

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP
PROGRAMA DE MESTRADO E DOUTORADO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE DIFERENTES
CENÁRIOS PARA TRATAMENTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS

GESLAINE FRIMAIO DA SILVA

SÃO PAULO
2017

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP
PROGRAMA DE MESTRADO E DOUTORADO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE DIFERENTES
CENÁRIOS PARA TRATAMENTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (Doutorado) da Universidade Paulista – UNIP

Orientadora: Prof^a. Dra. Cecília M. Villas Bôas de Almeida

Área de Concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção

Linha de Pesquisa: Avanços em Produção mais Limpa e Ecologia Industrial.

Projeto de Pesquisa: Avaliação e aplicação de Indicadores para desenvolvimento sustentável

GESLAINE FRIMAIO DA SILVA

SÃO PAULO
2017

Frimaio, Geslaine.

Avaliação do desempenho ambiental de diferentes cenários para tratamentos de resíduos sólidos urbanos em municípios brasileiros. / Geslaine Frimaio. - 2017.

246 f. : il. color. + CD-ROM.

Tese de Doutorado Apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2017.

Área de Concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida.

Coorientador: Prof. Dr. Biagio Fernando Giannetti.

1. Emergia. 2. Programação por metas. 3. Tratamento de resíduos. 4. RSU. I. Almeida, Cecília Maria Villas Bôas de Almeida. (orientadora). II. Giannetti, Biagio Fernando. III. Título.

GESLAINE FRIMAIO DA SILVA

Data de aprovação: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

_____/____/____
Profa. Orientadora Dra. Cecília M. V. B. de Almeida
Universidade Paulista – UNIP

_____/____/____
Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho
Universidade Paulista – UNIP

_____/____/____
Prof. Dr. Rodrigo Franco Gonçalves
Universidade Paulista – UNIP

_____/____/____
Prof. Dr. Gilson Lameira de Lima
Universidade Federal do ABC – UFABC

_____/____/____
Prof. Dr. Maurício Waldman
Cerâmica City

DEDICATÓRIA

*A todos aqueles que não desistem e conseguem
transpor as barreiras em busca de seus objetivos,
em especial à minha família.*

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, pelo dom da vida e da saúde;

A minha querida família, pelo apoio, incentivo e compreensão pela ausência;

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Cecília M.V.B. de Almeida pela oportunidade, paciência e dedicação em todas as etapas deste trabalho;

Aos profs. Drs. Biagio Fernando Giannetti, Sílvia Helena Bonilla, Feni Agostinho Dalano e Cecília M. Villas Bôas de Almeida, pela oportunidade da convivência, pelas críticas e sugestões a este trabalho e pela formação concedida;

Aos professores da banca, doutores Gilson Lameira, Maurício Waldman, Feni Agostinho e Rodrigo Franco Gonçalves, pela disponibilidade, observações e sugestões valiosas que lapidaram este trabalho;

Ao Prof. Dr. Roberto Moreno, pela ajuda significativa e indispensável em Programação Linear e Programação por Metas;

A todas as pessoas que contribuíram no fornecimento de dados e informações para que esta pesquisa fosse concluída, em especial aos Srs. Mário Martins (Projeto Natureza Limpa), Alexandre Citvaras (Foxx Ambiental), Robson Arruda (RGT International), Fabrício Fortes (Valor Ambiental) e Maísa Santaella (Aterro sanitário Sítio São João).

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – IFSULDEMINAS pelo incentivo à Pós-Graduação;

Meus agradecimentos à reitora do IFAC, Prof^a. Dr^a. Rosana Cavalcante e ao reitor do IFSULDEMINAS, Prof. Dr. Marcelo Bregagnoli pelo empenho ao meu convívio familiar e qualidade de vida, fatores primordiais para o término deste trabalho.

A todos os funcionários da UNIP que todos os dias nos fornecem o suporte necessário para a realização desta pesquisa, em especial ao Luiz Guelmandi Neto, Márcia Nunes e Prof. Dr. Oduvaldo Vendrametto.

Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições de Ensino Particulares – (PROSUP/CAPES), pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	
Lista de Tabelas.....	
RESUMO.....	
ABSTRACT.....	
1. Introdução.....	19
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo Geral.....	23
2.2 Objetivos Específicos	23
3. Revisão Bibliográfica	24
3.1 Definição: Resíduos Sólidos Urbanos.....	24
3.1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	24
3.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305	26
3.3 Descrição dos sistemas de tratamento de RSU avaliados	27
3.3.1 Aterro Sanitário	28
3.3.2 Aterro Sanitário com produção de energia elétrica	30
3.3.3 Incineração	32
3.3.4 Pirólise	34
3.3.5 Compostagem	36
3.3.6 Tocha de Plasma.....	38
3.4. Estado da arte da Síntese em Emergia	41
3.4.1 Síntese em Emergia na avaliação de tratamento de resíduos: Estado da Arte.....	41
3.4.1.1 Síntese em Emergia na avaliação de tratamento de resíduos: Estado da Arte	41
3.5 Programação por Metas	47
3.5.1 Estado da arte de Programação por Metas	48
3.6 Estudos utilizados como base de dados.....	50
3.7 Conceito de Cenários.....	54
4. Materiais e Métodos	56
4.1 Síntese em Emergia	56

4.2 Coleta de Dados	58
4.3 Critério de Escolha dos Municípios e RSU gerado	59
4.4 Cenários propostos.....	63
4.5 Proposição de cenários que consideram somente o processo de tratamento.....	64
4.6 Proposição de cenários considerando o benefício da energia elétrica. 65	
4.7 Programação por Metas	67
4.8 Modelo de Programação por Metas para selecionar o melhor sistema de tratamento de RSU	71
5 Resultados	74
5.1 Resultados da Síntese em Emergia	74
5.1.1 Aterro Sanitário	74
5.1.2 Incineração	78
5.1.3 Tocha de Plasma.....	81
5.1.4 Pirólise	85
5.1.5 Compostagem	86
5.1.6 UEVs dos sistemas de tratamento de RSU	88
5.1.7 Cenários empregando duas tecnologias de tratamento para megacidades, e cidades de médio e grande porte	89
5.1.8 Cenários agregando três tecnologias de tratamento	93
5.1.9 Benefícios dos cenários com produção de energia elétrica e composto	96
5.1.10 Cenários utilizando três tecnologias de tratamento	98
5.2 Análise e Interpretação dos resultados da Programação por Metas comparando somente o tratamento de RSU	99
5.3 Análise e Interpretação dos resultados da Programação por Metas considerando os benefícios gerados com a energia elétrica e o composto orgânico.....	101
6. Conclusões	104
7. Sugestões para trabalhos futuros.....	107
Referências Bibliográficas	108
Apêndice A – Símbolos da metodologia Síntese em Emergia.....	120
Apêndice B – Memorial de cálculo do sistema de incineração com geração de eletricidade.....	121

Apêndice C – Memorial de cálculo do sistema de incineração sem a produção de energia	140
Apêndice D – Memorial de cálculo da tocha de plasma com produção de energia	142
Apêndice E – Memorial de cálculo da tocha de plasma sem a produção de energia	155
Apêndice F – Memorial de cálculo do sistema de tratamento por pirólise....	157
Apêndice G – Memorial de cálculo do sistema de compostagem	173
Apêndice H – Cálculo das UEVs para cada cenário de tratamento de RSU	191
Apêndice I – Cálculo dos benefícios para as cidades.....	210
Apêndice J – Apresentação dos dados utilizados na Programação por Metas.	229
Apêndice K – Cálculo dos benefícios para as cidades	237
Referências Bibliográficas dos Anexos	238

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aterro sanitário Sítio São João.....	29
Figura 2 – Principais sistemas de infra-estrutura do aterro sanitário	30
Figura 3 – Biogás São João Energia Ambiental.....	30
Figura 4 – Fluxograma de geração de energia em aterro sanitário	31
Figura 5 – Fluxograma do processo de tratamento de incineração.....	33
Figura 6 – Fluxograma do processo de tratamento por pirólise.....	35
Figura 7 – Forno de carbonização.....	35
Figura 8 – Organograma do sistema de compostagem.....	37
Figura 9 – Reator do sistema de tratamento de RSU por pirólise	38
Figura 10 – Reator do do processo de tratamento de RSU por tocha de plasma	39
Figura 11 – Esquema de uma planta de tocha de plasma.....	40
Figura 12 – Diagrama de energia com entradas de fluxos R,N e F.....	57
Figura 13 – Diagrama de energia do aterro sanitário Sítio São João	74
Figura 14 – Diagrama de energia do aterro sanitário com produção de energia	76
Figura 15 – Diagrama de energia do processo de tratamento por incineração	78
Figura 16 – Diagrama de energia do processo de tratamento por incineração Com produção de energia elétrica	80
Figura 17 – Diagrama de energia do tratamento por Tocha de Plasma sem Geração de energia	82
Figura 18 – Diagrama de energia da Tocha de Plasma com geração de energia	83
Figura 19 – Diagrama de energia do tratamento de RSU por pirólise.....	85
Figura 20 – Diagrama de energia do sistema de tratamento por compostagem	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de sistemas de tratamento de RSU.....	28
Tabela 2 – Tabela de UEVs empregadas neste estudo	58
Tabela 3 – Tabela de cidades de grande porte.....	59
Tabela 4 – Tabela de cidades de médio porte	60
Tabela 5 – Estimativa da quantidade de RSU para as cidades	60
Tabela 6 – Tabela de estimativa de RSU gerado para as cidades no ano de 2016.....	60
Tabela 7 – Tabela de massa de materiais recicláveis extraídos do RSU das cidades.....	61
Tabela 8 – Tabela de percentual de matéria orgânica presente no RSU.....	61
Tabela 9 – Tabela do total de massa de matéria orgânica produzida pelas cidades.....	62
Tabela 10 – Tabela da massa de RSU a ser tratado em cada cenário	62
Tabela 11 – Tabela de proposição de cenários F	64
Tabela 12 – Tabela de energia do aterro sanitário sem produção de energia	75
Tabela 13 – Tabela de energia do aterro sanitário com produção de energia elétrica	76
Tabela 14 – Tabela de energia do sistema de incineração sem a produção de energia.....	78
Tabela 15 – Tabela de energia de incineração com produção de energia ...	80
Tabela 16 – Tabela de energia do sistema tocha de plasma sem produção de energia.....	82
Tabela 17 – Tabela de energia do sistema de tocha de plasma com produção de energia.....	84
Tabela 18 – Tabela de energia do sistema de tratamento por pirólise	86
Tabela 19 – Tabela de energia do sistema de tratamento de RSU por compostagem.....	87
Tabela 20 – Tabela de UEVs de cada processo de tratamento de RSU.....	89
Tabela 21 – Demonstrativo das UEVs dos cenários para as cidades de	

grande porte.....	90
Tabela 22 – Tabela de UEVs dos cenários para cidades de grande porte ...	91
Tabela 23 – Tabela de UEVs dos cenários para cidades de médio porte.....	93
Tabela 24 – Tabela de UEV para os cenários com três tratamentos para mega cidades.....	94
Tabela 25 – Tabela de UEV para o cenário com três tratamentos para cidades de grande porte.....	95
Tabela 26 – Tabela de UEV para o cenário com três tratamentos para cidades de médio porte	96
Tabela 27 – Tabela dos cenários com benefícios para megacidades.....	97
Tabela 28 – Tabela dos valores de benefícios para cidades de grande porte	97
Tabela 29 – Tabela dos valores do benefício para cidades de médio porte .	97
Tabela 30 – Tabela dos cenários com três tecnologias com benefícios para as megacidades.....	98
Tabela 31 – Tabela dos cenários com três tecnologias com benefícios para cidades de grande porte.....	98
Tabela 32 – Tabela dos cenários com três tecnologias com benefícios para Municípios de médio porte.....	99
Tabela 33 – Resultado da Programação por Metas para megacidades e Cidades de grande porte	99
Tabela 34 – Resultado da Programação por Metas para megacidades e Cidades de médio porte.....	100
Tabela 35 – Resultado da Programação por Metas para megacidades e Cidades de grande porte	101
Tabela 36 – Resultado da Programação por Metas para megacidades e Cidades de médio porte.....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C	antes de Cristo
°C	Graus Celsius
Cd	Cádmio
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH ₄	Metano
CLP	Controlador Lógico Programável
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DCP	Documento de Concepção do Projeto
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EIR	Índice de Investimento em Emergia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ELR	Índice de Carga Ambiental
ESI	Índice de Sustentabilidade
EYR	Rendimento em emergia
F	Recurso proveniente da economia
f(x)	Função
f_i	Função do nível desejado
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FGC	<i>Flue Gas Cleaning</i> (Limpeza de gases de combustão)
Fig	Figura
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
J	Joule
K	Potássio
kW	QuiloWatt
kWh	Quilowatt-hora
n_i	Variável de desvio negativa

MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Min	Minimizar
MJ	Megajoules
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério das Minas e Energia
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
N	Recursos Não Renováveis
N	Nitrogênio
NBR	Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
Nm ³	Normal metro cúbico
Ng	Nanogramo
nº	Número
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
ONU	Organização das Nações Unidas
O ₂	Oxigênio (gás)
P	Fósforo
Pb	Chumbo
P _i	Variável de desvio positiva
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos
PLS	Projeto de Lei do Senado
R	Recursos Renováveis
RIMA	Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
RJ	Rio de Janeiro
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RUC	Resíduo Urbano CARbonizado
Sej	Joules de energia solar
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre saneamento
SGW	Soil and Groundwater Services Company
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SP	São Paulo
t	Tonelada
Un	Unidade
UEV	Valor de energia unitário
UFC	Unidades Formadoras de Colônias
URE	Usina de Recuperação Energética
UCTL	Usina Central de Tratamento de Lixo
UFC	Unidade Formadora de Colônias
WTE	Waste to energy
Zn	Zinco
Y	Energia Total
≥	Maior igual
≤	Menor igual
Σ	Somatório

∇

Qualquer que seja

RESUMO

O crescimento demográfico em grandes centros urbanos, aliada à mudança de hábitos e à melhoria da qualidade de vida, é responsável pelo aumento da quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados e em suas características. Esses fatores, somados ao gerenciamento inadequado e à crescente escassez de áreas para a disposição final em grandes centros urbanos, configuram-se como um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade moderna e tem-se mostrado tema prioritário desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD, 1992). Nesse sentido, este estudo utiliza as metodologias Síntese em Emergia e Programação Linear por Metas para avaliar tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterro sanitário, incineração, tocha de plasma, compostagem e pirólise. O objetivo central do trabalho consiste em apontar o cenário para o manejo ambientalmente adequado para o manejo do RSU para megacidades, e cidades de médio e grande porte, para cada região do Brasil. A priori foi utilizada a metodologia Síntese em Emergia para avaliar os cenários que integram a compostagem com diferentes tipos de tratamento. Para isso, foram realizadas simulações com cenários estipulando a massa de 50% e 100% da fração orgânica do RSU de cada cidade para a compostagem. Para a metodologia, o indicador utilizado foi o valor de emergia unitário (UEV), capaz de indicar a quantidade de recursos, ou fluxos de emergia requeridos por cada tecnologia para tratar 1 grama de resíduos anualmente. Na Programação Linear por Metas (*Goal Programming*), foram realizadas simulações para se verificarem as opções ótimas ou “favoráveis” de tratamentos de resíduos para cada porte de município, nas funções de restrições (inequações) consideram-se os custos de operação e implantação, emissão de CO₂ equivalente, valor de emergia unitário, áreas requeridas, tempo de tratamento e benefícios para cada tecnologia. Em ambas as metodologias os cenários foram avaliados, considerando-se duas etapas: a primeira consiste em avaliar apenas a eficiência do tratamento de resíduos; a segunda considera o tratamento e os benefícios que cada tecnologia pode fornecer, entendendo por benefícios a energia elétrica e o composto orgânico. Leva-se em consideração que a proposição de cenários, que realizem a integração de sistemas de tratamento, onde variáveis de interesse possam ser consideradas e manipuladas, com a finalidade de verificar o cenário ambientalmente adequado, é de extrema

importância. Tal proposição pode nortear as ações dos gestores municipais, levando-os a adotar sistemas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, que sejam ambientalmente adequadas e capazes de extrair maiores quantidades de recursos. Os resultados apontam que para o tratamento de RSU, a integração entre os sistemas de tratamento de incineração e compostagem, que destinam 50% fração orgânica do RSU, exige menores quantidades de recursos para o tratamento da massa de resíduos para todos os portes de municípios das regiões do Brasil. Todavia, os sistemas aterro sanitário, incineração e compostagem destinando a maior parte da fração orgânica do RSU conseguem promover proporções maiores de benefícios para as cidades.

Palavras-chave: Energia; Programação por Metas; tratamento de resíduos; RSU; indicador ambiental.

ABSTRACT

The demographic density of great urban centers, combined with the changing habits and with the improvement of quality of life is responsible for the increase on the quantity of residues and for its characteristics. These factors, combined with inadequate management and lack of area for final disposal in big urban centers, makes one of the biggest challenges faced by the modern society. This has been a major concern since the Conference of the United Nations about Environment and Development (CNUMAD, 1992). In this sense, this study aims to use the Emergy Synthesis and Goal Programming to assess treatment technologies for urban solid waste: landfill, incineration, plasma arc, composting and pyrolysis. The main goal of this work consists on indicating the best scenario for megacities, medium and big-size cities, for each region in Brazil. A priori it was used the Emergy Synthesis methodology to assess the scenarios that integrate composting with different types of treatment. For that, it were made simulations with scenarios stipulating 50% of the mass and 100% of the organic fraction of the USW of each city for composting. For this methodology, the chosen indicator was the Unit Emergy Value (UEV), capable of indicating the amount of resources or emergy flows demanded on each technology to treat 1 gram of waste per year. On the Goal Programming it were performed simulations to verify the optimum of "favorable" options for waste treatment for every size of city, taking into account operation and implementation costs, emission of CO₂ equivalent, the unit emergy value, demanded areas, the treatment time and the benefits each one of the techniques may offer on the restriction functions. On both methodologies the scenarios were assessed considering two stages: the first consists of assessing only the efficiency of the waste treatment and the second considers the treatment and the benefits that each technology may provide, such as electric power and organic compound. Regarding that proposing scenarios that perform the integration of treatment systems where variables of interest might be accounted for and handled so as to verify which scenario has more advantages, it shows to be important as it can guide the actions of municipal managers to adopt USW treatment systems that are environmentally suitable and capable of exploring greater quantities of resources. The results point that in terms of USW, the integration of incineration and composting with a 50% share of organic fraction of USW demands the lowest amounts of resources for

treating the mass of waste for every size of city of the regions in Brazil. The landfill, incineration and composting systems that address the greatest part of organic fraction of USW can extract lower quantities of benefits for the cities.

Keywords: Emergy; Goal Programming; waste treatment; MSW; Environmental indicator.

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial desencadeou o crescimento da produtividade de bens de consumo, provocando o êxodo rural e o aumento significativo da densidade demográfica nas cidades (PAULO, 2010). Esses fatores, aliados à mudança de hábitos e à expansão do consumo causam o aumento na quantidade de resíduos gerados e em suas características (CETESB, 2006).

Tudo isso, somado ao gerenciamento inadequado e à falta de área de disposição final em grandes centros urbanos, configura-se como um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade moderna, cujo tema tem se mostrado prioritário desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), ocorrida em 1992 (JACOBI & BESEN, 2011).

De acordo com o Diagnóstico Anual de Resíduos Sólidos (SNIS, 2014) a massa estimada de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletada em 2014 no país, atingiu o patamar de 64,4 milhões de toneladas, dos quais 52,4% foram dispostos em aterros sanitários, 3,9% encaminhados para unidades de triagem ou compostagem e 25,4% foram dispostos de maneira inadequada em aterros controlados ou lixões (SNIS, 2014).

Observa-se que os índices de disposição se mantiveram praticamente inalterados no período entre 2010 e 2014 (ABRELPE, 20011 a 2014), justamente quando um cenário mais otimista era esperado, após a vigência da Lei 12.305/10 (BRASIL, 2010), que determinou o prazo de quatro anos para que os municípios dessem um destino ambientalmente adequado aos resíduos, prazo que expirou em 2014. Em virtude de muitos municípios não conseguirem atender às exigências da lei, o senado federal prorrogou até 2018 o prazo para capitais e regiões metropolitanas, enquanto que para outras localidades, o prazo estabelecido é maior e varia de acordo com o porte do município (AGÊNCIA SENADO, 2015).

Tendo em vista que 94,1% dos órgãos públicos gestores do manejo do RSU está subordinado à administração direta do município (SNIS, 2014), essa lacuna de tempo pode se converter numa oportunidade de reflexão para os gestores municipais sobre a adoção de sistemas de tratamento de RSU, que sejam ambientalmente adequados, seguros e capazes de gerar retornos econômicos com o tratamento adequado dos resíduos. Isso ocorre porque o RSU, pode ser interpretado como um recurso e não apenas como algo sem valor, a ser eliminado.

No Brasil, a técnica mais utilizada para tratamento é o aterro sanitário. Com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), os aterros sanitários passaram a se constituir em uma oportunidade de negócios, por meio da comercialização da energia gerada pelo biogás, e pela comercialização de créditos de carbono (MESQUITA, 2014).

Cada crédito de carbono, chegou a ser comercializado por 19,20 euros, fazendo com que a prefeitura de São Paulo arrecadasse 71 milhões de reais em dois leilões realizados (SÃO PAULO, 2008), mas atualmente cada crédito está valorado em alguns centavos de euros. Entretanto, em 2014, tramitavam 21 projetos de MDL a partir do biogás de aterro sanitário no país, totalizando o potencial de 254 MWh (MESQUITA, 2014), o que justifica que o preço baixo do crédito de carbono não inibe a oportunidade de negócios.

No panorama atual, a implantação de aterros sanitários está limitada pela crescente urbanização, fazendo com que muitos municípios encaminhem seus resíduos para áreas de municípios vizinhos (CETESB, 2010). É o que ocorre principalmente, com os estados da região sul do país, onde se intensifica o fluxo intermunicipal de resíduos sólidos, pois 103 municípios, que em sua maioria possuem aterros sanitários, recebem resíduos de outros 723 municípios. Isso significa, que para cada unidade importadora há 7,2 municípios exportadores na região (SNIS, 2014).

De acordo com Russo (2013), não pode haver soluções únicas de tratamento, dada à diversidade dos resíduos existentes. Logo, a adoção de sistemas de tratamentos integrados é uma necessidade para os municípios, cujos planos de gerenciamento de resíduos devem contemplar reciclagem, compostagem, incineração, tratamento térmico, tratamento físico-químico, aterros sanitários, dentre outros.

A correta integração de sistemas de tratamentos pode se constituir em oportunidade de negócios, extraindo maior quantidade de benefícios, a exemplo da integração entre os sistemas de incineração e compostagem, cuja massa de resíduos orgânicos faz diminuir a temperatura do reator. Nesse sentido, a fração orgânica dos resíduos poder gerar um composto capaz de ser utilizado na agricultura como fonte de adubo orgânico (SILVA *et al*, 2002) e dessa forma, pode ser comercializado, assim como a energia elétrica gerada pelo sistema de incineração.

De acordo com Jacobi & Besen (2011), as cidades de países em desenvolvimento, com urbanização acelerada, apresentam *déficits* na capacidade financeira e administrativa no provimento de infra-estrutura e serviços essenciais. O mesmo ocorre com municípios de pequeno porte. Nesse sentido, a formação de consórcios públicos entre municípios, conforme prevê a Lei 12.305/10 (BRASIL, 2010), pode ser uma alternativa frente às dificuldades econômicas enfrentadas, pois o volume dos resíduos produzidos, determina a viabilidade da coleta seletiva, da reciclagem, da disposição final e dos custos operacionais e de manutenção, que são muito onerosos (MMA, 2014).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos (BRASIL, 2010) determina ações que seguem a hierarquia de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento térmico com recuperação energética, e como última alternativa, a disposição no solo. Novamente se faz notar que os aterros sanitários, como opção de tratamento de RSU, não podem ser mais vistos da mesma forma, em função da área que ocupam, principalmente em grandes centros urbanos. Uma das alternativas pode residir no aumento das ações de redução, reutilização e reciclagem.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014), o sistema de reciclagem e compostagem, desvinculado da coleta seletiva, tem-se mostrado oneroso, em virtude dos custos de equipamentos e de mão-de-obra empregados para a separação do material reciclável do orgânico. Um sistema integrado de gestão de resíduos, com a separação dos materiais recicláveis e matéria orgânica na fonte, por meio da participação comunitária, é a melhor forma de aproveitamento dos materiais.

A participação da população também pode se dar por meio da compostagem caseira, como alternativa de redução da massa de RSU encaminhada aos aterros sanitários, à medida que o composto orgânico pode ser utilizado nos próprios cultivos domésticos, considerando-se que fração orgânica corresponde, em média a 50% da massa do RSU no país (SNIS, 2014).

Como se pode observar, a gestão integrada e o tratamento adequado do RSU são desafios aos gestores municipais, à medida que envolvem particularidades distintas de cada município, como costumes, cultura, hábitos alimentares, e ramos de atividades econômicas (industrial, comercial, turística, dentre outros). Fatores políticos, ambientais, sociais e econômicos se incorporam às variáveis de

quantidade, volume, diversidade, tipos de sistemas de tratamentos, áreas disponíveis, tempo de tratamento, porte do município, custos operacionais, e fatores ambientais e de saúde pública.

Nesse sentido, a proposição de cenários, que realizem a integração de sistemas de tratamento, onde variáveis de interesse são consideradas, com a finalidade de verificar qual cenário se apresenta vantajoso, é de extrema importância. Reside aí a ideia que motivou este estudo, uma vez que pode nortear as ações dos gestores municipais, no sentido de implementação de sistemas de tratamento de RSU, que possam extrair maiores quantidades de recursos do RSU, reduzir os custos, e alcançar um panorama futuro desejado.

A priori, este estudo utiliza a síntese em emergência para avaliar o processo de tratamento por tocha de plasma, incineração, aterro sanitário, pirólise e compostagem, por meio de cenários que integrem os sistemas de tratamento, a fim de verificar qual cenário é mais eficiente, considerando-se as características de megacidades e cidades de grande e médio porte, para cada região do país.

Posteriormente, em uma segunda etapa, é aplicado um modelo de programação linear multicritério, denominado Programação Linear por Metas (*Goal Programming*), que por meio de simulações entre sistemas de tratamentos distintos apontará a alternativa ótima para a implantação de sistemas de tratamento para os diferentes portes de municípios das regiões brasileiras. Para alcançar essa meta, são aplicadas funções de restrições que maximizam ou minimizam variáveis de interesse, classificadas como econômicas e ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é realizar abordagem multicriterial e ambiental para apontar a melhor integração entre sistemas de tratamentos de resíduos sólidos urbanos, para diferentes tipos de municípios brasileiros.

2.2 Objetivos específicos

- a) Articular os percentuais estipulados de matéria orgânicas do sistema de tratamento por compostagem às demais tecnologias de tratamento
- b) Avaliar propostas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, com base no indicador UEV (valor de energia por unidade), da metodologia Síntese em Energia;
- c) Identificar e estimar os benefícios de cada sistema de tratamento em joules de energia solar;
- d) Desenvolver aplicações dos modelos da Programação por Metas, em um problema real de tratamento de resíduos sólidos urbanos para os municípios brasileiros;
- e) Incluir no modelo de Programação por Metas, indicadores da síntese em energia e articular sistemas de tratamento com e sem benefícios, em um único modelo matemático multiobjectivo para os municípios brasileiros;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definição: Resíduos Sólidos Urbanos

Nas Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico Lei nº 11.445/2007 os Resíduos Sólidos Urbanos são definidos como “lixo originário de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano” (BRASIL, 2007).

A Lei 12.305, da Política Nacional dos Resíduos Sólidos em seu Artigo 13, define Resíduos Sólidos Urbanos como sendo os resíduos domiciliares originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana” (BRASIL, 2010).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8419 (ABNT, 1992), define RSU como resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, nos portos e aeroportos, com exceção dos resíduos industriais perigosos (que apresentam periculosidade efetiva ou potencial à saúde humana ou ao meio ambiente, requerendo cuidados especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte, armazenamento, tratamento e disposição) e dos hospitalares sépticos (que requerem condições especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte e disposição final), por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana.

3.1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os critérios de classificação e identificação dos resíduos são estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas por meio da norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), que dimensiona a variedade e diversidade dos resíduos provenientes de fontes geradoras distintas. De acordo com o documento, os resíduos dividem-se em três grupos:

- Resíduos Classe I (perigosos) – apresentam risco à saúde pública ou ao meio ambiente. Caracterizam-se por possuírem propriedades de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

- Resíduos Classe II A (não perigosos e não inertes) – não apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, no entanto, apresentam solubilidade em água (acima dos padrões estabelecidos pela norma da ABNT), oferecendo riscos ao meio ambiente.
- Classe II B (não perigoso e inerte) – não possuem constituinte solubilizado em concentração superior ao padrão de potabilidade da água.

Além da sua divisão por riscos potenciais, os resíduos podem ser classificados também de acordo com sua natureza física (seco ou molhado), por composição química (matéria inorgânica ou matéria orgânica) ou em função da origem.

A classificação dos resíduos quanto à origem pode se dividir em: domiciliar; comercial; de estabelecimentos públicos; de portos e aeroportos; de terminais rodoviários e ferroviários, de indústrias; agricultura; da construção civil; e de fontes radioativas (resíduos nucleares).

Para alguns pesquisadores, como Bidone e Povinelli (1999), os resíduos sólidos são aqueles gerados por diversas atividades humanas em ambientes urbanos, cuja massa possui grande diversidade, e não apresentam qualquer utilidade. No entanto, para Dijkema *et al.* (2000), Niccolucci *et al.* (2001) e Marchetinni *et al.* (2007), os resíduos são considerados como um recurso em potencial, que deve ser amplamente explorado.

De acordo com a norma NBR 10.004, os resíduos sólidos apresentam características biológicas, físicas e químicas. As características biológicas são determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes nos resíduos, cuja ação resulta em líquidos lixiviados (chorume), gases de efeito estufa (GEE) e redução do volume.

A composição química consiste na avaliação dos teores de cinzas, poder calorífico, pH, e relação entre Carbono e Nitrogênio (IBAM, 2001). Conhecer a composição química elementar e imediata é fundamental para a utilização do RSU como combustível (BRANDT, 2010).

As características físicas incluem a composição gravimétrica, peso específico aparente (kg/m^3), umidade e compressividade dos resíduos.

A caracterização física do RSU, inclui a composição gravimétrica, que expressa os percentuais de cada material que constitui o RSU em relação ao peso

total da amostra, específico aparente (kg/m^3), umidade e compressividade dos resíduos (MONTEIRO *et al.*, 2001; PEREIRA NETO, 2007).

A composição gravimétrica dos RSU é influenciada por fatores como condições climáticas e sazonais; porte do município; e fatores sócioeconômicos e culturais (hábitos e atividades comerciais e industriais). As duas últimas características sofrem alterações no decorrer do tempo, muitas vezes ocasionadas por políticas econômicas e novas legislações, a exemplo da Política Nacional de Resíduos Sólidos (FEAM, 2012).

3.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305.

A Lei 12.305 (BRASIL, 2010) foi promulgada em 2010 com o intuito de organizar a forma como o país trata os resíduos sólidos e minimizar os impactos ambientais. De acordo com a lei, a responsabilidade sobre destinação final e tratamento recai sobre o governo, principalmente os municípios. No entanto, a lei não exime a responsabilidade de produtores e consumidores.

Conceitos de logística reversa, redução, reutilização e não geração são contemplados e constituem os desafios a serem alcançados, a fim de se minimizarem os custos ambientais.

Na perspectiva da lei, é priorizada a adoção de técnicas de gaseificação e de tratamento com aproveitamento energético, e para os aterros sanitários devem ser destinados apenas os rejeitos do RSU.

Para enfrentar os desafios da gestão integrada do RSU, a lei exige que cada município elabore o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), onde devem ser tanto explicitados os aspectos econômicos, sociais e ambientais de cada município, como detalhadas geração, coleta, reciclagem, e beneficiamento dos diferentes tipos de resíduos, transporte e destinação final e participação social.

No Art.54., a lei estabelece aos municípios o prazo de quatro anos, para se adaptarem à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos. Os municípios podem adotar tecnologias visando à recuperação energética dos RSU, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental. Além disso, qualquer implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos precisa ser aprovado pelo órgão ambiental (BRASIL, 2010).

No entanto, a maioria dos municípios não conseguiu cumprir o prazo

determinado, expirado em agosto de 2014. O motivo pode recair sobre o fato de apenas 33,5% dos 5.569 municípios existentes possuírem o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS). Deve-se citar que, sem o plano, o município não pode receber incentivos financeiros da União para a gestão de resíduos.

Em 2015, o Senado aprovou novos prazos, por meio do Projeto PLS 425/2014: municípios de região metropolitana, o prazo é até 31 de julho de 2018; para os municípios de fronteira e os que possuem mais de 100 mil habitantes, com base no Censo de 2010, até 31 de julho de 2019. Para as cidades com número de habitantes entre 50 e 100 mil o prazo é até 31 de julho de 2020. Para os municípios com número de habitantes inferior a 50 mil, o prazo foi prorrogado para 31 de julho de 2021. De acordo com a relatora da subcomissão do senado, Vanessa Grazziotin a maior parte dos municípios não conseguiu cumprir os prazos, por falta de quadros técnicos e gerenciais qualificados e de insuficiência de recursos financeiros (AGÊNCIA SENADO, 2016). No entanto, os municípios, em suas leis orgânicas adotaram a taxa do lixo cobrada antecipadamente no IPTU, cuja finalidade é cobrir as despesas da coleta, remoção e destinação final do lixo no município.

A lei 12.305/10 prevê o tratamento de RSU por gaseificação, porém não há legislação ou norma específica para esse tipo de tratamento no país. Em âmbito federal existe apenas a Resolução CONAMA nº 316/2002, do Ministério do Meio Ambiente que dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de tratamento térmico de resíduos, exigindo que haja o aproveitamento de 30% de materiais recicláveis. (MMA, 2002) e a NBR 11.175/90 que trata dos procedimentos e padrões de desempenho da incineração de resíduos perigosos, norma que não se aplica à incineração de RSU (ABNT, 1990).

Em âmbito estadual, São Paulo possui a Resolução SMA-079, de setembro de 2009, que estabelece as diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em Usinas de Recuperação de Energia – URE (SMA, 2009).

3.3 Descrição dos sistemas de tratamento de RSU avaliados

Os sistemas de tratamento de RSU, são apresentados na Tabela 1, onde

podem ser observadas sua localização e situação atual de operação.

1- Tabela de sistemas de tratamento de RSU.

Sist. De Tratamento	Localização	Empreendimento	Em operação
Aterro Sanitário	São Paulo - SP	Aterro sanitário Sítio São João	Não
Tocha de Plasma	Hortolândia - SP	Projeto da RGT International	Não
Incineração	Barueri - SP	URE Barueri	Não
Compostagem	Ceilândia - DF	Valor Ambiental	Sim
Pirólise	Unaí - MG	Projeto Natureza Limpa	Sim

3.3.1 Aterro Sanitário

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8419/1992, apresenta a seguinte definição de aterro sanitário:

Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário (ABNT, 1992, p.1).

O Aterro Sanitário Sítio São João (Figura 1), administrado pela Ecourbis Ambiental S/A, iniciou suas atividades em 1992 e ocupa uma área de 80 hectares, dos quais 50 foram destinados à deposição de resíduos sólidos urbanos.

Mesmo tendo encerrado o recebimento de resíduos, atualmente trabalham ali 120 funcionários, em três turnos de oito horas diárias, 365 dias anuais, responsáveis pelo monitoramento geotécnico e ambiental e vigilância patrimonial. A vida útil prevista foi estimada em 50 anos, com base no tempo para encerrar toda a emissão de biogás proveniente do RSU.

O aterro conta sistemas de infraestrutura, a exemplo de lagoas para a coleta de lixiviados, faixa de proteção ambiental, sistemas de impermeabilização, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases, dentre outros. Esses fatores visam garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos,

bem como a redução de riscos à saúde da população (ECOURBIS AMBIENTAL, 2009).



Figura 1 – Aterro Sanitário Sítio São João
Fonte: GASNET, 2008

O aterro encerrou suas atividades em outubro de 2009 e recebeu cerca de 29 milhões de toneladas de resíduos, enquadrados nas classes IIA e IIB, resíduos inertes e não perigosos, conforme estabelecido na NBR 10.004 (ABNT, 2004). Tais resíduos se caracterizam como resíduos domiciliares, resíduos domiciliares não-residenciais, resíduos inertes, resíduos dos serviços de saúde (previamente tratados), restos de móveis e similares, resíduos provenientes de feiras livres e mercados, além de lodos desidratados de estações de tratamento de esgotos (ECOURBIS AMBIENTAL, 2009).

