de potência instalada. No geral, foram contratadas 70 centrais eólicas, 12 termelétricas à biomassa e 7 PCHs (EPE, 2010).

No âmbito do leilão A-3, foi contratada uma potência instalada total de 1.685,6 MW, a partir de um conjunto de 56 empreendimentos. O preço médio final ficou em R\$ 135,48 por MWh. Já o leilão de reserva contratou 1.206,6 MW de potência instalada distribuída entre 33 empreendimentos, a um preço médio de venda de R\$ 125,07 por MWh. A energia negociada em ambos os leilões será proveniente das fontes eólica, biomassa do bagaço da cana e PCHs (EPE, 2010).

O leilão de energia de reserva realizado no dia 18 de agosto de 2011, contratou 1.218,1 MW de potência instalada, sendo 861,1 MW de projetos de parques eólicos e 357 MW de termelétricas à biomassa (bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de madeira). No total foram contratados 41 empreendimentos, e a venda da energia foi negociada a um preço médio final de R\$ 99,61 por MWh (EPE, 2011c).

O leilão de Energia A-5/2012, teve o objetivo de suprir a demanda projetada das empresas distribuidoras para o ano de 2017. Foram contratados no certame 12 projetos de geração, sendo duas hidrelétricas e dez eólicas, somando capacidade instalada de 574,3 megawatts (MW). O preço médio final alcançou R\$ 91,25/MWh – um deságio médio de 18,53% em relação ao preço inicial (EPE, 2012).

O Leilão de Energia de Reserva de 2013, contratou 1.505 megawatts (MW) em novos projetos de parques eólicos. Um total de 66 empreendimentos de geração negociou a venda da energia elétrica a um preço médio final de R\$ 110,51/MWh – equivalente a um deságio de 5,55% frente ao preço inicial de R\$ 117/MWh. A produção que efetivamente será gerada pelos projetos somará 700,7 MW médios (EPE, 2013a).

No Leilão de Energia A-3/2013, um total de 39 empreendimentos eólicos, somando capacidade instalada de 867,6 megawatts (MW), foram contratados. A previsão é que sejam investidos cerca de R\$ 3,3 bilhões na construção dos parques eólicos, situados nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Sul (EPE, 2013b).

O 2º Leilão de Energia A-5/2013 resultou na contratação de 3.507 megawatts (MW) através de 119 empreendimentos de geração de eletricidade. Do total de projetos contratados,

a grande maioria – 97 empreendimentos – é de parques eólicos. O leilão negociou ainda 16 pequenas centrais hidrelétricas, cinco termelétricas a biomassa (bagaço de cana e cavaco de madeira), além da hidrelétrica de São Manoel (700 MW) (EPE, 2013c).

O Leilão de Energia de Fontes Alternativas 2015 (FA 2015) realizado pela Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) em 27 de abril de 2015 contratou energia de 11 usinas geradoras, sendo oito térmicas e três eólicas, obtendo um deságio médio de 1,96% (EPE, 2015a).

A Empresa de Pesquisa Energética - EPE cadastrou 382 projetos de geração de energia fotovoltaica para o 1º Leilão de Energia de Reserva (LER) 2015, totalizando uma capacidade instalada de 12.528 Megawatts (MW). O leilão será realizado no dia 14 de agosto de 2015 (EPE, 2015b).

A Empresa de Pesquisa Energética - EPE cadastrou 1.379 projetos para o 2º Leilão de Energia de Reserva (LER), marcado para o dia 13 de novembro de 2015. Foram 730 projetos de energia eólica e 649 de energia solar fotovoltaica, totalizando 38.917 Megawatts de capacidade instalada. A Bahia continua sendo o Estado que mais atrai projetos dessas energias renováveis, somando uma oferta de 243 empreendimentos de energia eólica e 192 de energia solar fotovoltaica. O Rio Grande do Norte vem em segundo, com 184 empreendimentos eólicos e 97 de energia solar fotovoltaica (EPE, 2015c).

No âmbito da ANEEL, existem duas Resoluções Normativas que criam condições especiais para as fontes renováveis de geração de energia, aumentando as possibilidades para comercialização de energia de origem renovável no mercado livre (HASHIMURA, 2012).

A Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004, estabelece uma redução de 50% nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 1 MW, pequenas centrais hidrelétricas e centrais com base em fontes solar, eólica, biomassa ou co-geração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30 MW (ANEEL, 2004).

A Resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006, estabelece a figura do consumidor especial, bem como suas condições para comercialização de energia elétrica. De acordo com a Resolução, os consumidores especiais devem receber tratamento semelhante ao concedido aos consumidores livres, podendo adquirir energia incentivada no todo ou em parte. Os consumidores especiais também ficam autorizados a possuir contratos de compra e

venda de energia incentivada, bem como contratos de fornecimento cativo junto às concessionárias ou permissionárias de distribuição (HASHIMURA, 2012).

Além disso, o consumidor especial passa a poder participar do mercado livre, mesmo sem ter as características de um consumidor livre. Para tanto, a geração a ser comercializada deve originar-se obrigatoriamente de: aproveitamentos de potencial hidráulico de potência entre 1 MW e 30 MW, destinados à produção independente ou à autoprodução e mantidas as características de pequenas centrais hidrelétricas; empreendimentos com potência instalada igual ou inferior a 1 MW; empreendimentos cuja fonte primária de geração seja a biomassa, energia eólica ou solar, de potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição menor ou igual a 30 MW (ANEEL, 2006).

No ambiente de Contratação Livre de energia elétrica, os contratos bilaterais regem as negociações de comercialização. A compra alternativa de energia possibilita aos consumidores a escolha de seus fornecedores, bem como, o preço a ser pago pela energia da qual farão uso. Entretanto, os excedentes da energia elétrica adquirida por estes consumidores, ou seja, as parcelas de energia e potência não utilizadas, não podiam ser negociadas livremente. Todo o excedente era liquidado em um “acerto de contas” realizado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, sendo que o preço para o montante liquidado é prefixado e determinado semanalmente pela própria Câmara (o Preço de Liquidação de Diferenças - PLD).

Nesse contexto, a Lei nº 12.783/2013, de 11/01/2013, trouxe a previsão de que consumidores livres e especiais tem o direito à “cessão” dos excedentes, a preços livremente negociados. A regulamentação desse mecanismo, no entanto, ainda era ausente, tornando inviável a nova prática.

Em 04/06/2013, a Portaria nº 185 do Ministério de Minas e Energia trouxe a regulamentação faltante. Permitiu a cessão dos montantes de Energia Elétrica e de Potência provenientes de Contrato de Compra e Venda de Energia Elétrica – CCVEE’s, promovida pelos consumidores livres e especiais, com livre negociação de preços entre os consumidores livres e especiais (cedentes) e consumidores livres, especiais ou agentes vendedores (cessionários).

As cessões não terão o condão de modificar direitos e obrigações estabelecidos nos contratos originais, exigindo negociações bilaterais e formalização de um “Contrato Bilateral de Cessão”, com o consequente registro e validação perante a CCEE (artigo 3º da norma), nos termos da regulação vigente.

Segundo o Ministério de Minas e Energia, com esta nova regulamentação os Consumidores Livres tendem a se tornar mais propensos a contratos de médio/longo prazo, o que pode se mostrar como uma alternativa privada aos leilões do ACR, hoje um dos únicos mecanismos utilizados para viabilizar financiamentos (Brasil, Ministério de Minas e Energia, 2013).

2.2.2 O PROCESSO DE INCINERAÇÃO DE RSU

A incineração é um processo de combustão controlada, que tem como princípio básico a reação do oxigênio com componentes combustíveis presentes no resíduo (como carbono, hidrogênio e enxofre), em temperatura superior a 800 °C, convertendo sua energia química em calor (FEAM, 2012).

Como qualquer combustão nunca é completa, e essa em questão realiza-se a elevadas temperaturas sendo que os RSU têm composições diversas, e são gerados como produtos da combustão, além de vapor d'água, os gases CO₂ e SO_x, HCl, HF, CO, NO_x, material particulado (partículas finas quase sempre com sílica), metais principalmente Cd, Hg, As, V, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni e Tl, entre outras substâncias orgânicas (como dioxinas) na forma gasosa ou aderidas também ao material particulado. Também são gerados rejeitos (cinzas volantes e escórias) de materiais inorgânicos nos RSU que não participam das reações de combustão (SANTOS, 2011).

As cinzas volantes são as partículas sólidas de pequena dimensão arrastadas pelos gases e são normalmente retidas em sistemas de filtragem; as escórias são os materiais que ficam retidos no forno. Esses resíduos poderão conter também determinados metais.

Na combustão, a formação de dioxinas, substâncias que são comprovadamente cancerígenas, ocorre por mecanismos complexos, envolvendo matéria orgânica, oxigênio e cloro. Estas são destruídas a temperaturas acima de 600 °C, mas sintetizadas novamente entre 500 °C e 250 °C, na presença de cloro e carbono. A maior parte das dioxinas fica retida nas cinzas volantes (OLIVEIRA, 2009).

Há 210 compostos de dioxinas e furanos, sendo que 17 desses requerem especial atenção por sua toxicidade. As concentrações são expressas em termos de equivalência de toxicidade (TEQ), um método que relaciona esses compostos com o 2,3,7,8 – TCDD (tetraclorodibenzodioxina), o membro mais tóxico da família.

Além disso, a incineração, como outros tipos de combustão, é fonte de emissão de gases de efeito estufa, sendo o mais relevante o CO₂.

O processo de combustão realiza-se em forno de incineração, composto basicamente de câmara de combustão – onde os resíduos são inseridos a uma taxa de alimentação pré-definida e ocorre o processo de queima controlada e câmara de pós-combustão, onde se completa a queima controlada de CO e substâncias orgânicas contidas nos gases procedentes da câmara de combustão (FEAM, 2012).

Os fornos de incineração possuem três principais configurações (FEAM, 2012):

a. combustão em grelha: é a mais empregada para RSU no estado bruto (*mass burn*), adotando-se para isso uma grelha móvel inclinada de ação reversa, instalada em um forno-caldeira (Figura 1), permitindo operar com materiais com granulometrias bastante variadas. Conforme os resíduos movem-se na grelha, o material vai sendo aquecido e passa por uma secagem, ocorrendo a perda dos compostos orgânicos voláteis e a combustão do resíduo carbonoso; cerca de 60% do ar de combustão pré-aquecido é introduzido por baixo da grelha, sendo o restante do ar introduzido sobre a grelha a alta velocidade para criação de uma região de elevada turbulência e promoção de sua mistura com os gases e vapores gerados durante a combustão.

b. leitos fluidizados tipos circulante ou borbulhante: são do tipo mais utilizado para lodo de esgoto. Aos resíduos, exigem-se a trituração em diâmetro igual ou inferior a 2,5 cm, e são incinerados em suspensão em leito de partículas inertes como areia e cinzas, insuflado com ar primário de combustão. Esta planta exige maior complexidade operativa e ainda não alcançou seu pleno desenvolvimento comercial.

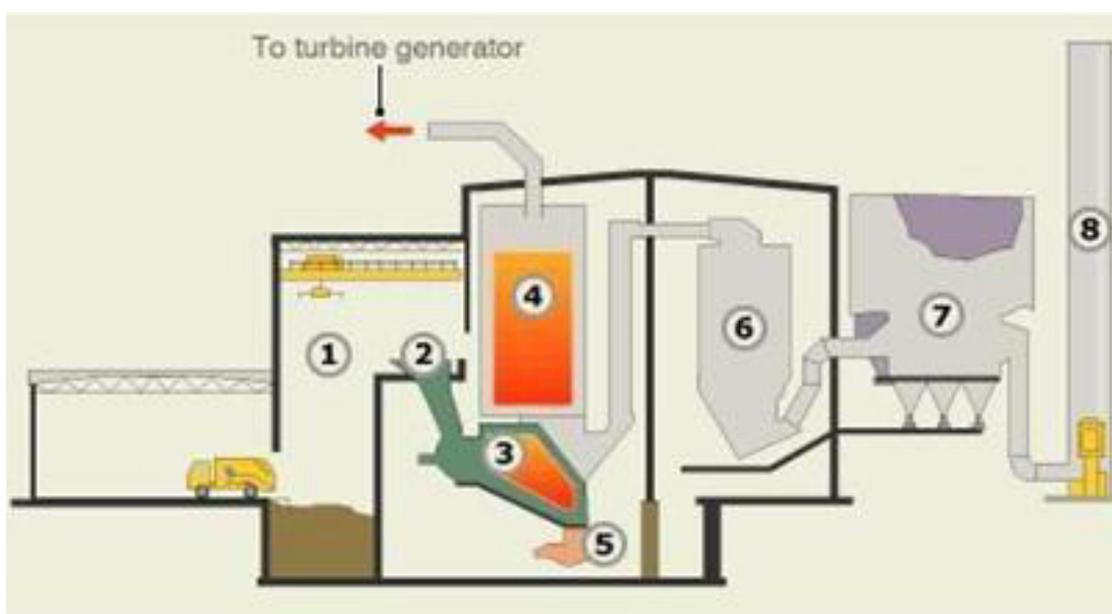
c. câmaras múltiplas: são adotadas geralmente para capacidades pequenas (0,2 a 200 t/dia), sendo aplicáveis, principalmente, a determinados grupos de resíduos de serviços de saúde. Enquanto os resíduos são incinerados na grelha fixa da câmara primária, a pós-queima dos gases ocorre na câmara secundária. É uma planta que gera baixas pressões de vapor, por isso não é recomendada para fins de geração de energia elétrica (CEMPRE, 2010).

d. forno rotativo: é mais utilizado para resíduos industriais e quantidade de resíduos superior a 24 t/dia, seu uso ocorre no Brasil em cimenteiras (CEMPRE, 2010).

Em plantas de incineração de RSU, com geração de energia elétrica do tipo combustão em grelha (Figura 1), o resíduo é descarregado no silo da usina (1) de onde é tomado por agarradores mecânicos e jogado em moegas (tremonhas de recebimento) (2). Das moegas o lixo é empurrado gradualmente para o interior do incinerador (3). O calor produzido pela

queima do lixo é utilizado na caldeira (4) para aquecimento de água e o vapor gerado nesta é conduzido por tubulações para um sistema de turbina e gerador, para a produção de energia elétrica. Depois da incineração restam sobre as grelhas, as escórias, que são drenadas para sistemas coletores situados abaixo das grelhas (5), as escórias são resfriadas com água, passando posteriormente por separadores eletromagnéticos que promovem a extração de metais para reciclagem. Os gases de combustão são enviados para os sistemas de tratamento e remoção de poluentes (6) e passam por filtros para retenção de partículas finas (poeiras) (7) e são lançados ao meio ambiente através da chaminé (8) (FEAM, 2012; SANTOS, 2011).

Figura 1 - Diagrama de fluxo do processo de incineração, tipo combustão em grelha, com recuperação de energia.



Fonte: National Energy Education Development Project (2006).

Embora seja de interesse à incineração as frações de RSU que apresentem elevado poder calorífico, como plásticos, papel/papelão e borrachas, os RSU no Brasil, possuem uma elevada fração de matéria orgânica a qual, devido à sua elevada umidade, apresenta baixo poder calorífico em relação a outros materiais. Isto pode resultar em resíduos misturados com carga térmica inferior à de projeto do forno de incineração, implicando no aumento do consumo de combustível auxiliar (ABRELPE, 2015).

Dessa forma, e considerando que os princípios da PNRS, haverá um impedimento do processamento de resíduo bruto em plantas de incineração, os RSU não procedentes de coleta seletiva deverão ser previamente destinados a um processo de triagem, para a separação dos

materiais efetivamente recicláveis ainda presentes, e a posterior preparação de lotes de combustível derivado de resíduos (CDR).

O CDR é produzido a partir de uma série de estágios de classificação e remoção magnética de materiais ferrosos e não ferrosos dos RSU, resultando em uma fração combustível de maior poder calorífico composta basicamente por materiais plásticos, papéis e papelão não reciclados, madeira, pano e fração orgânica (FEAM, 2012).

Os principais resíduos que têm sido incinerados são: RSU, industrial, perigoso, de serviços de saúde e lodo de esgoto.

Para os RSS o tratamento térmico por incineração é uma das formas adequadas de destinação final, entretanto, considerando o reduzido volume em relação aos RSU, tem sido adotado, em alguns países, a destinação destes para incineração conjunta, pois os sistemas de tratamento de gases adotados para RSU permitem atender aos padrões de emissão. Há, entretanto, necessidade de prever local específico nas instalações para o recebimento e a manipulação dos resíduos sólidos de saúde (RSS), antes de sua destinação ao forno de incineração (FEAM, 2012).