O processo de tratamento inicia-se com pesagem em balanças do RSU, de onde segue para ser depositado em célula, é compactado e coberto com material inerte, geralmente terra. A matéria orgânica disposta no interior das células, é decomposta por fases aeróbias e anaeróbias. A Figura 2 mostra o corte do aterro, onde é possível visualizar as células onde os resíduos são depositados e os sistemas de infraestrutura.

As emissões do aterro sanitário variam de $0,7 \times 10^6$ a $2,2 \times 10^6$ t/CH₄/ano (MME, 2008). O biogás produzido é composto principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) que, juntos, constituem aproximadamente 99% de sua composição. Outros componentes, como monóxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, ácido sulfídrico e amônia, representam cerca de 1% (IBAM, 2007).

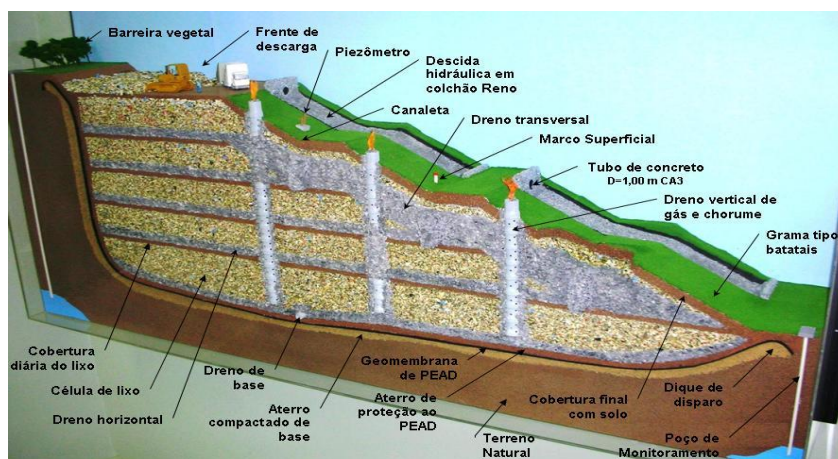


Figura 2 – Principais sistemas de infraestrutura do aterro sanitário
Fonte: Ecurbis Ambiental (2010)

3.3.2 Aterro Sanitário com produção de energia elétrica

Além de realizar o tratamento do RSU, o aterro sanitário iniciou as atividades de captação do biogás para a geração energia elétrica em 2007, operadas pela Biogás Energia Ambiental S/A.

Ocupando uma área de 2.416 m², dentro da área do Aterro Sanitário Sítio São João (Figura 3), o empreendimento conta com 35 funcionários (vinte para atividades em campo e quinze para área administrativa). O sistema opera em três turnos diários, 365 dias por ano (BIOGÁS-SÃO JOÃO ENERGIA AMBIENTAL, 2009). A vida útil foi estimada em 50 anos.



Figura 3 – Biogás-São João Energia Ambiental
Fonte: Conora, 2008

De acordo com o relatório de validação do projeto nº 2005-0457, desenvolvido pela Det Norske Veritas (DNV, 2005), o objetivo principal é evitar as emissões de metano pelo Aterro Sanitário Sítio São João e fornecer eletricidade. Para isso utiliza 16 motogeradores modelo G3520 Caterpillar, com 1,54 MW de potência.

Do montante produzido, parte de energia abastece a própria planta, e o excedente é disponibilizado à rede da Eletropaulo. A energia gerada é suficiente para suprir a necessidade de uma cidade de 400.000 habitantes (BIOGÁS-SÃO JOÃO ENERGIA AMBIENTAL, 2009). A Figura 4 mostra as etapas de extração do biogás e a geração de energia elétrica.

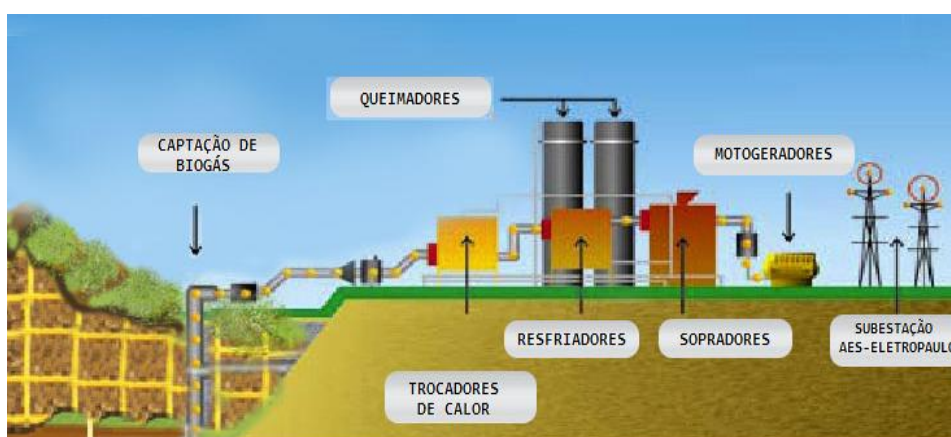


Figura 4 – Fluxograma de geração de energia em aterro sanitário
Fonte: Conora (2008) – modificado

De acordo com o Formulário de Concepção do Projeto (DCP/MDL, 2004), a usina de gás é responsável por extrair o gás do aterro e transportá-lo para os motores de gás na usina de geração. Durante o transporte, o biogás passa por um processo de limpeza e secagem, com a finalidade de extrair possíveis impurezas que possam danificar os motogeradores (DCP/MDL, 2004).

Posteriormente, o biogás é refrigerado, resultando em um condensado, que é drenado e enviado à lagoa de chorume. Trata-se de uma ação importante, uma vez que o condensado contém componentes de silício que poderiam bloquear os tubos de gás e danificar os motogeradores (BIOGÁS-SÃO JOÃO ENERGIA AMBIENTAL, 2009). Por razões de segurança, novamente o gás passa por um secador, que consiste em um filtro de aço inoxidável de alta densidade, que separa as partículas líquidas (pequenas quantidades de condensado) do biogás.

Os sopradores são utilizados para o transporte de gás do aterro aos motogeradores, sob correta sucção e pré-pressão. A capacidade e a pressão são ajustadas por eletromotores de frequência controlada (DCP/MDL, 2004).

Depois do tratamento, da análise e medição descritos, o gás é transportado como um combustível, acionando o eixo que movimenta os motogeradores CAT 3520 que produzirão a energia elétrica.

Nessa etapa, um eventual excedente de gás pode ser queimado pelos *flares* (DCP/MDL, 2004). Todo o processo descrito é controlado por um sistema de controle elétrico. Os sinais medidos são processados por um CLP (Controlador Lógico Programável).

A geração é conduzida diretamente da usina para a estação de chaveamento da concessionária estadual (AES Eletropaulo). A energia produzida na usina é lançada na rede da concessionária de distribuição por meio de uma estação de chaveamento especial construída no local.

Não é esperado que a operação da unidade de gás, responsável pela queima do gás (flares ou motores de geração de energia), cause emissões de gases que possuem componentes orgânicos voláteis e dioxinas, uma vez que o gás do aterro passa por um tratamento antes de ser queimado (DCP/MDL, 2004).

3.3.3 Incineração

A incineração é um tratamento térmico de resíduos que ocorre em alta temperatura (acima de 800 °C) feita com uma mistura de ar adequada durante um determinado intervalo de tempo. Os resíduos incinerados são submetidos a um ambiente fortemente oxidante, onde são decompostos em três fases: uma sólida inerte (cinzas ou escórias), uma gasosa e uma quantidade mínima líquida (JUCA *et al*, 2013 p.55).

A Usina de Recuperação Energética de Barueri (URE Barueri) prevê a instalação de um sistema de tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Barueri, que atenderá aos municípios de Barueri, Carapicuíba e Santana do Parnaíba (municípios da Região Metropolitana do Estado de São Paulo), ocupando uma área de 37.237m².

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB,

2014), o RSU gerado por esses municípios é de 696,11 t/dia. A capacidade máxima de tratamento do sistema é de 825 toneladas por dia e a vida útil prevista para o empreendimento é de 30 anos (SGW, 2012).

O sistema conta com 41 funcionários para operação, divididos em três turnos de aproximadamente oito horas. O setor administrativo é composto por 6 funcionários em um único turno de oito horas (SGW, 2012).

A URE será caracterizada por um Ciclo Rankine simples que utilizará a queima dos RSU (*WTE*) para a geração de energia térmica associada a uma caldeira de recuperação de calor para geração de vapor. Esta por sua vez, alimentará um turbogerador para geração de energia elétrica.

O processo utilizado pelo sistema de incineração é o de combustão em grelha, mais empregada para o RSU que se encontra em estado bruto (*mass burn*). A Figura 5 ilustra o fluxo do processo.

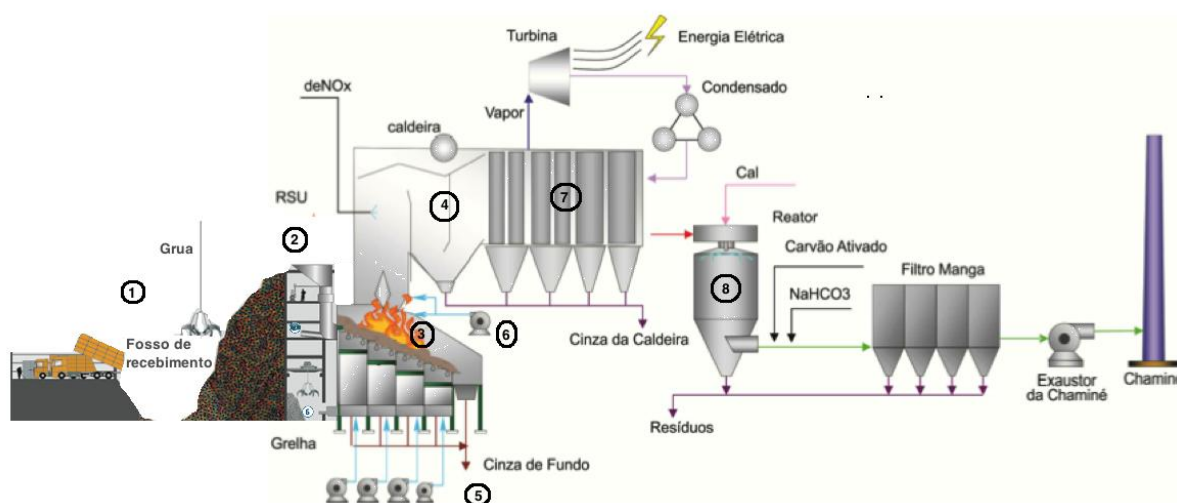


Figura 5- Fluxograma do processo de incineração
Fonte: (SGW, 2012) - modificado

Os resíduos que chegam são pesados e, posteriormente descarregados no fosso de recebimento (1). Em seguida são transportados pelas guias até uma tremonha de alimentação (2), com saída para uma grelha (3), composta por quatro partes móveis, acionadas hidráulicamente, que deslizam para frente e para trás, empurrando o RSU sobre a grelha de combustão, instalada em uma câmara.

Durante o deslocamento do RSU, 60% do ar pré-aquecido são introduzidos na grelha internamente. O restante do ar é introduzido na grelha a alta velocidade,

para que haja a promoção da mistura com os gases e vapores gerados no processo.

O calor produzido pela combustão do RSU (800° C a 900° C) é utilizado em uma caldeira para aquecimento de água (4 e 8). O vapor gerado é conduzido por tubulações para um sistema de turbina a vapor e gerador, para a produção da energia elétrica.

Após a combustão do RSU, restam as cinzas e escórias que serão drenadas para sistemas coletores situados abaixo das grelhas, onde serão resfriados com água e posteriormente seguem para separadores de metais ferrosos e não-ferrosos (5).

O tratamento dos gases de combustão (8 e 7) (*FGC – Flue Gas Cleaning*) será realizado por um sistema seco de neutralização dos gases ácidos com cal hidratada, absorção dos metais e dos compostos poliaromáticos com carvão ativado, seguindo a norma de emissão de poluentes (Resolução SMA nº 79/09). A filtragem do material particulado é realizado por filtros mangas e, posteriormente é lançado ao meio ambiente pela chaminé (SGW, 2012 e FEAM, 2012).

3.3.4 Pirólise

Por definição, a pirólise consiste na degradação térmica de hidrocarbonetos na ausência de oxigênio (CONTI, 2009).

O sistema de tratamento por pirólise, começou a operar no início de 2014, denominado Sistema de carbonização dos resíduos sólidos urbanos, do Projeto Natureza Limpa, na cidade de Unaí, Estado de Minas Gerais, ocupando uma área de 18.000 m².

O empreendimento opera em dois turnos de oito horas, com capacidade de tratamento de 3 t/h de RSU. O sistema prevê futuramente não só a produção de energia elétrica, como também a expansão de seu funcionamento para 24 horas, atingindo a capacidade de tratamento para 72 toneladas por dia. A Figura 6 mostra o fluxograma das etapas do processo de tratamento.

Os resíduos que chegam são pesados e em seguida são descarregados em uma moega de recebimento (1), seguindo por correia transportadora (2), de onde os materiais recicláveis e os metais são retirados por eletroímã.

Em seguida os resíduos seguem para uma moega de orgânicos (3) e para um túnel de secagem para a retirada de umidade dos resíduos (4) antes de entrarem no

forno de carbonização (5) (Figura 7), cuja temperatura média de 370° C decompõe os resíduos e o material particulado. O resultado do processo, segue para um silo de descarga, onde é resfriado e peneirado.

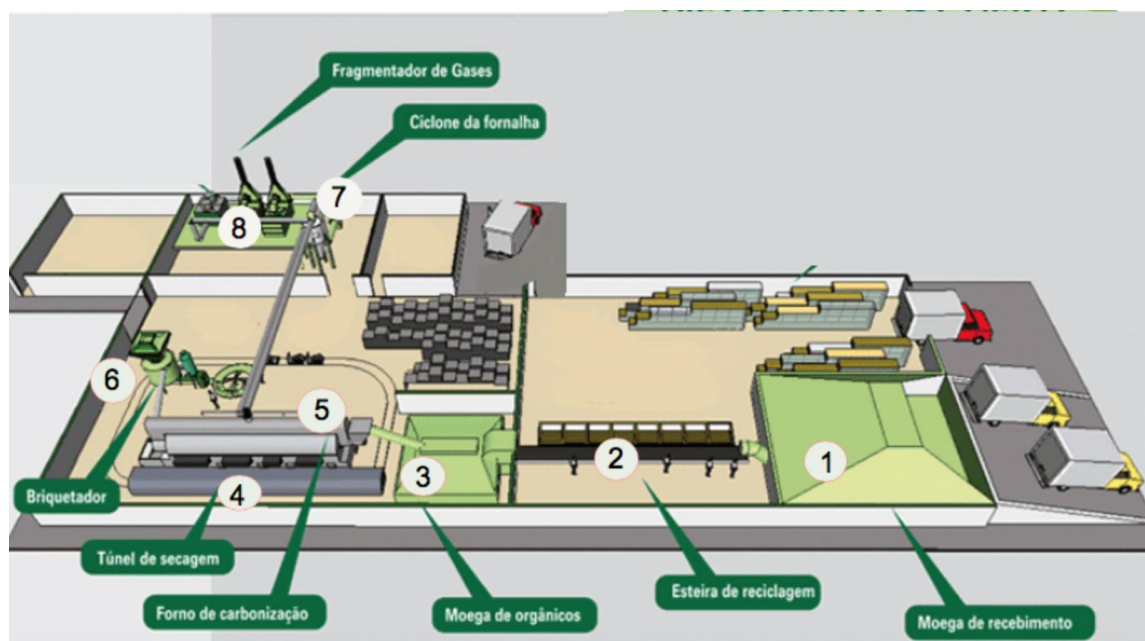


Figura 6 - Fluxograma do processo de tratamento por pirólise
Fonte: Jornal do Noroeste de Minas, 2011.

Posteriormente, os resíduos urbanos carbonizados seguem para um silo de armazenamento e um briquetador (6) que os converte em toletes de carvão. A água resultante do processo recebe tratamento adequado antes de ser lançada ao meio ambiente (Natureza Limpa, 2013).



Figura 7 - Forno de Carbonização
Fonte: Natureza Limpa, 2016

3.3.5 Compostagem

A compostagem é o processo biológico de decomposição e de reciclagem da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal formando um composto. A compostagem propicia um destino útil para os resíduos orgânicos, evitando sua acumulação em aterros e melhorando a estrutura dos solos (MMA, 2016, pag.1).

A Usina Central de Tratamento de Lixo (UCTL), inaugurada em 1986, possui uma área de 880.000 m², dos quais 33.000 m² são destinados às leiras de compostagem.

A empresa conta com 129 funcionários e 157 catadores, operando em dois turnos de 8 horas. O sistema recebe cerca de 400 toneladas de RSU diariamente, com capacidade de tratamento de 600 t/dia, caso se aumente o período de trabalho para 24 horas diárias. O tempo de vida útil do empreendimento foi estimado em 50 anos.

O sistema opera em duas linhas de produção paralelas (Figura 8). Inicialmente, o RSU que chega é pesado e depositado em um galpão fechado de aproximadamente 300 m². Uma pá carregadeira alimenta duas correias transportadoras (esteiras rolantes) com os resíduos, até uma peneira rotativa primária. Os resíduos maiores seguem pela esteira, de onde os materiais recicláveis são retirados pelos catadores. Os resíduos menores prosseguem pelas duas esteiras, até se encontrarem no eletroímã para a retirada dos metais ferrosos e não ferrosos.

Novamente uma mesa vibratória seleciona os resíduos: os de granulometria menor prosseguem no fluxo, enquanto os de maior granulometria, retirados na mesa vibratória, passam por um moinho, a fim de reduzir o seu tamanho e seguem para peneira de afinagem. Os resíduos retidos na peneira denominados rejeitos, são enviados para aterro sanitário, enquanto os selecionados pelo processo, são conduzidos para o pátio de compostagem, conforme Figura 9.

As leiras de compostagem possuem em média 55 m de comprimento, 5m de largura e 2,5 m de altura. O tempo para maturação do composto é em média 95 dias. No momento em que o composto está no pátio, são realizadas análises e, caso ele não esteja dentro dos padrões de qualidade previstos, é enviado para o aterro sanitário como rejeito.

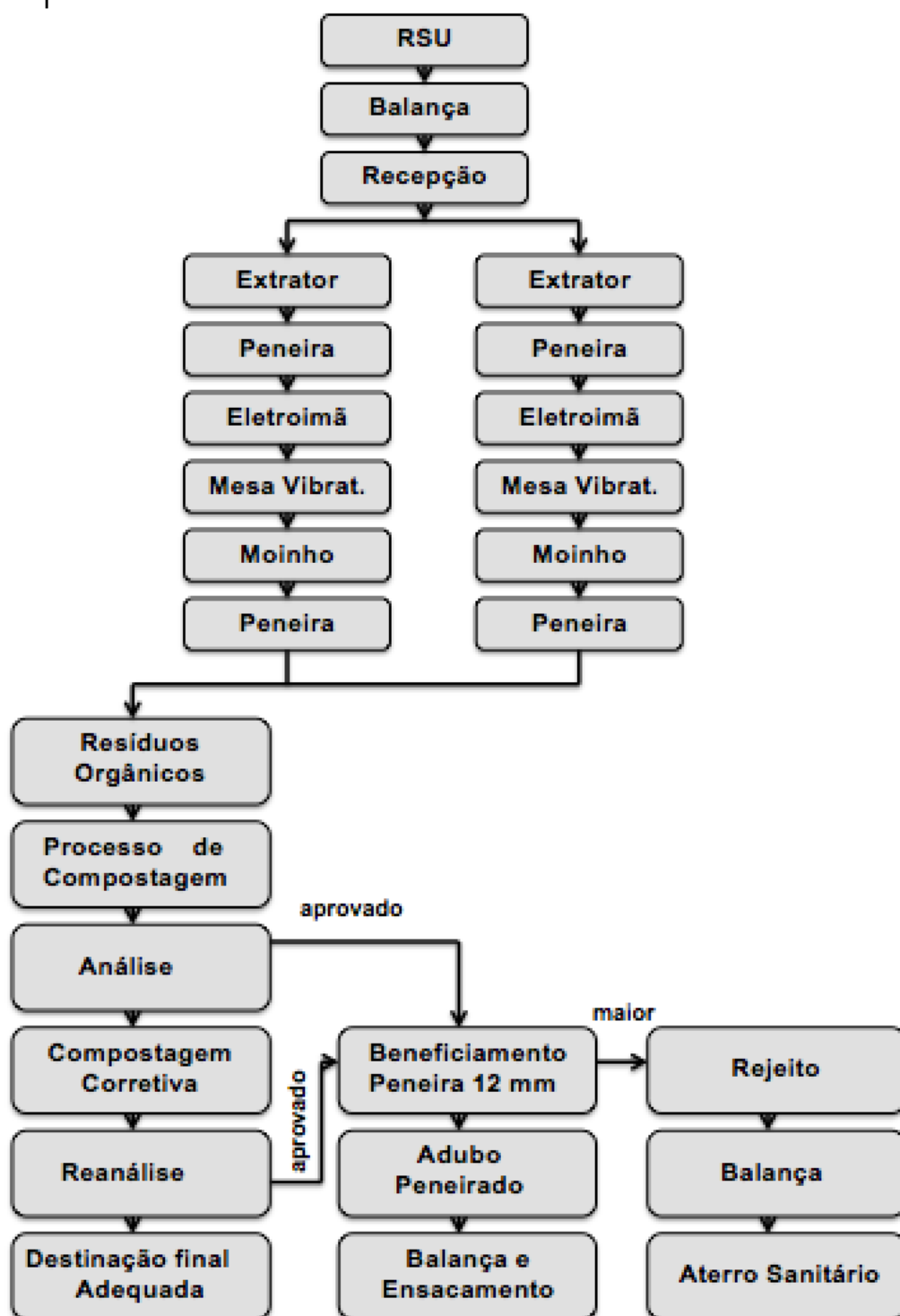


Figura 8 - Organograma do sistema de compostagem

Estima-se 30% da massa de RSU seja perdida de massa no processo (VALOR AMBIENTAL, 2013).

Após o pátio a matéria orgânica segue para um galpão, onde é ensacada e distribuída para o consumidor.



Figura 9 – Matéria orgânica na saída do processo de compostagem

Fonte: Valor Ambiental (2013).

3.3.6 Tocha de plasma

Consiste em um processo de decomposição química por calor na ausência de oxigênio. Esta é uma tecnologia dedicada à destruição dos resíduos que associa as altas temperaturas geradas pelo plasma com a pirólise dos resíduos (ENGEPIO, 2010, p.17).

O tratamento de RSU utilizando a tecnologia de tocha de plasma desta pesquisa, vale-se de um projeto desenvolvido pela RGT International para a cidade de Hortolândia – SP. O projeto foi dimensionado para tratar 250 toneladas por dia de RSU, perfazendo a quantidade diária de 200 toneladas de RSU e 60 toneladas de resíduos industriais, hospitalares e lodo de esgoto em uma única linha de produção.

A área dimensionada para o empreendimento compreende 30.000 m², e a área construída está estimada em 10.000 m², com a finalidade de tratar 300 toneladas diárias de RSU. A vida útil foi estimada em 30 anos e o período de funcionamento corresponde a 22 horas por dia (RGT INTERNATIONAL, 2013).

O processo de tratamento inicia-se pela pesagem do RSU, que em seguida é depositado em um fosso de recebimento. De lá, é retirado por cranes (gruas) que

em seguida depositam o RSU em uma moega para um processo de trituração, de modo que nenhum resíduo tenha tamanho superior a 10 polegadas.

Os resíduos seguem por esteira até a parte superior do reator. Antes da entrada do RSU, é realizada uma cama de coque de carvão no interior do reator, cuja finalidade é sustentar a massa de resíduos, dada a integridade estrutural que o coque de carvão apresenta.

O reator possui dois maçaricos de jatos de plasma na parte inferior (Figura 10). Esses jatos saem das tochas a uma velocidade correspondente a duas vezes a velocidade do som, com temperaturas que variam entre 1000° C a 15.000 °C. Controlando-se os maçaricos, controla-se a temperatura interna do reator.

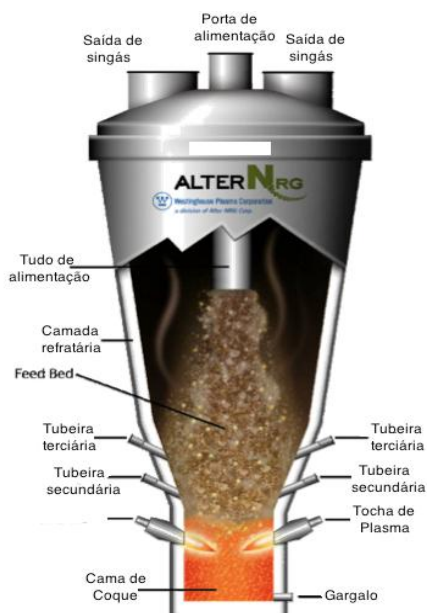


Figura 10 – Reator do processo de tratamento de RSU por tocha de plasma

Fonte: Willis *et al.* (2010)

Para se distribuir a temperatura igualmente, é necessário que se diminua a velocidade do gás, e o coque de carvão possui essa propriedade, uma vez que irá gaseificar numa velocidade muito mais lenta do que os resíduos, permanecendo no fundo, enquanto os resíduos, serão vaporizados. À medida que a massa desce no reator de gaseificação, é convertida em escória e gás de síntese.

Os resíduos orgânicos são pulverizados e sua saída do reator ocorre pela parte superior, na forma de gás. Em seguida, o gás passa por um processo de limpeza e posteriormente é enviado para uma turbina, que acionada, irá gerar energia elétrica.

O coque funciona como uma espécie de filtro dentro do reator e fornece calor,

quando reage com o oxigênio. O objetivo desse fluxo é controlar a temperatura e as propriedades do material inerte da matéria-prima, garantindo o baixo ponto de fusão.

O gás de síntese, que deixa o reator é composto por monóxido de carbono, óxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, hidrocarbonetos, nitrogênio e traços de produtos químicos.

Os únicos materiais que vão escapar pela cama de coque serão as escórias, vitrificados e os metais, que, ao deixarem o reator, mergulham em um recipiente com água, para serem resfriados. Os metais são retirados por eletroímã e o material vitrificado, em forma de grânulos.

O processo é completamente controlado pela temperatura dos gases de saída. Esse último processo deve estar compreendido entre 980 °C a 1.100°C.

Uma tocha pode ser desligada, sem a necessidade de se desligar todo o processo. Uma tocha de plasma consiste na passagem do gás e no contato com uma faísca eléctrica, mesmo princípio do motor de um carro.

A Figura 11 apresenta o esquema de uma planta de tocha de plasma.

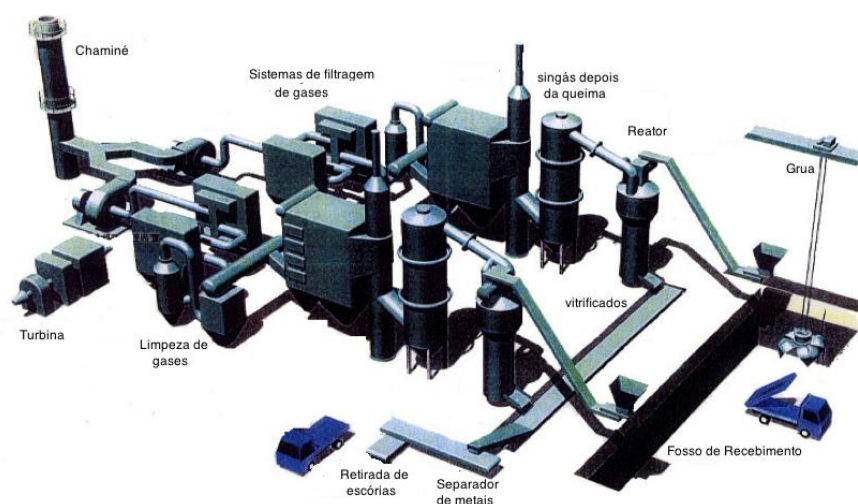


Figura 11. Esquema de uma planta de tocha de plasma
Fonte: Willis et al., 2010

3.4 Estado da arte da Síntese em Emergia

A Síntese em Emergia é um método capaz de modelar eficiências de processos e sistemas produtivos (AMPONSAH *et al*, 2011). Por definição, emergia é a quantidade de energia (joules de energia solar) requerida, diretamente ou indiretamente, para produzir um bem ou serviço (ODUM, 1996 e 2000).

A emergia é expressa em sej (joules de emergia solar) e o Valor Unitário de Emergia (UEV) compreende a razão entre a quantidade de emergia necessária (entrada) e a quantidade de bem ou serviço (saída) produzido por um sistema é denominado Valor Unitário de Emergia (UEV) (BROWN E ULGIATI, 2004). Essa razão pode ser interpretada como um indicador, capaz de expressar a qualidade de energia do sistema, pois quanto maior for a razão, maior será sua posição na hierarquia de energia (ODUM, 1996).

A Síntese em Emergia vem sendo aplicada para avaliar sistemas de tratamento de efluentes domésticos (SILVA, 2006), de sustentabilidade de um país (Demétrio, 2011), geração de hidroeletricidade (TASSINARI, 2013), sistemas de agronegócios (FRUGOLI, 2013) e em diversos trabalhos visando a análise ambiental do tratamento do RSU, a exemplo de Marchetinni *et al* (2007) e Almeida *et al* (2012).

3.4.1 Síntese em Emergia na avaliação de tratamento de resíduos : Estado da Arte

A Síntese em Emergia foi empregada para avaliar sistemas de tratamento de RSU. A seguir, alguns desses estudos são apresentados.

Luchi e Ulgiati (1997) utilizam a Síntese em emergia para avaliar um aterro sanitário com produção de energia elétrica na Itália, aliado a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) capaz de mapear o aterro e levantar informações técnicas e ambientais, como área, altura do maciço de resíduos dispostos, escoamento de água, dentre outros. O artigo apresenta os custos de implantação e operação, com valores expressos em joules de energia solar. Os autores se utilizam de indicadores financeiros, e estimam o custo de implantação, que corresponde a $5,16 \times 10^5$ Euros, a fase de operação do sistema possui maior custo, $3,27 \times 10^6$ euros, cerca de 64% do total. A UEV do tratamento do RSU para o sistema é estimada em

$1,15 \times 10^9$ sej/g. No entanto os autores não estimam a implantação do sistema utilizando os dados de massa e de consumo de energia para os maquinários, nem mesmo a dos materiais de construção. Em vez disso, utilizam o valor monetário empregado para implantar o sistema, o que pode agregar um alto valor à energia do sistema e consequentemente à UEV.

Enzo Tiezzi (1998) avaliou um sistema de tratamento de resíduos, contabilizando coleta seletiva, reciclagem, compostagem e incineração com geração de energia elétrica. Concluiu que gerar energia por meio da incineração é um processo eficiente. No entanto, o autor argumenta que a quantidade de energia armazenada nos resíduos, com o passar do tempo, é muito maior do que a energia dispendida para realizar a coleta dos mesmos. Por essa razão, incinerar 100% dos resíduos é um desperdício de recursos, à medida que os resíduos orgânicos podem ser utilizado pelo sistema de compostagem, assim como os materiais recicláveis podem ser inseridos novamente nos processos produtivos.

Niccolucci *et al.* (2001) avaliam o impacto ambiental e a eficiência da energia elétrica pela UEV do produto, em um incinerador e um aterro controlado no centro da Itália. O tempo de vida útil da planta, bem como os insumos para três fases principais de cada um dos sistemas (coleta, tratamento e eliminação), são considerados no estudo, destacando-se que a fase de tratamento exige mais energia. Os autores apontam que a incineração e a deposição em aterro exigem praticamente o mesmo investimento de energia por tonelada de resíduos, mas que a recuperação de energia elétrica a partir da incineração é mais eficiente quando comparada ao aterro sanitário, além de ocorrer a curto prazo, enquanto que a deposição em aterro requer vários anos para gerar energia. A UEV é utilizada como um indicador de qualidade à medida que quanto maior for o valor da UEV, maior será sua posição dentro de uma escala hierárquica da biosfera e de eficiência pois é capaz de fornecer a quantidade de insumos empregados pelo meio ambiente para tratar uma tonelada de RSU. Portanto, a UEV é um indicador capaz de ser utilizado para comparar processos de tratamento de RSU.

Björklund *et al.* (2001), ao avaliarem o processo de tratamento de um sistema de esgoto convencional em Estocolmo, na Suécia, comparam a transformidade da energia elétrica gerada pelo aproveitamento do biogás produzido por um biodigestor, com os valores das transformidades da energia elétrica gerada por uma usina nuclear e de uma hidroelétrica. Os autores concluíram que, caso o sistema fosse

utilizado somente para a geração de energia elétrica, seria ineficiente, tendo em vista que a transformidade encontrada é maior do que quando comparada a outras fontes de energia elétrica. Os autores consideram a entrada das águas residuais proveniente dos domicílios no diagrama de energia, embora não quantifiquem essa entrada na contabilidade em energia do sistema, mesmo utilizando a energia contida no esgoto para produzir energia elétrica. Alegam que as águas residuais são um subproduto proveniente do resultado de todas as atividades que utilizam água nos domicílios, o que conduz este estudo a considerar uma condição similar, tendo em vista que o RSU produzido por um município também é um subproduto gerado a partir de todas as atividades dos munícipes. Isso implica diretamente no valor total de energia do sistema e também no valor da UEV, pois, contabilizando-se as águas residuais como um insumo, os valores de energia e, conseqüentemente, da UEV do sistema apresentarão maior valor. Quando o valor do insumo não é contabilizado, ou seja, é de forma gratuita, os valores dos benefícios de um sistema podem exceder o valor da energia total do sistema.

Marchettini *et al.* (2007) avaliam sistemas de aterro sanitário com produção de energia elétrica, compostagem e incineração com produção de energia elétrica, procurando identificar o quanto de investimento necessário e o quanto de “utilidade” (produto) são extraídos por meio da utilização de dois indicadores: razão de rendimentos Ambiental (EYR) - que compreende a razão entre energia recuperada e a energia por grama de RSU - e energia líquida - diferença entre a energia recuperada (energia recuperada x transformidade) e a energia para tratar um grama de RSU do sistema. A entrada de RSU é contabilizada em todos os sistemas de tratamento, por meio da coleta, maquinários, mão de obra, dentre outros. Os resultados do estudo apontam que o aterro sanitário com produção de energia é a pior alternativa, por promover alto custo em energia e gerar poucos benefícios. A compostagem é o sistema que promove maior recuperação de energia (EYR), enquanto a incineração obteve maior índice de energia líquida, ou seja, a diferença entre a energia recuperada (energia recuperada x transformidade) e a energia para tratar um grama de RSU do sistema. Em outras palavras, a compostagem é um pouco mais eficiente na recuperação em energia (maior EYR), enquanto a incineração é quantitativamente melhor na extração de recursos. É importante ressaltar que o artigo denomina como EYR, como mencionado, a razão entre a energia recuperada e a energia por grama de RSU. Dessa forma, o leitor pode

confundir o indicador EYR (*Emergy Yield Ratio*), razão entre a emergia total e os recursos provenientes da economia, proposto por Odum (1996). Um aspecto interessante do trabalho, é o desconto dos benefícios, como a energia elétrica gerada, enquanto que para o sistema de compostagem o desconto do benefício é obtido pelo valor de emergia da fração do NPK produzido pelo composto orgânico do processo de compostagem.

Meidiana (2012) utiliza a Síntese em emergia para avaliar três cenários hipotéticos para o tratamento RSU de um novo aterro sanitário em Yogyakarta. A autor utiliza os indicadores do estudo de Marchettini *et al.* (2006), e propõe cenários com percentuais diferentes de matéria orgânica para a compostagem e mão de obra. A matéria orgânica, fragmentada em componentes: nitrogênio (2,1%), fósforo (1,6%) e potássio é descontada do valor total de emergia, tendo em vista que o sistema consegue recuperar uma parte (matéria orgânica) da emergia que emprega para tratar os resíduos. O percentual de potássio (K) para o composto orgânico varia do cenário 0 (K=1,1%) para o cenário 1 e 2 (K=1,8%). O autor comenta que a recuperação da matéria depende do percentual dos resíduos tratados. Como resultado, o cenário 0 (25 t/dia de RSU, com 8,3 t/dia de matéria orgânica para produção de composto orgânico com 45 catadores para a retirada de materiais recicláveis), possui menor investimento em emergia e o cenário 1 (com aumento de 85% de RSU, com 50% da material orgânica tratada em compostagem, utilizando 45 catadores) possui maior valor de emergia total entre os sistemas, em virtude da coleta. O cenário 2 (aterro sanitário com a queima do biogás com aumento de 85% dos resíduos, destinando 50% da fração orgânica do RSU para a compostagem, com 200 catadores) consegue recuperar maiores quantidades de se por grama de resíduo tratado e possui maior EYR e menor ELR. Porém todos os cenários apresentam índices negativos de emergia líquida, tendo em vista que o investimento em emergia é maior do que o valor de emergia obtido com os benefícios. Os catadores conseguiram recuperar, em média, 7,5% dos resíduos plásticos e 12,8% para todos os cenários.

Bastianoni *et al.* (2002) apresentam valores diferentes do estudo de Meidiana (2012) para os percentuais dos componentes químicos encontrados na compostagem. O nitrogênio corresponde a 1,32%, o fósforo, a 0,88% e o potássio representa 1,15%, cujo conjunto perfaz o total de 3,35%, valor idêntico ao encontrado no estudo de Marchettini *et al.* (2007). A pesquisa foi realizada na

província de Siena, utilizando a Síntese em emerggia e a Avaliação do Ciclo de Vida, a fim de avaliar todos investimentos necessários para gerenciar o ciclo de vida do processo de produção da compostagem. Os autores justificam a utilização das duas metodologias, tendo em vista que a emerggia considera apenas o impacto do consumo de recursos, em uma base comum, enquanto a Análise do Ciclo de Vida avalia também o impacto das emissões, associado a todo o processo, separado em coleta, tratamento e disposição final. Os autores comparam a UEV do composto orgânico ($1,11 \times 10^8$ sej/g) com as UEVs obtidas nos tratamentos por incineração ($1,27 \times 10^8$ sej/g) e em aterro sanitário ($1,48 \times 10^8$ sej/g), mostrando que a compostagem é mais apropriada, pois requer menor quantidade de insumos para tratar 1 grama de resíduos. No entanto os autores estudam os sistemas de forma isolada, não realizam cenários destinando parte da fração orgânica à produção a compostagem.

Liu *et al.* (2013) realizam uma comparação entre quatro sistemas de tratamento de RSU na Província de Liaoning: aterro sanitário, incineração por leito fluidizado, incineração tipo grelha, e aterro sanitário para geração de energia elétrica. Os autores utilizam a síntese em emerggia, para avaliar a sustentabilidade e os serviços ecológicos para diluir os poluentes do ar. O indicador Eco 99 e o DALY (Disability Adjusted Life Years) são utilizados em conjunto com a Síntese em emerggia para avaliar as perdas ecológicas e os danos ocasionados à saúde. Atualmente na província, 80,5% do RSU é enviado para aterros sanitários. Cerca de 7,5% são incinerados (destes, 45% incineração em leito fluidizado e 55% em incineração do tipo grelha) e apenas 6,9% são efetivamente reciclados (incluindo materiais bióticos e abióticos). O valor em emerggia dos serviços ambientais necessários, para a energia cinética do vento dissipe os poluentes gerados é estimado. Os resultados obtidos apontam que os impactos das emissões geradas pelos sistemas de incineração são maiores que o de sistemas de aterro sanitários. Os prejuízos para a saúde humana são estimados em $1,31 \times 10^{16}$ sej/t de RSU e $8,81 \times 10^{15}$ sej/t de RSU no sistema de incineração de leito fluidizado e no sistema de incineração do tipo grelha, respectivamente. Os resultados indicam que as perdas para a saúde humana, causadas pelas emissões nocivas, são classificadas da seguinte maneira: a incineração de leito fluidizado > tipo de grelha de incineração > aterros atuais > aterros sanitários, enquanto as perdas do ecossistema são classificados: grelha tipo de incineração > incineração de leito fluidizado > aterros

sanitários > aterros sanitários atuais. As mudanças de ordenação são causados pelo aumento da liberação de NOx dos processos de tratamento de extras (como a geração de eletricidade), que criou um dano à qualidade do ecossistema causado pelo efeito combinado de acidificação e eutrofização. A unidade sej/t.RSU está relacionada à perda de energia estimada por 6 indicadores, dentre eles: impactos ambientais, que incluem efeitos cancerígenos; efeitos respiratórios em seres humanos, decorrentes de substâncias inorgânicas provindas de alterações climáticas; danos à qualidade do ecossistema, causados por emissões ecotóxicas; e efeito combinado da acidificação e da eutrofização. Os danos associados à geração de resíduos sólidos pode ser medido, em termos de energia, pela ocupação de terras, por meio da razão entre energia e a área ocupada. Dessa forma, a perda de energia pode ser obtida, utilizando-se a área total de terras ocupadas multiplicada por um fator econômico ou ambiental. Os resultados dos prejuízos econômicos e ecológicos são classificados na seguinte ordem: tipo de grelha de incineração ($5,19 \times 10^{13}$ sej/t) > incineração de leito fluidizado ($4,27 \times 10^{13}$ sej/t) > aterros atuais ($2,92 \times 10^{13}$ sej/t), aterros sanitários ($1,35 \times 10^{13}$ sej/t). Depois de analisar os impactos das emissões, os usos totais de energia são: aterros sanitários ($3,87 \times 10^{16}$ sej/t) > aterros atuais ($3,71 \times 10^{16}$ sej/t) > tipo de grelha de incineração ($2,39 \times 10^{16}$ sej/t) > incineração de leito fluidizado ($2,38 \times 10^{16}$ sej/t). As razões de produtividade de eletricidade (Y/U) são assim classificados: tipo de grelha de incineração (2,96%) > incineração de leito fluidizado (2,03%) > aterros sanitários (0,01%) > aterros atuais (0,00%). Os resultados apontam os aterros sanitários, como a técnica mais economicamente viável de tratamento, onde o custo deve ser considerado apenas em regiões onde existem áreas disponíveis. A incineração promove alto rendimento na geração de energia elétrica e baixo impacto ambiental em comparação às demais. Os autores dizem que a Síntese em Energia admite que outras metodologias possam ser incorporadas a ela.

Almeida *et al.* (2012) utilizam os indicadores da Síntese de Energia para avaliar a carga ambiental e o nível de sustentabilidade do projeto de biogás em questão no aterro sanitário Sítio São João. Também foi avaliada a implementação de um projeto de compensação ambiental em atendimento às exigências do Estado. Para a avaliação foram utilizados os indicadores de rendimento em energia (EYR), o índice de carga ambiental (ELR) e o índice de sustentabilidade (ESI). Os resultados apontam que a produção de energia elétrica em termos ambientais é um

benefício vantajoso, tendo em vista que o índice de carga ambiental é menor que 1, pois a contabilização do oxigênio diminui a razão da carga ambiental. O ESI, que compreende a razão entre o rendimento em energia e o índice de carga ambiental (EYR/ELR), apresenta elevado índice de sustentabilidade. A transformidade (UEV) da energia elétrica gerada é calculada e sua ordem de grandeza indica que ela pode competir com as fontes tradicionais de geração de energia. A avaliação do projeto de compensação ambiental, que produz entre 50 e 80 mil mudas de árvores anuais, e uma horta comunitária, como uma das exigências do estado de São Paulo para minimizar os impactos ambientais, aponta que a produção de vegetais é vantajosa em termos de rendimento em energia para a comunidade local. No entanto, o resultado do mesmo indicador para a produção de mudas não se mostrou vantajoso. É importante ressaltar que a maioria das mudas será utilizada para apoiar os projetos de reflorestamento em dois aterros sanitários de São Paulo, gerenciados pela mesma empresa (Santo Amaro e São Mateus). O excedente de mudas será direcionado para programas de educação ambiental na comunidade local.

Silva (2006) compara dois sistemas de tratamento de esgoto: Comunidade de Carangola (Petrópolis – RJ), sistema de biodigestão; e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), por lodo ativado. O autor aplica a Síntese em Energia e a Pegada Ecológica modificada, que corresponde a utilização de recursos não renováveis e provenientes da economia por área. O estudo contabiliza a entrada de oxigênio para a cocção de alimentos. A conclusão aponta que o sistema de lodo ativado apresenta melhor performance ambiental pelo fato de utilizar menor quantidade de mão de obra, quando comparado ao sistema da Comunidade de Carangola.

3.5 Programação por Metas

A Programação por Metas foi desenvolvida por Charnes *et al.* (1955) e Charnes e Cooper (1961) e é aplicada a problemas de regressão linear, e posteriormente foi adotada como uma ferramenta de tomada de decisão para resolver os problemas multicritério com os trabalhos publicados por Ijiri (1965), Lee (1972), Ignizio (1976) e Cohon (1978).

Um dos aspectos mais importantes da Programação por Metas é o aplicativo da lógica satisfatória de Simon (SIMON, 1955). Por tal motivo, essa técnica se

desenvolve dentro do âmbito do paradigma “satisfatório, no lugar de um paradigma “otimizador”.

Esse tipo de troca de lógica de Simon, de otimização na busca de soluções satisfatórias, implica assumir que o o decisor em vez de maximizar ou minimizar uma determinada função objetivo aplique uma série de metas relevantes para seu problema, que se aproxime o máximo possível dos níveis desejados e previamente fixados. Para Romero (2002), a Programação por Metas é um quadro analítico concebido para analisar problemas complexos de análise de decisão, em que os níveis de decisão são atributos relevantes para o problema específico com essa abordagem.

3.5.1 Estado da arte de Programação por Metas

Chang; Wang (1997) utilizam a Programação por Meta (*Goal Programming*). para realizar uma análise integrada entre a reciclagem e um sistema de tratamento por incineração em nove casos de estudo em Taiwan, objetivando manter a temperatura de combustão do reator em torno de 982 ° C ou 1800 ° F. Os autores propõem cenários que destinam diferentes percentuais de resíduos de plástico e/ou papelão para a reciclagem. Os resultados apontam que os objetivos de reciclagem não podem ser integralmente satisfeitos pelos sistemas 1,4,5 e 6, (que destinam maiores percentuais de papel e plástico para a incineração), porque o equilíbrio ótimo em termos de custos só é atingido quando a reciclagem de papel e/ou de plástico gera benefícios superiores, pela renda direta obtida pela comercialização e nesse caso, a temperatura de combustão do reator não é atendida. Considerando a economia, o valor de recicláveis no mercado pode conduzir o sistema em um cenário máximo de reciclagem, uma vez que o objetivo da temperatura de combustão não é atendido. Nesse caso são selecionados os sistemas 2,3,7 e 8 (que destinam menores quantidades de papel e plástico para o reator). Se peso do material correspondente associado com a combustão não é aumentado, um estudo de caso aponta que os benefícios do sistema são negativos, a menos que o setor privado participe de ambas as empresas de coleta e de incineração. Essa participação deles minimiza a dívida, para maximizar o lucro. É evidente que o subsídio predeterminado e a renda de geração de energia representam a principal renda para a agência privada que opera o incinerador . A prioridade da temperatura

de combustão e o quociente de reciclagem devem ser organizados no mesmo nível, porque eles são interdependentes. Em outras palavras, uma vez que o programa de reciclagem foi selecionado como solução, a temperatura de combustão alcançada no quadro analítico não tem nenhuma chance de ser posteriormente alterada. Os autores concluem que o modelo proposto de Programação por Metas é uma ferramenta eficiente para a solução do mundo real no que tange a questões de gestão de resíduos sólidos, pois a Programação por Metas pode integrar com sucesso a complexidade do sistema sobre variáveis sociais, físicas, econômicas, ambientais e institucionais para gerar mais políticas de gestão aceitáveis.

Minciardi *et al.* (2007) realizam uma abordagem na gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade de Gênova (Itália) utilizando uma abordagem multiobjetivo, por meio da Programação por Metas. Tal abordagem tem finalidade de apoiar a decisão sobre os fluxos ótimos de resíduos sólidos enviados para aterro, reciclagem e diferentes tipos de estações de tratamento, cujos tamanhos também são variáveis de decisão, levando em conta quatro objetivos a serem minimizados: custos econômicos, resíduos não reciclados, descarte em aterros sanitários; e impacto ambiental (emissões do incinerador). Os autores argumentam que dentre as metodologias mais adequadas para lidar com problemas multiobjetivos no âmbito da gestão dos sistemas, está o chamado *método de ponto de referência*. Trata-se de variáveis de decisão e parâmetros a serem adotados com na referência ao ponto de vista de alguma pessoa. Esses métodos são considerados apropriados para problemas de decisão multiobjetivos. Além disso, os métodos iterativos são geralmente preferidos pelos tomadores de decisão, pois eles podem ser diretamente envolvidos nas várias etapas do processo de decisão. Nesse sentido, a aplicação do procedimento é exemplificada, considerando-se a interação entre dois tomadores de decisão diferentes que são: um tomador de decisões (não especialista) e um outro, responsável pelo planejamento do sistema de RSU no município de Gênova (Itália). O estudo visa a aferir qual dos dois tomadores de decisão tem as opiniões mais ajustadas em relação à gestão de resíduos. Uma das perguntas realizadas é sobre o custo: se vale a pena aumentá-lo, a fim de se reduzir a quantidade de resíduos não reciclados de 525,7 t/ano para 485,56 t/ano. O custo da redução corresponde a deixar de empregar cerca de 540 mil euros anuais. Como resposta, os dois decisores concordam que, entre as duas escolhas, é melhor reduzir os gastos, porque a diferença da quantidade de material recuperado não é significativa e,

dessa forma não se justificam os custos. Um gráfico de tipo radar é apresentado, mostrando que a decisão do gestor municipal de resíduos é a mais ajustada para a gestão de resíduos da cidade de Gênova.

3.6 Estudos utilizados como base de dados

Ducharme (2010) realiza um estudo comparativo sobre as tecnologias de Tocha de Plasma existentes, recorrendo sobre a viabilidade técnica e económica. Descreve a gaseificação assistida como um processo que combina a utilização de plasma com a oxidação parcial de hidrocarbonetos de RSU, cuja finalidade é produzir o gás de síntese (singás) a partir da gaseificação de resíduos. O estudo descreve os processos detalhados de cada tecnologia assistida por plasma existente: : Westinghouse Plasma, de propriedade de Alter NRG; Grupo de Energia Plasco; Europlasma; InEnTec, de propriedade da Waste Management Inc., tendo em vista que cada uma dessas empresas desenvolveu tecnologias próprias. No entanto, a NRG, (tecnologia utilizada nesta pesquisa), segundo o autor se mostrou mais robusta para o tratamento de RSU, principalmente em termos de eficiência energética e economia. O autor afirma que os processos poderiam ser mais eficientes na produção de energia elétrica, aproveitando a energia térmica com a instalação de uma caldeira a vapor. Dessa forma o sistema produziria energia elétrica adicional. Balanços de energéticos e de massa foram descritos para cada processo, utilizando-se os dados fornecidos pelas empresas desenvolvedoras, o que auxiliou o entendimento e preencheu lacunas sobre alguns dados para esta pesquisa. O autor comparou as tecnologias de tocha de plasma com plantas de incineração, dado que os processos de tratamento de RSU por incineração são dominantes mundialmente. O autor relata que a principal diferença entre a tecnologia do arco de plasma e a grelha de combustão, é a significativa redução dos gases de saída no processo, em até 75%. O estudo traz informações sobre o valor calorífico do RSU: 10 MJ/kg ou 28 kWh/kg, além dos percentuais de coque de carvão (4%), utilizados no reator, bem como a quantidade de cal hidratada, e a energia líquida gerada de 533 kWh por tonelada de RSU processado.

Young (2010), em seu livro, realiza uma abordagem das tecnologias de tratamento de RSU ao longo da história relatando que o primeiro aterro sanitário municipal surgiu na Grécia, cerca de 500 a.C., e a reciclagem foi mencionada pela

primeira vez em 1690, quando Rittenhouse Mill, na Filadélfia, produziu papel feito a partir de fibras recicladas de resíduos de trapos. Em Nottingham, Inglaterra, em 1874, uma nova tecnologia, conhecida como "O destruidor" foi utilizada para eliminar o RSU da cidade, que envolveu queima sistemática. Nascia a incineração. Os aterros sanitários tornaram-se populares na década de 20, e ressalta, que desde a criação do homem, os seres humanos têm gerado desperdício, no entanto a eliminação de resíduos não era um problema até o início da Revolução Industrial. Didaticamente, ele explica cada processo de tratamento da tocha de plasma, mostrando os fluxos e efetuando comparações com as outras tecnologias de gaseificação (incineração e pirólise). No livro são discutidos oito estudos de caso envolvendo a tecnologia de tocha de plasma, contemplando análises econômicas, técnicas e renováveis. O pesquisador realiza uma ampla abordagem sobre processos de conversão de energia para tecnologias de gaseificação e aterro sanitário que utilizam o RSU como matéria-prima. Trata-se de uma extensa coletânea de dados, descrições de processos e informações detalhadas sobre os mais variados aspectos dos tratamentos de RSU, a exemplo da produção de energia líquida gerada por diversas tecnologias: incineração (544 kWh/t), pirólise (571 kWh/t), Tocha de Plasma (816 kWh/t), dentre outras, além das reações químicas que ocorrem em todos os processos e tecnologias. Análises econômicas, abordam custos de implantações para cada tecnologia, investimentos e retornos pela venda dos produtos e materiais, a exemplo da energia elétrica, gás de síntese, etanol, dentre outras. Estudos com foco em Pegada Ecológica - (*Ecological Footprint*) referem-se, à quantidade de terra e água que seria necessária para sustentar as gerações atuais, tendo em conta todos os recursos materiais e energéticos, gastos por uma determinada população. Também são abordados, além da taxa de produção do biogás a partir do tempo em que os resíduos ficam depositados em aterros sanitários, sendo que a produção de 3 a 7 anos é em torno de 4 a 10 l/kg/ano, resíduos cujo período varia de 10 a 20 anos produzem de 1,5 a 3 l/kg/ano. No período de 20 a 40 anos, atingem a produção de 0,7 a 1,5 l/kg/ano. O livro também aponta o poder calorífico do RSU como sendo de 10 MJ/kg e contempla, ainda o poder calorífico de cada item da composição gravimétrica do RSU.

Willis *et al.* (2010) realizaram o estudo de caso de umas das primeiras usinas de tocha de plasma instaladas no mundo, a usina de Utashinai, no

Japão, que utiliza a tecnologia da Westinghouse. O sistema de tratamento tem capacidade de processamento de 220 t/dia, no entanto processa no máximo 165 t/dia de uma fração de 50%/50% de RSU e outros resíduos. Tendo em vista que a tecnologia utilizada no Eco-Valley é o resultado de uma colaboração entre Westinghouse Plasma e a Hitashi Metals, o objetivo do artigo foi compartilhar as experiências e aprendizados operacionais da instalação de gaseificação por plasma. Os desafios operacionais enfrentados pela instalação durante seus primeiros sete anos de funcionamento, foram superados e serviram para aprimorar o desenvolvimento do próximo projeto de tocha de plasma da Alter NRG, cujo um protótipo, com capacidade de 24 t/dia, foi instalado no Japão e premiado pela *Japan Resíduos Research Foundation*. A referida fundação julgou que a tecnologia é apropriada para gestão de resíduos, pode operar seguramente e tratar grande variedade de resíduos. Além disso, a escória pode ser utilizada para pavimentação. Quanto às emissões, a densidade dos gases de escape para a pilha é baixa, cerca de 0,1 ng-tCO₂ Equiv/Nm³. Durante o tempo de operação três questões causaram inatividade e interrupção do processo, sendo: o diâmetro interno da parte inferior do gaseificador era demasiado grande, havendo perda de calor; o material refratário apresentou vida útil inferior ao esperado; as partículas finas, arrastadas pelo gás de síntese quando deixa o reator, atacaram o refratário de pós-combustão ao se acumularem sobre as paredes. O artigo descreve as etapas de todo o processo de tratamento, e argumenta que cada um dos três níveis de ventaneiras (bicos de ar) no gaseificador, corresponde a uma zona de oxidação ou gaseificação no reator. O ar aquecido entra no reator pela tubeira primária (menor). O contato entre os gases quentes e o coque reagem com o teor de carbono do coque para formar monóxido de carbono e dióxido de carbono. Essa reação, exotérmica, acrescenta calor adicional para ao leito de coque. As ventaneiras secundárias e terciárias estão focadas próximas à cama de coque, onde o carbono presente na matéria-prima reage com o oxigênio para produzir monóxido de carbono e dióxido de carbono, enquanto o hidrogênio presente na matéria-prima, reage com o oxigênio para produzir vapor d'água.

Symansky (2005) avalia a eficiência da compostagem como tratamento de resíduos, por meio da identificação da sucessão bacteriana. No estudo foram isoladas e identificadas cerca de 500 colônias bacterianas. Observou-se que, durante o processo de compostagem, a contagem dos heterotróficos diminuiu com o

aumento da temperatura. A média estimada para a Unidade Formadora de Colônias (UFC) foi de $3,4 \times 10^6$ UFC/g de material, informação que permitiu contabilizar a quantidade de UFCs do sistema de compostagem deste estudo, e estimar a quantidade de nitrogênio e oxigênio requerida pelas UFCs para que fossem contabilizados como um fluxo (insumo) para o sistema. Resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos semelhantes (TIQUIA E TAM, 2000) e (Hassen *et al.*, 2001), que também avaliaram a composição microbiana em leiras de compostagem, e obtiveram médias para o número de heterotróficos de $2,7 \times 10^8$ células/g; $7,3 \times 10^8$ UFC/g; e $1,0 \times 10^8$ UFC/g respectivamente.

Tôrres Filho (2014) utiliza uma planta de pirólise, alimentada com RSU para atender à demanda por cogeração de energia em dois cenários: no primeiro, vale-se de um Ciclo Rankine, com troca de calor, alimentado pelo reator pirolítico; no segundo, usa o RUC (Resíduos Urbanos Carbonizados), para alimentar uma usina termoelétrica. Para o primeiro cenário, o sistema fornece 34% da demanda de energia elétrica exigida por uma planta termoelétrica, enquanto que no segundo caso, os resíduos urbanos carbonizados (RUC) têm um poder calorífico inferior a $24,7 \text{ MJ.kg}^{-1}$ e são capazes de suprir a demanda da mesma termoelétrica com capacidade instalada de 111MW.

Silva *et al.* (2002), alegam que o uso de composto orgânico oriundo do RSU é benéfico para solos agrícolas, apresentando-se como uma alternativa viável e deve ser utilizado na agricultura, tendo em vista que proporciona melhora às condições físicas e químicas, além de favorecer os processos biológicos do solo, atuando como fonte primordial de fósforo, potássio e ocasionalmente de nitrogênio. Entretanto, os autores recomendam que os resíduos sejam provenientes de coletas diferenciadas, para evitar contaminação. Os autores observam que a quantidade de matéria orgânica putrescível pode proporcionar teores médios de 51% a 70% de matéria orgânica nos compostos RSU e alertam que não pode ser esquecer que os componentes do RSU, elevam os teores de micronutrientes e de metais pesados, como o plástico, fornecedor de Cd (67 a 77% do total); os metais ferrosos, como fonte de Cu e Pb (14 a 50% de Cu e 29 a 50% de Pb); o papel, como fonte de Pb (10 a 14%); o couro, como fonte de Cr (35%) e a borracha, como fonte de Zn (32 a 37%). Os autores relatam que, no Brasil, não existe uma legislação específica para o controle e aplicação do composto de RSU na agricultura. A única existente é a Lei n.º 6.894, de 16.12.1980, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

que trata de fertilizantes orgânicos de maneira geral. O estudo menciona que, o composto orgânico proveniente de RSU, equivale à fórmula 1-0,8-0,5, onde uma tonelada de composto irá fornecer 10 kg de nitrogênio, 8 kg de fósforo e 5 kg de potássio.

3.7 Conceito de Cenários

De acordo Schoemaker (1995) o planejamento por cenários é um método estruturado para imaginar futuros possíveis. Para Godet (apud MARCIAL; GRUMBACH, 2000) cenário é o conjunto formado pela descrição de uma situação futura e do encaminhamento dos acontecimentos que possibilitem passar da situação originária para a futura.

Segundo Buarque (2003), é necessário diferenciar os cenários que servem de base para a formulação de planos de desenvolvimento de governos (planos regionais) daqueles que contribuem para a definição de estratégias empresariais. No primeiro caso, o objeto estudado é o sistema complexo em que os governos devem intervir – macrossistemas como o país, uma região, um estado ou um município – mediante a definição de alternativas futuras para orientar as políticas e os programas governamentais. Para a formulação de estratégias empresariais, os cenários têm um papel diferente na medida em que as empresas não têm o propósito de mudar o futuro da realidade (a não ser em casos isolados) na qual atuam, e sim aproveitar as oportunidades decorrentes dela.

Dessa maneira, o objeto dos cenários empresariais é, normalmente, o ambiente de negócios da empresa. Do ponto de vista do grupo empresarial, o que interessa na elaboração de cenários é a compreensão e a percepção das oportunidades e das ameaças que decorrem de diferentes alternativas futuras do ambiente de negócios. Por isso, a estratégia empresarial consiste em um conjunto de ações voltadas para o aproveitamento das oportunidades e para o enfrentamento (ou a defesa) das ameaças previsíveis como desdobramento dos cenários alternativos do ambiente de negócios. Dos métodos para a proposição de cenários, podemos destacar o método indutivo e o dedutivo.

Na construção de cenários regionais e setoriais, o método indutivo consiste em olhar para o contexto do qual o objeto é um subsistema a partir de uma análise das suas características internas – de dentro para fora –, buscando identificar os

elementos exógenos que podem influenciar os processos e os eventos endógenos (região e seu contexto).

O processo dedutivo, ao contrário, consiste em iniciar o processo pela elaboração dos cenários do contexto ou do ambiente de negócios, e com base neles são identificados os condicionantes exógenos e seus impactos sobre o objeto. Dessa maneira, concluído o trabalho de organização das combinações que formam a base dos cenários, devem ser explicitadas as descrições alternativas da realidade futura decorrentes dessas combinações e dos elementos comuns a todos os cenários (elementos constantes e mudanças predeterminadas) que também entram na descrição do futuro. Na descrição dos cenários, devem ser consideradas as variáveis que interessam para a tomada de decisão e não apenas aquelas que eram determinantes do desempenho futuro do objeto de análise.

Como forma de contornar a complexidade de interpretação da realidade e evitar um grande esforço teórico, utiliza-se uma abordagem sistêmica, em que se representa a totalidade complexa por um conjunto de variáveis centrais e se procura compreender a lógica da interação entre elas e a lógica de determinação do sistema.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Síntese em Emergia

Na Síntese em Emergia, desenvolvida por H.T. Odum (1966) na década de 80, emergia é definida como a quantidade de energia disponível (energia solar) requerida de forma direta ou indireta para fornecer um fluxo de energia, um produto, um processo ou uma informação.

Os autores Brown *et al.* (2000) sugerem a adoção do termo síntese em emergia tendo em vista que a primeira etapa é obter uma visão completa do sistema.

O primeiro passo da Síntese em Emergia consiste na elaboração de um diagrama de energia (Figura 12). O diagrama representa o sistema em estudo. Nele são representados todos os fluxos requeridos pelo sistema, suas interações no processo, e deste com o meio ambiente. Para compor o diagrama, Odum (1996) utiliza uma simbologia própria, cujos símbolos e seus respectivos significados são apresentados no Anexo A. O diagrama contém todas as entradas de fluxos de energia (J) e de massa (g), que de acordo com sua fonte e estoques energéticos, estão posicionados da esquerda para a direita, classificados em renováveis (R), não renováveis (N) e provenientes da economia (F). Os fluxos principais que saem da fronteira do sistema são denominados produtos, enquanto fluxos secundários são denominados subprodutos.

Cada fluxo quantificado é multiplicado por sua UEV correspondente, cujo valor, geralmente é encontrado na literatura. A soma desses fluxos, expressa o valor total de emergia do processo, expresso em sej (joules de energia solar).

A transformidade de um recurso produzido por um processo (produto), é obtida pela razão entre o total da emergia demandada pelo sistema e a energia produzida pelo sistema (J), sendo expressa em sej/J, também denominada UEV. A UEV compreende a razão entre o total da emergia demandada por um sistema, e a quantidade do produto produzido, podendo ser expressa em sej/g, sej/m³, sej/ha, sej/J, dentre outros.

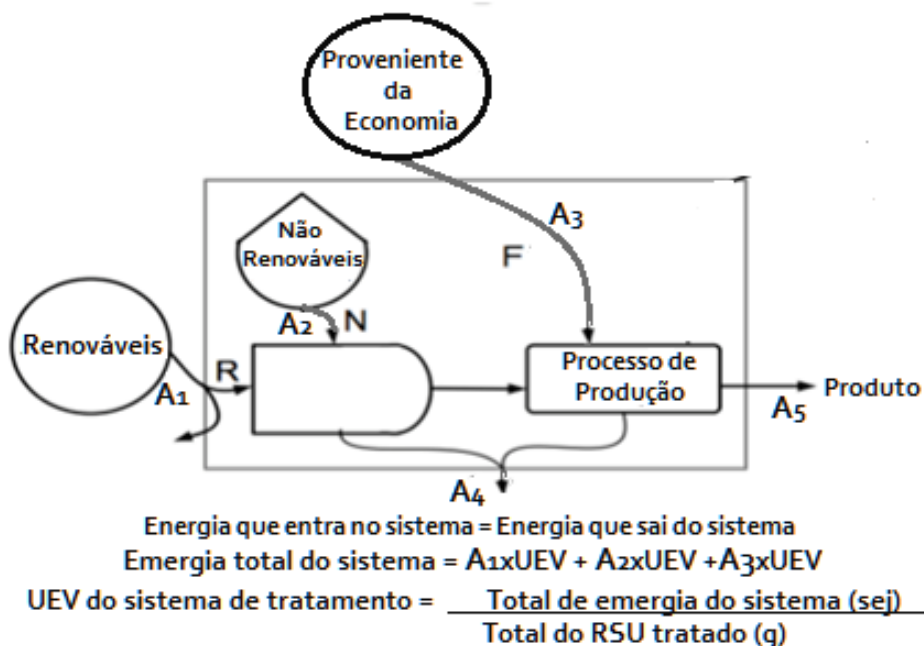


Figura 12 – Diagrama de energia com entradas de fluxos R, N e F
 Fonte: Adaptado de Odum (1966) e Ortega (2016)

Os fluxos são contabilizados para as fases de implantação e de operação de cada sistema desta pesquisa. Cada fluxo identificado no diagrama é organizado e classificado (R, N ou F) em uma tabela, denominada tabela de contabilidade ambiental em emergia. O total de cada fluxo é estimado, multiplicado por sua respectiva UEV. A somatória de todos os fluxos expressa o total de emergia do sistema.

A metodologia desenvolvida por Odum (1996) é capaz de converter todos os fluxos requeridos pelo sistema, em uma métrica comum. Essa capacidade permite principalmente, efetuar comparações entre sistemas distintos, utilizando como um indicador de eficiência, por exemplo, a UEV do produto produzido (*output*), capaz de fornecer a quantidade de emergia empregada ou requerida para produzir uma unidade do produto.

Na fase de implantação, os fluxos de cada insumo foram divididos por seu período de vida útil, considerando-se portanto, a janela de tempo de um ano.

Embora o RSU seja um recurso que contém energia armazenada, a sua entrada não foi contabilizada, tendo em vista que o RSU é um subproduto das atividades humanas como recomendam Björklund *et al.* (2001).

As UEVs utilizadas para o cálculo da emergia dos sistemas de tratamentos de RSU incluem serviços e podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de UEVs empregadas neste estudo.

Material	Unidade	UEV*	Referências
Aço	sej/g	$1,81 \times 10^9$	Simoncini, 2006
Aço estrutural	sej/g	$2,77 \times 10^9$	Haukoos, 2002
Aço Galvanizado	sej/g	$1,81 \times 10^9$	Simoncini, 2006
Aço Máquinas & Equip.	sej/g	$3,00 \times 10^9$	Odum, 2002
Água	sej/m ³	$7,75 \times 10^{11}$	Buenfil, 2001
Alumínio	sej/g	$1,27 \times 10^{10}$	Buranakarn, 2003
Argamassa	sej/g	$3,31 \times 10^9$	Brown, 2003
Asfalto	sej/g	$1,54 \times 10^9$	Buranakarn, 1998
Britas	sej/g	$1,00 \times 10^9$	Ulgati, 1994
Calcário	sej/J	$4,30 \times 10^6$	Corsini <i>et al.</i> , 2013
Carvão (Coque)	sej/g	$4,00 \times 10^4$	Bastianoni, <i>et al.</i> 2005
Cimento (artefato)	sej/g	$1,20 \times 10^9$	Haukoos, 2006
Concreto	sej/g	$1,54 \times 10^9$	Buranakarn, 1998
Diesel	sej/J	$1,11 \times 10^5$	Odum, 1996
Energia Elétrica	sej/J	$2,69 \times 10^5$	Odum (1996)
Energia Geotérmica	sej/J	$1,49 \times 10^4$	Ulgati <i>et al.</i> , 2002
Fosfato (rocha)	sej/kg	$3,90 \times 10^9$	Brown e Ulgati, 2002
Geomembrana (PEAD)	sej/g	$8,85 \times 10^9$	Brown, 2003
GLP	sej/m ³	$4,80 \times 10^4$	Wang <i>et al.</i> , 2005
Gramma	sej/g	$9,00 \times 10^8$	Brandt-Williams, 2003
Média ponderada da matriz energética brasileira	sej/J	$1,47 \times 10^5$	Giannetti <i>et al.</i> , 2015
Mão de obra	sej/J	$4,30 \times 10^6$	Silva, 2006
Nitrogênio	sej/kg	$6,38 \times 10^{12}$	Brown e Ugiati, 2004
Oxigênio	sej/g	$5,16 \times 10^7$	Ulgati; Brown, 2002
Plástico	sej/g	$5,75 \times 10^9$	Buranakarn, 1998
Potássio	sej/kg	$1,74 \times 10^{12}$	Brand-Williams, 2002
Precipitação	sej/J	$1,76 \times 10^4$	Odum, 1996
Produtos Químicos	sej/g	$2,65 \times 10^9$	Geber <i>et al.</i> , 2001
Ureia	sej/g	$6,62 \times 10^9$	Odum, 2006
Uso do Solo	sej/J	$2,21 \times 10^4$	Romitelli, 2001

* Baseline $15,83 \times 10^{24}$ sej/ano (Odum, 2000).

4.2 Coleta de dados

As informações necessárias para estimar o custo em energia das fases de operação e implantação dos sistemas de tratamento por compostagem e pirólise foram realizadas *in loco*, enquanto os dados referentes ao sistema de incineração foram disponibilizados pela Foxx Ambiental por meio de arquivos do Projeto EIA/RIMA (SGW, 2012) e da literatura. Os dados referentes ao aterro sanitário foram utilizados do trabalho de Frimaio (2011).

Os dados para a Tocha de Plasma foram coletados em entrevistas e troca de correspondência eletrônica com os engenheiros da RGT International, e complementados com a literatura.

Após finalizadas as etapas de construção dos diagramas e tabelas de energia, foi realizado o levantamento populacional referente às megacidades e as

idades de médio e grande porte, utilizando-se dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

4.3 Critério de escolha dos municípios e RSU gerado

Na composição dos cenários, é considerado o porte dos municípios. Dessa forma, os cenários abrangem megacidades e municípios de médio e grande porte para cada região do país.

Megacidades são aquelas com população acima de 10 milhões de habitantes, e de acordo com a Divisão de População (ONU, 2000), São Paulo e Rio de Janeiro se enquadram nessa categoria.

Municípios de grande porte são aqueles com população acima de 1 milhão de habitantes (IPEA, 2012). Para determinar as cidades representantes, consideram-se as capitais de cada região com maior número de habitantes, com exceção Distrito Federal em Brasília. Embora este contenha o maior número de habitantes da região centro-oeste, optou-se por adotar a cidade de Goiânia, segunda maior na região, por se entender que ela representa de maneira mais significativa os hábitos, costumes e cultura regionais. Na Tabela 3, podem ser observadas as cidades que representam cada região, e seu respectivo número de habitantes.

Tabela 3 - Tabela de cidades de grande porte.