As plantas de incineração, além de rigorosos sistemas de tratamento/disposição de efluentes e resíduos, devem dispor de sistemas de monitoramento contínuo dos controles operacionais e das emissões atmosféricas geradas. Deve-se monitorar também, com frequência determinada, a qualidade das águas subterrâneas e superficiais, os efluentes líquidos gerados e descartados, o nível de ruído ambiental, a qualidade do ar, solo e, em situações específicas, inclusive de alimentos produzidos na área de influência do empreendimento (SANTOS, 2011; OLIVEIRA, 2010).

Referente às emissões atmosféricas, em países desenvolvidos tem sido exigido como monitoramento contínuo: CO, partículas, HCl, SO₂, NO_x, TOC, HF, NH₃ e como periódico: Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Cd, Tl, Hg e dioxinas e furanos (SANTOS, 2011).

Para o sistema de tratamento de efluentes atmosféricos (gases de combustão) sugere-se que sejam utilizados como referência os padrões de emissão estabelecidos na Diretiva Europeia 2010/75/UE (a qual revogou a Diretiva 2000/76/CE a partir de 7 de janeiro de 2014), por serem mais restritivos que os da Resolução CONAMA n. 316/2002, e de qualidade do ar no raio de alcance da pluma de dispersão atmosférica, estabelecido na Resolução CONAMA n. 003/1990, ou outra exigência específica estabelecida pelo Órgão Ambiental (FEAM, 2012).

Os sistemas de tratamento de efluentes líquidos (chorume procedente dos RSU recebidos e efluentes industriais e domésticos) visam ao atendimento dos padrões de lançamento estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH n. 001/2008, para tanto, o seu dimensionamento deverá considerar as características físico-químicas previamente avaliadas para esses efluentes. Em países da União Europeia, o chorume é geralmente coletado e aspergido no próprio forno de incineração (CEWEP, 2015).

Os resíduos sólidos (cinzas volantes e escórias), antes da proposta de sua destinação final, devem ser caracterizados para verificação da classe conforme a norma ABNT NBR 10.004.

Em algumas plantas de países da União Europeia, tem sido observado um percentual de geração de escórias e cinzas volantes em torno de 18% e 3% da quantidade de RSU processado, respectivamente. Nesses países é realizada a inertização das cinzas volantes com cimento antes da disposição final em aterros sanitários dotados de dupla impermeabilização. Em algumas instalações, parte dos efluentes líquidos provenientes do sistema de depuração de poluentes atmosféricos tem sido reutilizada nos processos de arrefecimento de escórias e de inertização de cinzas volantes. Já as escórias devem passar por processo de desferrização, em eletroímã, antes de sua utilização, geralmente como cobertura de aterros sanitários, sendo comercializadas as sucatas ferrosas separadas no processo (CEWEP, 2015).

2.2.3 EXPERIÊNCIAS EM GERAÇÃO ALTERNATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA

2.2.3.1 EXPERIÊNCIAS NO BRASIL

Em países desenvolvidos há plantas comerciais para o aproveitamento energético de RSU, principalmente utilizando as tecnologias de incineração, coprocessamento e biogás de aterro.

No Brasil, a prática usual para destinação dos RSU ainda tem sido seu sepultamento no solo, havendo poucos aterros sanitários com aproveitamento energético. As poucas plantas de incineração destinam-se aos resíduos industriais e de serviços de saúde, principalmente nos estados da Bahia, São Paulo e Rio de Janeiro e de coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer (FEAM, 2012).

Na Tabela 2 são reportadas as características de alguns principais incineradores localizados no Brasil, em geral do tipo rotativo; todos eles possuem, pelo menos, lavadores

de gases e o controle contínuo de emissão para os parâmetros O₂ e CO/CO₂. As cinzas geradas são destinadas, em geral, a aterros de resíduos industriais.

Tabela 2 - Características de alguns dos principais incineradores de resíduos instalados no Brasil.

Planta	Estado	Capacidade (t/ano)	Resíduos processados	Tratamento dos gases	Controles contínuos de
BASF	SP	2.700	R.S.L.P, exceto ascarel	LAA	O ₂ , CO, SO _x
BAYER	RJ	3.200	R.S.L.P, inclusive bifenilas	LAA, separa	O ₂ , CO
CETREL	BA	10.000	R.L organoclorados	LAA	O ₂ , CO ₂ , NO _x
CETREL	BA	4.500	R.S classe I	Ciclone, LAA	O ₂ , CO, CO ₂ , NO _x , SO ₂ ,
CIBA	SP	3.200	R.I, exceto ascarel e radioativos	LAA, demister (eliminado)	O ₂ , CO, NO _x , SO _x , MP, temperatura,
CINAL*	Al	11.500	R.S.L.P, inclusive PCBs e	LAA	O ₂ , CO, CO ₂ , NO _x , SO _x , MP
CLARIANT	SP	2.700	R.S.P.	LAA	O ₂ , CO, CO ₂ ,
ELI LILY	SP	10.400	R.S.L.P	LAA	O ₂ , CO, CO ₂
KOMPAC	CE	10.950	RSS e R.I	LAA	O ₂ , CO, CO ₂
RHODIA	SP	18.000	R.S.L.P, inclusive	LAA	O ₂ , CO, CO ₂ ,
SILCON	SP	3.600	RSS	LAA	O ₂ , CO, CO ₂ ,

R.S.L.P = resíduos sólidos, líquidos e pastosos; R.I = resíduos industriais; RSS = resíduo de serviço de saúde LAA = lavadores ácido e alcalino; MP = material particulado

(*) incinerador tipo câmara horizontal com leitoreciprocante

(**) incinerador leito fixo, pirolítico

Fonte: Menezes, Gerlach e Menezes (2000).

Algumas cimenteiras no estado de Minas Gerais, tem realizado o coprocessamento de uma grande variedade de resíduos industriais, como pneus, óleos, borrachas e solventes, as quais estão discriminadas na Tabela 3. Estas empresas cobram do respectivo gerador para a prestação deste serviço e providenciam, junto ao Órgão Ambiental, o processo de licenciamento necessário.

Tabela 3 - Municípios de Minas Gerais com indústrias cimenteiras ambientalmente licenciadas para o coprocessamento de resíduos.

Município	Razão social da indústria cimenteira
Ijaci	Camargo Correa Cimentos S/A
Pedro Leopoldo	Camargo Correa Cimentos S/A
Matozinhos	Cia. de Cimento Portland LACIM (ex-Lafarge Brasil S/A)
Arcos	Cia. de Cimento Portland LACIM (ex-Lafarge Brasil S/A)
Carandaí	Cimento Tupi S/A
Vespasiano	Empresa de Cimentos Liz S/A
Barroso	Holcim Brasil S/A
Montes Claros	Lafarge Brasil S/A (LI em junho/2010);
Itaú de Minas	Votorantim Cimentos S/A

Fonte: Minas Gerais (2011).

Foi construída uma planta experimental, denominada USINAVERDE, no campus da UFRJ da Ilha do Fundão, no município Rio de Janeiro. O objetivo desta planta foi desenvolver a tecnologia de tratamento térmico de RSU com produção de energia elétrica. A planta tem capacidade para incinerar 30 t/dia de RSU e a termelétrica possui potência de 750 kW. A USINAVERDE adota uma solução modular para suas plantas em escala comercial, tendo cada módulo a capacidade de tratamento de 150 t/dia de RSU bruto, que permite atender as necessidades de disposição final de resíduos de cerca de 180 mil habitantes (USINA VERDE, 2015).

Foi instalada uma planta comercial de pirólise de RSU, na modalidade carbonização, no município de Unai/MG, projetada para o recebimento e processamento nominal em batelada de 3 t/h de RSU, em 3 turnos, perfazendo 72 t/dia, operando continuamente durante o ano. Os principais produtos são briquetes de carvão, originários da carbonização do lixo, e a energia elétrica produzida na termelétrica, que utiliza os briquetes como combustível. Os briquetes de carvão também são utilizados para o aquecimento externo do forno horizontal de pirólise. (GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2013;).

No município de Cantagalo, no estado do Rio de Janeiro, o coprocessamento de RSU foi licenciado em 1999 e vem sendo realizado em escala piloto com a utilização do resíduo domiciliar municipal na fábrica de cimento da empresa Lafarge, situada no mesmo município. Os procedimentos para utilização dos RSU no coprocessamento são o beneficiamento em uma usina de triagem e compostagem com posterior peneiramento. A fração mais fina do composto é utilizada em lavouras no município como fertilizante, e a fração mais grossa é encaminhada à cimenteira para o coprocessamento (FEAM, 2010).

2.2.3.2 EXPERIÊNCIAS NO EXTERIOR

A primeira planta de incineração de larga escala operada por um município nos EUA foi a planta de recuperação de recursos “Arnold O. Chantland”, construída em 1975 e localizada em Ames, Iowa. Esta planta continua em operação até os dias de hoje e atualmente envia a parte inflamável do RSU para plantas de energia para ser usado como combustível (AMES CITY, 2015).

A primeira planta de incineração *Waste to Energy* comercialmente viável nos EUA foi construída em Saugus, Massachussets, em Outubro de 1975 pela empresa *Wheelabrator Technologies* e continua em operação até os dias de hoje (ISWA, 2015).

Diversas plantas de incineração que utilizavam tecnologias ultrapassadas foram fechadas nos EUA: das 186 plantas de incineração de RSU existentes em 1990, apenas 89 permaneceram no ano de 2007, e dos 6200 incineradores de resíduos hospitalares existentes no ano de 1988, apenas 115 permaneceram em atividade até 2003. Nenhum novo incinerador foi construído entre 1996 e 2007 (PSOMOPOLUS, 2009).

Psomopolus (2009) indica que as principais razões para a redução do uso de incineradores foram:

a. Econômicas: com o crescimento do número de grandes aterros regionais com baixo custo e, mais recentemente, devido ao valor baixo da energia elétrica, os incineradores deixaram de ser competitivos no processamento dos RSUs nos EUA.

b. Políticas fiscais: incentivos fiscais para centrais produtoras de eletricidade a partir de resíduos foram revogadas nos EUA entre 1990 e 2004, reduzindo muito o estímulo econômico da atividade de incineração com o aproveitamento energético.

Após um determinado tempo, os interesses na incineração e em outras tecnologias *Waste to Energy* foram renovados nos EUA e no Canadá. Por exemplo, em 2004 nos EUA a incineração foi qualificada como atividade geradora de energia renovável, recebendo novamente incentivos fiscais (PSOMOPOLUS, 2009).

De acordo com US-EPA (2015), os EUA possuem 80 plantas de incineração *Waste to Energy* com uma capacidade instalada para incinerar de 95.300 toneladas de RSU por dia. Embora tenha havido uma diminuição das plantas instaladas do ano 2000 até 2013 (102 plantas em 2000 para 80 em 2013), a capacidade de produção de energia permaneceu praticamente inalterada.

A tabela 4 apresenta os dados relativos à destinação dos RSU nos Estados Unidos, dos anos 1960 até o ano de 2013.

Tem-se destacado as iniciativas de reciclagem e compostagem, que na década de 1960 representavam 6,4% da destinação do RSU e em 2013 atingiram 34,3%.

Tabela 4: Destinação do RSU Gerado nos Estados Unidos.

	Percentual de Geração Total									
	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2009	2011	2012	2013
Geração	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Reciclagem	6.4%	6.6%	9.6%	14.0%	21.8%	23.3%	25.3%	26.5%	26.0%	25.5%
Compostagem	Neg.	Neg.	Neg.	2.0%	6.7%	8.1%	8.5%	8.2%	8.5%	8.8%
Total	6.4%	6.6%	9.6%	16.0%	28.5%	31.4%	33.8%	34.7%	34.5%	34.3%
Descarte pós recuperação	93.6%	93.4%	90.4%	84.0%	71.5%	68.6%	66.2%	65.3%	65.5%	65.7%
Incineração	0.0%	0.3%	1.8%	14.2%	13.9%	12.5%	11.9%	12.7%	12.8%	12.9%
Aterros Sanitários	93.6%	93.1%	88.6%	69.8%	57.6%	56.1%	54.4%	52.6%	52.7%	52.8%

Fonte: US EPA, 2015.

No ano de 2013 o total de RSUs enviado aos aterros sanitários correspondeu a 52,8% do total gerado (US EPA, 2015). A reciclagem nesse mesmo período foi utilizada para destinar 34,3% do total dos RSUs gerados. O tratamento térmico, com a geração de eletricidade (WTE), foi utilizado para a destinação de 12,9% dos RSUs.

Para Psomopoulos *et al.* (2009), além dos fatores supracitados (econômicos e políticas fiscais), os incineradores pararam de ser construídos no período entre 1996 e 2007 em função das pressões causadas por fatores ambientais.

No passado, o foco principal de preocupação dos grupos ambientalistas estava voltado para as emissões dos poluentes no ar, especialmente dioxinas/furanos e metais pesados, porém, após a agência de proteção ambiental americana (US EPA) implementar uma regulamentação obrigando o uso da melhor tecnologia disponível de controle (MACT – *maximum available control technology*) nos anos 90, as emissões das plantas WTE se reduziram ao ponto que, em 2003, a US EPA declarou a incineração WTE como sendo uma fonte de energia das mais limpas dos EUA (US EPA, 2003).

Porém, mesmo a incineração WTE apresentando uma redução próxima à de 100% (99,7%), as dioxinas e os furanos continuam sendo uma grande preocupação quanto ao uso dos incineradores para o tratamento dos RSUs. As dioxinas e os furanos são substâncias produzidas pelo homem e que estão entre as mais nocivas à saúde (Santos, 2011).

De acordo com US EPA (2015), no ano de 2013 haviam 24 estados americanos com uma ou mais plantas de incineração *Waste to Energy* em operação. Em 2013, essas plantas foram abastecidas por 32,6 milhões de toneladas de RSU no ano.

Conforme Bloomberg (2015) as fontes renováveis de energia nos Estados Unidos geraram em 2014 205GW de energia elétrica, sendo a produção baseada em Biomassa, Biogás e *Waste To Energy* 17GW.

A produção primária de energias renováveis na Europa tem seguido uma tendência crescente. Somente entre 1990-2012 a produção aumentou 150%. A produção de energia a partir de todas as fontes renováveis, com exceção de energia hidrelétrica, também tem vindo a aumentar. Em 2012, a madeira sólida e os biocombustíveis responderam por 47,2% da energia primária, total produzido por energias renováveis, seguido por energia hidrelétrica (16,3%) e energia eólica (10%). (BLOOMBERG, 2015).

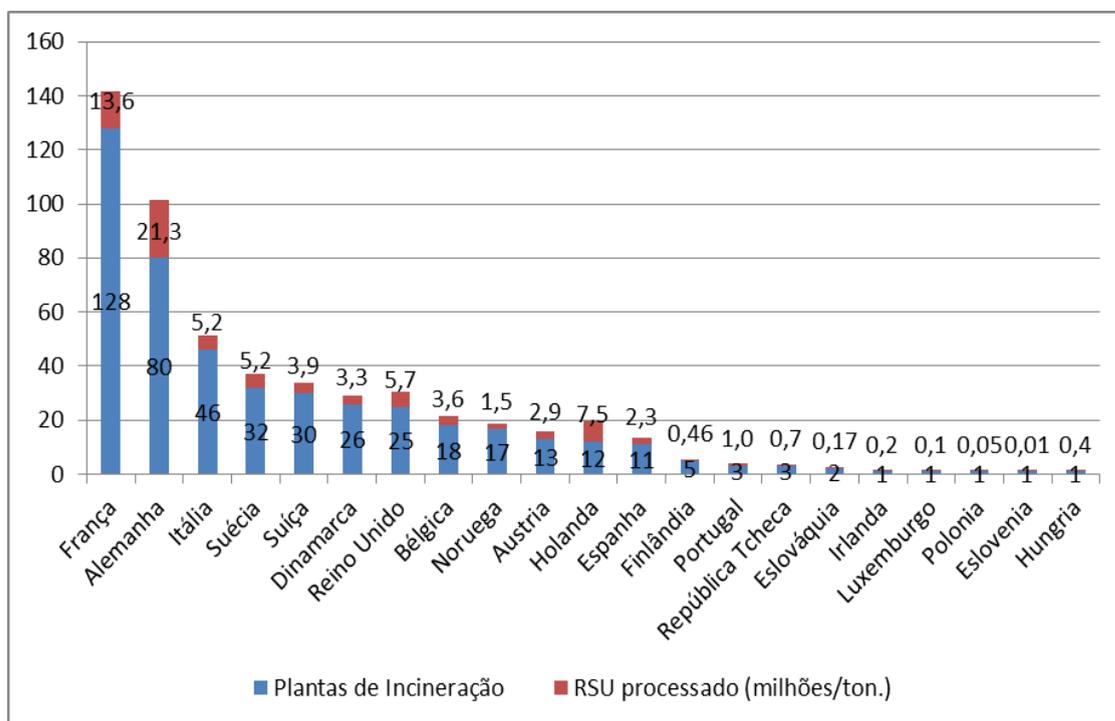
Em 2012 a produção de eletricidade renovável representou 23,3% da produção bruta de eletricidade. A energia hidrelétrica é a principal contribuinte para a geração de eletricidade, seguido por energia eólica. A contribuição da energia hidroelétrica em geração total de eletricidade foi reduzida de 94% em 1990 para 44% (28.811 ktep – tonelada de óleo equivalente), devido principalmente pela expansão da produção de eletricidade por outras formas de produção de energia renovável. (EUROSTAT, 2014).