Região	Cidade	População
Norte	Manaus	2.094.391
Nordeste	Salvador	2.938.092
Centro-Oeste	Goiânia	1.448.639
Sudeste	Belo Horizonte	2.513.451
Sul	Curitiba	1.893.997

As cidades de médio porte são aquelas cuja população se encontra acima de 100 mil e abaixo de 1 milhão de habitantes (IPEA, 2012). Para o critério de escolha, considerou-se a média aritmética entre o limite inferior e o limite superior da população, que perfaz cerca de 450 mil habitantes. No entanto houve dificuldade em se encontrarem municípios para cada região com o valor exato, dessa forma, estabeleceu-se um intervalo, adotando-se população aproximada entre 400 e 500 mil habitantes, sendo aceitável alguma variação próxima a esses valores. Na Tabela 4 podem ser observadas as cidades e a estimativa populacional, de acordo com dados do IBGE (2014).

Tabela 4 - Tabela de cidades de médio porte.

Região	Cidade	População
Norte	Porto Velho	510.834
Nordeste	Campina Grande	407.754
Centro-Oeste	Aparecida de Goiânia	532.135
Sudeste	São José do Rio Preto	446.649
Sul	Caxias do Sul	479.236

Há cenários que destinam diferentes quantidades da fração orgânica do RSU para o tratamento em sistemas de compostagem, assim como há materiais que são recicláveis e, dessa forma não podem ser contabilizados.

Nesse sentido, foi necessário estimar, primeiramente a massa de RSU gerada por cada município, para, posteriormente, determinar a massa correspondente aos materiais recicláveis e à fração orgânica. Os cálculos foram realizados com base na geração *per capita*. Os valores e as respectivas fontes de pesquisa podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativa da quantidade de RSU para as cidades.

Cidade	kg/hab.dia	Fonte
São Paulo	1,1	Cetesb (2014)
Rio de Janeiro	1,43	Rio de Janeiro (2014)
Manaus	1,3	Manaus (2014)
Salvador	1,1	LIMPURB (2012)
Goiânia	1,0	Goiânia (2012)
Belo Horizonte	0,736	Belo Horizonte (2014)
Curitiba	0,88	Curitiba (2016)
Porto Velho	0,794	Ugalde (2010)
Campina Grande	0,64	Campina Grande (2014)
Aparecida de Goiânia	0,81	Aparecida de Goiânia
São José do Rio Preto	0,9	São José do Rio Preto (2016)
Caxias do Sul	1,0	SMA(2016)

A quantidade de resíduo *per capita*, multiplicada pela população de cada município, fornece a quantidade de RSU gerado por município, conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Tabela de estimativa de RSU gerado para as cidades .

Cidade	População	kg/(hab.dia)	Dias/ano	Conversão(g/kg)	RSU(g/ano)
São Paulo	12.038.175	1,1	365	1.000	$4,83 \times 10^{12}$
Rio de Janeiro	6.498.837	1,43	365	1.000	$3,39 \times 10^{12}$
Manaus	2.094.391	1,3	365	1.000	$9,94 \times 10^{11}$
Salvador	5.451.543	1,1	365	1.000	$2,19 \times 10^{12}$
Goiânia	1.448.639	1,0	365	1.000	$5,29 \times 10^{11}$
Belo Horizonte	2.513.451	0,736	365	1.000	$6,75 \times 10^{11}$
Curitiba	1.893.997	0,88	365	1.000	$6,08 \times 10^{11}$
Porto Velho	511.219	0,794	365	1.000	$1,48 \times 10^{11}$
Campina Grande	407.754	0,64	365	1.000	$9,53 \times 10^{10}$

Aparecida de Goiânia	532.135	0,81	365	1.000	$1,57 \times 10^{11}$
São José do Rio Preto	446.649	0,9	365	1.000	$1,47 \times 10^{11}$
Caxias do Sul	479.236	1,0	365	1.000	$1,75 \times 10^{11}$

A maioria dos municípios possui alguma iniciativa de reciclagem por meio de coleta seletiva. Para compor os cenários, foi estimada a massa dos materiais recicláveis extraídos do RSU para cada cidade. Na Tabela 7, podem ser observadas as quantidades de materiais recicláveis e a sua respectiva fonte de pesquisa.

Tabela 7 - Tabela de massa de materiais recicláveis extraídos do RSU das cidades.

Cidade	Materiais Recicláveis (g/ano)	Fonte
São Paulo	$6,00 \times 10^{10}$	Cempre, 2014
Rio de Janeiro	$1,15 \times 10^{10}$	Cempre, 2014
Manaus	$2,27 \times 10^{10}$	Cempre, 2014
Salvador	$5,52 \times 10^9$	Cempre, 2014
Goiânia	$3,46 \times 10^{10}$	Cempre, 2014
Belo Horizonte	$1,05 \times 10^{10}$	Cempre, 2014
Curitiba	$3,61 \times 10^{10}$	Cempre, 2014
Porto Velho	$4,08 \times 10^8$	Porto Velho (2015)
Campina Grande	$6,84 \times 10^8$	Campina Grande (2014)
Aparecida de Goiânia	$6,24 \times 10^8$	Aparecida de Goiânia (2017)
São José do Rio Preto	$8,02 \times 10^6$	São José do Rio Preto (2016)
Caxias do Sul	$2,63 \times 10^{10}$	Codeca (2016)

A composição gravimétrica fornece o percentual de matéria orgânica aproximada existente no RSU de cada município. A NBR 10.007/04 (ABNT, 2004) normatiza o método para calcular a composição gravimétrica dos resíduos. Na Tabela 8 pode ser observado o percentual de matéria orgânica considerado e sua respectiva fonte de pesquisa.

Tabela 8 - Tabela de percentual de matéria orgânica presente no RSU.

Cidade	Matéria Orgânica (%)	Fonte
São Paulo	57	Cetesb (2010)
Rio de Janeiro	52	Rio de Janeiro, (2016)
Manaus	26,25	VILAR, 2015
Salvador	42,14	Salvador (2016)
Goiânia	62,9	Goiânia (2015)
Belo Horizonte	44	Belo Horizonte (2014)
Curitiba	37,73	Curitiba (2016)
Porto Velho	50,62	Portal Rondônia (2010)
Campina Grande	66	Santos Silva (2014)
Aparecida de Goiânia	48,57	Aparecida de Goiânia (2017)
São José do Rio Preto	51,4	São José do Rio Preto (2016)
Caxias do Sul	50,75	Schneider <i>et al.</i> , (2016)

A Tabela 9 indica o total de matéria orgânica gerada por município.

Tabela 9 – Tabela do total de massa de matéria orgânica produzida pelas cidades.

Cidade	g.RSU/ano	% Mat. Orgânica	Total Mat. Orgânica(g)
São Paulo	$4,83 \times 10^{12}$	57	$2,75 \times 10^{12}$
Rio de Janeiro	$3,39 \times 10^{12}$	52	$1,76 \times 10^{12}$
Manaus	$9,94 \times 10^{11}$	26,25	$2,61 \times 10^{11}$
Salvador	$2,19 \times 10^{12}$	42,14	$9,23 \times 10^{11}$
Goiânia	$5,29 \times 10^{11}$	62,9	$3,33 \times 10^{11}$
Belo Horizonte	$6,75 \times 10^{11}$	44	$2,97 \times 10^{11}$
Curitiba	$6,08 \times 10^{11}$	37,73	$2,29 \times 10^{11}$
Porto Velho	$1,48 \times 10^{11}$	50,62	$7,49 \times 10^{10}$
Campina Grande	$9,53 \times 10^{10}$	66	$6,29 \times 10^{10}$
Aparecida de Goiânia	$1,57 \times 10^{11}$	48,57	$7,63 \times 10^{10}$
São José do Rio Preto	$1,47 \times 10^{11}$	51,4	$7,56 \times 10^{10}$
Caxias do Sul	$1,75 \times 10^{11}$	50,75	$8,88 \times 10^{10}$

Cada cidade possui alguma iniciativa de reciclagem (JUCÁ *et al.*, 2014). Desse modo, foi estimada massa de materiais recicláveis, recuperada por cada cidade, tendo em vista que essa massa, segue outra rota, e não é tratada pelos sistemas.

Na composição gravimétrica dos resíduos de cada cidade, há um percentual correspondente à fração orgânica dos resíduos. Essa fração orgânica foi estimada, pois há cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem e outros que destinam 100%. Dessa forma, os materiais recicláveis foram subtraídos da massa de RSU produzida. Do restante foi estimada a massa de matéria orgânica, para compor os cenários.

Na Tabela 10, pode ser observada a massa de cada item separadamente, de acordo com os municípios.

Tabela 10 – Tabela da massa de RSU a ser tratado em cada cenário.

Cidade	Total RSU (g/ano)	Mat. Recicláveis	Total Mat. Orgânica (g)	Total de RSU p/trat. (g)
São Paulo	$4,83 \times 10^{12}$	$6,00 \times 10^{10}$	$2,75 \times 10^{12}$	$2,02 \times 10^{12}$
Rio de Janeiro	$3,39 \times 10^{12}$	$1,15 \times 10^{10}$	$1,76 \times 10^{12}$	$1,62 \times 10^{12}$
Manaus	$9,94 \times 10^{11}$	$2,27 \times 10^{10}$	$2,61 \times 10^{11}$	$7,10 \times 10^{11}$
Salvador	$2,19 \times 10^{12}$	$5,52 \times 10^9$	$9,23 \times 10^{11}$	$1,26 \times 10^{12}$
Goiânia	$5,29 \times 10^{11}$	$3,46 \times 10^{10}$	$3,33 \times 10^{11}$	$1,62 \times 10^{11}$
Belo Horizonte	$6,75 \times 10^{11}$	$1,05 \times 10^{10}$	$2,97 \times 10^{11}$	$3,68 \times 10^{11}$
Curitiba	$6,08 \times 10^{11}$	$3,61 \times 10^{10}$	$2,29 \times 10^{11}$	$3,43 \times 10^{11}$
Porto Velho	$1,48 \times 10^{11}$	$4,08 \times 10^8$	$7,49 \times 10^{10}$	$7,27 \times 10^{10}$
Campina Grande	$9,53 \times 10^{10}$	$6,84 \times 10^8$	$6,29 \times 10^{10}$	$3,17 \times 10^{10}$
Aparecida de Goiânia	$1,57 \times 10^{11}$	$6,24 \times 10^8$	$7,63 \times 10^{10}$	$8,01 \times 10^{10}$
São José do Rio Preto	$1,47 \times 10^{11}$	$8,02 \times 10^6$	$7,56 \times 10^{10}$	$7,14 \times 10^{10}$
Caxias do Sul	$1,75 \times 10^{11}$	$2,63 \times 10^{10}$	$8,88 \times 10^{10}$	$5,99 \times 10^{10}$

4.4 Cenários propostos

Conforme definido anteriormente, cenário compreende o desejo de passar de uma situação atual para uma situação futura almejada. Dessa forma, foram propostos cenários para as regiões, integrando duas tecnologias de tratamento: compostagem e uma outra tecnologia distinta. Alguns cenários destinam 50% da fração orgânica do RSU, enquanto outros destinam 100%. Estes percentuais foram determinados, com o propósito de verificar o que é mais vantajoso ambientalmente: destinar maiores ou menores quantidades da fração orgânica do RSU para a fabricação de composto.

Para isso, foram determinados dois tipos de cenários:

- a) Os cenários onde somente o tratamento de resíduos é contabilizado;
- b) Os cenários que contabilizam o tratamento e os benefícios de energia elétrica e composto orgânico que cada sistema de tratamento pode oferecer.

Para efetuar a comparação entre os cenários, adotou-se a UEV (Valor de energia unitário) como indicador de eficiência, cujo menor valor encontrado, apontará a tecnologia de tratamento que empregará menores quantidades de recursos para tratar 1 grama de RSU.

Dessa forma, os resultados do tipo “a” apontarão qual cenário promove mais vantagens ambientais, ou seja, qual cenário emprega menor quantidade de recursos para tratar 1 g de resíduos, enquanto os cenários do tipo “b” indicarão quais cenários proporcionam maior retorno em joules de energia solar (sej/g) por cada grama de resíduo tratado. Os percentuais de matéria orgânica estipulados, indicarão se é mais vantajoso enviar maiores ou menores quantidades de matéria orgânica. Dessa forma, se a UEV do sistema de compostagem for maior do que a de qualquer outro sistema de tratamento, menores quantidades de matéria orgânica fornecerão melhores resultados, e nesse caso os cenários de destinam 50% serão selecionados. No caso da UEV ser menor do que qualquer outro sistema, quanto maior for a massa de resíduos destinados para a compostagem, melhor será o resultado e nesse caso, o indicador apontará os sistemas que destinam 100% da massa do RSU para a fabricação de composto orgânico. Os cenários propostos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Tabela de proposição de cenários.

Cenário	Matéria Orgânica destinada à compostagem (%)	Tecnologia de Tratamento
1	50%	Aterro sanitário
2	100%	Aterro sanitário
3	50%	Incineração
4	100%	Incineração
5	50%	Tocha de plasma
6	100%	Tocha de plasma
7	50%	Pirólise
8	100%	Pirólise

Posteriormente, foram determinados cenários, utilizando-se três tecnologias de tratamento. Os cenários foram propostos, para verificar, se utilização de três tecnologias distintas de tratamento promove maiores vantagens ambientais, quando comparadas aos cenários que utilizam duas tecnologias de tratamento de RSU.

Para compor o novo cenário, utiliza-se os dois cenários que apresentam menores índices de UEVs, para cenários compostos por duas tecnologias. A soma da média aritmética entre as UEVs dos percentuais da compostagem e a média aritmética das UEVs de cada tecnologia distinta fornece o valor da UEV para o cenário, composto por três tecnologias de tratamento.

4.5 Proposição de cenários que consideram somente o processo de tratamento

É necessário estimar primeiramente a UEV da capacidade de tratamento (razão entre a energia total do sistema de tratamento de RSU e a capacidade de tratamento de cada sistema). A UEV da capacidade de tratamento fornece a quantidade de joules de energia solar (sej) empregada para tratar 1 g de RSU por cada tecnologia de tratamento. Os resultados podem ser observados no Apêndice H, nota 2.

O produto entre a quantidade de massa correspondente da fração orgânica (50% ou 100%) e a UEV da capacidade de tratamento, fornece a energia empregada para converter a massa da matéria orgânica em composto orgânico. Do mesmo modo, o produto entre a UEV de qualquer outra tecnologia de tratamento de

RSU adotada, e a massa de RSU, fornecerá a energia necessária para tratar a massa de RSU. A soma entre o valor obtido pelo percentual da compostagem e a tecnologia adotada em cada cenário, fornece o valor de joules de energia solar que cada cenário emprega para tratar os resíduos. O valor obtido pela soma é, então, dividido pela massa total de RSU, fornecendo a UEV de cada cenário. É importante ressaltar que todos os cálculos do estudo consideram a janela de tempo de 1 ano. Os cálculos detalhados para todos os cenários podem ser observados no Apêndice H.

Cenários utilizando três tecnologias de tratamento foram propostos, conforme etapa anterior. Dessa forma, selecionaram-se os dois cenários que apresentam maior benefício. A média aritmética das UEVS destinadas à compostagem, fornece o valor da UEV para a compostagem no novo cenário, assim como a média aritmética das UEVs de cada tecnologia selecionada fornece o valor de joules de energia solar que cada cenário emprega para tratar os resíduos. É importante ressaltar que todos os cálculos do estudo consideram a janela de tempo de um ano. Os cálculos detalhados para todos os cenários podem ser observados no Apêndice H.

4.6 Proposição de cenários considerando o benefício da energia elétrica.

A energia elétrica e composto orgânico são benefícios, que alguns sistemas de tratamento são capazes de oferecer, além de tratar os resíduos. São considerados os benefícios dos produtos (saídas) que cada sistema de tratamento é capaz de produzir com o RSU (entrada).

Para determinar os valores dos benefícios, valorados em joules de energia solar, primeiramente estimou-se a quantidade de energia elétrica líquida que cada sistema de tratamento é capaz de fornecer no período de um ano. Posteriormente esse valor foi multiplicado pela média ponderada da matriz energética brasileira (GIANNETTI *et al.*, 2015).

Para determinar o valor do benefício do composto orgânico, consideraram-se os valores de massa do nitrogênio, potássio e fósforo (NPK) do composto orgânico do RSU, que equivale à fórmula 1-0,8-0,5, onde uma tonelada de RSU fornece 10 kg de nitrogênio, 8 kg de fósforo e 5 Kg de potássio (SILVA *et al.*, (2010). A massa de cada componente, multiplicada pela massa da fração orgânica do RSU de cada

cidade, fornece a massa produzida anualmente de cada componente. A massa de cada componente de NPK foi multiplicada por sua UEV correspondente (Tabela 2), fornecendo o total do benefício em joules de energia solar (sej) no período de um ano para cada cidade ou região.

O valor em energia gerado por cada benefício será subtraído do valor da total de energia de cada sistema de tratamento de RSU, tendo em vista que o benefício é maior do que a energia do sistema. Isso ocorre porque a entrada de RSU no sistema não é contabilizada, por se tratar de um subproduto das atividades humanas (BJORKLUND *et al.*, 2001). O resultado obtido será dividido pela capacidade de tratamento de massa de RSU (g) de cada sistema, a fim de se obter o benefício que 1 grama de RSU pode oferecer.

Com a finalidade de verificar qual cenário propicia maiores benefícios em termos de energia, foram propostos cenários para cada município, aternando-se a massa de matéria orgânica entre cenários que destinam 50% da fração orgânica do RSU do município para a compostagem, e cenários que destinam 100%.

Primeiramente estimou-se a massa de matéria orgânica de cada cenário proposto para cada cidade abordada neste estudo. A massa (g) foi multiplicada pelo benefício que 1 grama de resíduos pode oferecer. O mesmo procedimento é realizado para o total de massa de resíduos, tratados por cada tecnologia. Obtém-se, dessa forma, o valor do benefício (em energia) de cada sistema de tratamento.

O valor do benefício do cenário compreende à soma entre o valor do benefício da compostagem e o valor do benefício de um outro sistema de tratamento qualquer escolhido.

Cenários utilizando três tecnologias de tratamento foram propostos, conforme etapa anterior. Dessa forma, selecionaram-se os dois cenários que apresentaram maior benefício. A média aritmética das UEVS destinadas à compostagem, fornece o valor da UEV para a compostagem no novo cenário, assim como a média aritmética das UEVs de cada tecnologia selecionada fornece o valor de joules de energia solar que cada cenário emprega para tratar os resíduos. É importante ressaltar que todos os cálculos do estudo consideram a janela de tempo de um ano. Os cálculos detalhados para todos os cenários podem ser observados no Apêndice I.

4.7 Programação por Metas

A Programação por Metas é um enfoque dado para tratar problemas de decisão gerencial que compreendem metas múltiplas, ou incomensuráveis, de acordo com a importância que seja atribuída a elas. O tomador de decisão (decisor) deve ser capaz de estabelecer, ao menos, uma importância ordinal, para classificar as metas.

O modelo de programação por meta tem uma função objetivo a ser otimizada, sujeita a uma ou mais restrições. No entanto, dentro do marco de referência, agregar-se-ão novos conceitos. O primeiro é o das restrições por metas no lugar das restrições de recursos. O segundo consiste no intervalo de peso entre a função de variáveis ou função objetivo. Uma vez que um problema é definido como o formato do modelo de programação linear geral para se obter a solução, será utilizado o software Lindo.

O primeiro passo para a formulação de um modelo de programação linear por metas consiste em fixar os atributos que se consideram relevantes para o problema. Uma vez estabelecidos os atributos, determina-se o nível desejado a cada atributo, em outras palavras, compreende-se o resultado que o decisor pretende atingir.

Em seguida, liga-se o atributo ao nível desejado, por meio das variáveis de desvios negativa e positiva, respectivamente. Assim, para o i -ésimo atributo, tem-se a seguinte meta, onde $f(x)$ representa a expressão matemática do atributo i -ésimo, f_i seu nível desejado, n_i e p_i as variáveis de desvio negativas e positivas, respectivamente.

As variáveis de desvio negativas quantificam o que falta para se atingir uma meta em relação ao objetivo desejado, enquanto as variáveis de desvio positivas quantificam o excesso, o que foi ultrapassado, para se alcançar um objetivo quanto ao resultado desejado. Para se atingir o nível desejado não pode haver excessos e nem mesmo falta para as variáveis de desvio. Uma vez esclarecido o significado de variáveis de desvio, é importante introduzir o conceito de variável de decisão indesejada.

Diz-se que uma variável de decisão é indesejada quando interessa ao decisor que a variável em questão alcance seu menor valor (0). Quando o objetivo derivado de um atributo do tipo mais é melhor, maximiza-se a função e quando a variável de

desvio é negativa, indesejada, minimiza-se. Um modelo básico de programação por metas é descrito a seguir:

Consideremos um problema de decisão em que existem f_i metas.

A estrutura da meta i -ésima é a seguinte:

$$f_i(x) + n_i - p_i = f_i, \text{ onde:}$$

$f_i(x)$ representa a expressão matemática do atributo i -ésimo; (é dizer que uma função do vetor x das variáveis de decisão).

f_i , é o nível desejado, associado a esse atributo ou métrica (META), n_i e p_i são as variáveis de desvio negativas e positivas, respectivamente.

Passos para implantar um modelo de programação por metas:

- Fixar os objetivos e atributos $f(x)$, relevantes para o problema.
- Determinar o nível desejado, f , que corresponde a cada atributo, sendo este o nível que o decisor considera aceitável.
- Definir as metas, desejadas. Cada meta se converte em uma restrição e é incorporada ao modelo.

$$f(x) + n - p = f$$

n : variável de desvio negativa,

p : variável de desvio positiva,

De forma geral, a meta do atributo, o indicador i -ésimo se escreve como:

$$f(x) = f_i + p_i - n_i$$

$$f(x) + n_i - p_i = f_i$$

Os valores das variáveis de desvio são sempre positivas ou zero, ao menos que uma das variáveis de desvio que define a meta tenha que ser zero.

$$n_i, p_i = 0$$

As variáveis de desvio tomam o valor zero quando a meta alcança exatamente o nível desejado, f .

Crítérios para selecionar como variáveis de desvio e dependência da função objetivo e função da meta selecionada:

Quando a meta deriva de um objetivo de maximizar (indicadores positivos) ou de uma restrição do tipo \geq , a variável de desvio não desejada é a negativa n_i , na Função Objetivo, seria:

$$\text{Min } Z = n_i.$$

$$f(x_i) \geq f_i - n_i + p_i$$

$$f(x_i) + n_i - p_i \geq f_i$$

Exemplo: maximizar o tratamento em função do tempo;

$$\sum f(x_i) + n_i - p_i \geq f_i$$

$$X_1 + X_2 + 3X_3 + n_1 - p_1 \geq 250$$

Quanto a meta deriva de minimizar algum objetivo (Indicadores negativos) ou uma restrição do tipo \leq , a variável de desvio não desejada é p_i , na Função Objetivo, seria:

$$\text{Min } Z = p_i.$$

$$f(x_i) \leq f_i - n_i + p_i$$

$$f(x_i) + n_i - p_i \geq f_i$$

Exemplo: minimizar custos ou emissão de CO₂:

$$\sum f(x_i) + n_i - p_i \leq f_i$$

$$1,3X_1 + 2X_2 + 2,5X_3 + n_2 - p_2 \leq 115$$

Quando se deseja alcançar exatamente o nível desejado (=), as variáveis de desvio não desejadas são tanto as positivas p_i , quanto as negativas n_i , na Função Objetivo que seria:

$$\text{Min } Z = n_i + p_i.$$

$$f(x_i) = f_i - n_i + p_i$$

$$f(x_i) + n_i - p_i = f_i$$

Exemplo: estimar um nível exato de produção, lucro, emissão, consumo energético.

$$\sum f(x_i) + n_i - p_i = f_i$$

$$3X_1 + 2X_2 + 5,2X_3 + n_3 - p_3 = 100$$

A metodologia proposta é aplicada a problemas formulados para a seleção de sistemas de tratamento de uma determinado porte de município.

Nesse sentido, esta investigação parte do cenário geral de um porte de município para que possam ser seleccionados n sistemas de tratamento de residuos que serão avaliados de acordo com m indicadores. É importante considerar que pela característica desses problemas, as medidas dos indicadores estão em métricas distintas (R\$/t.RSU.ano), (tCO₂ Equiv/ t.RSU, dentre outros), sendo seus valores absolutos e muito diferentes.

Por essa razão, o primeiro passo consiste em normalizar adequadamente os indicadores, obtendo-se dessa forma, uma informação dimensionalmente homogênea e, portanto, suscetível de ser agregada por meio de diferentes operadores matemáticos.

Uma vez que dispomos de dados normalizados para cada sistema de tratamento, cada indicador terá, ao menos duas opções metodológicas a seguir. A primeira consiste em utilizar a lógica satisfatória de Simon; a segunda baseada em uma lógica que seja do tipo “otimizante”. Para o enfoque da lógica satisfatória de Simon, a cada indicador se associa um nível desejado (Meta) que pode ser o ótimo, porque se considera adequado (“satisfatório”) dentro do marco teórico da racionalidade proposto pelo autor, analisado anteriormente. Para os níveis desejados, entendidos como parâmetros. Os parâmetros foram determinados valorados de acordo com a média aritmética das variáveis de cada equação, uma vez que estes níveis desejados podem ser fixados por meio de opiniões de *experts*, informações extraídas de fontes bibliográficas especializadas, estatísticas, dentre outras fontes. Para a emissão de CO₂ utilizou-se o aterro sanitário, por entender que aterros controlados, lixões e aterros sanitários é mais usual no país. Portanto, cada um dos m indicadores tem uma meta f_i “satisfatória” para formular um modelo de programação por metas ponderadas com variáveis binárias, minimizando os desvios não desejados. Em um contexto concreto, as variáveis binárias se referem eleger ou não um determinado sistema de tratamento de resíduos para determinado porte de município do estudo.

Outro aspecto importante a ser considerado é que o valor numérico das variáveis de desvio não está relacionado à distância geométrica, podendo causar um possível desvio na solução do problema. Por isso, Hannan (1985) recomenda que “para fazer comparações, as escalas entre os objetivos, os desvios das correspondentes distâncias geométricas devem variar em valores numéricos equivalentes”. Nesse sentido, para se obter uma correspondência verdadeira entre os valores numéricos e as diferenças geométricas, os objetivos devem ser ajustados, usando-se a técnica de normalização Euclidiana ou outra técnica de normalização apropriada, de acordo com o significado dos coeficientes e a natureza do problema.

Usando a técnica de normalização Euclidiana, os coeficientes normalizados d_{ij} das variáveis correspondentes aos atributos e os indicadores b_{ij} podem ser calculados usando-se a equação (Hwang and Yoon, 1981):

$$d_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m b_{ij}^2}}, \forall i,j$$

Nessa aplicação da Programação por Metas para a determinação da melhor variante do sistema de tratamento de resíduos sólidos a ser empregada, utilizar-se-á um modelo de programação meta com restrições de variáveis com inteiros binários para se minimizar as variáveis não desejadas dependentes dos indicadores selecionados.

4.8 Modelo de Programação por Metas para selecionar o melhor sistema de tratamento de RSU.

O modelo apresenta as seguintes características de seus índices, variáveis, coeficientes e parâmetros:

Tipo de Modelo: Modelo de Programação por Metas ponderadas com variáveis inteiras binárias e seus índices;

Objetivo: selecionar a melhor ou as melhores combinações dos sistemas de tratamento de resíduos sólidos do estudo;

Origem dos dados: os dados foram calculados, estimados com base em cenários reais (cidade ou município) para onde se realiza o estudo, ou extraídos da literatura científica ou órgãos do governo.

Índices:

i : Identifica os distintos sistemas de tratamento de resíduos sólidos; i= 1,2,3,4,5,6 (Compostagem=1; Incineração=2; Aterro sanitário=3; Aterro sanitário com recuperação energética=4; Plasma=5; Pirólise=6)

j: Quantidade de restrições

Variáveis

X_i : Variável binária que toma valor zero (0) se não seleciona o sistema de tratamento e um (1), se se seleciona o sistema de tratamento.

Coeficientes e parâmetros do modelo

CT_i: Custos de Implantação (CI_i) e operação (CO_i) pela capacidade de tratamento dos sistemas de tratamento abordados (R\$/t);

$$CT_i = CI_i + CO_i$$

PTc: Média aritmética dos valores das variáveis normalizadas (R\$/t);

A_i: Razão entre a capacidade de tratamento de RSU pela área de cada sistema de tratamento (t.RSU/m²);

ATr: Média aritmética dos valores das variáveis normalizadas de A_i(t.RSU/m²);

Em_i: Razão entre as emissões em t/CO₂ e a capacidade de tratamento de cada sistema i (tCO₂ Equiv/t.RSU.ano);

ETr: Média aritmética dos valores das variáveis normalizadas de Em_i(tCO₂ Equiv/t.RSU.ano)

Eg_i: UEV dos benefícios de cada sistema de tratamento (sej/g).

ETg: Média aritmética dos valores das variáveis normalizadas de Eg_i(sej/g)

Uev_i: UEV de cada sistema de tratamento i. (Sej/ano)

Tuev: Limite máximo de UEV para o sistema de tratamento;

7- Restrição da UEV do sistema de tratamento de RSU (sej/ano).

$$\sum_{i=1}^6 Uev_i X_i + N_7 - P_7 \geq Tuev$$

VAriáveis de desvio do modelo

N₁⁻, P₁⁺: Variável de folga para registrar máximos e mínimos da restrição 1.

N₂⁻, P₂⁺: Variável de folga para registrar máximos e mínimos da restrição 2.

N₃⁻, P₃⁺: Variável de folga para registrar máximos e mínimos da restrição 3.

N₄⁻, P₄⁺: Variável de folga para registrar máximos e mínimos da restrição 4.

N₅⁻, P₅⁺: Variável de folga para registrar máximos e mínimos da restrição 5.

N₆⁻, P₆⁺: Variável de folga para registrar máximos e mínimos da restrição 6.

W₁, W₂, W₃, W₄, W₅, W₆: Pesos ponderados atribuídos às metas traçadas para cada função do indicador selecionado. Esse é um valor subjetivo para decidir ou definir o grupo multidisciplinar. Neste estudo de caso considerou-se que todos os indicadores possuem o mesmo peso de 1.

Abordagem Geral do Modelo Meta

Restrições:

1 - Restrição de custos de implantação e operação pela capacidade de tratamento de cada sistema (R\$/t.ano).

$$\sum_{i=1}^6 CT_i X_i + N_1 - P_1 \leq PTc$$

2 - capacidade de tratamento de RSU por área de cada sistema de tratamento (t.RSU/m²);

$$\sum_{i=1}^6 AX_i + N_2 - P_2 \leq ATr$$

3 - Restrição de emissão de t/CO₂ equivalente para o sistema de tratamento de RSU (tCO₂ Equiv/t.RSU.ano);

$$\sum_{i=1}^6 Em_i X_i + N_3 - P_3 \leq ETr$$

4 - : Restrição da UEV dos benefícios de cada sistema de tratamento (sej/g);.

$$\sum_{i=1}^6 Eg_i X_i + N_4 - P_4 \geq ETemp$$

5- Restrição da UEV do sistema de tratamento de resíduo (Sej/ano).

$$\sum_{i=1}^6 Uev_i X_i + N_5 - P_5 \geq Tuev$$

6 - Restrição de seleção de complexidade do tratamento (Para 1, seleciona o maior sistema, para 2, selecionam-se os dois melhores, se são 3 seleciona-se os três sistemas e assim sucessivamente até seleccionar 6 sistemas).

$$\sum_{i=1}^6 X_i = (1,2,3,4,5,6)$$

7 - Restrição de não negatividade das variáveis.

$$X_{ij}, N_1^-, P_1^+, N_2^-, P_2^+, N_3^-, P_3^+, N_4^-, P_4^+, N_5^-, P_5^+, N_6^-, P_6^+ \geq 0; \forall i, j$$

$$\text{Função Objetivo: Min } Z = W_1 P_1 + W_2 N_2 + W_3 P_3 + W_4 P_4 + W_5 N_5 + W_6 N_6$$

5 RESULTADOS

5.1 Resultados da Síntese em Energia

A seguir, são apresentados os diagramas de energia para cada sistema de tratamento. Por meio deles podem ser observados os fluxos de energia e de materiais requeridos por cada sistema de tratamento de RSU, bem como as interações entre os fluxos durante o processo e destes com o meio ambiente.

5.1.1 Aterro sanitário

A Figura 13 ilustra o diagrama de energia do aterro sanitário sem a produção de energia elétrica.

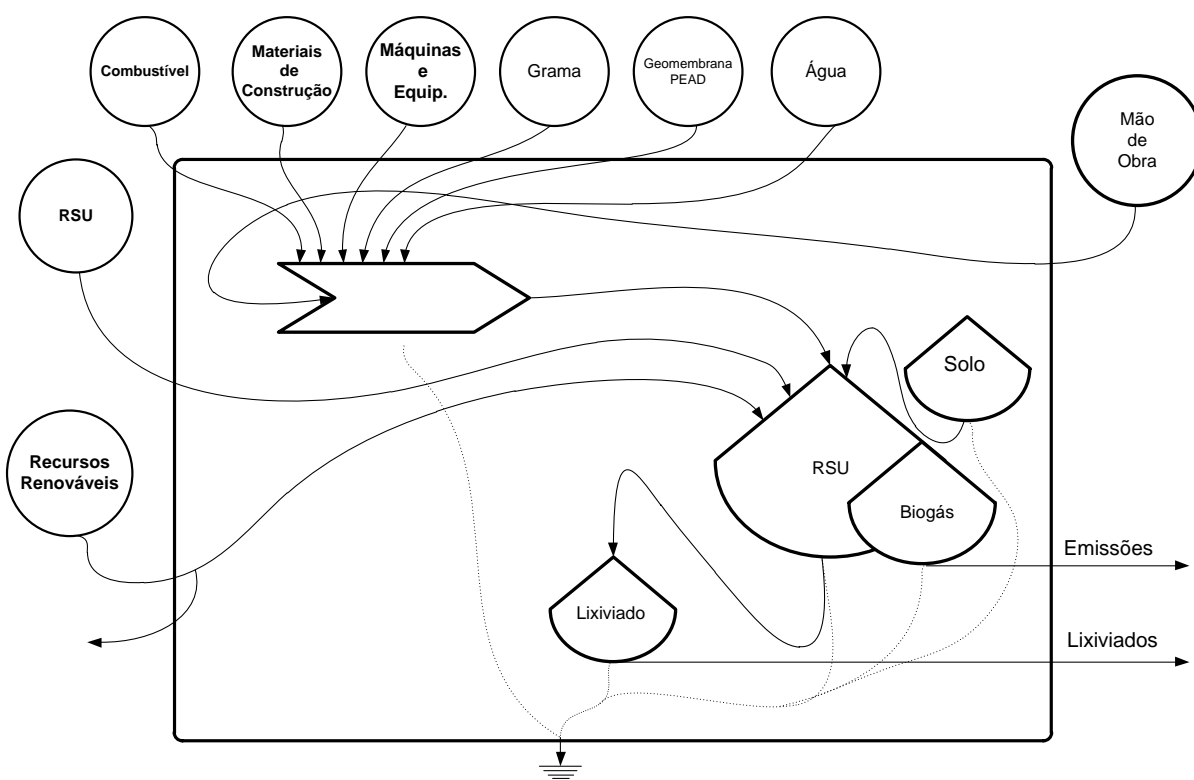


Figura 13 – Diagrama de energia do Aterro Sanitário Sítio São João

A Tabela 12 apresenta os fluxos empregados pelo sistema no processo de tratamento do aterro sanitário sem a produção de energia elétrica, cujo valor de energia do sistema compreende $6,52 \times 10^{19}$ sej.

Tabela 12 - Tabela de emergia do aterro sanitário sem a produção de energia.

Tabela 12 – Tabela de emergia do aterro sanitário sem a produção de energia.								
Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor	Emergia	Correção*	Emergia	%
				/(un/ano)	por unidade /(sej/un)		/(sej/ano)	/(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	1,25x10 ¹²	2,21x10 ⁴	1,00	2,76x10 ¹⁶	<1%
2	Diesel	J	F	3,84x10 ⁹	1,11x10 ⁵	1,68	7,16x10 ¹⁴	<1%
3	Mão de obra	J	F	1,01x10 ⁹	4,30x10 ⁶	1,00	4,33x10 ¹⁵	<1%
4	Britas	g	F	1,82x10 ⁸	1,00x10 ⁹	1,68	3,05x10 ¹⁷	<1%
5	Cimento (Artefato)	g	F	1,15x10 ⁷	1,20x10 ⁹	1,00	1,38x10 ¹⁶	<1%
6	Concreto	g	F	1,36x10 ⁸	1,54x10 ⁹	1,68	3,51x10 ¹⁷	<1%
7	Aço Galv.(telhas)	g	F	2,03x10 ⁵	1,81x10 ⁹	1,00	3,67x10 ¹⁴	<1%
8	Aço Estrutural	g	F	4,50x10 ⁵	2,77x10 ⁹	1,00	1,25x10 ¹⁵	<1%
9	Aço Maq.& Equip.	g	F	3,26x10 ⁷	3,00x10 ⁹	1,00	9,78x10 ¹⁶	<1%
10	Cimento (massa)	g	F	3,21x10 ⁶	3,31x10 ⁹	1,00	1,06x10 ¹⁶	<1%
11	Geomembrana	g	F	1,52x10 ⁹	8,85x10 ⁹	1,00	1,34x10 ¹⁹	22,6%
Fase de Operação								
12	Sol	J	R	6,67x10 ¹²	1	1,00	6,67x10 ¹²	-
13	Energia Geotérm.	J	R	7,94x10 ¹¹	1,49x10 ⁴	1,00	1,18x10 ¹⁶	<1%
14	En. Pot. Da Chuva	J	R	1,12x10 ¹¹	1,76x10 ⁴	1,68	3,31x10 ¹⁵	<1%
15	Diesel	J	F	3,70x10 ¹²	1,11x10 ⁵	1	6,90x10 ¹⁷	<1%
16	Energia Elétrica	J	F	7,74x10 ⁹	2,69x10 ⁵	1,68	3,50x10 ⁹	<1%
17	Mão de obra	J	F	4,96x10 ¹¹	4,30x10 ⁶	1,00	2,13x10 ¹⁸	3,2%
18	Gramma	g	F	8,48x10 ⁶	9,00x10 ⁸	1,00	7,63x10 ¹⁵	<1%
19	Britas	g	F	2,40x10 ¹⁰	1,00x10 ⁹	1,68	4,03x10 ¹⁹	60,5%
20	Concreto	g	F	3,00x10 ⁹	1,54x10 ⁹	1,68	7,76x10 ¹⁸	11,7%
21	Água	m ³	F	2,24x10 ³	7,75x10 ¹¹	1,00	1,74x10 ¹⁵	<1%
Capacidade de tratamento: 1,59x10 ⁶ t/ano								
Emergia da fase de implantação: 1,57x10 ¹⁹ sej/ano								
Emergia da fase de operação: 5,09x10 ¹⁹ sej/ano								
Emergia Total							6,52x10 ¹⁹	100%

O fluxo mais significativo para o sistema de tratamento em aterro sanitário é a brita, que corresponde a 60,5% do sistema. Ela é utilizada para revestir as células, permitindo principalmente o escoamento de gases e do lixiviado. A Geomembrana é responsável por 20,6% da emergia do sistema, e corresponde à impermeabilização da base do aterro, evitando a contaminação do solo.

A fase de operação do aterro sanitário é a fase que exige mais recursos do meio ambiente, cerca de 78% da emergia do sistema, devido principalmente às

britas e ao concreto, utilizado para as canaletas para escoamento da precipitação. A fase de implantação requer 22% do fluxo de energia.

A Figura 14 ilustra o diagrama de energia do aterro sanitário com produção de energia elétrica.

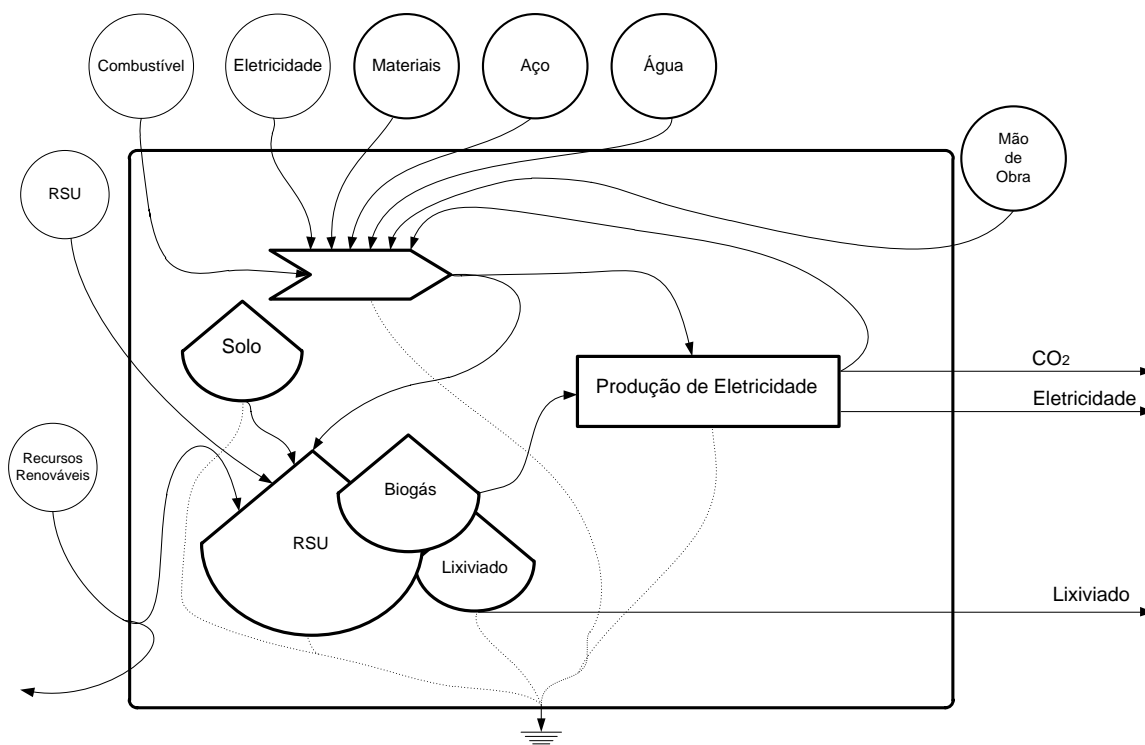


Figura 14 - Diagrama de energia do Aterro Sanitário São João

A Tabela 13 mostra os insumos requeridos pelo aterro sanitário com produção de energia elétrica. O total de energia corresponde a $1,91 \times 10^{20}$ sej. Os cálculos descritos podem ser observados no Anexo .

Tabela 13 - Tabela de energia do aterro sanitário com produção de energia elétrica.

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor /(un/ano)	Energia por unidade /(sej/un)	Correção*	Energia /(sej/ano)	%
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	$1,25 \times 10^{12}$	$2,21 \times 10^4$	1,00	$2,76 \times 10^{16}$	<1%
2	Diesel	J	F	$3,84 \times 10^9$	$1,11 \times 10^5$	1,68	$7,16 \times 10^{14}$	<1%
3	Mão de obra	J	F	$6,67 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$2,87 \times 10^{18}$	1,5%
4	Britas	g	F	$1,82 \times 10^8$	$1,00 \times 10^9$	1,68	$3,05 \times 10^{17}$	<1%
5	Cimento (Artefato)	g	F	$2,19 \times 10^7$	$1,20 \times 10^9$	1,00	$2,63 \times 10^{16}$	<1%
6	Concreto	g	F	$1,58 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$4,09 \times 10^{17}$	<1%

7	Aço Galv.(telhas)	g	F	$4,41 \times 10^6$	$1,81 \times 10^9$	1,00	$7,99 \times 10^{15}$	<1%
8	Aço Estrutural	g	F	$9,15 \times 10^6$	$2,77 \times 10^9$	1,00	$2,53 \times 10^{16}$	<1%
9	Aço Maq. & Equip.	g	F	$7,58 \times 10^7$	$3,00 \times 10^9$	1,00	$2,27 \times 10^{17}$	<1%
10	Fibra Cerâmica	g	F	$4,20 \times 10^5$	$3,06 \times 10^9$	1,68	$2,16 \times 10^{15}$	<1%
11	Cimento (massa)	g	F	$5,38 \times 10^6$	$3,31 \times 10^9$	1,00	$1,78 \times 10^{16}$	<1%
12	Geomembrana	g	F	$1,52 \times 10^9$	$8,85 \times 10^9$	1,00	$1,34 \times 10^{19}$	7,7%

Fase de Operação

13	Sol*	J	R	$6,67 \times 10^{12}$	1	1,00	$6,67 \times 10^{12}$	-
14	Energia Geotérmica	J	R	$7,94 \times 10^{11}$	$1,49 \times 10^4$	1,00	$1,18 \times 10^{16}$	<1%
15	En. Pot. Da Chuva	J	R	$1,12 \times 10^{11}$	$1,76 \times 10^4$	1,68	$3,31 \times 10^{15}$	<1%
16	O ₂	g	R	$2,36 \times 10^{12}$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$1,22 \times 10^{20}$	63,4%
17	Diesel	J	F	$3,95 \times 10^{12}$	$1,11 \times 10^5$	1,68	$7,37 \times 10^{17}$	<1%
18	Energia Elétrica	J	F	$1,48 \times 10^{10}$	$2,69 \times 10^5$	1,68	$6,67 \times 10^{15}$	<1%
19	Mão de obra	J	F	$6,12 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$2,63 \times 10^{18}$	1,4%
20	Gramma	g	F	$8,48 \times 10^6$	$9,00 \times 10^8$	1,00	$7,63 \times 10^{15}$	<1%
21	Britas	g	F	$2,40 \times 10^{10}$	$1,00 \times 10^9$	1,68	$4,03 \times 10^{19}$	21,0%
22	Concreto	g	F	$3,00 \times 10^9$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$7,76 \times 10^{18}$	4%
23	Água	m ³	F	$3,29 \times 10^3$	$7,75 \times 10^{11}$	1,00	$2,55 \times 10^{15}$	<1%

Capacidade de tratamento: $1,59 \times 10^6$ t/ano

Energia da fase de implantação: $1,73 \times 10^{19}$ sej/ano

Energia da fase de operação: $1,73 \times 10^{20}$ sej/ano

Energia Total						$1,91 \times 10^{20}$	100%
---------------	--	--	--	--	--	-----------------------	------

- Não contabilizado

Com a implantação do sistema de geração de energia elétrica, o sistema passa a consumir maior quantidade de fluxo de energia renovável, o oxigênio (63,4%). Dessa forma o sistema deixa de ser diretamente dependente de fluxos provenientes da economia, como as britas, cujo percentual no aterro sem energia elétrica era de 60,5% com redução para 21%. O oxigênio é contabilizado, pois é um recurso que o sistema utiliza nos motogeradores para promover a queima biogás para gerar energia elétrica, a exemplo do que é realizado por Silva (2006).

A fase de operação corresponde cerca de 90% da energia total do sistema. Resultado similar é encontrado no estudo desenvolvido por Niccolucci *et al.*, (2001).

5.1.2 Incineração

O diagrama de energia do processo de tratamento de RSU por incineração pode ser observado na Figura 15.

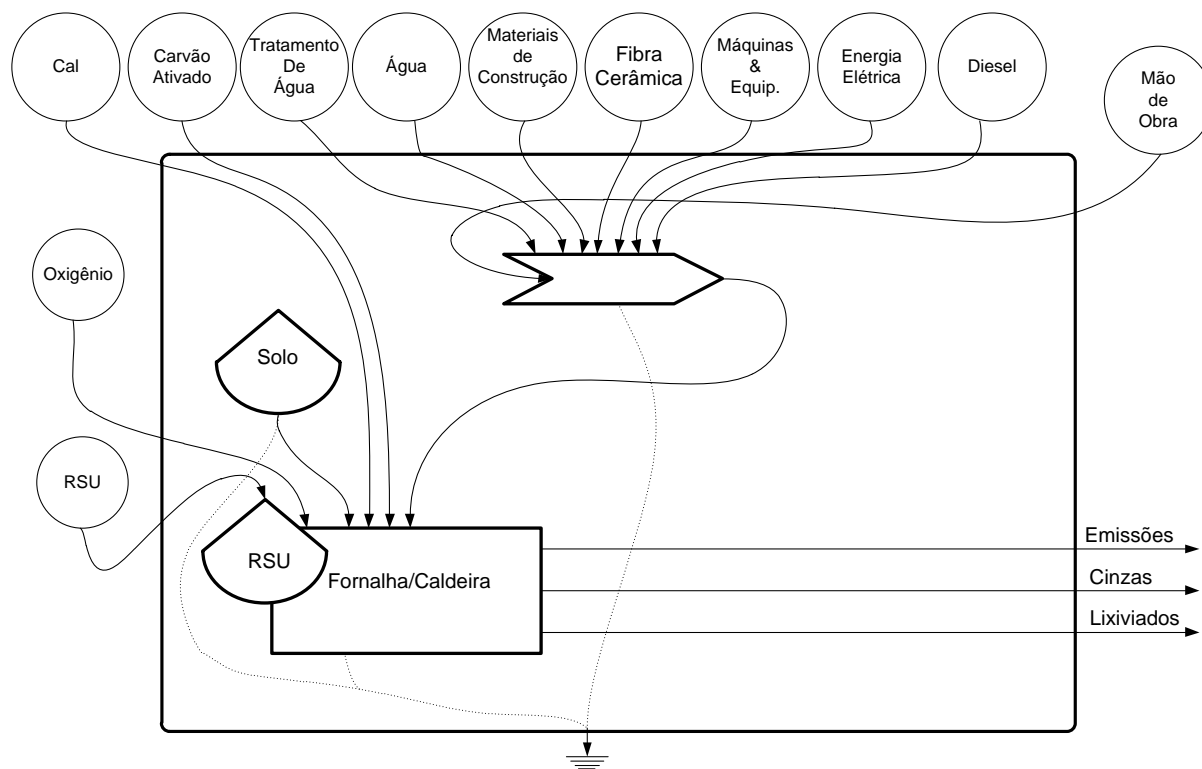


Figura 15 - Diagrama de energia do processo de tratamento por incineração

Todos os insumos utilizados no sistema de tratamento por incineração sem a geração de energia são apresentados na Tabela 14. O total de energia compreende $4,30 \times 10^{18}$ sej.

Tabela 14 - Tabela de energia do sistema de incineração sem a produção de energia.

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor /(un/ano)	Energia por unidade /(sej/un)	Correção*	Energia /(sej/ano)	% /(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	$9,72 \times 10^{10}$	$2,21 \times 10^4$	1,00	$2,15 \times 10^{15}$	<1%
2	Diesel	J	F	$4,30 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,68	$8,01 \times 10^{16}$	1,9%
3	Energia Elétrica	J	F	$6,60 \times 10^{11}$	$1,65 \times 10^5$	1,68	$1,83 \times 10^{17}$	4,3%
4	Mão de obra	J	F	$4,67 \times 10^{10}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$2,01 \times 10^{17}$	4,7%
5	Cimento (Artefato)	g	F	$8,66 \times 10^8$	$1,20 \times 10^9$	1,00	$1,04 \times 10^{18}$	24,2%

6	Asfalto	g	F	$3,42 \times 10^7$	$4,74 \times 10^8$	1,00	$1,62 \times 10^{16}$	<1%
7	Concreto Armado	g	F	$2,49 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$6,43 \times 10^{17}$	14,9%
8	Aço Galv	g	F	$2,75 \times 10^7$	$1,81 \times 10^9$	1,00	$4,98 \times 10^{16}$	1,2%
9	Aço Estrutural	g	F	$1,17 \times 10^7$	$2,77 \times 10^9$	1,00	$3,25 \times 10^{16}$	<1%
10	Aço Maq. & Equip.	g	F	$3,17 \times 10^7$	$3,00 \times 10^9$	1,00	$9,51 \times 10^{16}$	2,2%
11	Fibra Cerâmica	g	F	$6,44 \times 10^5$	$3,06 \times 10^9$	1,68	$3,31 \times 10^{15}$	<1%
12	Cimento (massa)	g	F	$1,42 \times 10^6$	$3,31 \times 10^9$	1,00	$4,70 \times 10^{15}$	<1%
Fase de Operação								
13	O ₂	g	R	$1,36 \times 10^8$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$7,03 \times 10^{15}$	<1%
14	Carvão ativado	g	F	$7,32 \times 10^7$	$4,00 \times 10^4$	1,68	$4,92 \times 10^{12}$	<1%
15	Diesel	J	F	$1,71 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,00	$1,90 \times 10^{16}$	<1%
16	GLP	J	F	$3,60 \times 10^{11}$	$4,80 \times 10^4$	1,00	$1,73 \times 10^{16}$	<1%
17	Mão de obra	J	F	$1,46 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$6,26 \times 10^{17}$	14,6%
18	Cal hidratada	g	F	$2,72 \times 10^9$	$1,13 \times 10^7$	1,00	$3,06 \times 10^{16}$	<1%
19	Prod. Químicos	g	F	$1,19 \times 10^8$	$2,65 \times 10^9$	1,00	$3,16 \times 10^{17}$	7,4%
20	Trat. de água	m ³	F	$9,88 \times 10^5$	$9,48 \times 10^{11}$	1,00	$9,37 \times 10^{17}$	21,8%
Capacidade de tratamento: $2,52 \times 10^5$ t/ano								
Energia da fase de implantação: $2,35 \times 10^{18}$ sej/ano								
Energia da fase de operação: $1,95 \times 10^{18}$ sej/ano								
Energia Total							$4,30 \times 10^{18}$	100%

Os maiores insumos requeridos pelo sistema de tratamento de incineração sem a geração de eletricidade são os artefatos de cimento (24,2%), que compreendem as telhas de fibrocimento, mourões para cercamento e blocos para a construção. O sistema de tratamento de água é o segundo maior fluxo, devido a alta UEV do tratamento.

No tratamento de RSU por incineração, a fase de implantação corresponde a 83% da energia do sistema.

A Figura 16 ilustra o diagrama de energia do processo de incineração com geração de energia elétrica.

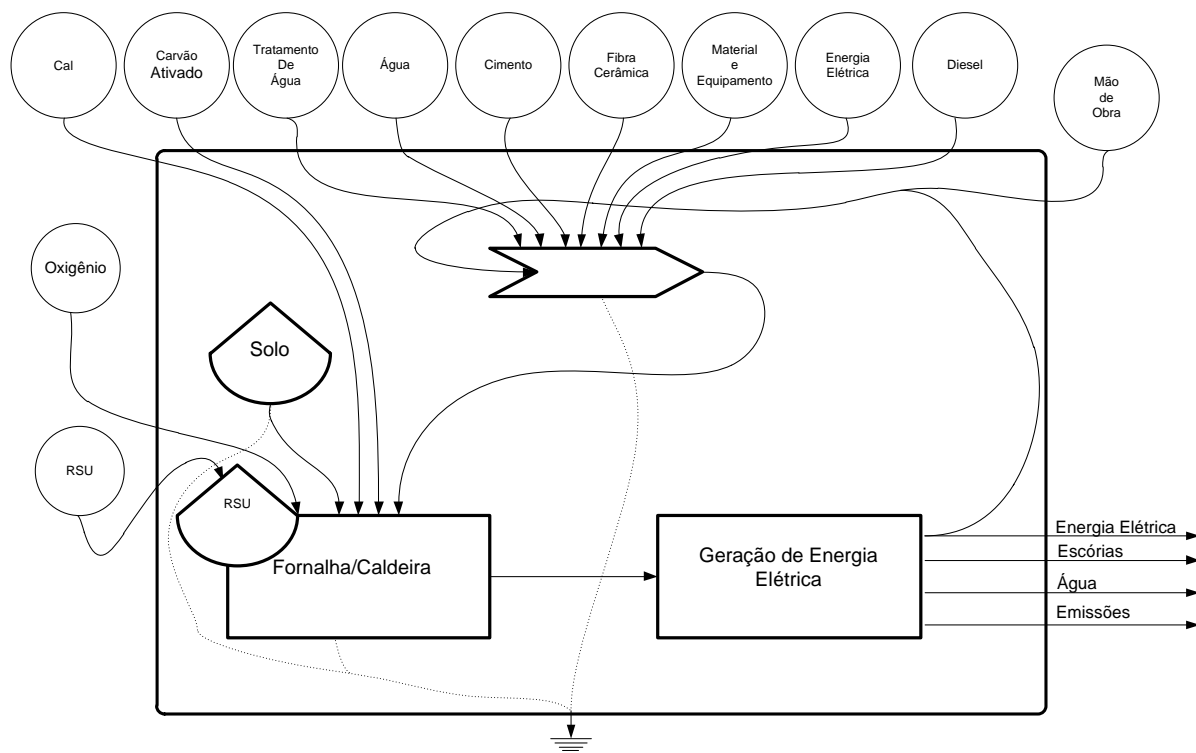


Figura 16 – Diagrama de energia do tratamento por incineração com produção de energia elétrica.

A Tabela 15 mostra os fluxos requeridos pelo processo de tratamento de RSU do sistema de incineração com produção de energia elétrica. A emergia total do sistema é de $4,53 \times 10^{18}$ sej.

Tabela 15 - Tabela de energia do sistema de incineração com produção de energia.

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor /(un/ano)	Emergia por unidade /(sej/un)	Correção*	Emergia /(sej/ano)	% /(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	$9,72 \times 10^{10}$	$2,21 \times 10^4$	1,00	$2,15 \times 10^{15}$	<1%
2	Diesel	J	F	$4,30 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,00	$8,01 \times 10^{16}$	<1,8%
3	Energia Elétrica	J	F	$6,60 \times 10^{11}$	$1,65 \times 10^5$	1,68	$1,83 \times 10^{17}$	4,0%
4	Mão de obra	J	F	$4,67 \times 10^{10}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$2,01 \times 10^{17}$	4,4%
5	Cimento (Artefato)	g	F	$8,66 \times 10^8$	$1,20 \times 10^9$	1,00	$1,04 \times 10^{18}$	22,9%
6	Asfalto	g	F	$3,42 \times 10^7$	$4,74 \times 10^8$	1,00	$1,62 \times 10^{16}$	<1%
7	Concreto Armado	g	F	$2,49 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$6,43 \times 10^{17}$	14,2%
8	Aço Galvanizado	g	F	$4,30 \times 10^6$	$1,81 \times 10^9$	1,00	$4,98 \times 10^{16}$	1,1%

9	Aço Estrutural	g	F	$1,17 \times 10^7$	$2,77 \times 10^9$	1,00	$3,25 \times 10^{16}$	<1%
10	Aço Maq. & Equip.	g	F	$5,76 \times 10^7$	$3,00 \times 10^9$	1,00	$1,73 \times 10^{17}$	3,8%
11	Fibra Cerâmica	g	F	$6,44 \times 10^5$	$3,06 \times 10^9$	1,68	$3,31 \times 10^{15}$	<1%
12	Cimento (massa)	g	F	$1,42 \times 10^6$	$3,31 \times 10^9$	1,00	$4,70 \times 10^{15}$	<1%
Fase de Operação								
13	O ₂	g	R	$1,36 \times 10^8$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$7,03 \times 10^{15}$	<1%
14	Carvão Ativado	g	F	$7,32 \times 10^7$	$4,00 \times 10^4$	1,68	$4,92 \times 10^{12}$	<1%
15	Diesel	J	F	$1,71 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1	$1,90 \times 10^{16}$	<1%
16	GLP	m ³	F	$3,60 \times 10^{11}$	$4,80 \times 10^4$	1	$1,73 \times 10^{16}$	<1%
17	Mão de obra	J	F	$1,80 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$7,74 \times 10^{17}$	17,1%
18	Cal Hidratada	g	F	$2,72 \times 10^9$	$1,13 \times 10^7$	1,00	$3,06 \times 10^{16}$	<1%
19	Prod. Químicos	g	F	$1,20 \times 10^8$	$2,65 \times 10^9$	1,00	$3,18 \times 10^{17}$	7,0%
20	Uréia	g	F	$4,12 \times 10^5$	$6,62 \times 10^9$	1,00	$2,73 \times 10^{15}$	<1%
21	Trat. de Água	m ³	F	$9,88 \times 10^5$	$9,48 \times 10^{11}$	1,00	$9,37 \times 10^{17}$	20,7%
Capacidade de tratamento: $2,52 \times 10^5$ t/ano								
Energia da fase de implantação: $2,43 \times 10^{18}$ sej/ano								
Energia da fase de operação: $2,11 \times 10^{18}$ sej/ano								
Energia Total							$4,53 \times 10^{18}$	100%

Os fluxos mais significativos para o sistema continuam sendo os artefatos de cimento (22,9%) e o tratamento de água, que corresponde a 20,7,% da energia do sistema. A fase de implantação, corresponde a cerca de 53,6% da energia total do sistema.

5.1.3 Tocha de plasma

O diagrama de energia do sistema de tocha de plasma sem a geração de energia elétrica é ilustrado na Figura 17.

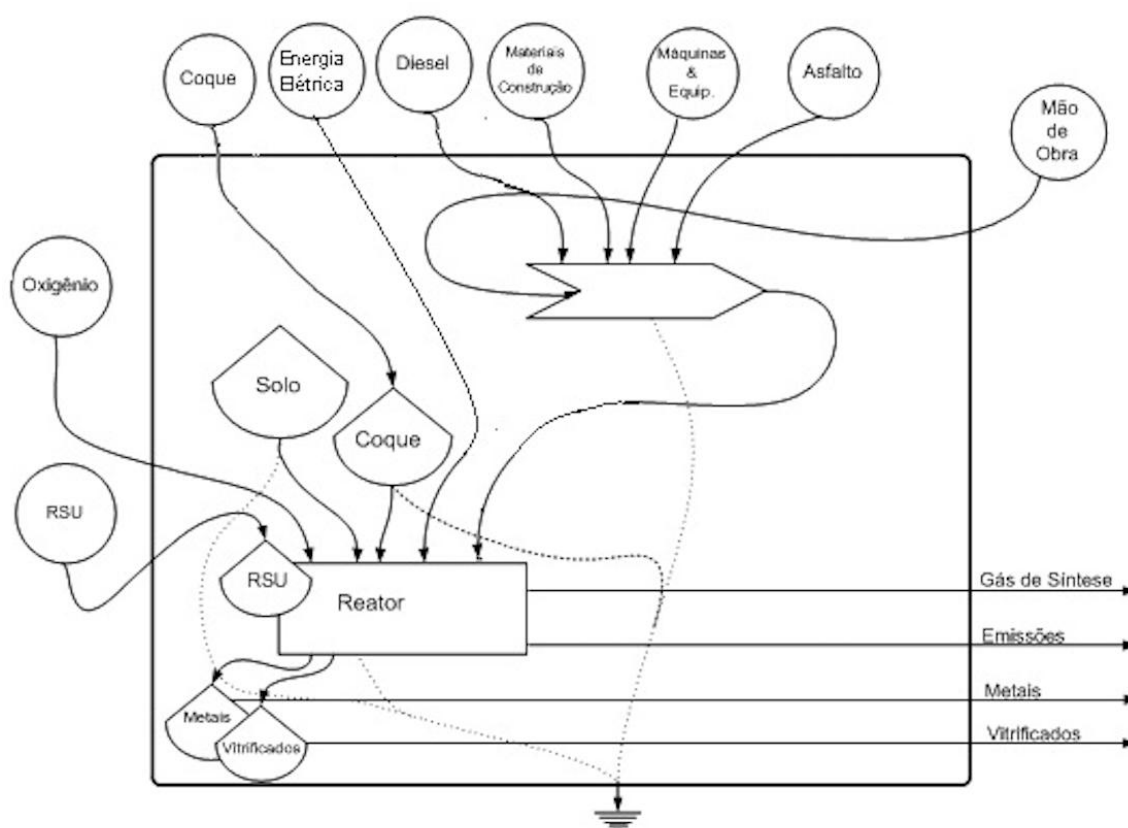


Figura 17 - Diagrama de energia do tratamento por Tocha de plasma sem geração de energia.

Os os fluxos de energia do sistema de tratamento da tocha de plasma sem a geração de energia elétrica, podem ser observados na Tabela 16, cujo valor total de energia corresponde a $2,98 \times 10^{18}$ sej.

Tabela 16 - Tabela de energia do sistema tocha de plasma sem a produção de energia .

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor /(un/ano)	Energia por unidade /(sej/un)	Correção*	Energia /(sej/ano)	% /(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	$7,84 \times 10^{10}$	$2,21 \times 10^4$	1,00	$1,73 \times 10^{15}$	<1%
2	Diesel	J	F	$1,67 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,00	$3,11 \times 10^{16}$	1,0%
3	Mão de obra	J	F	$1,56 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$6,73 \times 10^{17}$	22,6%
4	Asfalto	g	F	$1,10 \times 10^3$	$4,74 \times 10^8$	1,00	$5,21 \times 10^{11}$	<1%
5	Cimento (Artefato)	g	F	$1,88 \times 10^7$	$1,20 \times 10^9$	1,00	$2,26 \times 10^{16}$	<1%
6	Concreto Armado	g	F	$2,85 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$7,37 \times 10^{17}$	24,7%
7	Aço Galvanizado	g	F	$3,25 \times 10^7$	$1,81 \times 10^9$	1,00	$5,88 \times 10^{16}$	2,0%
8	Aço Estrutural	g	F	$3,27 \times 10^7$	$2,77 \times 10^9$	1,00	$9,05 \times 10^{16}$	3,0%

9	Aço Maq. & Equip.	g	F	$5,18 \times 10^7$	$3,00 \times 10^9$	1,00	$1,55 \times 10^{17}$	5,2%
Fase de Operação								
10	O ₂	g	R	$1,61 \times 10^9$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$8,31 \times 10^{16}$	2,8%
11	Carvão (coque)	g	F	$2,05 \times 10^9$	$4,00 \times 10^4$	1,68	$1,38 \times 10^{14}$	<1%
12	Diesel	J	F	$9,55 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,00	$1,78 \times 10^{17}$	6,00%
13	Mão de obra	J	F	$2,40 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$9,02 \times 10^{17}$	30,3%
14	Energia Elétrica	J	F	$3,60 \times 10^5$	$2,69 \times 10^5$	1,68	$1,63 \times 10^{12}$	<1%
15	Calcário	g	F	$4,05 \times 10^9$	$6,70 \times 10^6$	1,68	$4,56 \times 10^{16}$	1,5%
16	Água	m ³	F	$1,60 \times 10^3$	$7,75 \times 10^{11}$	1,00	$1,24 \times 10^{15}$	<1%
Capacidade de tratamento: $9,28 \times 10^4$ t/ano								
Emergia da fase de implantação: $1,77 \times 10^{18}$ sej/ano								
Emergia da fase de operação: $1,21 \times 10^{18}$ sej/ano								
Emergia Total							$2,98 \times 10^{18}$	100%

Os fluxos mais significativos do sistema correspondem à mão de obra da fase de operação, cerca de 30%. Seguem-se a eles o concreto armado, utilizado na fase de implantação (24,7%), e a mão de obra da fase de implantação que corresponde a cerca de 22,6% da emergia total do sistema;

A fase de implantação do sistema corresponde a 59% da emergia total do sistema.

O diagrama de energia do sistema de energia do sistema de tratamento por tocha de plasma com geração de eletricidade pode ser observado na Figura 18.

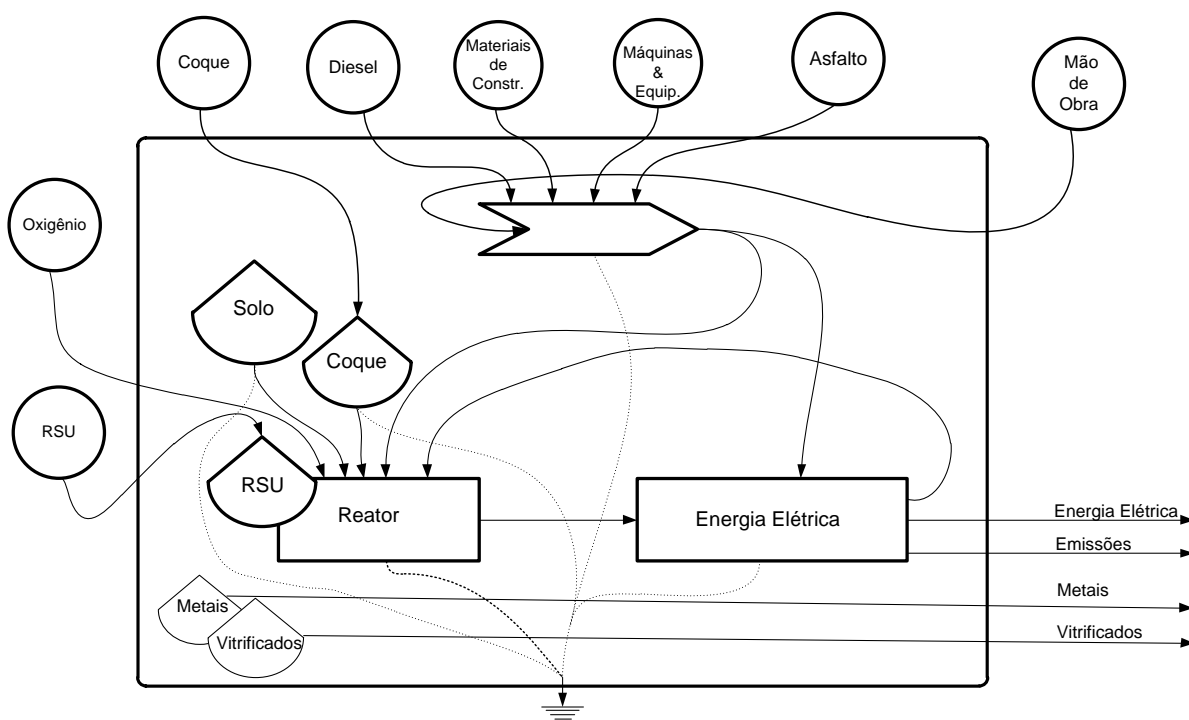


Figura 18 - Diagrama de energia da Tocha de Plasma com geração de energia

A Tabela 17 mostra os fluxos de energia do sistema de tratamento da Tocha de plasma com a geração de energia elétrica. O valor total de energia é $3,23 \times 10^{18}$ sej.

Tabela 17 - Tabela de energia do sistema de tocha de plasma com produção de energia .

Nota	Descrição	Unidade	Classe	Valor /(un/ano)	Energia por unidade /(sej/un)	Correção*	Energia /(sej/ano)	% /(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	$7,84 \times 10^{10}$	$2,21 \times 10^4$	1,00	$1,73 \times 10^{15}$	<1%
2	Diesel	J	F	$1,67 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,00	$3,11 \times 10^{16}$	<1%
3	Mão de obra	J	F	$1,56 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$6,73 \times 10^{17}$	20,9%
4	Asfalto	g	F	$1,10 \times 10^3$	$4,74 \times 10^8$	1,00	$5,21 \times 10^{11}$	<1%
5	Cimento (Artefato)	g	F	$1,88 \times 10^7$	$1,20 \times 10^9$	1,00	$2,26 \times 10^{16}$	<1%
6	Concreto Armado	g	F	$2,85 \times 10^8$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$7,37 \times 10^{17}$	22,8%
7	Aço Galvanizado	g	F	$3,25 \times 10^7$	$1,81 \times 10^9$	1,00	$5,88 \times 10^{16}$	1,8%
8	Aço Estrutural	g	F	$3,27 \times 10^7$	$2,77 \times 10^9$	1,00	$9,05 \times 10^{16}$	2,8%
9	Aço Maq. & Equip.	g	F	$9,12 \times 10^7$	$3,00 \times 10^9$	1,00	$2,73 \times 10^{17}$	8,5%
Fase de Operação								
10	O ₂	g	R	$1,61 \times 10^9$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$8,31 \times 10^{16}$	2,6%

11	Carvão (coque)	g	F	$2,05 \times 10^9$	$4,00 \times 10^4$	1,68	$1,38 \times 10^{14}$	<1%
12	Diesel	J	F	$9,55 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,00	$1,78 \times 10^{17}$	5,5%
13	Mão de obra	J	F	$2,40 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$1,03 \times 10^{18}$	31,9%
14	Calcário	g	F	$4,05 \times 10^9$	$6,70 \times 10^6$	1,68	$4,56 \times 10^{16}$	1,4%
15	Água	m ³	F	$1,60 \times 10^3$	$7,75 \times 10^{11}$	1,00	$1,24 \times 10^{15}$	<1%

Capacidade de tratamento: $9,28 \times 10^4$ t/ano

Energia da fase de implantação: $1,89 \times 10^{18}$ sej/ano

Energia da fase de operação: $1,34 \times 10^{18}$ sej/ano

Energia Total	$3,23 \times 10^{18}$	100%
---------------	-----------------------	------

Os fluxos mais significativos do sistema compreendem a mão de obra (31,9%) requerida na fase de operação. Seguem-se a eles o concreto armado (22,8%) e a mão de obra da fase de implantação, que corresponde a 20,9% da energia do sistema.

5.1.4 Pirólise

O diagrama do sistema tratamento por pirólise pode ser observado na Figura 19.