Em 2013, em toda a Europa a produção de energia elétrica a partir do reuso de RSU, atingiu 8.894 ktep. Essa produção representa mais que o dobro do mesmo tipo de obtenção de energia produzida em 2002(4137 ktep).

Com a introdução da Diretiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu, de 4 de Dezembro de 2000, relativa à incineração de resíduos, que tem por objetivo a prevenção ou redução, na medida do possível, da poluição causada pela incineração de resíduos, possibilitou-se um acréscimo considerável da produção deste tipo de solução.

A figura 2 mostra as quantidades de planta de incineração de RSU operando na Europa no ano de 2012, em azul nas unidades por país e, na cor laranja, as quantidades em milhões de toneladas de RSU processadas neste ano:

Figura 2: Plantas de incineração de RSU na Europa no ano de 2012 e quantidade de RSU processados em milhões de toneladas.



Fonte: CEWEP e EUROSTAT, 2015.

França, Alemanha, Itália, Suécia e Suíça destacam-se com os maiores números de plantas instaladas.

Em relação à produção de energia, dentre as principais plantas alemãs, destacam-se as apresentadas na tabela 5:

Tabela 5: Principais plantas alemãs de incineração de RSU.

Planta	Energia Produzida			Energia Vendida		
	Vapor	Eletricidade (MWh)	Calor(MWh)	Vapor	Eletricidade (MWh)	Calor(MWh)
Bremen	2.000.000	78.280				212.500
Frankfurt am Main					280.085	252.500
Kassel					55.722	183.834
Kiel	389.000			28.760	20.128	200.000
Krefeld	1.118.092	140.047	344.617		79.348	230.334
München					131.514	744.772
Stapelfeld	1.000.145			-	82.285	214.209

Fonte: ISWA, 2015.

Juntas, as plantas apresentadas na tabela 5 geraram e venderam, em 2012, 2,7GW de energia, seja na forma de calor, vapor ou eletricidade.

Por sua vez, a Suécia é outro país de destaque na produção de energia elétrica a partir da incineração de RSU. Suas cinco principais plantas de incineração produziram em 2012 3,4GW, conforme tabela 6:

Tabela 6: Principais plantas suecas de incineração de RSU.

Planta	Energia Produzida			Energia Vendida		
	Vapor	Eletricidade (MWh)	Calor(MWh)	Vapor	Eletricidade (MWh)	Calor(MWh)
Borlänge		33.380	203.317			203.317
Eda	-	13.000	149.650		10.000	144.000
Göteborg		220.927	1.440.620		154.754	1.317.249
Karlstad			152.048			152.048
Malmö		239.476	1.339.501		130.525	1.324.711

Fonte: ISWA, 2015.

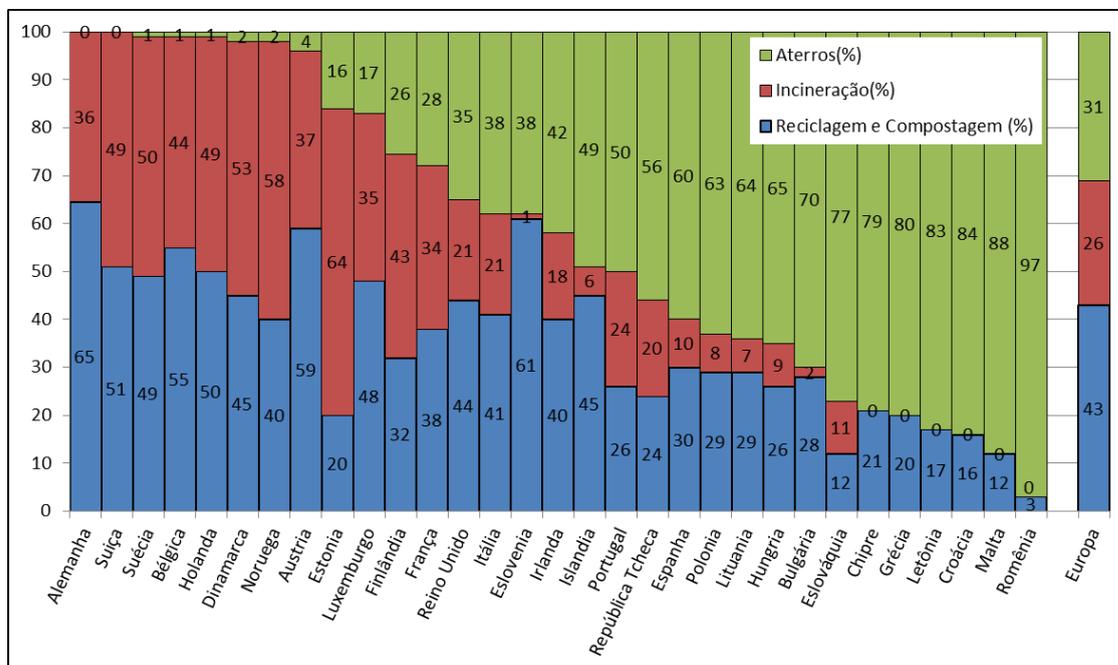
Alemanha, Suécia e Suíça são os três países da união europeia com alguns dos menores percentuais de utilização de aterros no ano de 2013, sendo que a Alemanha e a Suíça tiveram utilização nula desta modalidade de destinação naquele ano.

Ressalta-se que a utilização da incineração é parte importante desta conquista, competindo com a reciclagem e compostagem em igualdade em termos de quantidade em destinação.

Nota-se na figura 3 que os países que embora utilizem de altas taxas de incineração de seus RSU e não crescem suas taxas de reciclagem e compostagem, notadamente Finlândia e Estônia, não conseguem deixar de utilizar os aterros sanitários.

Evidencia-se a necessidade da adoção maciça de soluções integradas para que o sepultamento de resíduos deixe de ser utilizado.

Figura 3: Tratamento dos resíduos sólidos municipais na Europa em 2013.



Fonte: CEWEP; Eurostat, 2013.

Quando emitida em 1999, a Diretiva dos Aterros (1999/31/CE) foi um marco na política de resíduos da União Europeia. Ela marcou uma mudança na utilização de aterros dentro da UE para a nova hierarquia de tratamento de resíduos, passando a priorizar a redução e a prevenção da produção dos resíduos, seguida pela reutilização dos resíduos, da reciclagem, e da recuperação energética. A utilização dos aterros ficou restrita à última alternativa (EEA, 2009).

A diretiva dos aterros determinou metas para se reduzir progressivamente, até o ano de 2016, a quantidade total de resíduos urbanos biodegradáveis que são enviados para serem dispostos em aterros. Nesse cenário, criaram-se ferramentas que diversificaram e intensificaram outras formas de disposição, com grande destaque para a incineração, passando então a ter extensa utilização na UE, mais intensamente em alguns países (Santos, 2011).

Além desta diretiva, o surgimento do conceito e utilização da “melhor tecnologia disponível” (Best Available Technology – BAT) para o controle das emissões das plantas de incineração de resíduos permitiu uma melhora no controle da poluição dos principais poluentes gerados no processo de incineração, principalmente as dioxinas e os furanos. Essa melhora na tecnologia de controle da poluição foi muito importante na difusão da incineração

dos resíduos, pois as emissões de dioxinas e furanos sempre foram as maiores preocupações no uso de tratamentos térmicos para destinação dos resíduos.

A diretiva das energias renováveis (*Renewable Energy Directive - 2001/77/CE*) da UE também teve um papel importante no processo de diversificação da utilização de aterros para resíduos biodegradáveis na Europa. Essa diretiva obriga os países membros da UE a determinarem metas nacionais para o percentual de energia renovável consumida pelo país em relação ao total de energia consumida pelo país. Os resíduos biodegradáveis, uma vez classificados como uma fonte de energia renovável, puderam a partir de então compor parte da meta de consumo em energias renováveis, estimulando a utilização de plantas de tratamento de resíduos que recuperem a energia presente nos resíduos, como o caso das plantas de incineração (EEA, 2009).

De acordo com a Agência Ambiental Européia, no seu relatório de 2009 (EEA, 2009), a capacidade de incineração na Europa cresceu significativamente, juntamente com o crescimento das restrições impostas aos limites de emissão desta tecnologia, porém pode se observar que essa taxa de crescimento foi irregular dentre as diferentes regiões da Europa.

2.2.3.3 FERRAMENTAS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE

Esta seção aborda as principais ferramentas de análise de viabilidade econômica e financeira para projetos e investimentos. São apresentadas as ferramentas: Valor Presente Líquido, Valor presente Líquido Anualizado, Taxa Interna de Retorno, Taxa Interna de Retorno Modificada, Índice de Lucratividade e a Taxa de Rentabilidade.

Estas ferramentas propiciam ao potencial investidor uma decisão assertiva frente à opção entre investir em um projeto ou aplicar o capital disponível.

VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL ou NPV)

Conforme Gitman (2010), reflete a riqueza em valores absolutos do investimento medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, isto é:

$$\text{VPL} = \left[\frac{E_1}{(1+K)} + \frac{E_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{E_n}{(1+K)^n} \right] - \left[S_0 + \frac{S_1}{(1+K)} + \dots + \frac{S_n}{(1+K)^n} \right]$$

Consequentemente:

$$VPL = \left[\sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+K)^j} \right] - \left[S_0 + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{(1+K)^j} \right]$$

Em que:

E = Fluxos esperados de entrada de caixa, ou seja, fluxos operacionais líquidos de caixa gerados pelo investimento;

S = Fluxos de saída de caixa (investimento);

K = Taxa de atratividade do investimento usada para atualizar o fluxo de caixa.

O método VPL exige a definição prévia desta taxa de atratividade para descontar os fluxos de caixa. O VPL, desta forma, é determinado descontando-se os fluxos financeiros pela taxa de atratividade (taxa de retorno exigida) definida para o projeto, apurando-se assim o retorno econômico esperado.

Critério de aceitação ou rejeição do método: é considerado atraente todo investimento que apresente um VPL maior ou igual a zero. Projetos com VPL negativo indicam um retorno inferior à taxa mínima requerida, revelando ser economicamente desinteressante sua aceitação.

Assim:

- $VPL > 0$ é aceitável;
- $VPL = 0$ mostra que o projeto atingiu o ponto de nivelamento; e
- $VPL < 0$ descarta-se o projeto.

O VPL é um coeficiente para a determinação do mérito do projeto, uma vez que ele representa, em valores atuais, o total dos recursos que permanecem em mãos da empresa ao final de toda a sua vida útil. Em outras palavras, o VPL representa o retorno líquido atualizado gerado pelo projeto.

A determinação do valor de um projeto é um desafio porque há diferentes maneiras de medir o valor dos fluxos de caixa futuros. Por causa do valor do dinheiro no tempo (TVM), o dinheiro no presente vale mais do que a mesma quantidade no futuro. Isso é devido tanto por causa dos lucros que poderiam ser auferidos utilizando o dinheiro neste intervalo de tempo, quanto pela inflação no período.

O elemento de taxa de desconto do VPL é uma maneira de explicar isso. As empresas podem muitas vezes ter diferentes formas de identificar a taxa de desconto. As ferramentas

comuns para a determinação da taxa de desconto incluem o uso do retorno esperado de outras opções de investimento com um nível semelhante de risco (taxas de retorno dos investidores), ou os custos associados a empréstimos de dinheiro necessário para financiar o projeto (GITMAN, 2010).

VALOR PRESENTE ANUALIZADO (VPLA)

Em projetos com horizontes de planejamento mais longos, a interpretação do VPL pode ficar um pouco mais complicada para comparação.

Uma alternativa então é utilizar um VPL médio (equivalente) para cada um dos períodos (anos) do projeto. Assim fica mais fácil para quem toma a decisão visualizar em termos de ganho por período (da mesma forma que está conceituado o lucro contábil por período) do que em termos de ganho acumulado ao longo de diversos períodos.

O VPLa é uma variação do método do VPL. Enquanto o VPL concentra todos os valores do fluxo de caixa na data zero, no VPLa o fluxo de caixa representativo do projeto de investimento é transformado em uma série uniforme.

Assim, podemos calcular VPLa da seguinte forma:

$$VPLa = VPL \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Segundo Gitman (2010), A taxa Interna de Retorno (TIR) representa a taxa de desconto (taxa de juros) que iguala, num único momento, os fluxos de entradas com os de saída de caixa. Em outras palavras, é a taxa de juros que produz um $VPL = 0$. Genericamente, a TIR é representada, supondo a atualização de todos os valores de caixa para o momento zero, da seguinte forma:

$$S_0 + \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{(1+K)_j} = \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{(1+K)_j}$$

Onde:

K = taxa de rentabilidade equivalente periódica

E = Fluxos esperados de entrada de caixa, ou seja, fluxos operacionais líquidos de caixa gerados pelo investimento;

S = Fluxos de saída de caixa (investimento);

A TIR reflete a rentabilidade relativa (percentual) de um projeto de investimento expressa em termos de uma taxa de juros equivalente periódica.

A aceitação ou rejeição do investimento com base neste método é definida pela comparação que se faz entre a TIR encontrada e a taxa de atratividade exigida pela empresa. Se a TIR exceder a taxa mínima de atratividade o investimento é classificado como economicamente atraente. Caso contrário, há recomendação técnica de rejeição.

TAXA INTERNA DE RETORNO MODIFICADA – TIRM

De acordo com Assaf Neto (2006) a TIRM consegue eliminar algumas limitações da TIR, além de servir para o julgamento de alternativas de investimento, a exemplo da TIR. Os fluxos negativos são trazidos a valor presente, enquanto que os fluxos positivos são levados a valor futuro no último período do fluxo. Com os valores concentrados no instante zero e no período final, o cálculo da taxa interna de retorno fica fácil e direto.

A TIRM considera em um investimento as possibilidades: lucrativo, indiferente ou insatisfatório, conforme os respectivos resultados: maior, igual ou menor que a taxa do custo de capital ou da taxa de rendimento em um investimento alternativo.

A TIRM – Taxa Interna de Retorno Modificada – prevê a utilização da TMA para levar todas as saídas de caixa ao Valor Presente (instante inicial) e todas as entradas de caixa ao Valor Futuro (último período de vida útil do projeto).

A TIRM é basicamente a mesma que a TIR, exceto que ela assume que o rendimento (fluxo de caixa) do projeto são reinvestidos de novo na empresa, e são compostos pelo custo de capital da empresa, mas não são diretamente reinvestidos de novo no projeto do qual eles vieram.

PAYBACK

Conhecido, também, como retorno no tempo, o *Payback* é o indicador mais simples e conhecido. Mostra o número de períodos necessários para a recuperação dos recursos dispendidos na implantação do projeto. Em termos mais formais, o período de *Payback* é o espaço de tempo entre o início do projeto e o momento em que o fluxo de caixa acumulado

torna-se positivo. É um indicador muito aceito nos meios empresariais e não exige informações externas ao projeto. O *Payback* pode ser simples ou descontado (GITMAN, 2010).

PAYBACK SIMPLES

Cálculo do Período de *Payback* Simples:

$$\text{Payback} = (\text{VP} / \sum_{i=1} E) * n$$

Em que:

E = Fluxos esperados de entrada de caixa, ou seja, fluxos operacionais líquidos de caixa gerados pelo investimento;

VP = Valor Presente.

PAYBACK DESCONTADO

Diferente do *Payback* Simples, que é mais simplificado, o *Payback* descontado leva em consideração a taxa de juros e o fato de que nem sempre os fluxos esperados são constantes. Assim uma análise mais apurada do mercado deve levar essa taxa em conta (BRIGHAM e EHRHARDT, 2006, p. 505). Porém, essa ferramenta revelam algumas fraquezas dos modelos de avaliação de investimento. Assim como o VPL tem suas limitações, com o *Payback* não poderia ser diferente. As principais limitações desse método são:

- a) ter o enfoque total na variável tempo, não se preocupando com os possíveis fluxos de caixa após o tempo de recuperação do investimento.
- b) não desconta os fluxos de caixa adequadamente, pois para ele não importa a "sobra" do investimento.
- c) determinar o período de *Payback* é um tanto arbitrário, pois para que o *Payback* seja o desejado pode incorrer em taxas de juros que não são as praticadas pelo mercado.