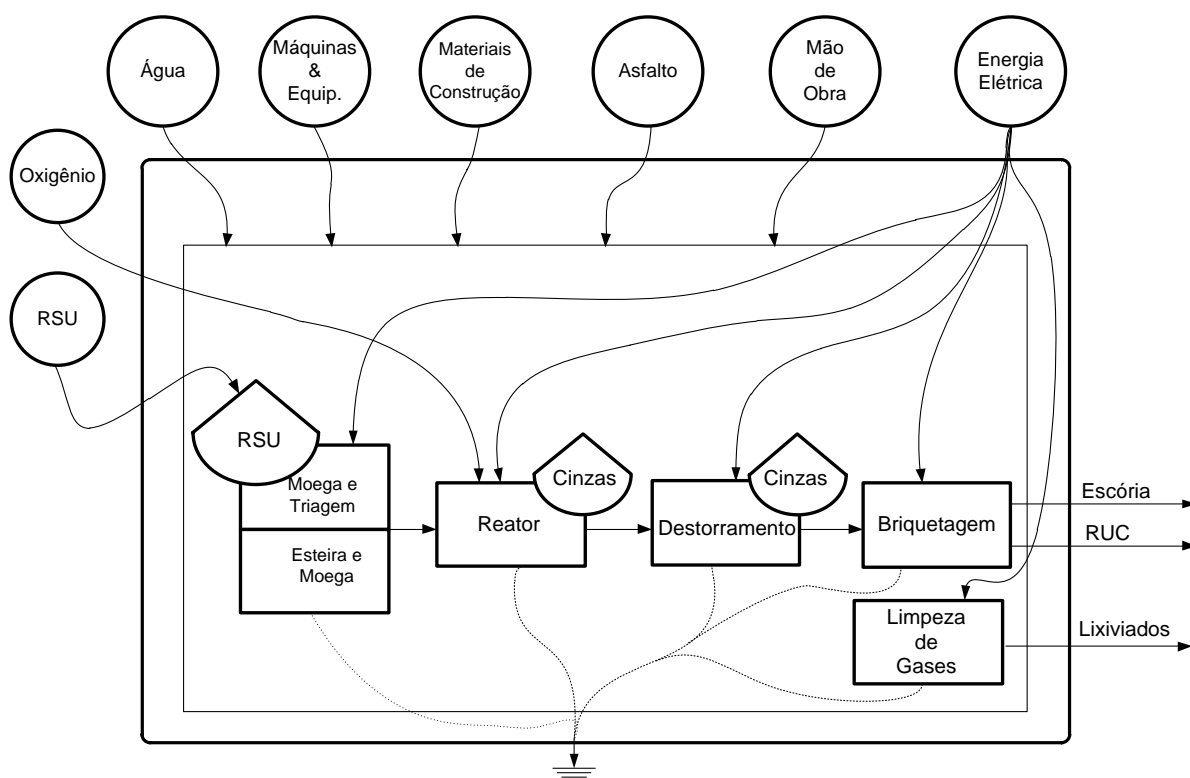


Figura 19 - Diagrama de energia do tratamento de RSU por pirólise

A Tabela 18 apresenta os fluxos dos insumos requeridos para o processo de tratamento por pirólise, cujo valor de energia corresponde a $2,01 \times 10^{18}$ sej.

Tabela 18 - Tabela de energia do sistema de tratamento por pirólise.

Nota	Descrição	Unidad	Classe	Valor /(un/ano)	Energia por unidade /(sej/un)	Correção*	Energia /(sej/ano)	% /(sej/sej)
Fase de Implantação								
1	Solo	J	N	$4,70 \times 10^{10}$	$2,21 \times 10^4$	1,00	$1,04 \times 10^{15}$	<1%
2	Mão de obra	J	F	$3,29 \times 10^7$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$1,42 \times 10^{14}$	<1%
3	Asfalto	g	F	$9,60 \times 10^6$	$4,74 \times 10^8$	1,00	$9,48 \times 10^{15}$	<1%
4	Cimento (Artefato)	g	F	$4,86 \times 10^5$	$1,20 \times 10^9$	1,00	$5,83 \times 10^{14}$	<1%
5	Concreto	g	F	$1,82 \times 10^7$	$1,54 \times 10^9$	1,68	$4,70 \times 10^{16}$	2,3%
6	Aço Galv.(telhas)	g	F	$6,56 \times 10^6$	$1,81 \times 10^9$	1,00	$1,19 \times 10^{16}$	<1%
7	Aço Estrutural	g	F	$1,01 \times 10^6$	$2,77 \times 10^9$	1,00	$2,80 \times 10^{15}$	<1%
8	Aço Maq. & Equip.	g	F	$1,54 \times 10^7$	$3,00 \times 10^9$	1,00	$4,61 \times 10^{16}$	2,3%
9	Cimento (massa)	g	F	$3,51 \times 10^6$	$3,31 \times 10^9$	1,00	$1,16 \times 10^{16}$	<1%
Fase de Operação								
10	O ₂	g	R	$7,78 \times 10^8$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$4,01 \times 10^{16}$	2,0%
11	Energia Elétrica	J	F	$2,59 \times 10^{12}$	$2,69 \times 10^5$	1,68	$1,17 \times 10^{18}$	58,1%
12	Mão de obra	J	F	$1,56 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$6,70 \times 10^{17}$	33,3%
13	Água	m ³	F	$2,33 \times 10^3$	$7,75 \times 10^{11}$	1,00	$1,81 \times 10^{15}$	<1%
Capacidade de tratamento: $2,63 \times 10^4$ t/ano								
Energia da fase de implantação $1,31 \times 10^{17}$ sej								
Energia da fase de operação $1,88 \times 10^{18}$ sej								
Energia Total							$2,01 \times 10^{18}$	100%

Podemos observar que o sistema de pirólise é mais dependente de fluxos provenientes da economia, tendo em vista que ele requer 58,1% de energia elétrica e 33,3% da energia do sistema para a mão de obra da fase de operação. O consumo de energia elevado se deve ao consumo dos equipamentos.

5.1.5 Compostagem

A Figura 20 ilustra o diagrama de energia do sistema de energia do sistema de compostagem.

13	Sol	J	R	$2,4 \times 10^{11}$	1	1,00	$2,40 \times 10^{11}$	-
14	En. Pot. da Chuva	J	R	$1,16 \times 10^8$	$3,05 \times 10^4$	1,00	$3,54 \times 10^{12}$	<1%
15	Diesel	J	F	$1,32 \times 10^{11}$	$1,11 \times 10^5$	1,68	$2,47 \times 10^{16}$	<1%
16	Energia Elétrica	J	F	$3,15 \times 10^{12}$	$2,69 \times 10^5$	1,00	$8,74 \times 10^{17}$	9,2%
17	Mão de obra	J	F	$5,91 \times 10^{11}$	$4,30 \times 10^6$	1,00	$2,54 \times 10^{18}$	26,8%
18	O ₂ (bactérias comp.)	g	R	$5,67 \times 10^{10}$	$5,16 \times 10^7$	1,00	$2,93 \times 10^{18}$	30,8%
19	Cal Hidratada	g	F	$8,71 \times 10^6$	$1,73 \times 10^9$	1,00	$1,51 \times 10^{16}$	<1%
20	Sacos Plásticos	g	F	$1,51 \times 10^8$	$5,75 \times 10^9$	1,68	$1,46 \times 10^{18}$	15,4%
21	Água	m ³	F	$3,45 \times 10^5$	$7,75 \times 10^{11}$	1,00	$2,67 \times 10^{17}$	2,8%
Capacidade de tratamento: $2,19 \times 10^5$ t/ano								
Energia da fase de implantação: $1,39 \times 10^{18}$ sej/ano								
Energia da fase de operação: $8,11 \times 10^{18}$ sej/ano								
Energia Total							$9,50 \times 10^{18}$	100%

Pode-se notar que cerca de 31% da energia do sistema provém de recursos renováveis, que corresponde ao oxigênio consumido pelas bactérias heterotróficas, responsáveis por converter a massa de resíduos orgânicos em composto orgânico.

O segundo maior fluxo é a mão de obra da fase de operação, que representa 26,8% do processo. A fase de operação corresponde a cerca de 85% da energia total do sistema.

De maneira geral, nota-se que para gerar energia elétrica, o aterro sanitário emprega, cerca de 3 vezes mais insumos, do que somente no ato de aterrar os resíduos.

No entanto, para gerar energia, o sistema de tratamento por incineração requer apenas 5% a mais de insumos, enquanto a tocha de plasma para gerar energia, requer cerca de 8%, quando comparada ao mesmo processo de tratamento sem a geração de energia. Esses resultados se devem ao fato dos insumos requeridos para implantar os sistemas serem muito maiores, quando comparados aos insumos requeridos para gerar energia elétrica.

5.1.6 UEVs dos sistemas de tratamento do RSU

A UEV indica o valor obtido entre a razão do total de energia (sej) e a quantidade de RSU a ser tratado (expresso em gramas). As UEVs foram calculadas para cada sistema de tratamento, cujos resultados fornecem a quantidade de

energia que cada tecnologia de tratamento emprega para tratar 1 grama de RSU para cada cidade.

Os valores de UEVs para cada um dos sistemas de tratamento de RSU podem ser observados na Tabela 20.

Tabela 20 - Tabela de UEVs de cada processo de tratamento de RSU.

Sistema de Tratamento	UEV (10⁷ sej/g)
Aterro sanitário sem prod. de energia elétrica	4,10
Aterro sanitário com produção de energia elétrica	12,0
Incineração sem produção de energia elétrica	1,71
Incineração com produção de energia elétrica	1,80
Tocha de plasma sem geração de energia elétrica	3,21
Tocha de plasma com geração de energia elétrica	3,48
Pirólise	7,64
Compostagem	4,34

Podemos observar que o aterro sanitário com produção de energia elétrica é o sistema que mais recursos emprega para tratar 1 g de RSU. A pirólise é a segunda tecnologia de tratamento que mais emprega recursos para o tratamento, cerca de 63% quando comparada ao aterro sanitário com produção de energia.

Para tratar o RSU e gerar energia, o aterro sanitário emprega cerca de 2,9 vezes mais insumos, do que somente no ato de aterrar os resíduos.

A tecnologia que emprega menor quantidade de recursos por grama de RSU tratado é a incineração sem a produção de energia elétrica. No entanto para gerar energia, o sistema emprega 9% a mais de insumos. A tocha de plasma figura como a segunda tecnologia de tratamento que possui a menor UEV.

O sistema de tratamento por compostagem emprega cerca de 2,4 vezes mais recursos para converter o RSU em composto, quando comparado ao sistema de tratamento por incineração sem produção de energia. No entanto, é mais vantajoso produzir composto orgânico do que aterrar os resíduos, tendo em vista que a compostagem requer apenas 9% a mais de insumos, quando comparada ao aterro sanitário sem a produção de energia.

5.1.7 Cenários empregando duas tecnologias de tratamento para megacidades, e cidades de médio e grande porte.

Os valores de UEVs para os cenários que destinam percentuais da matéria orgânica para o sistema de tratamento em compostagem, e destina o restante do RSU integralmente para cada sistema de tratamento, são apresentados na Tabela 21. Os cenários foram realizados para megacidades e cidades de grande e médio porte para as regiões brasileiras.

A UEV para cada cenário foi determinada e o menor valor encontrado, apontará o cenário que exige menor quantidade de energia para tratar 1 grama de RSU.

Tabela 21 - Demonstrativo das UEVs para os cenários das Megacidades.

Cidade	% de Mat. Orgânica	Comp./Aterro ($\times 10^7$ sej/g)	Comp./Incin. ($\times 10^7$ sej/g)	Comp./ Plasma ($\times 10^7$ sej/g)	Comp./Pirólise ($\times 10^7$ sej/g)
SP	100%	4,24	3,22	3,85	5,73
	50%	4,18	2,47	3,54	6,70
RJ	100%	4,22	3,08	3,79	5,92
	50%	4,17	2,40	3,52	6,78

Os resultados apontam que o cenário mais vantajoso para as megacidades é o que combina o tratamento por incineração e compostagem, destinando 50% da fração orgânica do RSU para a fabricação de composto orgânico. O cenário que utiliza 100% da matéria orgânica para composto, e trata o restante dos resíduos em incineração, (segundo menor índice de UEV) requer cerca de 30% a mais de recursos.

A tocha de plasma desponta como a segunda melhor opção para tecnologia de tratamento, destinando 50% da matéria orgânica, no entanto requer cerca de 40% a mais de insumos, em comparação à incineração. Nesse sentido, é mais vantajoso, em termos de recursos empregados, utilizar o cenário que encaminha 100% dos recursos para a compostagem e incineração, do que adotar o cenário da tocha de plasma.

O processo de tratamento do aterro sanitário emprega cerca de 70% a mais de insumos para tratar os resíduos, quando comparado ao melhor cenário obtido.

O sistema de tratamento por pirólise configura-se como última opção de tratamento. O sistema emprega cerca de 2,3 vezes mais insumos para tratar o RSU destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e cerca de 2,7 vezes destinando 50% da fração orgânica do RSU. Esse resultado se deve a fato da UEV do sistema de pirólise ser maior do que qualquer outro sistema de tratamento abordado neste estudo.

Nesse sentido, a adoção de sistema de tratamento por incineração seria vantajosa para a cidade de São Paulo, tendo em vista que a redução do volume em menor tempo e exige menor área para instalação, quando comparada aos aterros sanitários.

Os municípios de grande porte são aqueles que apresentam população acima de 1 milhão de habitantes. As cidades escolhidas para compor esse cenário foram: Manaus-AM (Norte), Salvador-BA (Nordeste), Goiânia-GO (Centro-oeste), Belo Horizonte-BH (Sudeste) e a cidade de Curitiba-PR (Sul).

Os cenários obtidos para cidades de grande porte podem ser observados na Tabela 22.

Tabela 22 - Tabela de UEVs dos cenários para cidades de grande porte.

Região	% de Mat. Orgânica	Comp./Aterro ($\times 10^7$ sej/g)	Comp./Incin. ($\times 10^7$ sej/g)	Comp./ Plasma ($\times 10^7$ sej/g)	Comp./Pirólise ($\times 10^7$ sej/g)
Norte	100%	4,16	2,41	3,51	6,75
	50%	4,13	2,06	3,36	7,20
Nordeste	100%	4,21	2,83	3,69	6,24
	50%	4,15	2,27	3,45	6,93
Centro-Oeste	100%	4,26	3,49	3,98	5,43
	50%	4,18	2,57	3,60	6,55
Sudeste	100%	4,21	2,89	3,71	6,17
	50%	4,17	2,30	3,47	6,92
Sul	100%	4,20	2,76	3,65	6,31
	50%	4,16	2,24	3,44	6,99

Para as cidades com população acima de 1 milhão de habitantes, o cenário que emprega menor quantidade de recursos é o que destina 50% da matéria orgânica para a compostagem e destina o restante dos resíduos para a incineração. Para um cenário que utiliza os mesmos sistemas de tratamento, mas que destina 100% da matéria orgânica para a compostagem, requer em média 25% a mais de recursos empregados.

O tratamento por tocha de plasma configura-se como segunda melhor opção, quando destinam 50% da matéria orgânica para a compostagem. No entanto, emprega em média 56% a mais de recursos quando comparado ao melhor cenário obtido pela incineração e compostagem.

O aterro sanitário, classifica-se como terceira opção na escolha de tratamentos de RSU. Segue-se a eles o tratamento por pirólise, que possui maior índice de UEV.

De acordo com Jucá *et al.* (2014), a região Norte é constituída por sete estados. Duas cidades possuem população acima de 1 milhão de habitantes e apenas uma (Manaus) realiza a queima controlada de biogás em um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Essa cidade não dispõe de tecnologia para o aproveitamento do biogás nem possui sistemas de compostagem. Os lixões predominam com forma de destinação final, e os aterros sanitários existentes estão localizados nas capitais.

Na região Nordeste, as rotas tecnológicas são os aterros sanitários com produção de energia em algumas regiões metropolitanas. No entanto, 89,3% dos municípios encaminham o RSU para lixões, e o aterro sanitário atende apenas a 7,9% dos municípios.

A região Centro-oeste é composta pelos estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e cerca de 85% da população está concentrada na zona urbana. O estado de Mato Grosso do Sul possui a Lei 3.367/2007, que proíbe a incineração do RSU sem a geração de energia. Isso quer dizer que o estado prefere empregar 63% a mais de recursos para tratar o RSU.

A região Sudeste, composta pelos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, é a região mais desenvolvida do país e a que mais problemas enfrenta em relação à destinação final de RSU, tendo em vista que a principal rota tecnológica são os aterros sanitários e que a área para a implantação dos mesmos está cada vez mais comprometida nas metrópoles.

A região Sul, composta pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, é que apresenta menor índice de lixões, e a maioria do RSU é tratada em aterros sanitários.

Os municípios de médio porte são aqueles que apresentam população entre 100 mil habitantes e abaixo de 1 milhão de habitantes. Como já mencionado, foram escolhidas as cidades cuja população varia entre 450 e 550 mil habitantes por região: Porto Velho-RO (Norte), Campina Grande-PB (Nordeste), Aparecida de Goiânia-GO (Centro-oeste), São José do Rio Preto-SP (Sudeste) e Caxias do Sul-RS (Sul).

Para a região Norte, representada pelo município de Porto Velho, os valores das UEVS são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 -Tabela de UEVs dos cenários para cidades de médio porte

Região	% de Mat. Orgânica	Comp./Aterro (x10 ⁷ sej/g)	Comp./Incin. (x10 ⁷ sej/g)	Comp./ Plasma (x10 ⁷ sej/g)	Comp./Pirólise (x10 ⁷ sej/g)
Norte	100%	4,21	3,03	3,77	5,95
	50%	4,15	2,37	3,49	6,76
Nordeste	100%	4,26	3,46	3,96	5,44
	50%	4,19	2,59	3,59	6,55
Centro-Oeste	100%	4,22	3,00	3,77	6,04
	50%	4,17	2,36	3,49	6,86
Sudeste	100%	4,22	3,06	3,79	5,94
	50%	4,16	2,38	3,50	6,78
Sul	100%	4,23	3,27	3,87	5,66
	50%	4,15	2,49	3,54	6,63

O melhor índice de UEV obtido corresponde ao sistema de tratamento por incineração destinando 50% da fração orgânica da matéria orgânica do RSU para a compostagem. No entanto, tratar 100% dos resíduos orgânicos em compostagem, emprega em torno de 30% a mais de recursos.

A tecnologia da tocha de plasma, apresenta o segundo grupo de indicadores com melhores índices de eficiência. Todavia, o melhor cenário, comparado ao da incineração (ambos destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem) agrega um custo médio relacionado aos insumos de 47% a mais de recursos para tratar os resíduos, enquanto que para dispor os resíduos em aterro sanitário requer entre 63% a 78% a mais de insumos quando comparado ao melhor cenário obtido.

O cenário que contempla a pirólise, configura-se como última alternativa entre as opções de tratamento contempladas no estudo, tendo em vista sua sua UEV, que é praticamente 2 vezes maior, quando comparada ao cenário que utiliza a incineração.

5.1.8 Cenários agregando três tecnologias de tratamento

Foram propostos cenários, agregando três tecnologias de tratamento, tendo em vista que, muitas vezes, empregar duas tecnologias de tratamento de resíduos não é suficiente para tratar a demanda de RSU de uma cidade ou município. Nesse sentido, cenários que contemplem três tecnologias são propostos, a fim de se verificar o custo do tratamento em termos de recursos empregados para tratar 1 grama de RSU. Nesse sentido, foram utilizados os dois cenários que apresentaram os melhores resultados na etapa anterior. Os cenários selecionados foram:

incineração e compostagem e tocha de plasma e compostagem, ambas, destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem. Nesse sentido, a massa de matéria orgânica de manteve a mesma e o restante da massa de resíduos foi dividida igualmente entre as duas tecnologias: tocha de plasma e incineração. A Tabela 24 mostra os valores das UEVs obtidas para cenários incorporando três tecnologias de tratamento de RSU.

Tabela 24 - Tabela de UEV para o cenário com três tratamentos para megacidades

Cidade	Comp./Inc./Plasma UEV (10^7 sej/g)
São Paulo	3,01
Rio de Janeiro	2,96

Para a cidade de São Paulo, o novo cenário, emprega 22% mais insumos para tratar o RSU, do que utilizar apenas duas tecnologias. No entanto, é capaz de promover uma economia de 15% de recursos caso os mesmos percentuais de massa de RSU sejam tratados pelo cenário proposto pela tocha de plasma e compostagem.

No que se refere à cidade de São Paulo, implantar uma unidade de cada tecnologia não é suficiente para tratar todo o RSU gerado por ela, tendo em vista que a geração é estimada em $4,77 \times 10^{12}$ g/ano, superando a capacidade de tratamento dos três sistemas que, juntos, perfazem $4,54 \times 10^{11}$ g/ano. Quanto à compostagem, a capacidade de tratamento é de $2,19 \times 10^{11}$ g/ano e a geração estimada de RSU corresponde a $2,77 \times 10^{12}$ g/ano.

No Rio de Janeiro, o novo cenário emprega 23% a mais de insumos para tratar o RSU, em comparação ao melhor cenário obtido combinando duas tecnologias de tratamento. Isso possibilita uma economia de 16% de recursos, em relação ao cenário que utiliza compostagem e tocha de plasma. Descontando-se os materiais recicláveis que podem ser recuperados, a geração estimada de RSU para a cidade do Rio de Janeiro corresponde a $3,38 \times 10^{12}$ g/ano e o novo cenário proposto não seria suficiente para suprir a demanda, pois a geração de RSU estimada corresponde a $4,54 \times 10^{11}$ g/ano, superando a capacidade de tratamento cerca de 7 vezes.

Uma solução para as megacidades de São Paulo seria estudar a viabilidade técnica de implantar sistemas de compostagem em aterros sanitários desativados, tendo em vista que esses espaços levam cerca de 40 anos para emitir todo o biogás produzido, e que o RSU produzido em grandes metrópoles percorre longas distâncias, pois os aterros sanitários estão cada vez mais distantes dos centros urbanos, demandando custos de combustíveis e mão de obra cada vez mais elevados para a realização da coleta e disposição final.

O resultado do indicador que utilizam três tecnologias de tratamento de RSU propostas para cidades de grande porte, por região do país, é apresentado na Tabela 25.

Tabela 25 - Tabela de UEV para o cenário com três tratamentos para cidades de grande porte.

Região	Comp./Inc./Plasma UEV (10^7 sej/g)
Norte	2,71
Nordeste	2,86
Centro-oeste	3,08
Sudeste	3,08
Sul	2,84

Para as cidades de grande porte, agregar três tecnologias de tratamento, emprega cerca de 17% menos recursos, quando comparado ao cenário que utiliza tocha de plasma e compostagem. No entanto emprega em média, cerca de 25% a mais de recursos, quando comparado ao cenário que utiliza compostagem e incineração.

A maioria do RSU do país é disposta em aterro sanitário sem produção de energia e os indicadores desse estudo apontam os aterros como uma das últimas opções de tratamento, tendo em vista que requerem maiores quantidades de insumos para tratar os resíduos. Os aterros sanitários ainda apresentam baixa sustentabilidade e baixo índice de renovabilidade (FRIMAIO, 2011).

Verifica-se, por meio dos cálculos deste estudo, que a quantidade estimada de RSU gerada em cada município, é maior do que a capacidade de tratamento do cenário que adota três tecnologias. A geração de RSU aumenta todos os anos, nesse sentido, a gestão municipal possui uma grande responsabilidade, e adotar

técnicas de tratamento mais eficientes e com controle de emissões mais rigoroso é uma necessidade urgente. Os cenários propostos para três tipos de tratamento agregados podem ser observados na Tabela 26.

Tabela 26 - Tabela de UEV para o cenário com três tratamentos para cidades de médio porte.

Região	Comp./Inc./Plasma (UEV 10⁷ sej/g)
Norte	3,40
Nordeste	3,71
Centro-oeste	3,38
Sudeste	3,42
Sul	3,01

Os resultados apontam que tratar os resíduos por três tecnologias requer cerca de 1,2% a mais de recursos para todas as regiões, em comparação ao tratamento efetuado pela incineração e pela compostagem quando destina 50% da fração orgânica do RSU para a fabricação de composto orgânico.

5.1.9 Benefícios dos cenários com produção de energia elétrica e composto

Alguns sistemas de tratamento de RSU, além de tratarem os resíduos da cidade, proporcionam benefícios, entre eles a energia elétrica e o composto orgânico.

O valor dos benefícios, estimados em joules de energia solar, superam o valor da energia do tratamento. Por essa razão, esse valor foi subtraído e o maior resultado indicará a tecnologia que mais benefícios é capaz de oferecer às cidades.

Na Tabela 27 são apresentados os resultados, em joules de energia solar (sej) que cada grama de RSU tratado por determinada tecnologia, pode fornecer às megacidades.

Tabela 27 - Tabela dos cenários com benefícios para megacidades.

Cidades	Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro (x10²² sej)	Comp./Incin. (x10²² sej)	Comp./ plasma (x10²² sej)
São Paulo	100%	6,37	6,02	6,03
	50%	3,66	3,07	3,09
Rio de Janeiro	100%	4,14	3,86	3,87
	50%	2,40	1,97	1,98

Os indicadores apontam que destinar 100% da massa de matéria orgânica para a compostagem gera em média 1,9 vezes mais benefícios para as megacidades do que destinar 50%. O cenário que incorpora aterro sanitário com produção de energia elétrica e compostagem promove, em média, 55% a mais de benefícios, quando comparado à tocha de plasma e compostagem, e 60% mais benefícios quando comparado à pirólise.

A Tabela 28 apresenta os resultados dos sistemas que geram energia para os municípios de grande porte.

Tabela 28 - Tabela dos valores do benefício para cidades de grande porte.

Cidades	Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro ($\times 10^{22}$ sej)	Comp./Incin. ($\times 10^{22}$ sej)	Comp./ plasma ($\times 10^{22}$ sej)
Norte	100		1,55	1,55
	50	0,25	0,30	0,31
Nordeste	100		2,03	2,04
	50	0,76	1,04	1,05
Centro-Oeste	100		0,73	0,73
	50	0,24	0,37	0,37
Sudeste	100		0,65	0,65
	50	0,24	0,33	0,34
Sul	100		0,50	0,51
	50	0,19	0,26	0,26

Observa-se para todas as regiões, que os resultados obtidos pelos cenários que empregam a tocha de plasma e incineração não apresentam diferença significativa e, o melhor resultado consiste em destinar o máximo de matéria orgânica para a fabricação de composto.

Os resultados para as cidades de médio porte podem ser observados na Tabela 29.

Tabela 29 - Tabela dos valores do benefício para cidades de médio porte.

Cidades	Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro ($\times 10^{21}$ sej)	Comp./Incin. ($\times 10^{21}$ sej)	Comp./ plasma ($\times 10^{21}$ sej)
Norte	100		1,65	1,65
	50	0,58	0,84	0,85
Nordeste	100		0,70	0,70
	50	0,46	0,69	0,70
Centro-Oeste	100		1,68	1,67
	100	0,60	0,86	0,84
Sudeste	100		1,66	1,66
	50	0,58	0,84	0,85
Sul	100		1,94	1,95

50	0,66	0,98	0,99
----	------	------	------

Os resultados para cidades de médio porte, seguem o resultado das demais, apontando que incineração e tocha de plasma são equivalentes em produzir benefícios e, que destinar 100% da fração orgânica do RSU obtem-se maior benefício.

5.1.10 Cenários utilizando três tecnologias de tratamento.

Foram realizados cenários considerando as três tecnologias de tratamento que apresentaram maiores benefícios para megacidades. Os resultados podem ser observados na Tabela 30.

Tabela 30 - Tabela dos cenários com três tecnologias com benefícios para as megacidades.

Cidade	Matéria Orgânica (%)	Comp/ Aterro/ (incineração ou plasma) ($\times 10^{22}$ sej)
São Paulo	100	6,02
Rio de Janeiro	100	3,86

Para a cidade de São Paulo e do Rio de Janeiro, utilizar três tecnologias de tratamento não altera o resultado da UEV.

Os resultados para as cidades de grande porte podem ser visualizados na Tabela 31.

Tabela 31 - Tabela dos cenários com três tecnologias com benefícios para cidades de grande porte.

Região	Matéria Orgânica (%)	Comp/ Aterro/ (incineração ou plasma) ($\times 10^{21}$ sej)
Norte	100	1,55
Nordeste	100	2,03
Centro-Oeste	100	0,73
Sudeste	100	0,65
Sul	100	0,50

De modo geral, agregar três tecnologias de tratamento não altera o resultado da UEV, quando comparado ao cenário que utiliza dois sistemas de tratamento de RSU.

Tabela 32 - Tabela dos cenários com três tecnologias com benefícios para municípios de médio porte.

Região	Matéria Orgânica (%)	Comp/ Aterro/ (incineração ou plasma) ($\times 10^{21}$ sej)
Norte	50%	1,65
Nordeste	50%	0,70
Centro-Oeste	50%	1,68
Sudeste	50%	1,66
Sul	50%	1,94

Para os municípios de médio porte, utilizar três tecnologias de tratamento não altera o índice de UEV, quando comparado ao cenário que utiliza duas tecnologias

5.2 Análise e interpretação dos resultados da Programação por Metas comparando somente o tratamento de RSU.

A introdução dos dados do modelo de Programação por objetivos (METAS) do software LINDO é executada. A partir da solução obtida se procedem-se as análises e interpretações dos resultados, que podem ser observados na Tabela 33.

Tabela 33 - Resultado da Programação por Metas para megacidades e cidades de grande porte.

	Value	Reduced Cost	
P1	0.000000	1.000000	
N2	0.000000	1.000000	
P3	0.000000	1.000000	
P4	0.000000	1.000000	
N5	0.000000	1.000000	
N6	0.000000	1.000000	
P7	0.000000	1.000000	
S1	1.000000	0.000000	
S2	1.000000	0.000000	
S3	1.000000	0.000000	
S4	0.000000	0.000000	
S5	1.000000	0.000000	
S6	0.000000	0.000000	
N1	0.000000	0.000000	
P2	0.4874000	0.000000	
N3	0.8409200	0.000000	
N4	0.6999700	0.000000	
P5	1.468870	0.000000	
P6	0.000000	0.000000	

Ao se efetuar a simulação no *software* adotou-se, que dos seis tipos de tratamento abordados, fossem selecionados apenas os quatro melhores. Os

resultados apontam a seleção dos sistemas : S_1 (compostagem), S_2 (incineração), S_3 (aterro sanitário) e S_5 (tocha de plasma).

As variáveis de folga negativas N apontam que os sistemas de tratamento de compostagem, incineração e tocha de plasma estão melhores ajustados, pois N_1, N_2 e N_5 apresentam índice 0 (zero). Para o sistema de aterro sanitário (N_3) a variável aponta que falta para atingir a meta 0,84092. Isso indica que o aterro sanitário seria a última opção de escolha dentre as quatro selecionadas.

Quanto às variáveis de folga positivas P , a incineração (P_1) e o aterro sanitário apresentam índice 0 (zero), enquanto a incineração (P_2) apresenta excesso de 0,48 para atingir a meta e a tocha de plasma (P_5) apresenta índice de 1,46.

Com os resultados, podemos concluir em uma escada de classificação, que a compostagem é o melhor sistema de tratamento, seguido pela incineração, aterro sanitário e tocha de plasma.

A Tabela 34 mostra os resultados para as cidades de médio porte. Nela podemos observar que os sistemas selecionados foram os mesmos que os das megacidades e municípios de grande porte: S_1 (compostagem), S_2 (incineração), S_3 (aterro sanitário) e S_5 (tocha de plasma).

Tabela 34 - Resultado da Programação por Metas para megacidades de médio porte.

	Value	Reduced Cost
P1	0.000000	1.000000
N2	0.000000	1.000000
P3	0.000000	1.000000
P4	0.000000	1.000000
N5	0.000000	1.000000
N6	0.000000	1.000000
P7	0.000000	1.000000
S1	1.000000	0.000000
S2	1.000000	0.000000
S3	1.000000	0.000000
S4	0.000000	0.000000
S5	1.000000	0.000000
S6	0.000000	1.000000
N1	0.000000	1.000000
P2	0.2797700	0.000000
N3	0.8409200	0.000000
N4	0.6999700	0.000000
P5	1.468870	0.000000
P6	0.000000	0.000000

Os resultados obtidos são semelhantes aos resultados obtidos para megacidades e grandes municípios, com exceção da variável de folga (P_2), que

apresenta excesso de 0,27 para atingir a meta e a tocha de plasma (P₅), que apresenta índice de 1,46.

Com os resultados podemos concluir em uma escada de classificação, a compostagem é o melhor sistema de tratamento, seguido pela incineração, aterro sanitário e tocha de plasma.

5.3 Análise e Interpretação dos resultados da Programação por Metas considerando os benefícios gerados com a energia elétrica e o composto orgânico.

Foi incorporado ao cenário uma outra variável de restrição, a UEV dos benefícios, verificando-se se a contabilização dos benefícios altera o resultado anterior, que avalia somente o tratamento de RSU. A introdução dos dados do modelo de Programação por objetivos (METAS) do *software* LINDO é executada e se procedem as análises e interpretações dos resultados, que podem ser observados na Tabela 35:

Tabela 35 - Resultado da Programação por Metas para megacidades e cidades de grande porte.

	Value	Reduced Cost
P1	0.5061100	0.000000
N2	0.000000	1.000000
P3	0.000000	1.000000
P4	0.000000	1.000000
N5	0.000000	1.000000
N6	0.000000	1.000000
P7	0.000000	1.000000
S1	1.000000	0.5686000E-01
S2	1.000000	0.2019600
S3	0.000000	1.000000
S4	1.000000	0.9475300
S5	1.000000	0.2297600
S6	0.000000	1.000000
N1	0.000000	1.000000
P2	1.329770	0.000000
N3	0.3182000	0.000000
N4	0.6900000	0.000000
P5	2.485280	0.000000
P6	0.000000	0.000000

Ao se efetuar a simulação no *software* decidiu-se, que dos cinco tipos de tratamento abordados, fossem selecionados apenas os quatro melhores sistemas,

os resultados apontam a seleção dos sistemas : S_1 (compostagem), S_2 (incineração), S_4 (aterro sanitário com geração de energia) e S_5 (tocha de plasma).

As variáveis de folga negativas N apontam que os sistemas de tratamento de compostagem, incineração e tocha de plasma estão melhores ajustados, pois N_1, N_2 e N_5 apresentam índice 0 (zero). Para o sistema de aterro sanitário com produção de energia(N_4) a variável aponta que falta para atingir a meta 0,69. Isso implica dizer que o aterro sanitário com produção de energia seria a última opção de escolha, tendo em vista somente essa variável de folga.

Quanto às variáveis de folga positivas P , na compostagem (P_1) apresenta índice de 0,50, o índice da incineração (P_2) é 1,32, o aterro sanitário (P_4) apresenta índice 0 (zero), enquanto a tocha de Plasma (P_5) apresenta excesso de 2,48 para atingir a meta. O tratamento que melhor se ajusta é o aterro sanitário, seguido pela incineração e tocha de plasma, cujos excessos ultrapassam cerca de 6 vezes a incineração.

Com os resultados, podemos concluir, em uma escada de classificação, que a compostagem é a melhor opção, seguida de aterro sanitário, incineração e tocha de Plasma.

Os resultados para cidades de médio porte podem ser observados na Tabela 36.

Tabela 36 - Resultado da Programação por Metas para megacidades e cidades de médio e grande porte.

	Value	Reduced Cost
P1	0.5588700	0.000000
N2	0.000000	1.000000
P3	0.000000	1.000000
P4	0.000000	1.000000
N5	0.000000	1.000000
N6	0.000000	1.000000
P7	0.000000	1.000000
S1	1.000000	0.8839000E-01
S2	1.000000	0.2353100
S3	0.000000	1.000000
S4	1.000000	0.9377800
S5	1.000000	0.2273900
S6	0.000000	1.000000
N1	0.000000	1.000000
P2	1.329770	0.000000
N3	0.3182000	0.000000
N4	0.6900000	0.000000
P5	2.485280	0.000000

P6	0.000000	0.000000
----	----------	----------

Ao se efetuar a simulação no *software* propôs-se que, dentre os cinco tipos de tratamento abordados, o sistema selecionasse apenas os quatro melhores, os resultados apontam a seleção dos sistemas : S_1 (compostagem), S_2 (incineração), S_4 (aterro sanitário com geração de energia) e S_5 (tocha de plasma).