O *Payback* Descontado pode ser apreciado por dois métodos:

Método 1

Acumulação do valor presente em cada ano do projeto – em cada ano acumulamos o valor presente deste com os valores presentes de todos os capitais do fluxo de caixa até esse ano.

Método 2

Saldo do projeto com carregamento anual dos juros. Em cada ano, adicionamos os juros sobre o saldo do projeto do ano anterior e o retorno desse ano.

O *payback* descontado nos proporciona o ponto de equilíbrio financeiro de um novo projeto de investimentos.

ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE (IL) E TAXA DE RENTABILIDADE (TR)

O índice de lucratividade (IL) é medido pela relação entre o valor atualizado dos fluxos de caixa operacionais líquidos de entrada e os de saída (investimentos), ou seja:

$$IL = \frac{\sum_{j=1}^n E_j / (1+k)^j}{S_0 + \sum_{j=1}^n S_j / (1+k)^j}$$

Indica para cada R\$ 1 aplicado em determinado investimento, quanto a empresa apurou de retorno, expressos todos os resultados em valores atualizados pela taxa mínima de atratividade (GITMAN, 2010).

Quando o índice de lucratividade for superior a 1,0, indica um valor presente líquido maior que zero, revelando ser o projeto economicamente atraente. Em caso contrário, IL menor que 1,0, tem-se um indicativo de desinteresse pela alternativa, a qual produz um valor atualizado de entrada de caixa menor que o de saída (VPL negativo).

Por outro lado, a taxa de rentabilidade (TR) consiste na relação entre o VPL, determinado a partir da taxa de atratividade e o valor atualizado dos dispêndios de capital.

$$TR = \frac{VPL}{S_0 + \sum_{j=1}^n S_j / (1+k)^j}$$

Os dois métodos são representativamente bastante próximos, sendo conhecidos também por relação custo/benefício.

3 . MÉTODO E TÉCNICAS DE PESQUISA DA PRODUÇÃO TÉCNICA

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Quanto à sua característica, este é um estudo de caso. Após a coleta de dados, foi realizada uma análise qualitativa dos requisitos necessários para a especificação do software e uma análise quantitativa para determinar de forma empírica a viabilidade da implantação de uma usina de incineração de resíduos.

3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS

Os dados foram coletados no município de Foz do Iguaçu e os municípios que compõem a sua microrregião administrativa, conforme dados do Governo do Estado do Paraná. Foram realizadas entrevistas não estruturadas em todos os municípios da microrregião, com os dirigentes municipais responsáveis pelo gerenciamento ambiental.

Foram utilizadas fontes secundárias de informação, como os planos de gerenciamento de resíduos dos municípios, as pesquisas anuais das empresas coletoras de resíduos, os valores de comercialização de energia elétrica através dos leilões realizados pelo Ministério de Minas e Energia e a cotação de valores para a comercialização de Créditos de Carbono.

As informações foram coletadas diretamente nas prefeituras e nas concessionárias dos serviços de coleta, bem como nos portais de transparência municipais, no sítio eletrônico do Ministério de Minas e Energia e em outros sítios eletrônicos pertinentes.

3.3 COMPETÊNCIAS PROFISSIONAIS EMPREGADAS NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA

As competências profissionais a serem empregadas são do conhecimento da legislação acerca do assunto pesquisado, sendo tanto do ponto de vista ambiental, o de sustentabilidade de empreendimentos sociais e de desenvolvimento.

Durante a aplicação do trabalho foram aplicados os conhecimentos profissionais sobre os conceitos de sustentabilidade, aplicados a geração, coleta e destinação de Resíduos Sólidos Urbanos, bem como de empreendimentos geradores de energia elétrica.

E ainda, análise de desempenho para aplicações econômico – financeiras relacionadas ao projeto.

3.4 LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Limitação da abordagem referem-se à coleta e compilação de dados, tanto os riscos de confiabilidade dos dados amostrais de coleta primária quanto aos dados de coleta secundária.

Quanto à necessidade do município, foi realizada análise empírica e extrapolação dos dados, além da utilização de séries históricas disponíveis através de pesquisa documental.

Aos valores não disponíveis foram utilizadas *proxys*, informadas durante a criação do modelo. O conceito de *proxy* foi destacado inicialmente a partir da hipótese de "*proxy effect*" desenvolvida por Fama (1981). Fama argumentava que a relação negativa entre os retornos das ações e inflação era uma *proxy* da relação negativa entre inflação e o nível de atividades. Neste trabalho, o termo *proxy* refere-se a valores representativos, encontrados em outros estudos e com significativa aproximação ao contexto deste trabalho.

4. TIPO DE INTERVENÇÃO E MECANISMOS ADOTADOS

Para a execução do estudo foi procedida a coleta dos dados necessários à análise e elaborado o sistema de avaliação. Após, foi gerado um relatório eletrônico para auxiliar a avaliação de riscos e tomada de decisão.

De acordo com Rocha e Lang (2003), a caracterização dos resíduos sólidos domiciliares, através da determinação da composição gravimétrica, permite identificar a quantidade e principalmente a qualidade do resíduo gerado pelas residências, sendo a etapa inicial de qualquer definição posterior de gerenciamento.

Desta forma, a pesquisa foi iniciada com a caracterização do RSU gerado pelo município de Foz do Iguaçu, de acordo com a metodologia sugerida por Monteiro *et al.* (2012).

Após a caracterização gravimétrica, foi determinado o valor calorífico da amostra conforme o método apresentado por Themelis (2003).

De posse dos dados, foram identificados o tamanho da planta geradora de energia mais adequada à capacidade calorífica e a quantidade do RSU coletado, os custos fixos e variáveis conforme a planta escolhida e os valores de produção e comercialização da energia elétrica produzida.

A análise da viabilidade do projeto foi efetuada utilizando-se as ferramentas Valor Presente Líquido, Valor Presente Líquido/ Anuidade - VPLA, Taxa Interna de Retorno - TIR, Taxa Interna de Retorno Modificada - MTIR, Índice de Lucratividade - IL, Taxa de Rentabilidade - TR.

O resultado final foi compilado e, após, realizada a especificação de um software, que após ser desenvolvido permitirá que o seu usuário possa inserir os dados relativos a um ou mais municípios e calcular automaticamente a viabilidade da implantação de uma usina de incineração de RSU, conforme a produção municipal unitária ou em consórcio.

5. CONTEXTO DA SITUAÇÃO PROBLEMA

Como um dos objetivos deste estudo é desenvolver a especificação de um software que auxilie na tomada de decisão em pequenas e médias cidades em relação ao melhor destino a ser dado aos seus Resíduos Sólidos Urbanos, a escolha da microrregião de Foz do Iguaçu deve-se pela conveniência ao pesquisador, tanto em relação à disponibilidade de dados que subsidiem o estudo, quanto à presença de pequenos e médios municípios interligados por uma rodovia ampla e de fácil acesso, pelo fluxo de bens, mercadorias e pessoas entre esses municípios e pela consequente afinidade entre esses, o que facilitaria a formação de um consórcio de gerenciamento de resíduos sólidos por estes municípios, conforme proposto por Maranhão (2008).

A região escolhida para instalação da usina de incineração com aproveitamento energético está localizada na região oeste do Paraná. A Figura 4 apresenta a região escolhida.

Figura 4: A microrregião de Foz do Iguaçu.



Fonte: Governo do Estado do Paraná (2016).

A cidade de Foz do Iguaçu está localizada na região oeste do Estado do Paraná, e sua economia é baseada principalmente no turismo e na prestação de serviços.

A região de Foz do Iguaçu apresenta problemas na destinação dos seus resíduos sólidos dada à expansão urbana e às características da região, assim, a incineração pode ser uma opção, visto que esta permite melhor aproveitamento dos aterros, uma vez que aumentaria a vida útil dos já existentes na região.

Foi realizado um levantamento bibliográfico dos dados referentes ao censo demográfico de cada município e o custo adicional do transporte do RSU entre as soluções utilizadas atualmente pelos municípios e uma possível planta incineradora no município de maior porte populacional.

As estimativas da capacidade de geração de energia a partir da queima do RSU da microrregião de Foz do Iguaçu serão geradas utilizando-se os dados disponibilizados pelas operadoras municipais e pelas pesquisas anuais ABRELPE (2015), que analisam os dados de geração e destinação dos RSU nos municípios brasileiros.

Os dados de geração de energia e os dados de créditos de carbono gerados pela operação serão utilizados para se obter os resultados quanto à sua rentabilidade financeira.

Nas simulações usam-se dados relacionados aos custos médios de investimento, fixo em instalações de incineração por unidade de produção anual. Esses elementos são empregados para obter um valor aproximado do investimento total para o período de duração do projeto.

6. ANÁLISE E RESULTADOS

6.1.1 TIPOS DE EQUIPAMENTOS E INVESTIMENTO INICIAL PARA CADA ESCALA

A região definida para o presente estudo engloba 10 municípios da região oeste do Paraná, com população conjunta de 414.774 habitantes (IBGE, 2016), sendo o município de Foz do Iguaçu o possuidor de maior número de habitantes com 253.962 habitantes.

Conforme estudos realizados pela Abrelpe (2015), a região produz aproximadamente 310 toneladas de RSU diariamente. Sendo o município de Foz do Iguaçu o mais habitado, são produzidos nesse aproximadamente 190 toneladas de lixo diárias, motivo pelo qual o mesmo foi escolhido para a análise sobre a instalação da usina, objeto deste estudo.

Para a determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI), normalmente expresso em kcal/kg, utilizou-se a expressão matemática formulada por Themelis (2003):

$$PCI = [18.500 * Y_{\text{combustível}} - 2.636 * Y_{\text{H}_2\text{O}} - 628 * Y_{\text{vidros}} - 544 * Y_{\text{metais}}] / 4,185$$

Onde as variáveis $Y_{\text{combustível}}$, $Y_{\text{H}_2\text{O}}$, Y_{vidros} e Y_{metais} representam a proporção de cada elemento em 1 kg de RSU.

Necessário esclarecer que, do peso da fração orgânica combustível (putrescíveis, folhas e madeira) deve ser descontado o peso da água contida nesses orgânicos. Esse peso da água corresponde, em percentual, à variável $Y_{\text{H}_2\text{O}}$, sendo usual, na ausência de dados específicos, utiliza-se o valor típico de 60% como estimativa do teor de água.

Considerando as informações contidas no Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Foz do Iguaçu (Foz do Iguaçu, 2012), em relação à composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município, temos que o PCI encontra-se em aproximadamente 2.428,20 kcal/kg.

Embora a utilização do PCI não deva ser definitiva na determinação do destino dos RSU durante a elaboração de um plano de manejo municipal, considera-se que:

- para $PCI < 1.675 \text{ kcal/kg}$, a incineração não é tecnicamente viável (além de dificuldades técnicas, exige ainda a adição de combustível auxiliar);
- para $1.675 \text{ kcal/kg} < PCI < 2.000 \text{ kcal/kg}$, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de pré-tratamento que eleve o poder calorífico;
- para $PCI > 2.000 \text{ kcal/kg}$, a queima bruta (“*mass burning*”) é tecnicamente viável.

Dessa forma, em termos de viabilidade técnica inicial, a implantação de uma usina de incineração de RSU na região de Foz do Iguaçu apresenta-se viável, sendo os valores e os tipos de equipamentos apresentados na tabela 7:

Tabela 7 - Valores referentes ao investimento.

Item	Saffer (2011)	Qiu (2012)	Wilson et al (2014)
Investimento inicial (R\$)	232.400.000,00	257.300.000,00	280.000.000,00
Capacidade mínima (t/d)	350	350	350
Eficiência líquida da planta (%)	26%	26%	26%
Potência total (MW/h)	230	230	230
Disponibilidade (horas/ano)	8000	8000	8000

Pela produção estimada para a região em estudo, será considerado o valor de R\$ 280.000.000,00 para uma planta de 350 toneladas por dia, com potência instalada de 230 MW/h, inclusos o centro de triagem dos resíduos sólidos e a preparação dos resíduos para incineração.

6.1.2 CUSTOS FIXOS E VARIÁVEIS

Os custos inerentes à operação foram obtidos junto à administração municipal de Foz do Iguaçu, baseados no último edital para licitação dos serviços de coleta e destinação final dos resíduos sólidos urbanos e seus posteriores aditivos de reequilíbrio econômico-financeiro. Os dados foram comparados aos estudos realizados pela Abrelpe (2015) e BNDES (2014), sendo então fixados os valores de R\$ 200.000,00 mensais necessários ao custo fixo de operação e em R\$ 110,00 os valores por tonelada de resíduos sólidos urbanos a serem tratados pelo processo de incineração.

Será considerado ainda o valor atual de contrato entre a municipalidade e a concessionária de R\$ 155,45 por tonelada de resíduos coletados como o repasse municipal para o tratamento pós-coleta.

6.1.3 ESTIMATIVA DE VALORES PARA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA

Dado que o sistema de comercialização de energia elétrica no Brasil é baseado em leilões de fornecimento e distribuição, o valor de comercialização futura pode variar bastante, determinado principalmente pela disponibilidade de oferta e pela demanda de consumo na data de realização do leilão.

Contudo, os preços de fornecimento de energia elétrica divulgados pela empresa de pesquisa energética (EPE, 2015), indicam a estabilidade dos valores em R\$ 170,00 Mw/h equivalente ao valor médio entre a tarifa praticada no mercado regulado e no mercado livre.

Para este projeto, considera-se a incineração diária de 310 toneladas de RSU que seriam destinadas ao aterro sanitário. Dado que a composição gravimétrica do RSU coletado indicou um PCI em aproximadamente 2.428,20 k_{cal}/kg, teremos a conversão em Wh/kg para 2,8239966. Para o cálculo de energia gerada utilizamos a equação:

$$E_G = \text{PCI} \cdot \eta \cdot m_{\text{RSU}}$$

Onde:

E_G = Energia gerada em kWh/dia;

PCI = Poder calorífico inferior, em Wh/kg;

η = Eficiência líquida da planta em porcentagem;

m_{RSU} = Massa diária de RSU, em kg.

Aplicando os valores já descritos, teremos uma produção diária de 227,84 Mwh/dia.

Desta forma, para o cálculo da determinação dos valores anuais provenientes da venda de energia elétrica gerada pela usina, usamos a equação:

$$E = E_G \cdot V \cdot Q_d$$

Onde:

E = Ganho com a venda de energia, em R\$;

E_G = Capacidade de produção diária de energia elétrica, em MWh/d;

V = Valor Normativo em R\$/MWh;

Q_d = Quantidade de dias operacionais.

Aplicando os valores estimados para o projeto, a receita anual para a venda de energia elétrica será da ordem de:

$$\mathbf{R\$13.958.057,99} = 227,84 \text{ Mwh/d} \cdot \text{R\$ } 170,00 \cdot 360 \text{ dias.}$$

6.1.4 ESTIMATIVA DE VALORES EM ECONOMIA DE ÁREA PARA ATERRO SANITÁRIO

Uma das vantagens na implementação de incineradores de RSU é a diminuição significativa da área utilizada pelos aterros sanitários, gerando uma economia de 80 a 90% da área de utilização do aterro, dependendo do percentual de RSU a serem destinados para incineração.

Para o cálculo da área de aterro economizada durante o período de realização do projeto, foram consideradas as diretrizes elencadas pela ABNT/NBR 13896, para a população regional e prevendo uma vida útil de 20 anos para os aterros municipais.

Para os valores de terra por hectare conforme o município, foram utilizados os informados pela Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB-PR, 2015).

A tabela 8 apresenta os valores mensurados e o valor total economizado ao final do projeto.

Tabela 8: valores de áreas utilizadas para aterro de resíduos sólidos economizados ao final do projeto.

Cidade	Área de aterro (ha)	Valor Unitário	Valor Total	Valor Economizado
Foz do Iguaçu	39	R\$ 38.067,00	R\$ 1.484.613,00	R\$ 1.187.690,40
Medianeira	3	R\$ 29.500,00	R\$ 88.500,00	R\$ 70.800,00
Matelândia	3	R\$ 24.500,00	R\$ 73.500,00	R\$ 58.800,00
Santa Helena	3	R\$ 38.000,00	R\$ 114.000,00	R\$ 91.200,00
Santa Terezinha do Itaipu	3	R\$ 37.973,00	R\$ 113.919,00	R\$ 91.135,20
São Miguel do Iguaçu	4	R\$ 39.070,00	R\$ 156.280,00	R\$ 125.024,00
Missal	2,4	R\$ 37.733,00	R\$ 90.559,20	R\$ 72.447,36
Itaipulândia	2	R\$ 35.596,00	R\$ 71.192,00	R\$ 56.953,60
Ramilândia	2	R\$ 25.447,00	R\$ 50.894,00	R\$ 40.715,20
Serranópolis do Iguaçu	2	R\$ 33.000,00	R\$ 66.000,00	R\$ 52.800,00
TOTAL	63,40 ha		R\$ 2.309.457,20	R\$ 1.847.565,76

6.1.5 ESTIMATIVA DE VALORES PARA COMERCIALIZAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Além da venda de energia elétrica gerada pela incineração do RSU, dentro dos mecanismos de desenvolvimento limpo estabelecidos pelo Protocolo de Kioto, o total de emissões de gases de efeito estufa (CO₂e) evitadas anualmente com a incineração de 310 t/d de RSU, calculado conforme a equação:

$$C_c = C_d \cdot F_m \cdot Q \cdot K$$

Onde:

C_c = Receita com a venda dos créditos de carbono, em R\$;

C_d = Capacidade de processamento diário, em t/dia;

Q = Quantidade de dias operacionais;

F_m = Fator de mitigação ou fator de conversão de massa de RSU para massa de CO₂;

K = Valor de venda no mercado de crédito de carbono, em R\$.

Utilizando o fator de mitigação mínimo (0,6), conforme (Hauser e Lemme, 2007) a quantidade de emissão CO₂ anual a ser evitada será de aproximadamente 61.938 toneladas, os quais podem ser comercializados.

Considerando o valor médio, durante o ano de 2015, de € 6,7 como valor de referência para a venda de uma tonelada de CO₂ em créditos de carbono, a receita anual correspondente, será de:

$$\mathbf{R\$ 1.811.144,00} = 310\text{t/d} \cdot 333\text{dias} \cdot 0,6 \cdot \text{R\$ } 29,24$$

6.2 ESTRUTURA DE ANÁLISE DOS DADOS

A tabela 9 apresenta a estrutura utilizada para a análise dos dados levantados na pesquisa.

Tabela 9: Estrutura de análise dos dados.

Categoria	Critério de Análise
1. Tipos de equipamentos e investimento inicial para cada escala	1.1 Identificação da população inerente ao projeto. 1.2 Estimativas referentes ao RSU produzido diariamente. 1.3 Composição gravimétrica e poder calorífico inferior como determinantes para o tipo de equipamento.
2. Custos fixos e variáveis	2.1 Obtenção dos valores praticados pelas prefeituras municipais e concessionárias. 2.2 Estimar os valores para o tratamento dos resíduos por incineração.
3. Estimativa de valores para comercialização de energia	3.1 Utilizar valores de referência para a venda da energia. 3.2 Identificar o PCI e a quantidade diária para a determinação dos valores.
4. Estimativa de valores em economia de área para aterro sanitário	4.1 Identificar a área utilizada atualmente pelos municípios componentes do projeto. 4.2 Utilizar a estimativa de valores por ha. 4.3 Calcular o valor da área de aterro poupada pelo projeto.
5. Estimativa de valores para comercialização de créditos de carbono	5.1 Estimar a capacidade de processamento diário e o fator de conversão de massa de RSU para massa de CO ₂ . 5.2 Identificar o valor de venda no mercado de crédito de carbono, em R\$.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

6.2.1 SÍNTESE DOS DADOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE

Os dados apresentados na tabela 10 apresentam o resumo dos dados levantados para a análise de viabilidade do projeto. De posse desses dados é possível a realização da análise de viabilidade econômica e financeira para o projeto em estudo.

Tabela 10 – Resumo dos dados levantados.

Categoria	Valor Anual	Valor Mensal
Tipos de equipamentos e investimento inicial para cada escala	R\$ 280.000.000,00	-
Custos fixos	R\$ 2.400.000,00	R\$ 200.000,00
Custos variáveis	R\$ 11.366.666,67	R\$ 947.222,22
Valores pagos pelas prefeituras	R\$ 17.565.850,00	R\$ 1.463.820,83
Estimativa de valores para comercialização de energia	R\$ 13.958.057,99	R\$ 1.163.171,50
Estimativa de valores em economia de área para aterro sanitário	R\$ 1.847.565,76	-
Estimativa de valores para comercialização de créditos de carbono	R\$ 1.811.144,00	R\$ 150.928,67

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

6.3 ESPECIFICAÇÃO DO SOFTWARE

A especificação de um software estabelece quais funções são requeridas pelo sistema e as restrições sobre a operação e o desenvolvimento do sistema (SOMMERVILLE, 2012).

Também chamada de engenharia de requisitos, essa fase é um estágio particularmente importante do processo de software, dado que erros nesse estágio inevitavelmente produzem problemas posteriores no projeto e também na implementação do sistema (AKKERMANS e GORDIJ, 2006).

Há diversas técnicas para especificar, modelar e documentar requisitos, (Jiang et al., pp. 303–328, 2008), dentre elas temos os casos de uso (COCKBURN, 2000). Casos de uso descrevem o comportamento de um sistema através de passos (ações). Casos de uso não detalham aspectos arquiteturais de projeto e de implementação, uma vez que esses aspectos fazem parte de etapas posteriores à especificação do software, como por exemplo, projeto e implementação do software (COCKBURN, 2000).

Para o presente estudo, optou-se pela especificação de um sistema para cadastro e avaliação de projetos vinculados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Para a especificação deste software foram seguidas as etapas descritas a seguir.

Levantamento e Análise de Requisitos: os requisitos do sistema foram obtidos pela observação de sistemas existentes e por entrevistas não estruturadas com usuários e

compradores em potencial, além da análise de tarefas necessárias ao sistema. Nesta fase definiram-se os requisitos e os casos de uso do sistema.

Especificação de Requisitos: nessa fase foram traduzidas as informações coletadas durante a atividade de análise em um documento contendo o conjunto de requisitos (Verificar o capítulo 10 – Apêndices, para maiores detalhes). Já nesta fase foram elaboradas as especificações de caso de uso para cada caso de uso do sistema.

Validação de requisitos: essa atividade verificou os requisitos quanto a sua pertinência, consistência e integralidade.

Os requisitos definidos para o sistema foram divididos em requisitos funcionais (COCKBURN, 2000) e requisitos não funcionais (SIVESS, 1996).

Os requisitos funcionais são as declarações de funções que o sistema deve fornecer, como o sistema deve reagir à entradas específicas e como deve se comportar em determinadas situações.

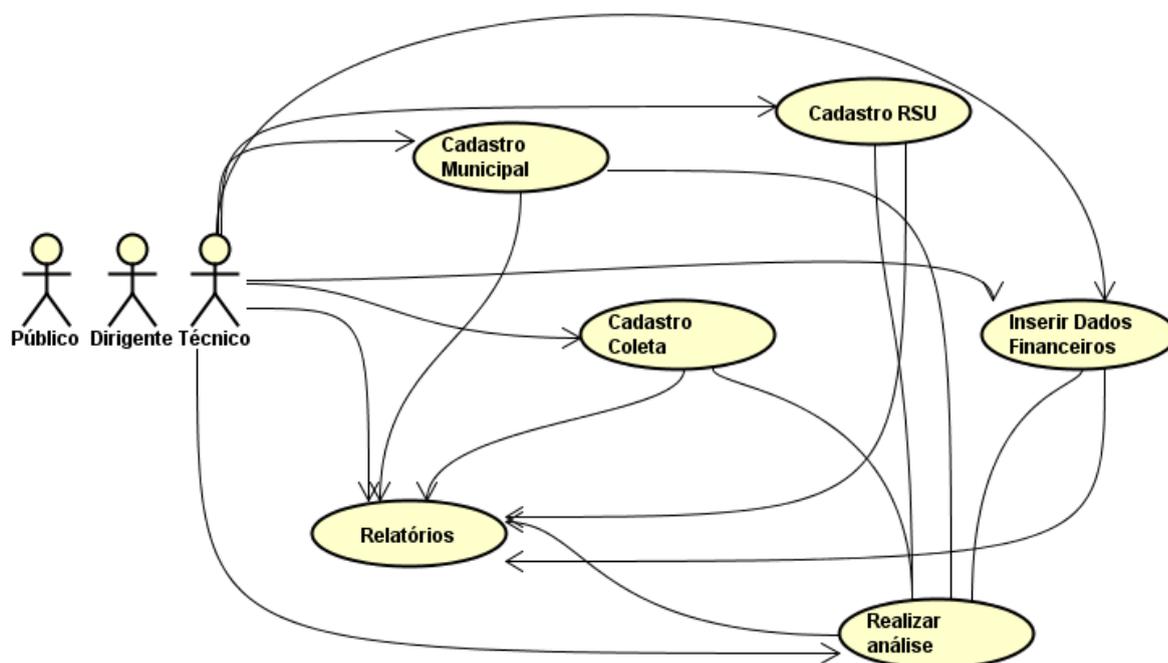
Os requisitos não funcionais são as restrições sobre os serviços ou as funções oferecidas pelo sistema.

6.3.1 ESPECIFICAÇÃO DE CASO DE USO

O software especificado neste documento é um sistema de análise econômico-financeira de projetos envolvendo o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. O sistema não se destina ao gerenciamento da atividade em si, mas à avaliação da viabilidade de projetos advindos ou relacionados a estas atividades. O software permitirá que gestores municipais, prestadores de serviços ou o público em geral, possa avaliar dos pontos de vista econômico e financeiro a proposição de projetos, além de poder avaliar as mudanças que possíveis variações nos parâmetros do projeto podem causar.

A figura 5 ilustra o diagrama de caso de uso do sistema, apresentando os casos de usos do sistema, as interações entre os casos de usos e o papel dos usuários, Os círculos (bolhas) no diagrama representam os requisitos funcionais. Os bonecos representam atores que têm interesse naquele requisito funcional (COCKBURN, 2000).

Figura 5 – Diagrama de caso de uso.



Fonte: Desenvolvido pelo autor.

6.3.1.1 REQUISITOS

Os requisitos funcionais são descritos na tabela 11.

Tabela 11 – Lista de Requisitos Funcionais.

Nome	Descrição
Cadastro do Município	
Nome do Município	Inserir o Nome do Município
Nº Cadastro IBGE	Inserir o Nº do Cadastro no IBGE
Distância do Município Sede	Inserir a distância do município em relação ao município-sede do projeto, em caso de projetos em consórcios
População	Inserir número de habitantes
Cadastro de RSU	
Produção municipal diária	Inserir, em toneladas, quantidade de RSU Produzida no município
Composição Gravimétrica do RSU – Orgânicos	Indicar o percentual de RSU orgânico produzido no município
Composição Gravimétrica do RSU – Papéis	Indicar o percentual de papéis e assemelhados no RSU produzido no município
Composição Gravimétrica do RSU – Metais	Indicar o percentual de Metais e

	assemelhados no RSU produzido no município
Composição Gravimétrica do RSU – Vidros	Indicar o percentual de vidros no RSU produzido no município
Área do Aterro Sanitário	Indicar a Área destinada ao Aterro Sanitário Municipal

Cadastro de Coleta

Percentual de Residências Atendidas	Indicar o percentual de residências atendidas por coleta de RSU
Distância percorrida diária	Indicar a distância percorrida pelos veículos de coleta diariamente
Percentual Coletado para Reciclagem – Papéis	Indicar o percentual de papéis e assemelhados presentes no RSU e destinados à reciclagem
Percentual Coletado para Reciclagem – Metais	Indicar o percentual de metais e assemelhados presentes no RSU e destinados à reciclagem
Percentual Coletado para Reciclagem – Vidros	Indicar o percentual de vidros presentes no RSU e destinados à reciclagem
Quantidade diária de RSU destinada ao Aterro	Indicar a quantidade diária de RSU depositada no aterro sanitário (em toneladas)
Quantidade diária de RSU destinada a Compostagem	Indicar a quantidade diária de RSU orgânicos utilizados em compostagens (em toneladas)
Quantidade diária de RSU destinada a Incineração	Indicar a quantidade diária de RSU para incineração e recuperação energética (em toneladas)

Inserir Dados Financeiros do Projeto

Taxa de Coleta (Valores Anuais)	Indicar o valor esperado de recebimento de taxa de coleta de RSU
Preço Máximo de Venda de Energia Gerada (Valores Unitários)	Indicar o valor máximo esperado para venda de energia gerada.
Preço Mínimo de Venda de Energia Gerada (Valores Unitários)	Indicar o valor mínimo esperado para venda de energia gerada.
Quantidade Esperada de Venda de Energia Gerada (Valores Anuais)	Indicar a quantidade esperada de venda de energia (em Mw).
Valor máximo para Venda de Créditos de Carbono (Valores Anuais)	Indicar o valor máximo esperado para venda de Créditos de Carbono.
Valor mínimo para Venda de Créditos de Carbono (Valores Anuais)	Indicar o valor mínimo esperado para venda de Créditos de Carbono.
Retorno Financeiro Estimado para Área do Aterro (Valores Anuais)	Indicar o valor de retorno financeiro estimada para a área utilizada pelo aterro, se esta fosse destinada a outros fins (agrícola, industrial, etc). Considerar uma média anual de valores para todo o período do projeto

Custos Fixos com a Operação (Valores Anuais)	Indicar os valores envolvidos para a existência do projeto (Custos administrativos, aluguéis de prédios, etc).
Custos Variáveis com a Operação (Valores Anuais)	Indicar os valores decorridos da operação do projeto (mão de obra, equipamentos, etc).
Investimento	Indicar os valores para aquisição de Instalações, Aterros Sanitários, Plantas de Incineração, etc.
Taxa de Atratividade	Indicar a taxa média de atratividade para o valor a ser investido.
Valor Residual	Indicar o valor das plantas e equipamentos ao final do projeto.

Realizar Análise Econômica e Financeira

Resultados Esperados

TIR	Apresenta a Taxa Interna de Retorno do Investimento efetuado.
MTIR	Apresenta a Taxa Interna de Retorno Modificada do Investimento efetuado.
VLE	Apresenta o Valor Líquido Esperado para o investimento.
VPL	Apresenta o Valor Presente Líquido para o investimento.
IL	Apresenta o Índice de Lucratividade do investimento
TR	Apresenta a Taxa de Rentabilidade do Investimento efetuado.
<i>PayBack</i> Descontado	Apresenta o pagamento esperado ao investidor ao final do projeto.
VPLA	Apresenta o Valor Presente Líquido Anual para o investimento.

Resultado Cenários

Muito Otimista	Apresenta os resultados esperados em um cenário extremamente otimista para os investimentos e os retornos realizados no projeto.
Otimista	Apresenta os resultados esperados em um cenário otimista para os investimentos e os retornos realizados no projeto.
Valor Esperado	Apresenta os resultados esperados para os investimentos e os retornos realizados no projeto.
Pessimista	Apresenta os resultados esperados em um cenário pessimista para os investimentos e os retornos realizados no projeto.
Muito Pessimista	Apresenta os resultados esperados em um cenário extremamente pessimista para os

	investimentos e os retornos realizados no projeto.
Análise de Sensibilidade	
VPL-PREÇO	Apresenta as simulações utilizando variações de -50% a 50% para o valor presente líquido relativo ao preço de venda.
VPL-QTD.	Apresenta as simulações utilizando variações de -50% a 50% para o valor presente líquido relativo aos valores de quantidade.
VPL-Cvu	Apresenta as simulações utilizando variações de -50% a 50% para o valor presente líquido relativo aos valores de custo variável.
VPL-CFT	Apresenta as simulações utilizando variações de -50% a 50% para o valor presente líquido relativo aos valores de custo fixo.
VPL-VR	Apresenta as simulações utilizando variações de -50% a 50% para o valor presente líquido relativo ao valor residual do projeto.
Análise de Probabilidades	
VPL Máximo	Apresenta o valor máximo para o Valor Presente Líquido após 1.000 iterações.
VPL Mínimo	Apresenta o valor mínimo para o Valor Presente Líquido após 1.000 iterações.
VPL Médio	Apresenta o valor esperado para o projeto, com base no Valor Presente Líquido após 1.000 iterações.
Probabilidade de Prejuízo	Apresenta a probabilidade de prejuízo do investidor em relação ao projeto.
Probabilidade de Lucro	Apresenta a probabilidade de lucro do investidor em relação ao projeto.
Exibir Relatórios	
Exibir Cadastro do Município	Exibe em forma de relatório os dados de cadastro do município.
Exibir Cadastro do RSU	Exibe em forma de relatório os dados de cadastro do RSU.
Exibir Cadastro de Coleta	Exibe em forma de relatório os dados de cadastro de Coleta de RSU do município.
Exibir Cadastro de dados financeiros do Município	Exibe em forma de relatório os dados financeiros do município.
Exibir Análise Econômica e Financeira	Exibe em forma de relatório as análises econômica e financeira do projeto.