As variáveis de folga negativas N apontam que os sistemas de tratamento de compostagem, incineração e tocha de plasma estão melhores ajustados, pois N_1, N_2 e N_5 apresentam índice 0 (zero). Para o sistema de aterro sanitário com produção de energia (N_4) a variável aponta o que falta para atingir a meta 0,69. Isso implica dizer que o aterro sanitário com produção de energia seria a última opção de escolha tendo em vista somente esta variável de folga.

Quanto às variáveis de folga positivas P, na compostagem (P_1) apresenta índice de 0,55, o índice da incineração (P_2) é 1,32, o aterro sanitário (P_4) apresenta índice 0 (zero), enquanto a tocha de Plasma (P_5) apresenta excesso de 2,48 para atingir a meta. O tratamento que melhor se ajusta é o aterro sanitário, seguido pela incineração e tocha de plasma, cujos excessos ultrapassam cerca de 6 vezes a incineração.

Com os resultados podemos concluir em uma escala de classificação, a compostagem é a melhor opção, seguida do aterro sanitário, incineração e tocha de Plasma.

6 CONCLUSÕES

Ao analisar somente o processo de tratamento dos resíduos, a UEV, indicador da Síntese em Emergia, aponta que tratar 50% da fração orgânica da massa de RSU em compostagem, e tratar o restante da massa dos resíduos em incineração é a forma mais eficiente de tratamento, pois requer menor quantidade de insumos por grama de resíduos, quando comparado aos demais cenários de tratamento. Observa-se, que é mais vantajoso, aumentar o percentual de matéria orgânica para 100%, mantendo a combinação de tratamento entre a incineração e compostagem, do que utilizar outros cenários de processo de tratamento, pois desta forma o índice ou valor de UEV é menor.

Integrar uma terceira tecnologia à incineração e tocha de plasma, quando avalia-se o processo de tratamento, implica em aumentar o índice de UEV do cenário. Nesse sentido, é mais vantajoso ambientalmente implantar duas unidades de incineração em um município, a implantar um incinerador e uma tocha de plasma, pois o valor de UEV do cenário que contempla incineração é menor.

Ao analisar somente o processo de tratamento de resíduos com o modelo de Programação por Metas, cujas variáveis de decisão contemplam custos, emissões, UEV do tratamento, tempo de tratamento e área, sem considerar as interações entre sistemas de tratamento, os resultados apontam que a compostagem, seguida de incineração, aterro sanitário e tocha de plasma são as melhores opções de tratamento, nesta ordem.

Nota-se que a compostagem é o sistema de tratamento capaz de extrair maiores quantidades de benefícios do RSU, e ao mesmo tempo, emprega menores quantidades de insumos para o tratamento, quando comparada às demais tecnologias ou sistemas de tratamento abordados nesse estudo. É importante ressaltar, que a compostagem não é capaz de tratar toda a massa de RSU produzida por uma cidade ou município, (uma vez que trata apenas resíduos orgânicos). Nesse sentido, realizar a simulação de cenários com a Síntese em Emergia e Programação por Metas, proporcionou selecionar o(s) sistema(s) de tratamento que pode oferecer maiores vantagens econômicas e ambientais. Enquanto a Programação por Metas indica que compostagem e incineração são os sistemas ótimos, a Síntese em Emergia valida os resultados e indica que destinar

50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem é o melhor cenário, e que agregar uma terceira opção de tratamento ao município, não oferece vantagens.

Na análise dos resultados dos benefícios (que também considera o processo de tratamento) o indicador da Síntese em Energia aponta que destinar 100% da fração orgânica do RSU do município para a compostagem é a melhor solução, pois é capaz de extrair maior quantidade de benefício por grama de grama de resíduo tratado, quando comparada às demais tecnologias.

Os resultados das simulações para os cenários apontam que a compostagem pode ser associada à incineração ou à tocha de plasma, ou até mesmo haver uma integração entre as três num mesmo município, que o valor da UEV não sofre alteração.

Quando inserida uma variável de restrição que contempla os benefícios, o resultado da Programação por Metas, foi a seleção do sistema de compostagem, seguido de aterro sanitário com geração de energia, incineração e tocha de plasma, nesta ordem.

É importante ressaltar, que na Síntese em Energia, foi possível considerar que não é possível destinar 100% da fração orgânica do RSU simultaneamente a compostagem e ao aterro sanitário com produção de energia elétrica e compostagem, pois ambos são dependentes da matéria orgânica para extrair os benefícios. Por esta razão, na Síntese em Energia considerou-se 50% da massa da fração orgânica para cada sistema e o aterro sanitário com produção de energia não se mostrou eficiente. Por esta razão, esta análise promove a incineração, apontada pela Programação por Metas como terceira opção, como o sistema de tratamento que melhor se alinha à compostagem, seguida pela tocha de plasma.

De acordo com os resultados, o cenário que destina 50% da matéria orgânica e incinera o restante do RSU é o cenário ambientalmente adequado. Conclui-se que o porte ou tamanho dos municípios, o percentual da fração orgânica e a localização do município não influencia diretamente nos resultados dos cenários, considerando que os mesmos sistemas de tratamentos foram apontados pelos indicadores. Conclui-se ainda, que a Síntese em Energia pode ser incorporada à Programação por Metas para nortear a decisão de gestores municipais para as melhores escolhas de implantação de sistemas de tratamento de resíduos.

Desse modo, nota-se que integrar os indicadores da Síntese em energia à Programação por Metas, propiciou o ajuste necessário para obter o resultado ótimo

ou satisfatório da análise, de maneira que as variáveis econômicas, espaciais e ambientais fossem contempladas, oferecendo um panorama do cenário proposto mais alinhado às características reais para cada porte de município das regiões do Brasil.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Expandir a fronteira do estudos, realizando a contabilidade ambiental em emergia visando não somente o tratamento, mas também a coleta dos resíduos diminuiria a quantidade de benefícios dos sistemas tornando o estudo mais próximo da realidade.

Tendo em vista que a sustentabilidade de um sistema está apoiado no tripé: econômico, social e ambiental, incorporar no estudo variáveis sociais, permitiria avaliar os sistemas no aspecto sustentável. Incorporar o retorno econômico que cada tecnologia de tratamento ou cenário pode oferecer para os municípios consiste em avaliar um outro aspecto do que é mais vantajoso economicamente.

Tendo em vista que há lixo suficiente para manter a reciclagem e manter a temperatura de um incinerador, utilizar a mesma abordagem de estudo para a avaliação do tratamento por incineração, considerando os materiais recicláveis que podem ser recuperados pelos municípios, a fim de verificar se a temperatura da câmara de incineração pode ser mantida de maneira estável pela massa de materiais que não são recuperados pela reciclagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11.175**: Incineração de resíduos sólidos perigosos – Padrões de desempenho. Rio de Janeiro.1990.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**: resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos. 2^a. ed. Rio de Janeiro, 2004b.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2004** [internet].Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2004.pdf>.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2005** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2005.pdf>. Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2007** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2007.pdf>. Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2008** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2008.pdf>. Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2009** [internet]. Disponível em:<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2009.pdf>> Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2010** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>. Acesso em 21/06/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2011** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2011.pdf>> Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2012** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama / panorama2012.pdf>> Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2013** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama / panorama2013.pdf>> Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2014** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama / panorama2014.pdf>> Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2015** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama / panorama2015.pdf>> Acesso em 16/05/2016.

ABRELPE - Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama nacional de resíduos sólidos no Brasil 2016** [internet]. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama / panorama2016.pdf>> Acesso em 16/10/2016.

AGÊNCIA SENADO. **Sem vontade política Brasil recicla apenas 3% do lixo urbano** [internet]. Disponível em: <http://www12.senado.leg.br/noticias/ materias/2014 /04/23/sem-vontade-politica-brasil-recicla-apenas-3-do-lixo-urbano>. Acesso em 28/08/2016.

AGUADO AM. **Programación estocástica por metas: Teoría y aplicaciones económicas**, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. España. 1998, 276 p.

ALMEIDA C.V.B., FRIMAIO G., BONILLA S.H., GIANNETTI B.F. **An evaluation of a MSW-to-energy system using Emergy synthesis**. . Environment and Sustainable Development, Vol. 11, No. 3, 2012.

AMPONSAH NY, CORRE OL. **Critical review of the usage of unit emergy values in recent studies**. Emergy synthesis 6:Theory and Applications of the Emergy Methodology, 2011.pag.39.

APARECIDA DE GOIÂNIA. **Plano municipal de resíduos sólidos – de Aparecida de Goiânia – Goiás**. Disponível em: <http://www.aparecida.go.gov.br/documentos/outros/ PLANO% 20MUNICIPAL%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS.pdf>. Acesso em 21/01/2017.

BASTIANONI S, PORCELLI M, PULSELLIL FM. **Emergy evaluation of composting municipal solid waste**. Waste Management and the Environment.2002.

BASTIANONI S, CAMPBELL D, SUSANI L, TIEZZI E. **The solar transformity of oil and petroleum natural gas**. Ecological Modelling, 2005.

BELO HORIZONTE. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do município de Belo Horizonte – PMGIRS-BH. Diagnóstico preliminar. 2015**. Disponível em :www.portalpbh.gov.br/pbh/ecp/files.do?evento=download&urlArqPlc=126-apr-audiencia-diag-r06-151211.pdf. Acesso em 21/01/2017.

BÉRRIOS, MF. **Aterros Sanitários: solução relativa**. Rio de Janeiro: Editora Major, 2003.

BIDONE FRA , Povinelli J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, eesc/usp – projeto reenge, 120 p. 1999.

BJÖRKLUND, J, GEBER U, RYDBERG T. **Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity by digestion of sewage sludge**, Resources, Conservation and Recycling, 31, p.293-316. 2001.

BRAND MA. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRANDT-WILLIAMS, S. L.;. (2002) - Handbook of Emergy Evaluation - **A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios - Folio #4** (2nd printing): Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy - Environmental Engineering Sciences.

BRASIL. **Lei 11.445** de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.660, de 21 de junho 1993, .987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em 23/07/2016.

BRASIL. **Lei 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm. Acesso em 23/07/2016.

BROWN MT, ULGIATI S. **Emergy analysis and environmental accounting**. Encyclopedia of Energy. P.329–54. 2004.

BROWN MT, BRANDT-WILLIAMS S, TLLEY D, ULGIATI S. **Emergy synthesis: An introduction in emergy synthesis: Theory and applications of the methodology**. Proceedings of the first biennial emergy synthesis research conference. Eds. M.T.Brown, S. Brandt-Williams, D. Tilley and S. Ulgiati. Gainesville, September 1999, 289-301. Gainesville: Center for environmental Policy, University of Florida.

BUARQUE SC. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. 2003.disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2865/1/td_939.pdf> Acesso em 21/01/2016.

BUENFIL AA. **Emergy Evaluation of Water**. Thesis – University of Florida, USA. 248p. 2001.

CAMPINA GRANDE. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos do município de Campina Grande – Prognóstico, diretrizes, estratégias e metas**. 2014. Disponível em: <http://relicipb.org/assets/CGPMRSPrognosticoFinalPreliminar20140319.pdf>. Acesso em 02/09/2016.

CARVALHO MF. **Comportamento mecânico dos resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). 1999. 300p.

CAXIAS DO SUL. Secretaria do meio ambiente. **Aterro Sanitário**. Disponível em: https://caxias.rs.gov.br/meio_ambiente/texto.php?codigo=626. Acesso em 02/09/2016.

CEMPRE. **Radiografando a coleta seletiva**. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/2%20em%2030/08/2016>. Acesso em 02/09/2016.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário estadual dos resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2013/11/residuosSolidos2014.pdf>. Acesso em 02/09/2016.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/pref_saopaulo.pdf. Acesso em 02/09/2016.

CHANG NB AND WANG SF. **Integrated analysis of recycling and incineration programs by goal programming techniques**. Waste Management & Research. 1977

CHARNES, A, COOPER, WW. 1961. **Management Models and Industrial Applications of Linear Programming**. Wiley, New York.

CHERNICHARO CAL. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Segrac, v. 5., 245 p., 1997.

CHERUBINI F, BARGIGLI S, ULGIATI S. **Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: landfilling, sorting plant and incineration**. Energy 34:2116–2123. 2009.

CNUMAD (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), 1992. **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - Agenda 21**. Brasília: Senado Federal.

Codeca. Companhia de desenvolvimento de Caxias do Sul. **As coletas**. Disponível

em: http://www.codeca.com.br/servicos_coletas_as_coletas.php. Acesso em 02/09/2016.

COELHO, O; ORTEGA, E; COMAR, V. **Balanço de Energia do Brasil, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP**. 2002. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docente/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf>. Acesso em 21/01/2016.

COHON, J. L. (1978). **Multiobjective Programming and Planning**. New York: Academic Press.

COOPER A, WW. AND FERGUSON, R. **Optimal estimation of executive compensation by Linear Programming, Manag. Sci.** 1(1955)138–151.

CORSINI I., SILVA, C.C. FRIMAIO, A.F., TAGLIAFERRO, K. **Contabilidade Ambiental em Energia do Processamento de Rocha Calcária para Uso Agrícola**. Advances In Cleanner Procuction, SP, 2013.

CONORA, A . **Biogás gera energia do lixo**, Revista Elo edição 46, 2008, Editora RMC, São Paulo-SP.

CONTI L. **La pirolisi: il processo, I punti di forza, le opportunità**. Università degli Studi di Sassari, Itália. pg. 8; 2009.

CURITIBA. **Avaliação da política municipal da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de Curitiba**, 2015.

DA SILVA A.F. **Otimização multiobjetivo no planejamento agregado da produção e na cogeração de energia elétrica de usina do setor sucroenergético**. Tesis de Doctorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Guaratinguetá, Brasil. 2013, 123 p.

DEMÉTRIO F.J.C. **Avaliação de sustentabilidade ambiental do Brasil com a contabilidade em energia**. Tese de doutorado. Universidade Paulista. 2011.

DIJKEMA G.P.J, REUTER MA, VERHOEF EV. **A new paradigm for waste management**. Waste Management 2000;20:633–8.

DCP/MDL. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - Formulário do Documento de Concepção de Projeto. **Projeto São João de gás de aterro e geração de energia (SJ)**. 2004. (DCP/MDL, 2004).

DNV. DET NORSKE VERITAS. **Estudo de Impacto Ambiental da Biogás energia ambiental**. 2005.

DUARTE A C. **Projetos de MDL em aterros sanitários no Brasil: alternativa para o desenvolvimento sustentável** – Curitiba. 2006. 124 p.

DUCHARME, C. **Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes**. Department of Earth and Environmental Engineering. Columbia University. 2010.

ENGEPIO. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

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. 163 p. ; il.

FIGUEIREDO F.F. **O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no brasil: motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade?** Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. XVI, núm. 387, 1 de enero de 2012.

GEBER, U.; BJÖRKLUND, J.; **The relationship between ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment systems — a case study**. Ecologicam Engineering, 2001.

GOIÂNIA. **Plano de resíduos sólidos do estado de Goiás. 2010**. Disponível em: <http://www.egov.go.gov.br/secima/plano-de-residuos-solidos-goias.pdf>. Acesso em 23/08/2016.

HANNAN, E. (1985): **An Assessment of Some Criticisms of Goal Programming**. Computers and Operations Research 12, pp. 525–541.

HASSEN A, BELGUITH K. JEDIDI N, CHERIF A, CHERIF M, BOUDABOUS A. **Microbial characterization during composting of municipal solid waste**. Bioresour Technol 80, 217–225. 2001.

HAUKOOS D.S. **An emergy analysis of various construction materials**. ENV 6905. Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, USA, 1994 *apud* Lagerberg, C.; Brown, M. T.; Improving agricultural sustainability: the case of Swedish greenhouse tomatoes. Journal of Cleander Production, 1999.

HAUKOOS D.S. **Sustainable Architecture and It's Relationship to Industrialized Building**. Master Thesis, university of Florida, 1995 - p. 172) *apud* Buranakarn, V.; Evaluation of Recycling and Reuse of Building Materials Using the Emergy Analysis Method. December. University of Florida. 2002.

HWANG C. AND YOON K. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State Of The Art Survey, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems**. New York, NY: Springer. 1981.

IBAM. Instituto Brasileiro de administração municipal. **Manual do Gerenciamento integrado de Resíduos Sólidos**. 2001. Disponível em: [http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/et000017 .pdf](http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/et000017.pdf). Acesso em 21/04/2016.

IBAM (2007) - Instituto Brasileiro de Administração Municipal - **Conceito, planejamento e oportunidades**. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da População 2014. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao / Estimativas _2015/ estimativa_dou_2014_20150915.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2015/estimativa_dou_2014_20150915.pdf).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º. de julho de 2014.**, 2015.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/ stories/ PDFs/relatorio_pesquisa/121009_ relatorio_residuos _solidos_ urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatorio_pesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf). 2012.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 1ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológicas/IPT. 2000.

Ignizio, I.P. **An algorithm for solving the linear Goal Programming problem by solving its dual**, J. Oper. Res. Soc. 36(1985)507–515.

IJIRI, Y. **Management Goals and Accounting for Control**. North-Holland, Amsterdam, 1965.

JACOBI, P.R. E BESEN, G.R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade**. Estudos Avançados 25 (71). 2011, p. 135-158.

JONES D.F. **A practical weight sensitivity algorithm for goal and multiple objective programming**, European Journal of Operational Research, nº 213, 2011. pp. 238-245.

JONES D.F. AND TAMIZ M. **Expanding the flexibility of goal programming via preference modelling techniques**, Omega, vol. 23, nº 1, 1995. pp. 41-48.

JONES DF AND TAMIZ M. **Practical Goal programming**. Springer. New York. 2010.

JORNAL DO NOROESTE DE MINAS. **Projeto Natureza Limpa recebe reconhecimento internacional**. 2011.

JUCÁ J.F.T., LIMA J.D., MARIANO M.O.H., FIRMO A.L.B., LIMA D.G.A., LUCENA L.F.L., CASTILHOS JÚNIOR, F. **Análise das diversas tecnologias de disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. 2013. FADE/UFPE. 185 p.

KOZYREFF FILHO E, MILLIONI A.Z. **Um método para estimativa de metas DEA.** Revista Produção, 2004, 14, 2.

LIU G, YANG Z, CHEN B, ZHANG Y, SU M, ZHANG L. **Emergy Evaluation of the Urban Solid Waste Handling in Liaoning Province, China.** Energies. 2013.

LUCHI, F. E ULGIATI, S. **Energy and Emergy Assesment of Municipal Waste Collection. A case study,** 1997, 303-316.

MANAUS. **Plano diretor de resíduos sólidos de Manaus.** Disponível em: http://www.ibam.org.br/media/arquivos/estudos/plano_diretor_residuos_solidos_manaus.pdf. 2010. Acesso em 21/10/2016.

MARCHETTINI N, RIDOLFI R, RUSTICI M. **An environmental analysis for comparing waste management options and strategies.** Waste Management 2007;27: 562–71.

MARIANO E.B. **Conceitos Básicos de Análise de Eficiência produtiva.** Simpep.2007.

MEIDIANA C., **Scenarios for Sustainable Final Waste Treatment in Developing Country.** INTECH. 2012.

MINCIARDI M, PAOLUCCI M, ROBBA M, SACILE R. **Multi-objective optimization of solid waste flows: Environmentally sustainable strategies for municipalities.** Waste Management, 2007.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA nº. 316** de 29 de outubro de 2002, publicada no DOU n 224, de 20 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 92-95. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port./conama/legiabre.cfm?codlegi=338>. Acesso em. 28/08/2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem.** Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf. Acesso em 15/09/2016

MMA. Ministério das Minas e Energia. **Política Nacional sobre mudança do clima. 2008.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima/plano-nacional-sobre-mudanca-do-clima>. Acesso em 15/09/2016.

MME. Ministério das Minas e Energia. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos de Campo Grande, MS.** Nota técnica DEN 06/08. Avaliação preliminar. 2008.

MME – Ministério das Minas e energia **Nota Técnica DEA 18/14 - Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.** 2008.

MONTEIRO J.H.P., ZVEIBIL V.Z. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NICCOLUCCI V., PANZIERI M., PORCELLI M. , RIDOLFI R. **Emergy Assessment of Incineration and Landfilling of Municipal Solid Waste in Italy**. Proceedings from the Second Biennial Emergy Analysis Research Conference, Gainesville, Florida, September, 2001.

ODUM H.T., ODUM E.C., BROWN M.T., LAHART D, BERSOK C, SENDZIMIR J. **Sistemas Ambientais e Políticas Públicas. Programa de Economia Ecológica**, Phelps Lab. Universidade da Florida, Gainesville, 1987. Disponível em: <www.unicamp.br/fea/ortega/eco/index.htm> Acesso em 14/06/2016.

ODUM H.T. **Environmental accouting – Emergy and environmental decision making**. Ed. John Wiley&SongsLtd., 1996, p.370.

ODUM H.T. Handbook of Emergy Evaluation. Folio#2. **Emergy of global processes; Centre for Environmental Policy**, University of Florida, Gainesville, USA. 2000.

ODUM, H.T., ODUM, E.C., 1983. **Emergy Analysis Overview of Nations: Concepts and Methods. Working paper. International Institute of Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria**, 468 p. *apud* Cuadra, M.; Rydberg, T., **Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua**. Ecological Modelling, 2006

ONU. Organização das Nações Unidas. Revision of World **Urbanization Prospects.Department of economic and social affairs**. 2.000. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wup/>. Acesso em 23/09/2016.

ORTEGA E. **A contabilidade usando emergia: a possibilidades de uma síntese. E análise critica da proposta da “Economia Verde”**. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/code-ipea/SinteseEmergetica.pdf>

PEREIRA NETO, J. T.; **Gerenciamento do lixo urbano: aspectos técnicos e operacionais. Viçosa: UFV**, 2007. 129 p.

PORTAL RONDÔNIA. **Coleta de lixo em Porto Velho próxima da universalização** [internet]. Disponível em: <http://www.portalrondonia.com/site/coleta,de,lixo,em,portovelho,proxima,da,universalizacao,,20835.htm>. 2010. Acesso em 02/09/2016.

PORTO VELHO. **Plano de Gestão integrada de RSU**. <http://portovelho.ro.gov.br/artigo/oficina-sobre-coleta-seletiva-lixo-encerra-ciclo-seminarios-3a-sena>. Acesso em 25/10/2015.

PROJETO NATUREZA LIMPA. Disponível em: <http://naturezalimpa.com/>. Acesso em 22/09/2013.

PROJETO NATUREZA LIMPA. Disponível em: <http://naturezalimpa.com/>. Acesso em 22/09/2016.

RIO DE JANEIRO. **Plano municipal de gestão integrada de Resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro. 2012.** Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/4123401/PMGIRS.pdf>. Acesso em 21/10/2015.

ROMERO C, REHMAN T. **Goal programming and multiple criteria decision making in farm planning: An expository analysis.** Journal of Agricultural Economics. 35(2): 1984,p 177-190.

ROMERO C. **Handbook of critical issues in goal programming.** Pergamon Press. Oxford. 1991.136 p.

ROMERO C. **Análisis de las decisiones multicriterio.** ISDEF. España. 115 pp. 1996.

ROMERO C. **Programación por metas (“Goal Programming”): Pasado, presente y futuro.** En: Caballero, R.; Fernández, G. Toma de decisiones con criterios múltiples. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. España. 2002. p 75-89.

ROMERO, C. **A general structure of achievement functions for a goal programming model.** European Journal of Operational Research. 153(3): 675–686. 2004.

RUSSO M.T.A. **Tratamento de Resíduos Sólidos.** Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento De Engenharia Civil . 2003.

SALVADOR. **Plano básico de limpeza urbana. 2012.** Disponível em: http://www.limpurb.salvador.ba.gov.br/images/PBLU_2012.pdf. Acesso em 02/09/2016.

SALVADOR. **Plano municipal de saneamento básico.** Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. 2012.

SANTOS SILVA A. **Avaliação da toxicidade dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB.** Universidade federal de campina grande – ufcg Centro de tecnologia em recursos naturais – ctrn.Programa de pós-graduação em engenharia civil e Ambiental. Dissertação de Mestrado. 139 p. 2012.

SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de São José do Rio Preto., 2014.**

SCHNEIDER V.E., PANAROTTO C.T., PERESIN D. **Considerações sobre a geração de resíduos em dois municípios do Rio Grande do Sul/Brasil – representatividade das coletas regular e seletiva.** Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/peresin.pdf>. Acesso em 02/09/2016.

SCHOEMAKER P.J.H.,. **Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking.** Sloan Management Review, v. 36, n.2, Winter 1995.

SILVA, F.C. DA, BERTON, R.S., CHITOLINA, J.C., BALLESTERO, S.D. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Circular Técnica 3. 2002.

SILVA C.C. **Estudo de caso de sistemas de tratamento de efluentes domésticos com uso de indicadores ambientais**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia. 2006.110p.

SIMON H.A. **A behavioral model of rational choice**. Quarterly Journal of Economics. 1955. 69:99–118.

SIMONCINI E. **Analisi energetica di un edificio: effetti ambientali di materiali e tecniche della bioarchitettura**, Degree Thesis, available at: Dept. of Chemical and Biosystems Sciences, University of Siena, Italy. 2006.

SYMANSKI, C. S. **Caracterização de Bactérias Mesófilas Presentes em processo de compostagem**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. Porto Alegre – RS. 2005.

SMA. Secretaria do Estado do Meio Ambiente. Gabinete do Secretário e Assessorias. Resolução SMA 079, de 04.11.2009. **Estabelece diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de tratamento térmico de resíduos sólidos em usinas de geração de energia –URE**. Diário oficial do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009.

SGW - The Soil and Groundwater Services Company. **Estudo de Impacto Ambiental URE de Barueri**. 2012.

TASSINARI C.A. **Avaliação em energia da geração de hidroeleticidade em usinas convencionais e modelo fio d'água: estudo de caso**. Tese de doutorado. Universidade Paulista. 2013.

TIEZZI E. **Analisi di sostenibilità ambientale del trattamento dei rifiuti nel comune di modena, progetti volto dal grupo di ricerca**, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche e dei Biosistemi. Universidade de Siena, 1998.

TIQUIA, S.M. AND TAM, N.F.Y. **Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration**. 2000. *Bioresour Technol* 72, 1–7.

TÔRRES FILHO, A. **Aplicação do processo de pirólise para valoração, cogeração de energia e tratamento de resíduos**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. 2014, 173p.

UGALDE J.C. **Aplicação de indicadores de sustentabilidade para avaliar a gestão de resíduos sólidos urbanos em Porto Velho/RO**. Fundação Universidade Federal de Rondônia. Núcleo de Ciências e Tecnologia Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Dissertação de Mestrado. 2010. 134 p.

ULGIATI, S.; BROWN, M.T. **Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions: The case of electricity production.** J. Clean. Prod. 2002, 10, 335–348.

VAN HAANDEL A.C, LETTINGA G. **Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para países de clima quente, Campina Grande:** Epgraf, 1994.

YOUNG G.C. **Municipal solid waste to energy conversion process. Economic, and renewable comparisons.** Wiley. 383p. 2010.

WANG, L., ZHANG, J., NI, W., 2005. **Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP).** Resources, Conservation and Recycling. 189: 233-240

WILLIS K.P, OSADA S, WILLERTON K.L. **Plasma gasification: lessons learned at ecovalley wte facility.** Proceedings of the 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference NAWTEC18 May 11-13, 2010, Orlando, Florida, USA.

ZAMAN, A.U. **Life cycle assessment of pyrolysis–gasification as an emerging municipal solid waste treatment technology.** Int. J. Environ. Sci. Technol. (2013) 10:1029–1038.

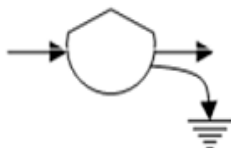
Apêndice A. Símbolos utilizados na confecção dos diagramas



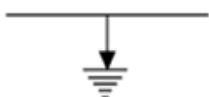
Fluxo de Energia: um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.



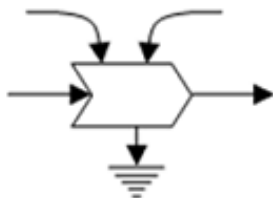
Fonte: um recurso externo de energia, podendo ser renovável, não renovável ou pago



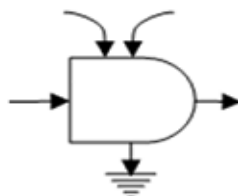
Depósito: uma reserva de energia dentro dos limites do sistema determinada que armazena uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída (variáveis do estado).



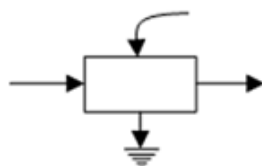
Sumidouro de Energia: dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação. É a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispõem energia.



Interação: intersecção interativa de no mínimo dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre o outro.



Produtor: unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.



Caixa: símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando assim um subsistema.

Apêndice B. Memorial de cálculo do sistema de incineração com geração de eletricidade.

Nota 1: Detalhamento do cálculo a energia do solo.

Tabela B - 1. Energia do solo utilizada no sistema de incineração.

Área (ha)	Conversão kg Eucalipto (kg/ha x ano)	Conversão De unidade (g/kg)	Conversão de unidade (kcal/g)	Conversão de unidade (J/kcal)	Energia (J/ano)
3,723	$4,00 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$	4,68	4186	$2,92 \times 10^{12}$
TOTAL ANO					$9,72 \times 10^{10}$

De acordo com a Valor Sul, a área corresponde a 37.237m^2 .

Nota 2. Detalhamento do consumo de diesel para a fase de implantação

Tabela B- 2. Tabela de consumo de diesel para fase de implantação (limpeza de terreno e construção).

Item	Energia (J)
Limpeza	$1,61 \times 10^8$
Construção	$4,93 \times 10^6$
TOTAL ANO	$9,77 \times 10^8$

Tabela B - 2a. Consumo de diesel para a fase de limpeza do terreno.

Item	Quant. (un)	Horas de trabalho (h.máq.)	Consumo de diesel (L/h.máq.)	Densidade (kg/L)	Fator de Conversão (kcal/kg)	Poder calorífico (J/kcal)	Energia (J)
Retroesc.	02	168	16*	0,85**	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,22 \times 10^9$
Escavad.	02	236	12*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$9,14 \times 10^8$
Tratores	02	168	10,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$8,00 \times 10^8$
Esteira	01	236	12	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$4,57 \times 10^8$
Camin.	10	236	2,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$9,52 \times 10^8$
Rolo comp.	02	168	6,5*				$4,95 \times 10^8$
Total 30 anos							$4,84 \times 10^9$
TOTAL ANO							$1,61 \times 10^8$

Tabela B - 2b. Consumo de diesel para a fase de construção

Item	Quant. (un)	Horas de trabalho (h.máq.)	Consumo de diesel (L/h.máq.)	Densidade (kg/l)	Fator de Conversão (kcal/l)	Poder calorífico (J/kcal)	Energia (J)
Retroesc.	01	3.024	16*	0,85**	$1,07 \times 10^4$	4186	$6,09 \times 10^8$
Tratores	02	3.024	10,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$8,00 \times 10^8$
Caminh.	07	3.024	2,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$6,66 \times 10^8$
Perfuratriz	02	1.008	12*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$9,14 \times 10^8$
Guindaste	01	672	6*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$2,28 \times 10^8$
Guindaste	02	1.680	6*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$4,57 \times 10^8$
Betoneira	02	3.024	2,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,90 \times 10^8$
Utilitários	04	3.024	7*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,07 \times 10^9$

Total 10 anos	$4,93 \times 10^9$
TOTAL ANO	$1,64 \times 10^8$

De acordo com o EIA, o período de cada fase da construção está descrito na Figura B -1.

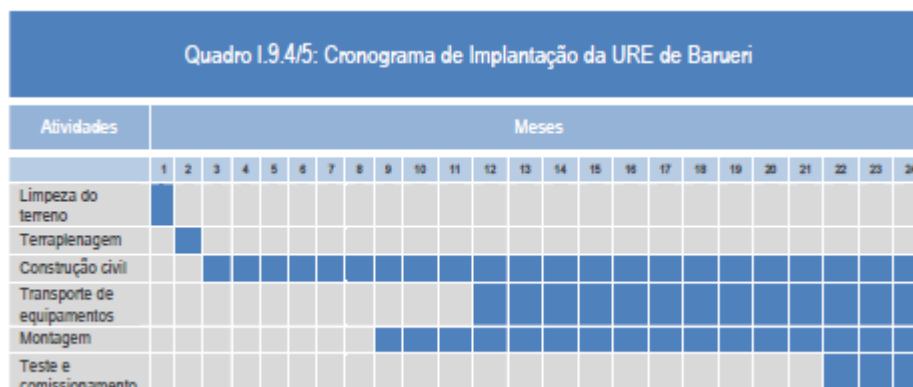


Figura D-1 – Cronograma de implantação

Na Figura B-2, encontra-se a descrição e a quantidade de máquinas utilizadas.

Quadro I.9.4/1 Máquinas e Equipamentos a Serem Utilizados na Fase de Implantação	
Equipamentos	Quantidade
Retroescavadeiras	02
Guindaste de grande porte (>200t)	01
Guindaste de médio porte (>100t)	02
Guindaste de pequeno porte (>50t)	02
Caminhões Betoneiras	*
Escavadeiras	02
Tratores	02
Trator Esteira D6	01
Caminhão basculante	10
Caminhão Munck	02
Caminhão Pipa	01
Comboio de Lubrificação	01
Utilitários e automóveis	04
Perfuratrizes para Estacas	02
Rolo compactador	02

Figura D-2 – Quantidade de máquinas e equipamentos

A quantidade de horas trabalhados por máquina, foi estimada pelo eng. Antônio Claudio Freire Guimarães por meio de contato interno.

Nota 3. Energia elétrica consumida na implantação

Tabela B - 3 Cálculo da energia elétrica consumida na implantação.

Consumo	Fator de Conversão	Fator de Conversão	Energia
(kJ/s)	(kJ/J)	(s/ano)	(J/ano)
750	$1,0 \times 10^3$	$2,64 \times 10^7$	$1,98 \times 10^{13}$
TOTAL 30 ANOS			$1,98 \times 10^{13}$
Total			$6,60 \times 10^{11}$

O consumo de energia elétrica durante a implantação da URE de Barueri é estimado em 750 kVA e o fornecimento será de um ramal provisório da rede pública de distribuição da AES- Eletropaulo em 13,8 (SGW, 2012).

750 KJ/s , considerando fator de potencia 1: 1 KJ = 1000 Joules

Cálculo da quantidade de segundos por ano

305 dias x 24 horas de trabalho por dia = 7320 horas por ano x 3600 (s/h). = 264×10^7 segundos por ano.

Nota 4. Detalhamento de cálculo da energia da mão-de-obra

Tabela B - 4. Tabela da energia da Mão-de-obra utilizada.

Quant. Func. (H)	Necessidade diária (kcal/H dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho (dias/ciclo)	Energia (J/ano)
183	$3,00 \times 10^3$	4186	610	$1,40 \times 10^{12}$
Total 30 anos				$4,67 \times 10^{10}$
Total				

As atividades de implantação da URE serão realizadas de segunda-feira a sábado das 08:00 h às 16:00 h. Conforme EIA, página 62 item I.9.4.7 que trata sobre o uso da água durante a fase de implantação da URE de Barueri é considerada a presença, em média, de aproximadamente 183 funcionários por dia por um período de 24 meses. Para cada ano foram contabilizados 253 dias, somados a 52 sábados, perfazendo um total de 305 dias anuais, Dobrou-se a quantidade de dias para perfazer o período de 2 anos.

Nota 5. Detalhamento de cálculo artefatos de cimento

Tabela B - 5. Tabela representando a massa dos artefatos fabricados com cimento.

Item	Massa (g)
Blocos da Portaria	$5,45 \times 10^6$
Blocos da Oficina/Alm.	$1,32 \times 10^9$
Blocos Vest/lab.	$5,10 \times 10^9$
Blocos casa de bombas	$1,70 \times 10^7$

Blocos para armazen. GLP	$2,04 \times 10^9$
Telhas	$1,32 \times 10^7$
TOTAL	$8,50 \times 10^9$

Tabela B - 5a. Tabela representando a massa dos blocos utilizados na portaria.

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Blocos* (bl)/(m ²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa Total (g)
1	9,00	2,7	12,7	12,5	303,75	13600	$5,16 \times 10^7$
2	2,50	2,7	13,5	12,5	168,75	13600	$2,87 \times 10^7$
2	1,25	2,7	6,75	12,5	84,37	13600	$1,43 \times 10^7$
3	4,00	2,7	32,4	12,5	405	13600	$6,89 \times 10^7$
TOTAL 30 ANOS							$1,64 \times 10^8$
TOTAL							$5,45 \times 10^6$

Tabela B - 5b. Tabela representando a massa dos blocos utilizados na oficina e almoxarifado.