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

A tabela 12 apresenta os requisitos não funcionais, que são os requisitos relacionados ao desempenho e usabilidade do sistema.

Tabela 12 - Requisitos Não Funcionais.

Nome	Descrição
Desenhar uma interface adequada para agentes políticos, administrativos e público em geral.	Considerando que a utilização do software se dará para os mais diversos atores, é importante que a interface seja simples, mas apresente certo rigor quanto à aplicação dos parâmetros necessários para a análise.
O software deve apresentar um baixo consumo de recursos computacionais.	Devido ao público diverso, o sistema deverá apresentar baixo consumo de recursos computacionais, propiciando a sua utilização em equipamentos com os mais diversos desempenhos de hardware.
O software deverá apresentar mensagens claras e palavras simples.	Embora o rigor necessário à análise de projetos deva estar presente no sistema, a linguagem utilizada deverá ser clara e acessível, permitindo aos usuários o pleno entendimento dos recursos e requisitos do sistema.

Fonte: desenvolvido pelo autor.

Os documentos para cada caso de uso do sistema são apresentados no Apêndice I, deste trabalho.

6.3.1.2 RESTRIÇÕES DE ESCOPO DO SOFTWARE

O software deverá manter o foco em análise econômico-financeira de projetos envolvendo o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, (ver figura 6).

O sistema não se destina ao gerenciamento da atividade em si, mas a avaliação da viabilidade de projetos advindos ou relacionados a estas atividades.

6.3.1.3 PROTÓTIPO DO SOFTWARE

O software deverá possuir uma janela principal, composta de menus que dividem os módulos/funcionalidades.

O primeiro menu à esquerda chamado “Município”, permite que o usuário crie um cadastro, abra um cadastro previamente salvo, altere um cadastro previamente salvo, salve um novo cadastro ou exclua um previamente salvo, pertinentes aos dados do município.

O segundo menu chamado “RSU”, permite que o usuário crie um cadastro, abra um cadastro previamente salvo, altere um cadastro previamente salvo, salve um novo cadastro ou exclua um previamente salvo, pertinentes aos dados do município.

O terceiro menu chamado “Coleta”, permite que o usuário crie um cadastro, abra um cadastro previamente salvo, altere um cadastro previamente salvo, salve um novo cadastro ou exclua um previamente salvo, pertinentes aos dados de coleta de RSU do município.

O quarto menu chamado “Financeiro”, permite que o usuário crie um cadastro, abra um cadastro previamente salvo, altere um cadastro previamente salvo, salve um novo cadastro ou exclua um previamente salvo, pertinentes aos dados financeiros relativos ao gerenciamento de RSU do município.

O quinto menu chamado “Análise”, permite que o usuário crie uma análise, abra uma análise previamente salva, altere uma análise previamente salva, salve uma nova análise ou exclua uma previamente salva, pertinentes aos dados do projeto a ser avaliado.

O sexto menu chamado “Relatório”, permite que o usuário crie relatórios a partir dos cadastros e análises salvos nos menus anteriores.

Na tela central, são apresentadas as funcionalidades/requisitos, pertinentes a cada caso de uso.

A figura 6 representa o protótipo do software.

Figura 6 – Protótipo do software.

Fonte: desenvolvido pelo autor.

6.4 APLICAÇÃO E ANÁLISE DO MODELO

Com a finalidade de obter uma visão das análises e resultados esperados pelo software, foi utilizada uma planilha eletrônica para a realização da análise de viabilidade econômico financeira para implantação de uma usina de incineração de RSU para a região de Foz do Iguaçu – PR.

A tabela 13 apresenta os dados preliminares para a realização da análise.

Tabela 13 – Dados do projeto.

DADOS INFORMADOS	
Preço unitário de venda (R\$/Mwh/ton RSU)	R\$ 123,52
Repasso municipal por tonelada de RSU (R\$/ton)	R\$ 155,45
Valor por crédito de carbono (R\$/ton)	R\$ 16,03
Quantidade esperada de venda (ton RSU/ano)	113.000
Custo variável unitário (R\$/ton)	R\$ 110,00
Custo variável (Impostos e Comissões %)	5,00%
Custo fixo total	R\$ 200.000,00
Taxa média de atratividade - T.M.A. (%)	4,46%
Investimento inicial	R\$ 278.152.434,42
Prazo do projeto (anos)	30 anos
Valor residual	R\$ 2.781.524,34

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nos dados iniciais foi informada uma taxa média de atratividade - TMA de 4,46% ao ano, esse valor foi obtido utilizando-se a taxa SELIC dos últimos dez anos, descontados destes os índices de preços ao consumidor amplo – IPCA, também do último decênio, a média das diferenças determinou a TMA como uma taxa de juros real ao ano.

Com base nos dados encontrados, foram determinados os parâmetros de avaliação econômico financeira do projeto, apresentados na tabela 14.

Tabela 14 – Parâmetros de avaliação do projeto.

RESULTADOS ESPERADOS-Determinístico	
Taxa Interna de Retorno – TIR (ao ano)	5,47%
Valor Líquido das Entradas – VLE	R\$ 312.332.859,18
Valor Presente Líquido – VPL	R\$ 34.180.424,76
Valor Presente Líquido Anualizado – VPLA	R\$ 2.223.485,68
Índice de Lucratividade – IL	1,12
Taxa de Rentabilidade – TR	12,29%
Tempo de Retorno – Payback Descontado (anos)	25,00 anos

Comparando-se a Taxa Interna de Retorno (TIR) com a TMA, o projeto tem resultado esperado favorável: $5,47\% > 4,46\%$.

O VLE representa as receitas do projeto em valor presente. Descontado o valor do investimento, o que sobra é o VPL, que é o lucro do projeto medido em valor presente. Neste caso, o VPL positivo de R\$ 34.180.424,76 mostra que este é um projeto viável.

O IL (Índice de Lucratividade) mostra um resultado correspondente a 1,12, representando que os resultados apresentaram 1,12 vezes o valor investido.

A TR, taxa de rentabilidade do projeto foi de 12,29% e representa a porcentagem que se espera obter em relação ao valor investido durante a vida do projeto.

O *Payback* Descontado apresentado neste quadro representa o número de anos necessário para retornar o valor investido, além da Taxa Mínima de Atratividade. Neste projeto o *Payback* será de 25 anos.

6.4.1 ANÁLISE DE CENÁRIOS

Foram informados três cenários com variação nos preços de venda, na quantidade esperada de vendas, no custo variável unitário e no custo fixo total. Além do cenário esperado, foram informados um cenário otimista e um cenário pessimista.

A tabela 15 apresenta os dados informados para cada cenário, para obter-se os principais indicadores de viabilidade do projeto a partir de variações nos preços ou nos custos do projeto.

Tabela 15 – Dados informados para análise de cenários.

DADOS INFORMADOS			
	Cenário	Cenário	Cenário
	Otimista	Esperado	Pessimista
Preço de Venda (R\$)	R\$ 310,00	R\$ 295,00	R\$ 285,00
Quantidade esperada de venda (ton/ano)	120.000	113.000	105.000
Custo Variável Unitário	R\$ 100,00	R\$ 110,00	R\$ 120,00
Custo Variável (Impostos e Comissões %)	5,00%	5,00%	5,00%
Custo Fixo Total (mil R\$)	R\$ 190,00	R\$ 200,00	R\$ 210,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados obtidos a partir dos cenários descritos na tabela 15 foram analisados para os parâmetros de avaliação econômico-financeira, para fins de comparação entre os cenários sugeridos. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 16.

Tabela 16 – Resultados obtidos a partir de cinco cenários.

Resultados obtidos a partir de cinco cenários					
	TIR	VPL	IL	TR	PAYBACK
Otimista	7,35%	R\$102.066.781,54	1,367	36,7%	18
Valor Esperado	5,47%	R\$34.180.424,76	1,123	12,3%	25
Pessimista	0,00%	-R\$22.052.590,11	0,921	-7,9%	-
T.M.A 4,46%					

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que no cenário pessimista o projeto tem a sua viabilidade comprometida, indicando que variações nos preços ou nos custos estimados podem inviabilizar o projeto.

6.4.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Nesta análise são apresentados os resultados para variações positivas e negativas, individualmente, em cada um dos fatores de risco do projeto, sendo que os diferentes resultados são apresentados em termos de VPL.

Os fatores de risco que precisam variações menores para atingir VPL negativos ou que tiverem a maior inclinação representam maior risco e devem ter sua atenção redobrada. Os fatores menos representativos em termos de sensibilidade podem ser objeto de menos preocupação em termos de qualidade das estimativas, pois eventuais erros não tornam o projeto inviável.

A tabela 17 apresenta os dados com as variações para os diferentes fatores. A primeira coluna da tabela refere-se à variação de 5% em 5% para menos e para mais, a partir dos resultados esperados (variação 0), para cada fator individualmente.

Tabela 17 – Análise de Sensibilidade.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE					
	Preço de Venda	Quantidade	Custo Variável	Custo Fixo	Vlr.Residual
	VPL-PREÇO	VPL-QTD.	VPL-Cvu	VPL-CFT	VPL-VR
-50%	R\$ (224.958.056,85)	R\$ (123.244.469,06)	R\$ 135.894.012,55	R\$ 35.817.007,03	R\$ 33.802.306,73
-45%	R\$ (199.044.208,69)	R\$ (107.501.979,68)	R\$ 125.722.653,77	R\$ 35.653.348,80	R\$ 33.840.118,53
-40%	R\$ (173.130.360,52)	R\$ (91.759.490,30)	R\$ 115.551.294,99	R\$ 35.489.690,58	R\$ 33.877.930,34
-35%	R\$ (147.216.512,36)	R\$ (76.017.000,91)	R\$ 105.379.936,21	R\$ 35.326.032,35	R\$ 33.915.742,14
-30%	R\$ (121.302.664,20)	R\$ (60.274.511,53)	R\$ 95.208.577,43	R\$ 35.162.374,12	R\$ 33.953.553,94
-25%	R\$ (95.388.816,04)	R\$ (44.532.022,15)	R\$ 85.037.218,66	R\$ 34.998.715,90	R\$ 33.991.365,75
-20%	R\$ (69.474.967,88)	R\$ (28.789.532,77)	R\$ 74.865.859,88	R\$ 34.835.057,67	R\$ 34.029.177,55
-15%	R\$ (43.561.119,72)	R\$ (13.047.043,38)	R\$ 64.694.501,10	R\$ 34.671.399,44	R\$ 34.066.989,35
-10%	R\$ (17.647.271,56)	R\$ 2.695.446,00	R\$ 54.523.142,32	R\$ 34.507.741,22	R\$ 34.104.801,16
-5%	R\$ 8.266.576,60	R\$ 18.437.935,38	R\$ 44.351.783,54	R\$ 34.344.082,99	R\$ 34.142.612,96
0%	R\$ 34.180.424,76	R\$ 34.180.424,76	R\$ 34.180.424,76	R\$ 34.180.424,76	R\$ 34.180.424,76
5%	R\$ 60.094.272,92	R\$ 49.922.914,15	R\$ 24.009.065,98	R\$ 34.016.766,54	R\$ 34.218.236,57
10%	R\$ 86.008.121,09	R\$ 65.665.403,53	R\$ 13.837.707,21	R\$ 33.853.108,31	R\$ 34.256.048,37
15%	R\$ 111.921.969,25	R\$ 81.407.892,91	R\$ 3.666.348,43	R\$ 33.689.450,08	R\$ 34.293.860,17
20%	R\$ 137.835.817,41	R\$ 97.150.382,29	R\$ (6.505.010,35)	R\$ 33.525.791,86	R\$ 34.331.671,98
25%	R\$ 163.749.665,57	R\$ 112.892.871,67	R\$ (16.676.369,13)	R\$ 33.362.133,63	R\$ 34.369.483,78
30%	R\$ 189.663.513,73	R\$ 128.635.361,06	R\$ (26.847.727,91)	R\$ 33.198.475,40	R\$ 34.407.295,58
35%	R\$ 215.577.361,89	R\$ 144.377.850,44	R\$ (37.019.086,69)	R\$ 33.034.817,18	R\$ 34.445.107,39
40%	R\$ 241.491.210,05	R\$ 160.120.339,82	R\$ (47.190.445,47)	R\$ 32.871.158,95	R\$ 34.482.919,19
45%	R\$ 267.405.058,21	R\$ 175.862.829,20	R\$ (57.361.804,24)	R\$ 32.707.500,72	R\$ 34.520.730,99
50%	R\$ 293.318.906,37	R\$ 191.605.318,59	R\$ (67.533.163,02)	R\$ 32.543.842,50	R\$ 34.558.542,80

Fonte: Resultados da pesquisa.

Neste exemplo, o preço de venda pode cair até 5% que o projeto ainda mostrará resultado positivo (RS 8.266.576,60). Com 10% de queda, o VPL passa para negativo (-17.647.271,56). É provável que o valor de limiar viável do preço de venda frente ao projeto esteja em torno de 7,5% de redução dos preços.

Os fatores menos sensíveis ao projeto foram o Valor Residual e o custo fixo. Mesmo com reduções nos valores residuais em 50% ou aumentos nos custos fixos em 50%, a VPL é superior a R\$ 32,54 milhões.

6.4.3 ANÁLISE DE RISCO

A tabela 18 apresenta os resultados para a análise de risco do projeto. Nesta análise foi realizada 1000 iterações para gerar os valores mínimo, máximo e médio do VPL do projeto. Dados os valores projetados, embora, trate-se de valores extremos, temos que o VPL mínimo para o projeto é de R\$ -57.268.657,41 e que o valor máximo que o projeto pode gerar é de R\$149.636.561,63.

Com base nas 1000 simulações realizadas a probabilidade de prejuízo do projeto é de 22% e de lucro 78%. O VPL médio, que representa o valor esperado do projeto, é de R\$32.096.899,97.

Tabela 18 – Análise de Risco do Projeto.

Análise probabilística - Risco do projeto		
Síntese do Resultado das 1.000 simulações		
VPL Mínimo:		(R\$57.268.657,41)
VPL Máximo:		R\$149.636.561,63
VPL Médio:		R\$32.096.899,97
Probabilidade de prejuízo:		22,00%
Probabilidade de Lucro:		78,00%
Probabilidade (-)	VPL	Probabilidade (+)
1%	(47.490.909,31)	99%
5%	(31.624.707,92)	95%
10%	(20.035.259,60)	90%
20%	(2.151.451,13)	80%
30%	10.249.066,02	70%
40%	20.754.418,13	60%
50%	29.525.843,57	50%
60%	39.549.949,84	40%
70%	51.957.078,06	30%

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em relação às probabilidades de valores de VPL, temos que há 30% de chances do projeto gerar um VPL inferior a R\$ 10.249.066,02 e de maneira inversa, 70% de chances do VPL gerado pelo projeto ser superior a este valor.

7. CONTRIBUIÇÕES PARA A PRÁTICA

Com o objetivo de analisar a viabilidade econômica e financeira em projetos que envolvam a recuperação energética de RSU, foi procedida a coleta dos dados necessários para a análise e elaborada a especificação de um software para esta análise. Para avaliar a consistência dos dados levantados e analisar a viabilidade em um projeto empírico, foi gerado um relatório eletrônico para auxiliar a avaliação de riscos e tomada de decisão.

O resultado final foi compilado e realizado a especificação de um software, que após ser desenvolvido permitirá que o seu usuário possa inserir os dados relativos a um ou mais municípios e calcular automaticamente a viabilidade econômica e financeira em projetos que envolvam a recuperação energética de RSU.

Os resultados obtidos podem ser considerados viáveis, considerando o cenário atual de valores e custos.

A análise realizada também avaliou os riscos do projeto, tendo obtidos altos índices de probabilidade de lucro, após 1000 iterações realizadas em planilha eletrônica.

Em relação à especificação de um software de análise econômica e financeira, foram realizados todos os passos necessários para a conclusão das fases anteriores a programação de software. Além disso, a realização dos cálculos de análise em uma planilha eletrônica auxiliar, permitiu a visualização dos dados finais de análise já durante a fase de programação, o que pode facilitar este trabalho e testar os resultados do estudo.

Independentemente dos resultados do estudo, o problema da destinação final de RSU nos diversos centros urbanos brasileiros continuará crescendo, a menos que medidas sejam tomadas no sentido da mitigação desses efeitos.

Desta maneira, a elaboração de ferramentas que permitam aos gestores a avaliação dos aspectos envolvidos em questões ambientais, em especial os aspectos econômicos e financeiros, podem contribuir de maneira significativa para implantação de projetos que auxiliem na conquista de melhores destinos ao RSU, do que o sepultamento e a posterior negação dos efeitos que esta prática tem para o ambiente e a sociedade.

8. CONCLUSÕES

Ao propor a especificação de um software para a análise econômica e financeira de projetos envolvendo resíduos sólidos urbanos, em especial em propostas com a recuperação energética dos resíduos, o trabalho procurou inserir-se em duas lacunas da área: a produção de softwares, que possam atender esta demanda e a necessidade de uma resposta a um problema cada vez maior nos centros urbanos, a gestão dos resíduos gerados.

Embora a questão ambiental tenha cada vez mais força na determinação das políticas públicas, há restrições econômicas e financeiras, que quando não são bem dimensionadas, acabam por comprometer um projeto.

Desta forma, a especificação dos requisitos necessários para o desenvolvimento de um software para a gestão econômica e financeira de projetos de gerenciamento de RSU pode auxiliar na resolução de uma necessidade para projetos nesta área, a determinação de sua viabilidade.

Para ilustrar as análises esperadas pelo sistema, foi utilizado os dados da região de Foz do Iguaçu e, do ponto de vista econômico, ao utilizar um modelo para analisar em diversos cenários e simulações, constata-se que o projeto oferece retornos aceitáveis em determinadas hipóteses.

Na realização da análise de sensibilidade foram estudados os efeitos que a variação de um determinado dado de entrada pode ocasionar nos resultados, considerando o VPL como indicador econômico.

Os resultados obtidos considerando o cenário atual de valores e custos são considerados economicamente viáveis além, da viabilidade econômica nos cenários em que os custos decaem ou os valores de comercialização sobem.

Apesar da análise de probabilidades indicar 78% de chances do projeto apresentar lucro, a análise de sensibilidade indicou os fatores preço de venda e custo variável como os mais sensíveis ao sucesso do projeto, devendo uma atenção redobrada do gestor interessado.

Considerando que a expansão dos centros urbanos eleva os custos para aquisição de áreas para aterros sanitários e que estes, além de desvalorizarem o seu entorno inviabilizam grandes áreas agriculturáveis ou urbanizáveis, o tratamento térmico dos resíduos pode ser uma alternativa atraente, tanto na questão ambiental quanto no retorno econômico financeiro esperado.

Ainda que a prática de reciclagem deva ser sempre a primeira opção em qualquer projeto relacionado aos RSU, todo material tem um ciclo de vida e esse não é infinito. Não importa quantas vezes um determinado material possa ser reciclado, em algum momento a reciclagem deixa de ser viável e a deposição em aterros passa a ser a principal opção no Brasil.

Desta forma, a incineração com recuperação energética deve ser considerada como uma alternativa ou componente do sistema de gerenciamento integrado de resíduos, na medida em que todo o material, de consumo ou permanente, em algum momento se transformará em resíduo inservível, e deverá ter um destino melhor que o simples sepultamento e os riscos ambientais que esta prática possui.

Ao desenvolver esta pesquisa, identificou-se a necessidade de novas pesquisas que auxiliariam a melhor compreensão dos problemas ambientais, econômicos e sociais envolvendo a questão dos resíduos sólidos urbanos, mas que não puderam ser objeto de análise por limitações de tempo e recursos. Assim, sugere-se que novas pesquisas possam ser realizadas envolvendo questões como a implementação conjunta de várias propostas além da incineração, como usinas de compostagem, usinas de digestão, plantas de preparo e beneficiamento dos resíduos recicláveis.

Em se tratando de softwares, dentre as necessidades levantadas junto aos gestores envolvidos, percebeu-se a carência de programas que avaliem mais de um projeto ao mesmo tempo, propiciando uma análise global sobre as questões relativas aos RSU.

9. REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2014. Grappa Editora e Comunicação, São Paulo – SP, 2015.

AKKERMANS H., GORDIJ J. "What is This Science Called Requirements Engineering?". Requirements Engineering, 14th IEEE International Conference, Minneapolis/St. Paul, MN, 2006, pp. 273-278. doi: 10.1109/RE.2006.73

AMES CITY, 2015. We're Turning Garbage Into Energy!. Disponível em: <<http://www.cityofames.org/index.aspx?page=168>>. Acesso em 10 de julho de 2015

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Atlas de energia elétrica do Brasil. 2 ed. Brasília: ANEEL, 2005.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Resolução Normativa nº 652 de 9 de dezembro de 2003. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2003652.pdf>>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2012.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Resolução Normativa nº 77 de 18 de agosto de 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2004077.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2011.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Resolução Normativa nº 247 de 21 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2006247.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2011.

ASSAF NETO, Alexandre. Finanças Corporativas e Valor. 2. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896: aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE. Fevereiro/2013.

BRIGHAM, Eugene F.; EHRHARDT, Michael C. Administração Financeira: Teoria e Prática. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2006.

BRITO, Adailton Pereira. Análise econômica preliminar da implantação de incinerador de resíduos sólidos urbanos na região de Bauru. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2013.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: CEMPRE, 2010. 350p.

CEWEP - Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Environmentally sound use of bottom ash. Disponível em: < http://www.cewep.eu/information/publicationsandstudies/statements/ceweppublications/m_72 > Acesso em 23 de Julho de 2015.

CEWEP - Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Waste-to-Energy & Resource Efficiency. Disponível em: < <http://www.cewep.eu/information/recycling/waste-to-energyandresourceefficiency/index.html> > Acesso em 23 de Julho de 2015.

CEWEP - Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Legislation of Emissions. Disponível em: < <http://www.cewep.eu/information/data/legislation/emissions/index.html> > Acesso em 23 de Julho de 2015.

CEWEP - Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Legislation of Waste. Disponível em: < <http://www.cewep.eu/information/data/legislation/waste/index.html> > Acesso em 23 de Julho de 2015.

COCKBURN, A. Writing Effective Use Cases. 1. ed. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2000. ISBN 0201702258.

EPA - United States Environmental Protection Agency Office of Resource Conservation and Recovery. Advancing Sustainable Materials Management. Facts and Figures 2013.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007a.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Nacional de Energia 2030 – Geração hidrelétrica. Rio de Janeiro: EPE, 2007b.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Nacional de Energia 2030 – Geração termelétrica (Biomassa). Rio de Janeiro: EPE, 2007c.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Nacional de Energia 2030 – Outras fontes. Rio de Janeiro: EPE, 2007d.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Fontes Alternativas: 1º Leilão de Fontes Alternativas agrega 638,64 MW ao SIN. Rio de Janeiro, 18 de junho de 2007e. Disponível em: <www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20070618_1.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Decreto regulamenta as ICG para conexão compartilhada, 4 de junho de 2008a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Chamada%20P%C3%BAblica%20ICG/ICG_3.aspx?CategoriaID=20>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Energia de Reserva: leilão de Energia de Reserva negocia 2.379 MW de térmicas à biomassa. Rio de Janeiro, 14 de agosto de 2008b. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20080814_1.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Energia de Reserva – Eólica: primeiro leilão de energia eólica do país viabiliza a construção de 1.805,7 MW. São Paulo, 14 de dezembro de 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20091214_1.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Fontes Alternativas 2010: Leilão de Fontes Alternativas contratam 89 usinas, com 2.892,2 MW. São Paulo, 26 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20100826_1.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Balanço Energético Nacional 2011 – Ano base 2010. Rio de Janeiro: EPE, 2011a.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Plano Decenal de Expansão de Energia 2010- 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2011b.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Energia de Reserva 2011: contratação no Leilão de Reserva totaliza 1.218,1 MW, através de 41 usinas. São Paulo, 18 de agosto de 2011c. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110818_1.pdf>. Acesso em: 3 de novembro de 2011.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Energia A-3/2011: leilão de energia para 2014 contrata 51 usinas, somando 2.744 MW, através de 41 usinas. São Paulo, 17 de outubro de 2011d. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110817_1.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Energia A-5/2011: leilão de energia para 2016 contrata 1.211,5 de 42 projetos de geração. São Paulo, 20 de dezembro de 2011e. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20111220_1.pdf>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. A-5/2012: Leilão de geração para 2017 contrata usinas hidrelétricas e parques eólicos. São Paulo, 14 de dezembro de 2012. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20A-5%202012/A-52012Leil%C3%A3odegera%C3%A7%C3%A3opara2017contratausinashidrel%C3%A9trica%20e%20parques%20e%C3%B3licos.aspx?CategoriaID=6801>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de Reserva contrata 1.505 MW de energia eólica para o ano de 2015. São Paulo, 23 de Agosto de 2013a. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Reserva%202013%20\(E%C3%B3lica\)/Leil%C3%A3odeReservacontrata1505MWdeenergiae%C3%B3licaparaonode2015.aspx?CategoriaID=6845](http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Reserva%202013%20(E%C3%B3lica)/Leil%C3%A3odeReservacontrata1505MWdeenergiae%C3%B3licaparaonode2015.aspx?CategoriaID=6845)>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de energia para 2016 contrata 867,6 MW através de 39 parques eólico. São Paulo, 18 de Novembro de 2013b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20A-3%202013/Leil%C3%A3odeenergiapara2016contrata867,6MWatrav%C3%A9sde39parques%C3%B3lico.aspx?CategoriaID=6861>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão de energia para 2016 contrata 867,6 MW através de 39 parques eólico. São Paulo, 18 de Novembro de 2013c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/2%C2%BA%20Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20A-5%202013/2%C2%BAA-52013leil%C3%A3odeenergiapara2018contrata3,5milMWatrav%C3%A9sde119novasusinas.aspx?CategoriaID=6863>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Leilão FA 2015 negocia energia de 11 usinas com deságio de 1,96%. São Paulo, 27 de Abril de 2015a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Fontes%20Alternativas%202015/Leil%C3%A3oFA2015negociaenergiade11usinascomdes%C3%A1giode1,96.aspx>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. 1º LER 2015: EPE cadastra 382 projetos de energia fotovoltaica. São Paulo, 29 de Maio de 2015b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/1%C2%BA%20Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Reserva%202015/1%C2%BALER2015EPEhabilita382projetosdeenergiafotovoltaica.aspx>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). Informe à imprensa. Inscrição para 2º LER 2015 bate recorde: 1.379 projetos de energia eólica e solar. São Paulo, 29 de Maio de 2015c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/2%C2%BA%20Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20de%20Reserva%202015/Inscri%C3%A7%C3%A3opara2%C2%BALER2015baterecorde1379projetosinscritos.aspx>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

EUROPEAN COMMISSION. Environment and Waste - Framework Directive. Disponível em <<http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/energy.htm>> Acesso em 23 de Julho de 2015.

EEA - European Environment Agency. Disponível em <http://www.eea.europa.eu/publications/#c14=&c12=&c7=en&c11=5&b_start=0&c1=2014-06-01&c1=2015-08-03&c5=air> Acesso em: 23 de Julho de 2015.

EUROSTAT. Energy, transport and environment indicators - Pocketbooks. 2014 edition. European Union, 2014 Luxembourg.

FAMA, E. F. "Stock returns, real activity, inflation and money". *American Economic Review*, 71(4):545–565. (1981).

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais . Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2012.

GITMAN, L. J. *Princípios de Administração Financeira*. Ed. 12. São Paulo: Pearson Education, 2010.

HASHIMURA, Luís de Medeiros Marques. Aproveitamento do Potencial de Geração de Energia Elétrica por Fontes Renováveis Alternativas no Brasil: Instrumentos de Política e Indicadores de Progresso. Dissertação (mestrado) – UFRJ / COPPE / Programa de Planejamento Energético, 2012. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

HAUSER, D. P.; LEMME, C. F.; Modelo de Financiamento para Projetos de Incineração de Resíduo Sólido Municipal no Âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo; *Revista de Gestão Social e Ambiental*; 2007.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. MANUAL PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS EM VALAS DE PEQUENAS DIMENSÕES, TRINCHEIRAS E EM CÉLULAS. 2006. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Atividades/MANUAL_DO_ATERRO.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Demográfica - Indicadores*, Rio de Janeiro, 2013.

ISWA - the International Solid Waste Association. *Waste-to-Energy: Less Environmental Impact than Almost Any Other Source of Electricity* Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20080625103459/http://www.wte.org/environment/>>. Acesso em 10 de julho de 2015.

ISWA - the International Solid Waste Association. *Waste-to-Energy State-of-the-Art-Report*. 6th Edition August, 2012. RAMBØLL Danmark A/S Hannemanns Allé 53 DK-2300 Copenhagen S Denmark.

JIANG L., EBERLEIN A., FAR B.H., MOUSAVI M. "A methodology for the selection of requirements engineering techniques *Software and Systems Modeling*". 7 (3) (2008), pp. 303–328

MARANHO, Alexander da Silva. Potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos para Bauru e região. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2008.

MENEZES, Ricardo A. Amaral; GERLACH, José Luiz; MENEZES, Marco Antonio. Estágio atual da incineração no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, VII., 2000, Curitiba. Anais eletrônicos... Curitiba:

MME (Ministério de Minas e Energia). O PROINFA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>. Acesso em: 18 de julho de 2015.

MME (Ministério de Minas e Energia). Portaria nº 45 de 30 de março de 2004. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/NXT/gateway.dll/libraryaneel/basica/port/portmme/2004/bprt2004045mme.xml>>. Acesso em: 12 de julho de 2015.

NEED. National Energy Education Development Project. Disponível em: <<http://www.need.org/content.asp?contentid=83>>. Acesso em 16 de Julho de 2015.

NOVI, Juliana Chiaretti. Avaliação legal, ambiental econômico-financeira da implantação de sistema próprio de tratamento de resíduos de serviços de saúde no HC-FMRP-USP para geração de energia. Dissertação (mestrado) – USP / FEA-RP/ Programa de Pós Graduação em Administração de Organizações, 2011. Ribeirão Preto - SP, 2011.

PAVAN, Margareth de Cássia Oliveira. Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia) EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

PINTO JR., H. Q. et al. Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PLANALTO. Decreto de 27 de dezembro de 1994. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/DNN/Anterior%20a%202000/1994/Dnn2793.htm>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

PSOMOPOULOS, C.S. et al. 2009. Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. Waste Management 29 (2009) 1718–1724

POLETTO FILHO, José Antonio. Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem. Dissertação apresentada à UNESP – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. BAURU – SP Maio - 2008

SANTOS, Guilherme Garcia Dias dos. Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: o Caso da Incineração e da Disposição em Aterro. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2011. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de software. 9ª Edição. Pearson Education, Rio de Janeiro. 2012.

PLANALTO. Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica. Resolução nº 24 de 5 de julho de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Resolu%E7%E3o/RES24-01.htm>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

PLANALTO. Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: 25 de outubro de 2011.

PLANALTO. Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>. Acesso em: 28 de outubro de 2011.

PLANALTO. Decreto nº 6.460 de 19 de maio de 2008. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6460.htm>. Acesso em: 22 de novembro de 2011.

QIU, Ling. Analysis Of The Economics Of Waste-To-Energy Plants In China. Department of Earth and Environmental Engineering Columbia University. December 2012.

ROCHA, G. H. T; LANG, L. C. Determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares – Ênfase nos resíduos domésticos potencialmente perigosos. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville – Santa Catarina – SC, 2003.

SIVESS V. “Non-functional requirements in the software development process”. Software Quality Journal, 5 (1996), pp. 285–294.

THEMELIS, Nickolas J.; BARRIGA, Maria Elena Diaz, ESTEVEZ, Paula; VELASCO, Maria Gaviota. GUIDEBOOK FOR THE APPLICATION OF WASTE TO ENERGY TECHNOLOGIES IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN. Earth Engineering Center, Columbia University. July, 2013.

THEMELIS, Nickolas J.; MUSSCHE, Charles. Municipal Solid Waste Management And Wasteto-Energy In The United States, China And Japan. 2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining. Houthalen-Helchteren. 14-16/10/2013

VIANA, Alexandre Guedes; PARENTE, Virginia Parente. A experiência brasileira de incentivo a expansão das fontes renováveis por meio de leilões de energia elétrica. Revista Brasileira de Energia, Vol. 16, No. 1, 1o Sem. 2010, pp. 21-36.

WILSON, Bary; WILLIAMS, Neil; LISS, Barry; WILSON, Brandon. A Comparative Assessment of Commercial Technologies for Conversion of Solid Waste to Energy. EnviroPower Renewable, Inc. October, 2013.

10. APÊNDICES

Apêndice I. Especificação de requisitos: documento contendo o conjunto de requisitos de caso de uso para cada um dos módulos do sistema.

CÓDIGO DO SOFTWARE = OLS

Nome do Software = Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
05/12/2015	0.1	Criação do Documento	José Henrique / Ivonei
17/12/2015	0.5	Alteração Documento	José Henrique / Ivonei
25/02/2016	1.0	Revisão	José Henrique / Ivonei

Cadastro Municipal

Breve Descrição

Este caso de uso é de inclusão e descreve o processo para realização do cadastro completo do município.

REFERÊNCIAS

Não se aplica.

ATORES

Técnico e/ou Dirigentes Municipais.

PRÉ-CONDIÇÕES

O ator deve estar autenticado no sistema e autorizado para acessar a funcionalidade.

FLUXOS DE EVENTOS

Básico

Este caso de uso começa após o Ator confirmar um pedido de novo cadastro, então:

1. Sistema apresenta opções para o cadastramento do município com a possibilidade de incluir, alterar e excluir um novo cadastro de município;
2. Ator seleciona a opção para incluir o nome do município;
3. Ator seleciona a opção para incluir o código IBGE do município;

4. Ator seleciona a opção para incluir a distância do município que está cadastrando em relação ao município sede do projeto;
5. Ator seleciona a opção para incluir o número de habitantes do município;
6. Ator seleciona a opção para finalizar e salvar no banco de dados o cadastro do município;
7. caso de uso termina aqui.

FLUXOS ALTERNATIVOS

Alterar Simulação

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar alterar um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro e seleciona opção para alteração;
2. O caso de uso retorna ao passo 3 do fluxo básico.

EXCLUIR SIMULAÇÃO

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar excluir um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro salvo e seleciona opção para exclusão;
2. O Sistema solicita confirmação da exclusão;
3. O Ator confirma a ação;
4. O caso de uso termina aqui.

PONTOS DE EXTENSÃO

Não se aplica

CASOS DE USO INCLUÍDOS

Não se aplica

PÓS-CONDIÇÕES

Um novo município foi incluído no sistema.

Especificação de Caso de Uso

CÓDIGO DO SOFTWARE = OLS

Nome do Software = Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
05/12/2015	0.1	Criação do Documento	José Henrique / Ivonei
17/12/2015	0.5	Alteração Documento	José Henrique / Ivonei
25/02/2016	1.0	Revisão	José Henrique / Ivonei

Cadastro de RSU

Breve Descrição

Este caso de uso é de inclusão e descreve o processo para realização do cadastro completo de RSU do município.

REFERÊNCIAS

Não se aplica.

ATORES

Técnico e/ou Dirigentes Municipais.

PRÉ-CONDIÇÕES

O ator deve estar autenticado no sistema e autorizado para acessar a funcionalidade.

FLUXOS DE EVENTOS

Este caso de uso começa após o Ator confirmar um pedido de novo cadastro, então:

1. Sistema apresenta opções para o cadastramento dos resíduos sólidos urbanos para o município com a possibilidade de incluir, alterar e excluir um novo cadastro;
2. O Ator seleciona a opção para incluir a Produção municipal diária do município;
3. O Ator seleciona a opção para incluir a Composição Gravimétrica do RSU – Orgânicos do município;

4. O Ator seleciona a opção para incluir a Composição Gravimétrica do RSU – Papéis e assemelhados do município;
5. O Ator seleciona a opção para incluir a Composição Gravimétrica do RSU – Metais do município;
6. O Ator seleciona a opção para incluir a Composição Gravimétrica do RSU – Vidros do município;
7. O Ator seleciona a opção para incluir a área de terra destinada ao aterro do município;
8. O Ator seleciona a opção para finalizar e salvar no banco de dados o cadastro do município;
9. O caso de uso termina aqui.

FLUXOS ALTERNATIVOS

Alterar Simulação

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar alterar um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro e seleciona opção para alteração;
2. O caso de uso retorna ao passo 3 do fluxo básico.

EXCLUIR SIMULAÇÃO

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar excluir um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro salvo e seleciona opção para exclusão;
2. O Sistema solicita confirmação da exclusão;
3. O Ator confirma ação;
4. O caso de uso termina aqui.

PONTOS DE EXTENSÃO

Não se aplica

CASOS DE USO INCLUÍDOS

Não se aplica

PÓS-CONDIÇÕES

Um novo cadastro de RSU foi incluído no sistema.

Especificação de Caso de Uso

CÓDIGO DO SOFTWARE = OLS

Nome do Software = Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
05/12/2015	0.1	Criação do Documento	José Henrique / Ivonei
17/12/2015	0.5	Alteração Documento	José Henrique / Ivonei
25/02/2016	1.0	Revisão	José Henrique / Ivonei

Dados de Coleta

Breve Descrição

Este caso de uso é de inclusão e descreve o processo para realização do cadastro completo de dados de coleta de RSU para o município.

REFERÊNCIAS

Não se aplica.

ATORES

Técnico e/ou Dirigentes Municipais.

PRÉ-CONDIÇÕES

O ator deve estar autenticado no sistema e autorizado para acessar a funcionalidade.

FLUXOS DE EVENTOS

Este caso de uso começa após o Ator confirmar um pedido de novo cadastro de dados de coleta de Resíduos Sólidos do Município, então:

1. Sistema apresenta opções para o cadastramento dos dados de coleta do município com a possibilidade de incluir, alterar e excluir um novo cadastro de dados financeiros;
2. O Ator seleciona a opção para incluir os percentuais de residências atendidas pela equipe de coleta de RSU no município;
3. O Ator seleciona a opção para incluir as distâncias percorridas diariamente pela equipe

de coleta de RSU no município;

4. O Ator seleciona a opção para incluir o Percentual Coletado de papéis e assemelhados para Reciclagem no município;
5. O Ator seleciona a opção para incluir o Percentual Coletado de Metais para Reciclagem no município;
6. O Ator seleciona a opção para incluir o Percentual Coletado de vidros para Reciclagem no município;
7. O Ator seleciona a opção para incluir a Quantidade diária de RSU destinada ao Aterro no município;
8. O Ator seleciona a opção para incluir a Quantidade diária de RSU destinada à Compostagem no município;
9. O Ator seleciona a opção para incluir a Quantidade diária de RSU destinada à Incineração no município;
10. O Ator seleciona a opção para finalizar e salvar no banco de dados o cadastro da coleta de RSU no município;
11. O caso de uso termina aqui.

FLUXOS ALTERNATIVOS

Alterar Simulação

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar alterar um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro e seleciona opção para alteração;
2. O caso de uso retorna ao passo 3 do fluxo básico.

EXCLUIR SIMULAÇÃO

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar excluir um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro salvo e seleciona opção para exclusão;
2. O Sistema solicita confirmação da exclusão;
3. O Ator confirma ação;
4. O caso de uso termina aqui.

PONTOS DE EXTENSÃO

Não se aplica

CASOS DE USO INCLUÍDOS

Não se aplica

PÓS-CONDIÇÕES

Um novo cadastro de Coleta de RSU foi incluso no sistema.

Especificação de Caso de Uso

CÓDIGO DO SOFTWARE = OLS

Nome do Software = Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
05/12/2015	0.1	Criação do Documento	José Henrique / Ivonei
17/12/2015	0.5	Alteração Documento	José Henrique / Ivonei
25/02/2016	1.0	Revisão	José Henrique / Ivonei

Dados Financeiros

Breve Descrição

Este caso de uso é de inclusão e descreve o processo para realização do cadastro completo de dados financeiros para o município.

REFERÊNCIAS

Não se aplica.

ATORES

Técnico e/ou Dirigentes Municipais.

PRÉ-CONDIÇÕES

O ator deve estar autenticado no sistema e autorizado para acessar a funcionalidade.

FLUXOS DE EVENTOS

Este caso de uso começa após o Ator confirmar um pedido de novo cadastro de dados financeiros relativos à Gestão de Resíduos Sólidos do Município, então:

1. Sistema apresenta opções para o cadastramento dos dados financeiros do município com a possibilidade de incluir, alterar e excluir um novo cadastro de dados financeiros;
2. O Ator seleciona a opção para incluir os valores anuais esperados para recebimento da Taxa de Coleta de RSU no município;
3. O Ator seleciona a opção para incluir os valores máximos unitários (em Mw) para a venda da produção de energia elétrica a partir da incineração de RSU no município;

4. O Ator seleciona a opção para incluir os valores mínimos unitários (em Mw) para a venda da produção de energia elétrica a partir da incineração de RSU no município;
5. O Ator seleciona a opção para incluir a quantidade esperada de venda de energia gerada em valores anuais para o município;
6. O Ator seleciona a opção para incluir o valor máximo para venda de créditos de carbono em valores anuais decorrentes da mitigação dos gases de efeito estufa a partir da incineração de RSU no município;
7. O Ator seleciona a opção para incluir o valor mínimo para venda de créditos de carbono em valores anuais decorrentes da mitigação dos gases de efeito estufa a partir da incineração de RSU no município;
8. O Ator seleciona a opção para incluir o retorno financeiro estimado para área do aterro que será poupada pela incineração do RSU no município;
9. O Ator seleciona a opção para incluir os Custos Fixos com a Operação em Valores Anuais, decorrentes da incineração do RSU no município;
10. O Ator seleciona a opção para incluir os Custos Variáveis com a Operação em Valores Anuais, decorrentes da incineração do RSU no município;
11. O Ator seleciona a opção para incluir o Investimento necessário para o projeto;
12. O Ator seleciona a opção para incluir a Taxa de Atratividade relativa ao projeto;
13. O Ator seleciona a opção para incluir o Valor Residual ao final do projeto;
14. O Ator seleciona a opção para finalizar e salvar no banco de dados o cadastro da coleta de RSU no município;
15. O caso de uso termina aqui.

FLUXOS ALTERNATIVOS

Alterar Simulação

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar alterar um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro e seleciona opção para alteração;
2. O caso de uso retorna ao passo 3 do fluxo básico.

EXCLUIR SIMULAÇÃO

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar excluir um cadastro salvo, então:

1. O Ator escolhe um cadastro salvo e seleciona opção para exclusão;

2. O Sistema solicita confirmação da exclusão;
3. O Ator confirma ação;
4. O caso de uso termina aqui.

PONTOS DE EXTENSÃO

Não se aplica

CASOS DE USO INCLUÍDOS

Não se aplica

PÓS-CONDIÇÕES

Um novo cadastro financeiro foi incluído no sistema.

Especificação de Caso de Uso

CÓDIGO DO SOFTWARE = OLS

Nome do Software = Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
05/12/2015	0.1	Criação do Documento	José Henrique / Ivonei
17/12/2015	0.5	Alteração Documento	José Henrique / Ivonei
25/02/2016	1.0	Revisão	José Henrique / Ivonei

Análise Econômico-financeira

Breve Descrição

Este caso de uso é de análise e descreve o processo para realização da análise econômico-financeira dos dados informados no cadastro completo de dados municipais, no cadastro de dados de coleta de resíduos e no cadastro de dados financeiros para o município.

REFERÊNCIAS

Não se aplica.

ATORES

Técnico e/ou Dirigentes Municipais.

PRÉ-CONDIÇÕES

O ator deve estar autenticado no sistema e autorizado para acessar a funcionalidade.

FLUXOS DE EVENTOS

Este caso de uso começa após o Ator confirmar um pedido de nova análise de dados econômico-financeiros relativos à Gestão de Resíduos Sólidos do Município, então:

1. Sistema apresenta opções para a realização da análise dos dados econômico-financeiros a partir do cadastramento dos dados dos municípios realizados nos módulos anteriores com a possibilidade de incluir, alterar e excluir uma nova análise de dados econômico-financeiros;
2. O Ator seleciona os municípios participantes do projeto, previamente cadastrados,

podendo ser apenas um ou vários municípios;

3. O Ator seleciona a opção para incluir, dentre os cadastros financeiros previamente salvos no sistema, o projeto que lhe interessar;
4. O Ator seleciona a opção para realizar a análise de dados;
5. O sistema apresenta os dados de Resultados Esperados, a Análise de Cenários, a Análise de Sensibilidade e a Análise de Probabilidades;
6. O Ator seleciona a opção para finalizar e salvar no banco de dados a análise econômico-financeira do projeto;
7. O caso de uso termina aqui.

FLUXOS ALTERNATIVOS

Alterar Simulação

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar alterar uma análise salva, então:

1. O Ator escolhe uma análise e seleciona opção para alteração;
2. O caso de uso retorna ao passo 3 do fluxo básico.

EXCLUIR SIMULAÇÃO

Se no passo 2 do fluxo básico o Ator desejar excluir uma análise salva, então:

1. O Ator escolhe um cadastro salvo e seleciona opção para exclusão;
2. O Sistema solicita confirmação da exclusão;
3. O Ator confirma ação;
4. O caso de uso termina aqui.

PONTOS DE EXTENSÃO

Não se aplica

CASOS DE USO INCLUÍDOS

Estão condicionados ao funcionamento deste caso de uso o prévio cadastro dos dados do município, os dados de coleta municipal de RSU e os dados financeiros do projeto.

PÓS-CONDIÇÕES

Uma nova análise econômica e financeira foi incluída no sistema

Especificação de Caso de Uso

CÓDIGO DO SOFTWARE = OLS

Nome do Software = Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com Recuperação Energética

Histórico de Revisões

Data	Versão	Descrição	Autor
05/12/2015	0.1	Criação do Documento	José Henrique / Ivonei
17/12/2015	0.5	Alteração Documento	José Henrique / Ivonei
25/02/2016	1.0	Revisão	José Henrique / Ivonei

Relatórios

Breve Descrição

Este caso de uso é de exibição de dados e descreve o processo para a exibição de relatórios formados a partir dos dados contidos no cadastro completo de dados municipais, no cadastro de dados de coleta de resíduos, no cadastro de dados financeiros para o município e na análise financeira.

REFERÊNCIAS

Não se aplica.

ATORES

Técnico e/ou Dirigentes Municipais.

PRÉ-CONDIÇÕES

O ator deve estar autenticado no sistema e autorizado para acessar a funcionalidade. E deve haver cadastros inseridos previamente.

FLUXOS DE EVENTOS

Este caso de uso começa após o Ator confirmar um pedido de exibição de relatório, elaborado a partir dos dados relativos à Gestão de Resíduos Sólidos do Município, então:

1. Sistema apresenta opções para a exibição dos relatórios, sendo possível escolher um ou mais tipos de relatórios, os quais serão elaborados com base nos dados contidos no cadastro completo de dados municipais, no cadastro de dados de coleta de resíduos, no

cadastro de dados financeiros para o município e no módulo de análise financeira;

2. O Ator terá a opção de selecionar os municípios participantes do projeto, previamente cadastrados, podendo ser apenas um ou vários municípios, para exibição dos relatórios de seus cadastros;
3. O Ator terá a opção de selecionar os dados de coleta dos municípios participantes do projeto, previamente cadastrados, podendo ser apenas um ou vários municípios, para exibição dos relatórios de seus cadastros de coleta;
4. O Ator terá a opção de selecionar, dentre os cadastros financeiros previamente salvos no sistema, o projeto que lhe interessar para exibição do relatório;
5. O Ator terá a opção de selecionar, dentre as análises financeiras previamente salvas, a que lhe interessar para exibição do relatório;
6. O sistema apresenta os relatórios selecionados;
7. O Ator seleciona a opção para visualizar o relatório selecionado;
8. O Ator seleciona a opção imprimir, salvar no banco de dados ou descartar o relatório visualizado;
9. O caso de uso termina aqui.

FLUXOS ALTERNATIVOS

Alterar Relatório

Se no passo 1 do fluxo básico o Ator desejar alterar um relatório salvo, então:

1. O Ator escolhe um relatório e seleciona opção para alteração;
2. O caso de uso retorna ao passo 2 do fluxo básico.

EXCLUIR SIMULAÇÃO

Se no passo 1 do fluxo básico o Ator desejar excluir um relatório salvo, então:

1. O Ator escolhe um relatório salvo e seleciona opção para exclusão;
2. O Sistema solicita confirmação da exclusão;
3. O Ator confirma a ação;
4. O caso de uso termina aqui.

PONTOS DE EXTENSÃO

Não se aplica

CASOS DE USO INCLUÍDOS

Estão condicionados ao funcionamento deste caso de uso o prévio cadastro dos dados do município, os dados de coleta municipal de RSU, os dados financeiros do projeto e as análises econômico-financeiras de projetos previamente salvas.

PÓS-CONDIÇÕES

Não se aplica.