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Blocos* (bl)/(m ²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa Total (g)
1	18,00	3,5	63	12,5	788	13600	$8,44 \times 10^9$
2	7,50	3,5	52,5	12,5	656	13600	$5,85 \times 10^9$
1	18,00	5,75	103,5	12,5	1.444	13600	$2,54 \times 10^{10}$
TOTAL 30 ANOS							$3,97 \times 10^{10}$
TOTAL							$1,32 \times 10^9$

Tabela B - 5c. Tabela representando a massa dos blocos utilizados no vestiário e laboratório

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Blocos* (bl)/(m ²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa Total (g)
2	40,00	3,0	240	12,5	3.000	13600	$1,22 \times 10^{11}$
2	20,0	3,0	120	12,5	1.500	13600	$3,06 \times 10^{10}$
TOTAL 30 ANOS							$1,53 \times 10^{11}$
TOTAL ANO							$5,10 \times 10^9$

Tabela B - 5d. Tabela representando a massa dos blocos utilizados na casa das bombas.

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Blocos* (bl)/(m ²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa Total (g)
2	20,00	3,0	120	12,5	1.500	13600	$2,55 \times 10^8$
2	30,00	3,0	120	12,5	1.500	13600	$2,55 \times 10^8$
TOTAL 25 ANOS							$5,10 \times 10^8$
TOTAL/ANO							$1,70 \times 10^7$

Tabela B - 5e. Tabela representando a massa dos blocos utilizados no recinto de armazenamento de GLP.

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Blocos* (bl)/(m ²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa Total (g)
2	20,00	3,0	120	12,5	1.500	13600	$3,06 \times 10^{10}$
2	20,00	3,0	120	12,5	1.500	13600	$3,06 \times 10^{10}$
TOTAL 25 ANOS							$6,12 \times 10^{10}$
TOTAL/ANO							$2,04 \times 10^9$

Tabela B - 5f. Cálculo da telha de CRFS (Cimento reforçado com fios sintéticos).

Item	Área (m ²)	Quant. Águas	Densidade (kg/m ²)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
Portaria	299	2	24*	$1,0 \times 10^3$	$1,44 \times 10^7$
Of/almoxarife	135	2	24	$1,0 \times 10^3$	$6,48 \times 10^6$
Vest/Lab	800	2	24	$1,0 \times 10^3$	$3,84 \times 10^7$
Prédio Principal	6.021	2	24	$1,0 \times 10^3$	$2,89 \times 10^8$
Casa de Bombas	600	2	24	$1,0 \times 10^3$	$2,88 \times 10^7$

Abastec. GLP	400	2	24	$1,0 \times 10^3$	$1,92 \times 10^7$
TOTAL 30 ANOS					$3,96 \times 10^8$
TOTAL					$1,32 \times 10^7$

Total telhas (2015)

Nota 6. Detalhamento de cálculo do asfalto.

Tabela B - 6. Cálculo do asfalto.

Área (m ²)	Densidade (kg/m ³)	Camada betuminosa (m)	Conversão de unidade (g/kg)	Energia (g/ano)
7.118,73	$1,2 \times 10^3$ *	0,04	$1,0 \times 10^3$	$3,42 \times 10^8$
TOTAL 10 ANOS				$3,42 \times 10^7$

O asfalto compreende 757,5m de comprimento por 7m de largura para as ruas internas do sistema, e o estacionamento tem formato de trapézio contendo base maior de 53,5 m, base menor de 40 metros e lados de 34,5 metros, perfazendo uma área de 1.816,23m².

Nota 7. Detalhamento de cálculo do concreto armado.

Item	Massa (g)
Prédio Principal	$1,18 \times 10^8$
Fosso	$2,49 \times 10^7$
Contrapisos	$8,60 \times 10^7$
Torre de resfriamento	$3,02 \times 10^6$
TOTAL	$2,32 \times 10^8$

Tabela B - 7a. Cálculo da massa de concreto armado utilizado no prédio principal.

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Espessura (m)	Densidade (kg)/(m ³)	Conversão (G/KG)	Massa (g)
1	63,5	25	0,15*	2.500	$1,00 \times 10^3$	$5,95 \times 10^8$
1	31,5	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$2,95 \times 10^8$
1	7,50	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$7,03 \times 10^7$
1	47,5	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$4,45 \times 10^8$
2	31,5	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$5,91 \times 10^8$
1	61	25	0,15*	2.500	$1,00 \times 10^3$	$5,72 \times 10^8$
1	12	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$1,13 \times 10^8$
1	5	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$4,69 \times 10^7$
1	26,5	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$2,48 \times 10^8$
1	21	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$1,97 \times 10^8$
1	22	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$2,06 \times 10^8$
1	16	25	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$1,50 \times 10^8$
TOTAL 30 ANOS			3353		13600	$3,53 \times 10^9$
TOTAL ANO						$1,18 \times 10^8$

Tabela B - 7b. Cálculo do fosso de recebimento de RSU

Paredes	Área	Espessura	Concreto	Densidade.	Conversão de unidade	Massa
---------	------	-----------	----------	------------	-------------------------	-------

(un)	(m ²)	(m)	(m ³)	(t/m ²)	(g/t)	(g/ano)
2	394,2	0,15	118,26	2,50*	1,00x10 ⁶	2,96x10 ⁸
2	175,5	0,15	52,65	2,50	1,00x10 ⁶	1,32x10 ⁸
Piso	854,1	0,15	128,115	2,50	1,00x10 ⁶	3,20x10 ⁸
TOTAL 30 ANOS			229,025*			7,48x10 ⁸
TOTAL						2,49x10 ⁷

O fosso de armazenamento será uma estrutura de concreto capaz se receber resíduos ininterruptamente por um período de cinco dias ou mais. O fosso terá 19,5 m de largura, 43,8 m de comprimento e 9 m de profundidade (porção mais profunda), totalizando 6.045 m³ de capacidade útil. Toda a estrutura do fosso será fechada (tipo “Bunker”) com abertura somente nas baias de recebimento de resíduos que possuirão portões basculantes (SGW, 2012). Logo, 43,8x9 = 394,2 e 19,5x9 = 175,5m.

Tabela B – 7c. Cálculo da massa de concreto dos contra-pisos.

Prédio	Unid.	Área	Espessura	Concreto	Densidade.	Conversão de Unidade (g/t)	Total
		(m ²)	(m)	(m ³)	(t/m ³)		(g/ano)
Portaria		299	0,10	29,90	2,50*	1,00x10 ⁶	7,48x10 ⁷
Oficina/Alm.		135	0,10	13,50	2,50	1,00x10 ⁶	3,38x10 ⁷
Vest./Lab.		800	0,10	80,00	2,50	1,00x10 ⁶	2,00x10 ⁸
Casa de bombas		600	0,10	60,00	2,50	1,00x10 ⁶	1,50x10 ⁸
Casa de GLP		400	0,10	40,00	2,50	1,00x10 ⁶	1,00x10 ⁸
Prédio Principal		6021	0,10	602,10	2,50	1,00x10 ⁶	1,51x10 ⁹
Prédio Principal	2	2050	0,10	410,0	2,50	1,00x10 ⁶	5,13x10 ⁸
TOTAL 30 ANOS							2,58x10 ⁹
TOTAL ANO							8,60x10 ⁷

Tabela B -7d Calculo do concreto para a base e fundação da torre de resfriamento.

Item	Massa (kg/un)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Fundação	59.200	1,00x10 ³	5,92x10 ⁷
Base	31.400	1,00x10 ³	3,14x10 ⁷
TOTAL 30 ANOS			9,06x10 ⁷
TOTAL			3,02x10 ⁶

<http://www.panwater.com/pdf/Panwater%20PCF%20Series%20Cooling%20Tower.pdf>..21.02.2016

Nota 8. Aço Galvanizado

Tabela B-8 Resumo da utilização do aço galvanizado.

Item	Massa (g)
Silo cal	$1,41 \times 10^6$
Silo carvão	$7,60 \times 10^5$
Aço chaminés	$1,87 \times 10^6$
Aço telhado	$2,22 \times 10^7$
TOTAL	$2,62 \times 10^7$

Tabela B - 8a. Silo para cal, uréia e amônia.

Quant (un)	Massa (t)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
3	4,7*	$1,0 \times 10^6$	$1,41 \times 10^7$
TOTAL 10 anos			$1,41 \times 10^7$
Total ano			$1,41 \times 10^6$

*Henan sron , 2015).

Tabela B - 8b. Silo para carvão – 30 t.

Qnt. (un)	Massa (t)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
2	3,8	$1,0 \times 10^6$	$7,60 \times 10^6$
Total 10 anos			$7,60 \times 10^6$
Total			$7,60 \times 10^5$

Cement silo (2015).

Tabela B - 8c. Aço para as chaminés.

Item	Qnt. (un)	Largura (m)	Altura (m)	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Conversão (g/kg)	Total (g)
Chaminés	01	6,00	65	0,006	$8,00 \times 10^3$	$1,00 \times 10^3$	$1,87 \times 10^7$
TOTAL 10 ANOS							$1,87 \times 10^7$
TOTAL/ANO							$1,87 \times 10^6$

Tabela B - 8d. Cálculo do aço da estrutura para as coberturas.

Prédio	Área (m ²)	Quant. (kg/m ²)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
Portaria	299	16	$1,0 \times 10^3$	$4,78 \times 10^6$
Of/almoxarife	135	16	$1,0 \times 10^3$	$2,16 \times 10^6$
Vest/Lab	800	16	$1,0 \times 10^3$	$1,28 \times 10^7$
Prédio Principal	6.021	31	$1,0 \times 10^3$	$1,87 \times 10^8$
Casa de Bombas	600	16	$1,0 \times 10^3$	$9,60 \times 10^6$
Abastec. GLP	400	16	$1,0 \times 10^3$	$6,40 \times 10^6$
TOTAL 10 ANOS				$2,22 \times 10^8$
TOTAL				$2,22 \times 10^7$

Nota 9. Aço estrutural resumo.

Tabela B - 9 Resumo da utilização do aço estrutural.

Item	Massa (g)
Fosso	$1,15 \times 10^6$

Estrutura prédios	$7,06 \times 10^6$
TOTAL	$8,21 \times 10^6$

Tabela B - 9a. Cálculo da massa de aço do fosso de recebimento de RSU

Item	Volume (m ³)	kg Aço/(m ³) de concreto	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Concreto	229,025*	150**	$1,00 \times 10^3$	$3,44 \times 10^7$
TOTAL 25 ANOS				$3,44 \times 10^7$
TOTAL ANO				$3,44 \times 10^6$

*Dados da Tabela D-9.

** Engenharia João Frade, 2010

Tabela B-9b. Cálculo de aço para o concreto armado prédio principal.

Paredes (un)	Base (m)	Altura (m)	Espessura (m ²)	Densidade (kg/m ³)	Conversão (G/KG)	Massa (g)
1	63,5	25	0,15*	150	$1,00 \times 10^3$	$3,57 \times 10^7$
1	31,5	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$1,77 \times 10^7$
1	7,50	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$4,22 \times 10^6$
1	47,5	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$2,67 \times 10^7$
2	31,5	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$3,54 \times 10^7$
1	61	25	0,15*	150	$1,00 \times 10^3$	$3,43 \times 10^7$
1	12	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$6,75 \times 10^6$
1	5	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$2,81 \times 10^6$
1	26,5	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$1,49 \times 10^7$
1	21	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$1,18 \times 10^7$
1	22	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$1,24 \times 10^7$
1	16	25	0,15	150	$1,00 \times 10^3$	$9,00 \times 10^6$
TOTAL 30 ANOS			3353		13600	$2,12 \times 10^8$
TOTAL						$7,06 \times 10^6$

De acordo com o Encarte do projeto EIA/RIMA, o carvão ativado é armazenado em silos de 30 toneladas (SGW, 2012).

Para os cálculos efetuados nesta nota, considerou-se a vida útil de 25 anos (THOMSON, 2004).

Nota 10. Cálculo da massa de aço das máquinas e equipamentos.

Tabela B-10. Demonstrativo do cálculo da massa de aço.

Item	Massa (g)
Veículos	$1,89 \times 10^7$
Caldeira	$7,80 \times 10^5$
Conj. de ar	$7,56 \times 10^6$
Balança	$7,00 \times 10^1$
Grelha de Combustão	$2,19 \times 10^3$
Gruas	$1,65 \times 10^3$
Ponte Rolante	$8,50 \times 10^5$
Moega	$1,20 \times 10^6$
Turbina	$2,50 \times 10^7$
Gerador	$1,15 \times 10^5$
Compressor	$5,18 \times 10^4$
Torre de Resfriamento	$7,50 \times 10^5$

Peneira vibratória	$4,88 \times 10^5$
Ventiladores Secundários	$1,80 \times 10^5$
Eletroimã	$7,20 \times 10^4$
Separador de metais	$1,68 \times 10^5$
Tambor Rotativo	$2,50 \times 10^5$
Câmara	$1,25 \times 10^6$
TOTAL	$5,76 \times 10^7$

Tabela B - 10a. Cálculo da massa de aço dos veículos.

Unidade (un)	Equipamento	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Massa (g/ano)
02	Retroescavadeira*	9.780*	$1,00 \times 10^3$	$1,96 \times 10^7$
01	Guindaste >200 t**	72.000	$1,00 \times 10^3$	$7,20 \times 10^7$
01	Guindaste >100 t	70.000	$1,00 \times 10^3$	$7,00 \times 10^7$
01	Guindaste > 50 t	38.580	$1,00 \times 10^3$	$3,86 \times 10^7$
02	Escavadeiras*	13.210	$1,00 \times 10^3$	$2,64 \times 10^7$
02	Tratores	3.220	$1,00 \times 10^3$	$6,44 \times 10^6$
01	Trator Esteira D6	17.000	$1,00 \times 10^3$	$1,70 \times 10^7$
10	Caminhões	23.000	$1,00 \times 10^3$	$2,30 \times 10^8$
02	Caminhão Muck	2918	$1,00 \times 10^3$	$5,84 \times 10^6$
01	Caminhão pipa	4.750	$1,00 \times 10^3$	$4,75 \times 10^6$
01	Comboio Abastec.	9.000	$1,00 \times 10^3$	$9,00 \times 10^6$
04	Utilitários	1.000	$1,00 \times 10^3$	$4,00 \times 10^6$
02	perfuratrizes	14.700	$1,00 \times 10^3$	$2,94 \times 10^7$
02	Rolo compactador	4.850	$1,00 \times 10^3$	$9,70 \times 10^6$
02	Betoneira	11.925	$1,00 \times 10^3$	$2,39 \times 10^7$
02	Balanças 50t	400*	1,00	$8,00 \times 10^5$
TOTAL 30 ANOS				$5,67 \times 10^8$
TOTAL				$1,89 \times 10^7$

Tabela B - 10b . Massa da caldeira

Massa (t)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
7,8	$1,00 \times 10^6$	$7,80 \times 10^6$
TOTAL 10 ANOS		$7,80 \times 10^6$
TOTAL ANO		$7,80 \times 10^5$

Shandong Huayuan (2015)

Especificação: Caldeira aquatubular com grelha especial para a queima de resíduos sólidos urbanos com capacidade nominal de geração de vapor de 75,5 t/h a 53 bar (abs) e 400 °C

Tabela B - 10c. Conjunto de pré-aquecedor de ar, ventilador de insuflamento e dutos de condução de ar.

Quant. (un)	Massa (kg)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
----------------	---------------	-----------------------	--------------------

12	6.300*	1.000	$7,56 \times 10^7$
TOTAL 10 anos			$7,56 \times 10^7$
TOTAL			$7,56 \times 10^6$

Arauterm, 2015

O ar primário será fornecido a uma vazão mássica de 111.188 kg/h ou volumétrica de 86.647 Nm³/h, pré-aquecido a uma temperatura entre 170 e 190°C. Os pré-aquecedores utilizarão vapor de alta pressão proveniente da caldeira e média pressão proveniente da turbina. Os pré-aquecedores serão instalados ao lado dos ventiladores de ar primário com objetivo de minimizar perdas de carga do sistema. O aquecimento do ar primário visa reduzir o consumo de combustível auxiliar nos queimadores auxiliares e melhorar o processo de combustão.

O Ventilador de Ar Primário tem a função de insuflar ar no sistema de queima (na parte inferior e superior da grelha), possibilitando a queima de materiais com elevado teor de umidade e completando a totalização da queima, o que resulta num melhor aproveitamento do combustível e gerando menor teor de partículas sólidas lançadas à atmosfera.

Este ventilador aspira ar da atmosfera, ganhando temperatura ao passar pelo pré-aquecedor de ar, trocando calor com os gases provenientes da combustão. Possui um damper de admissão dotado de servo-motor que se fecha automaticamente quando ocorrer pressão elevada do vapor da caldeira, diminuindo a taxa de fogo, e consequentemente reduzindo a pressão da mesma. Quando a pressão retorna ao valor desejado, esse damper abre-se em 100%, voltando a fornecer ar para a combustão. O controle da vazão de ar primário se dá finalmente através de três dampers manuais instalados no coletor de ar primário, os quais distribui o ar para as secções de secagem, destilação e queima da.

Tabela B - 10d. Balança rodoviária.

Qnt. (un)	Massa (kg)	Energia (t/dia)
2	350*	$7,00 \times 10^2$
TOTAL 10 ANOS		$7,00 \times 10^2$
TOTAL		$7,00 \times 10^1$

*Nantong Jakarta (2015).

De acordo com o EIA, são utilizadas duas balanças de 60 ton (SGW, 2012).

Tabela B - 10e. Grelha de combustão.

Área (m ²)	Massa (kg/m ²)	Fator de Conversão	Energia (g/ano)
130,28	168*	$1,00 \times 10^3$	$2,19 \times 10^4$
TOTAL 10 ANOS			$2,19 \times 10^4$
TOTAL ANO			$2,19 \times 10^3$

Grelha de combustão com as seguintes características: comprimento de 13,16m, largura de 14,4m, 07 elementos e superfície total de 130,28 m². Sistemas de ar primário e secundário (SGW, 2012).

Tabela B - 10f. Gruas das pontes rolantes.

Quant (un)	Massa (t)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
03	5,5	$1,00 \times 10^3$	$1,65 \times 10^4$
TOTAL 10 ANOS			$1,65 \times 10^4$
TOTAL ANO			$1,65 \times 10^3$

Tabela B - 10g. Pontes rolantes de 10 toneladas de capacidade dotadas com garras hidráulica.

Quant	Massa (t)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
01	8,5	$1,00 \times 10^6$	$8,5 \times 10^6$
TOTAL 10 ANOS			$8,5 \times 10^6$
TOTAL ANO			$8,5 \times 10^5$

Tabela B - 10h. Tabela de massa de aço da moega.

Qnt. (un)	Massa (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
01	12.000*	$1,00 \times 10^3$	$1,20 \times 10^7$
Total 10 anos			$1,20 \times 10^7$
Total ano			$1,20 \times 10^6$

*Huanchuang (2015).

Tabela B - 10i. Turbina a vapor.

Quant (un)	Massa (t)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
01	250	$1,00 \times 10^6$	$2,50 \times 10^8$
TOTAL 10 ANOS			$2,50 \times 10^8$
TOTAL ANO			$2,50 \times 10^7$

Siemens (2013).

Turbina SST-300 com potência nominal de 50 MW e rotação de 12000 rpm. Pressão de vapor de entrada de 120 bar (abs) e temperatura de entrada de 520°C, Pressão da tomada 16 kgf/cm² e Pressão do vapor de exaustão de 0,6 bar (abs). Regulador eletrônico de velocidade e Sistema de monitoração de vibração.

Tabela B - 10j. Gerador.

Quant (un)	Massa (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
01	1.150*	$1,00 \times 10^3$	$1,15 \times 10^6$
Total 10 anos			$1,15 \times 10^6$
Total ano			$1,15 \times 10^5$

*Mfunrural, 2016

Especificação Gerador com potencia de 25.000 KVA

Tabela B-10k. Compressor.

Qnt. (un)	Massa (kg/un)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
02	259*	$1,00 \times 10^3$	$5,18 \times 10^5$
TOTAL 10 ANOS			$5,18 \times 10^5$
TOTAL ANO			$5,18 \times 10^4$

Schulz (2016)

Tabela B-10l. Torre de resfriamento.

Qnt. (un)	Massa (kg/un)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
01	7500	$1,00 \times 10^3$	$7,50 \times 10^6$
TOTAL 10 ANOS			$7,50 \times 10^6$
TOTAL ANO			$7,50 \times 10^5$

Guangdong Feiyang (2016)

Tabela B - 10m. Ventiladores secundários.

Qnt. (un)	Massa (kg)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
2	900*	1.000	$1,80 \times 10^6$
Total 10 anos			$1,80 \times 10^6$
Total			$1,80 \times 10^5$

Tabela. B - 10n. Peneira Vibratória.

Qnt. (un)	Massa (kg)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
1	4880	1.000	$4,88 \times 10^6$
TOTAL			$4,88 \times 10^6$
Total			$4,88 \times 10^5$

Tabela. B – 10o. Eletroímã.

Qnt. (un)	Massa (kg)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
1	720	1.000	$7,20 \times 10^5$
TOTAL 10 ANOS			$7,20 \times 10^5$
TOTAL			$7,20 \times 10^4$

Marquitec (2015)

Tabela B - 10p. Separador de metais não ferrosos.

Qnt. (un)	Massa (kg)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
1	1.678	$1,0 \times 10^3$	$1,68 \times 10^6$
TOTAL 10 ANOS			$1,68 \times 10^6$
TOTAL			$1,68 \times 10^5$

Inbrás (2015)

Tabela D-10q. Tambor rotativo.

Qnt. (un)	Massa (t)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
1	2,5	$1,0 \times 10^6$	$2,50 \times 10^6$
TOTAL 10 ANOS			$2,50 \times 10^6$
TOTAL			$2,50 \times 10^5$

Ore (2016).

De acordo com o Projeto EIA/RIMA, as cinzas e escórias úmidas serão extraídas a uma taxa de aproximadamente 1630 kg/h (vazão normal) e 4823 kg/h (como vazão do projeto) (SGW, 2012).

A Figura B-3 mostra os parâmetros técnicos do tambor magnético rotativo.

Parâmetros técnicos do Tambor magnético rotativo

Modelo	Tamanho do tambor(mm)	Largura da correia (mm)	Resistência ao campo magnético (Gs)	Tamanho de alimentação(mm)	Capacidade(t/h)	Peso (kg)
CT-40/50	Φ400x600	500	1550-3000	≤80	≤50	250
CT-50/50	Φ500x600	500	1600-3000	≤100	≤80	370
CT-40/65	Φ400x750	650	1550-3000	≤100	≤60	405
CT-50/65	Φ500x750	650	1600-3000	≤130	≤100	520
CT-50/80	Φ500x950	800	1550-3000	≤100	≤100	610
CT-65/80	Φ650x950	800	1650-3000	≤130	≤120	720
CT-65/100	Φ500x1150	1000	1700-3000	≤130	≤120	710
CT-65/100	Φ650x1150	1000	1700-3000	≤170	≤160	1200
CT-80/120	Φ800x1400	1200	1800-3000	≤100	≤160	1500
CT-100/120	Φ1000x1400	1200	1800-3000	≤200	≤200	1890

Figura D -3 – Parâmetros técnicos do tambor rotativo

Tabela B -10r. Câmara de combustão

Qnt. (un)	Massa (t)	Fator de Conversão	Energia (t/dia)
1	12,5*	1.0X10 ⁶	1,25x10 ⁷
TOTAL 10 ANOS			1,25x10 ⁷
TOTAL			1,25x10 ⁶

* Dailan Sunshine(2016).

Nota 11. Fibra cerâmica.

Tabela B - 11. Cálculo de fibra cerâmica utilizadas na chaminé.

Item	Quant. (un)	Circunferência (m)	Altura (m)	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Conversão (g/kg)	Total (g)
Chaminé	01	6,00	65	0,050	330*	1,00x10 ³	6,44x10 ⁹
TOTAL 10 ANOS							6,44x10 ⁹
TOTAL							6,44x10 ⁸

Nota 12. Cálculo da massa de cimento.

Tabela B - 12. Resumo do cálculo de massa de cimento

Item	Massa (g)
Assentamento	2,22x10 ⁵
Chapisco	6,38x10 ⁵
Reboco interno e ext.	5,71x10 ⁵
TOTAL	1,43x10 ⁶

Tabela B - 12a. Cálculo da argamassa para assentamento dos blocos.

Blocos	Argamassa	Densidade	Conversão de unidade	Massa
--------	-----------	-----------	-------------------------	-------

(un)	(m³)/(bl)	(kg)/(m³)	(g/kg)	(g)
15.099	0,2	2,21*	$1,0 \times 10^{-3}$	$6,67 \times 10^6$
TOTAL 30 ANOS				$6,67 \times 10^6$
TOTAL ANO				$2,22 \times 10^5$

*A quantidade de blocos foi estimada conforme tabelas 4a (76,95 blocos), 4b(219), 4c(360), 4d(240) e 4e(240).

Tabela B - 12b. Cálculo do chapisco.

Item	Paredes de Blocos (m²)	Espessura (mm)	Conversão de unidade (m/mm)	Traço (%)	Densidade do Cimento (kg/m³)	Conversão de unidade (g/kg)	Massa (g/ano)
Cimento*	1.196	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,2	1.200	$1,0 \times 10^3$	$2,87 \times 10^6$
Areia*	1.196	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,8	1.700	$1,0 \times 10^3$	$1,63 \times 10^7$
TOTAL 30 ANOS							$1,91 \times 10^7$
TOTAL ANO							$6,38 \times 10^5$

O total da metragem foi extraída das tabelas 4^a, 4b, 4c, 4d e 4f.

Tabela B - 12c. Tabela do reboco externo e interno.

Item	Paredes de Blocos (m²)	Espessura (mm)	Conversão de unidade (m/mm)	Traço (%)	Densidade do cimento (kg/m³)	Conversão de unidade (g/kg)	Massa (g)
Cimento	1.136	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,0833	1.200	$1,0 \times 10^3$	$1,20 \times 10^6$
Areia	1.136	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,1666	1.700	$1,0 \times 10^3$	$3,39 \times 10^6$
Cal	1.136	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,7497	1.400	$1,0 \times 10^3$	$1,26 \times 10^7$
TOTAL 25 ANOS							$1,71 \times 10^7$
TOTAL ANO							$5,71 \times 10^5$

Nota 13. Consumo de Oxigênio.

Tabela B - 13. Demonstrativo de cálculo de oxigênio utilizado no reator.

Item	Massa (m³/h)	Conversão (horas/dia)	Conversão (dias/ano)	Densidade (kg/m³)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
	14	24	305	1,33	$1,0 \times 10^3$	$1,36 \times 10^8$
TOTAL ANO						$1,36 \times 10^8$

O compressor tem vazão de 850 litros por minuto. 850 litros corresponde a 14,16 litros por hora. Numa altitude de 800 metros, e temperatura em torno de 22,4 graus Celsius, com umidade relativa do ar em torno de 14% (www.estacao.iag.usp.br/Boletins/2014.pdf), logo a vazão do compressor compreende a $14 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nota 14. Carvão ativado.

Tabela B - 14. Demonstrativo de cálculo de carvão ativado.

Qnt. (kg/h)	Fator de conversão (h/dia)	Dias de trabalho (dias/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Energia (J/ano)
10	24	305	$1,00 \times 10^3$	$7,32 \times 10^7$
Subtotal				$7,32 \times 10^7$

TOTAL	7,32x10 ⁷
-------	----------------------

Nota 15. Consumo de diesel para o gerador.

Tabela B - 15. Demonstrativo de cálculo de consumo de diesel.

Qnt. (l/ano)	Densidade (kg/l)	Fator de Conversão (kcal/kg)	Poder calorífico (J/kcal)	Energia (J)
4.800	0,85*	1,0x10 ⁴	4186	1,71x10 ¹¹
TOTAL				

400 litros por mês equivale a 4.800 litros por ano, conforme Figura D-4.

Quadro 8: Insumos a Serem Utilizados no Processo Operacional da URE				
Etapa do Processo/Área	Tipo de Insumo	Consumo estimado	Forma de recebimento	Forma de estocagem
	Biocidas			
Estação de Tratamento de Gases	Carvão ativado	7,9kg/h	Caminhão	Silo de 30 toneladas.
	Cal Hidratada	372kg/h		Silo de 65 m ³
Gerador	Diesel	400 l/mês	Tambor	Tanque do Gerador

Figura D-4 – Estimativa dos insumos utilizados na URE-Barueri

NOTA 16. Consumo de GLP.

Obs.: No projeto EIA/RIMA estabelece a utilização máxima de 8 toneladas de GLP/ano.

Tabela B - 16. Demonstrativo de cálculo de Glp utilizado no reator.

Item	Quant (m ³ /hora)	Conversão (h/dia)	Conversão (dias/ano)	Peso (kg/m3)	Fator de Conversão	Energia (g/ano)
GLP	3,87	24	305	2,450*	1.0X10 ³	6,94x10 ⁷
TOTAL						6,94x10 ⁷

*Liquigás (2016).

1 Nm³/h equivale a 1,25 litros por hora, Logo temos 3.875 litros de GLP/hora. 1 litro corresponde a 0,001 m³, portanto, logo o consumo de gás é de 3,87 m³/h. O peso do GLP corresponde a 2,45 kg/m³.

Conversão do GLP para Joules

Tabela B – 16a. Demonstrativo de conversão de massa para energia.

Item	Quant (g/ano)	Conversão (MJ/kg)	Conversão (MJ/J)	Energia (J/ano)
GLP	3,87	45	1,00x10 ⁶	1,74x10 ⁸

TOTAL	$1,74 \times 10^8$
-------	--------------------

De acordo com Antonio Lima (2016) , o poder calorífico do butano é de 45MJ para cada kg.

Nota 17. Cálculo da mão-de-obra.

Tabela B - 17. Demonstrativo do cálculo da mão-de-obra.

Func.	Período	Necessidade diária (kcal/H dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho (dias/ano)	Energia (J)
Homens					
47		$3,00 \times 10^3$ *	4186	305	$1,80 \times 10^{11}$
TOTAL					$1,80 \times 10^{11}$

Nota 18. Cal Hidratada

Tabela B - 18. Demonstrativo do cálculo do consumo de cal hidratada.

Qnt. (kg/h)	Fator de conversão (h/dia)	Dias de trabalho (dias/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Energia (J/ano)
372	24	305	$1,00 \times 10^3$	$2,72 \times 10^9$
Subtotal				$2,72 \times 10^9$
TOTAL				$2,72 \times 10^9$

Nota 19. Amônia

Tabela B - 19. Demonstrativo de cálculo da massa de amônia.

Qnt. (kg/h)	Fator de conversão (h/dia)	Dias de trabalho (dias/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Energia (J/ano)
20	24	305	$1,00 \times 10^3$	$1,46 \times 10^8$
Subtotal				$1,46 \times 10^8$
TOTAL				$4,61 \times 10^8$

Nota 20. Uréia.

Tabela B - 20. Demonstrativo de cálculo da massa de uréia.

Qnt. (kg/h)	Fator de conversão (h/dia)	Dias de trabalho (dias/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Energia (J/ano)
63	24	305	$1,00 \times 10^3$	$4,61 \times 10^8$
Subtotal				$4,61 \times 10^8$
TOTAL				$4,61 \times 10^8$

Nota 21. Tratamento de água.

Tabela B - 21. Demonstrativo de consumo de água.

Qnt. (m ³ /h)	Fator de conversao (horas/ano)	(m ³)
135	7.320	$9,88 \times 10^5$
TOTAL		$9,88 \times 10^5$

Em virtude não haver as especificações da ETA, e as ETAS compactas não fornecerem o projeto e nem o peso para serem estimadas.

(vazão de projeto). Haverá um medidor na entrada da ETA para controle da vazão,

tipo “Calha Parshall”. (EIA, pá.43).

Nota 22. Produtos químicos – resumo.

Tabela B – 22. Resumo da massa de produtos químicos.

Item	Massa (g/ano)
Tab 22a	$6,34 \times 10^5$
Tab 22b	$2,62 \times 10^6$
Tab 22c	$1,07 \times 10^8$
Total	$1,10 \times 10^8$

Tabela B – 22a. Demonstrativo de cálculo da massa de amônia.

Item	Qnt. (kg/mês)	Fator de conversão (m/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
Fosfato	18	10	$1,00 \times 10^3$	$1,80 \times 10^5$
Seq.O ₂	17	10	$1,00 \times 10^3$	$1,70 \times 10^5$
Aminas	28,4	10	$1,00 \times 10^3$	$2,84 \times 10^5$
TOTAL				$6,34 \times 10^5$

Tabela B – 22b. Demonstrativo de cálculo da massa de produtos químicos.

Item	Qnt. (kg/dia)	Fator de conversão (d/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Solução	Massa (g/ano)
Soda Cáustica	121	305	$1,00 \times 10^3$	0,04	$1,48 \times 10^6$
HCl	75	305	$1,00 \times 10^3$	0,05	$1,14 \times 10^6$
TOTAL					$2,62 \times 10^6$

De acordo com o EIA/RIMA a soda cáustica é uma 4% e o HCl 5%.

Tabela B – 22c. Demonstrativo de cálculo da massa de produtos químicos.

Item	Qnt. (kg/h)	Fator de conversão (h/dia)	Fator de conversão (d/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
Sulfato de Al	6,5	24	305	$1,00 \times 10^3$	$4,76 \times 10^7$
Soda Cáustica	2,6	24	305	$1,00 \times 10^3$	$1,90 \times 10^7$
Hipoclorito	5	24	305	$1,00 \times 10^3$	$3,66 \times 10^7$
Floculante	0,5	24	305	$1,00 \times 10^3$	$3,66 \times 10^6$
TOTAL					$1,07 \times 10^8$

Os produtos químicos e respectivas quantidades encontram-se no projeto EIA/RIMA (SGW, 2012).

Nota 23. Tratamento de água

Tabela B -23. Demonstrativo do consumo de água.

Quant. (m ³ /h)	Conversão (horas/ano)	Total (m ³ /ano)
135	7.320	$9,88 \times 10^5$

Nota 24. Energia gerada na planta

Tabela B – 24. Demonstrativo de cálculo da energia gerada pela planta.

Energia (J/seg)	Conversão (d/ano)	Conversão (h/dia)	Conversão (s/h)	Energia (J/ano)
17×10^6	305	24	3.600	$4,84 \times 10^{14}$
TOTAL				$4,84 \times 10^{14}$

A planta com capacidade máxima de tratamento gera 17 MW por dia, perando 305 dias, 24 horas por dia.

De acordo com a Foxx Ambiental, a energia consumida para a operação da planta é 13% do total gerado.

Tabela B – 24a. Demonstrativo de cálculo da energia consumida pela planta.

Energia (J/ano)	Conversão de unidade (%)	Energia (J/ano)
$4,84 \times 10^{14}$	0,13	$5,82 \times 10^{13}$

Cálculo da energia líquida = (energia gerada) – (energia consumida)

Tabela B – 24b. Demonstrativo de cálculo da energia líquida do sistema.

Energia Gerada (J/ano)	Energia Consumida (J/ano)	Energia Líquida (J/ano)
$5,82 \times 10^{13}$	$5,80 \times 10^{10}$	$4,26 \times 10^{14}$

Cálculo da energia da energia elétrica excedente (benefício).

Tabela B-24c. Cálculo da energia do benefício da energia elétrica líquida.

Energia Gerada (J/ano)	Transformidade (sej/J)	Energia (sej/ano)
$4,26 \times 10^{14}$	$1,47 \times 10^5$ *	$6,26 \times 10^{19}$

Giannetti *et al.* (2015).

Apêndice C. Memorial de cálculo do sistema de incineração sem a produção de energia

Nota 1. Aço e equipamentos.

De acordo com o EIA/RIMA, o sistema de geração de energia compreende a caldeira, a turbina e o gerador. A Tabela B-10, nota 10, do Apêndice B mostra de maneira resumida os itens e seus respectivos valores do cálculo da massa de aço. Descontando os itens do total da Tabela, o resultado compreenderá ao total de massa de aço que o sistema utiliza, sem a geração de energia.

Tabela C-10. Demonstrativo do cálculo da massa de aço.

Item	Massa (g)
Veículos	$1,89 \times 10^7$
Caldeira	$7,80 \times 10^5$
Conj. de ar	$7,56 \times 10^6$
Balança	$7,00 \times 10^1$
Grelha de Combustão	$2,19 \times 10^3$
Gruas	$1,65 \times 10^3$
Ponte Rolante	$8,50 \times 10^5$
Moega	$1,20 \times 10^6$
Turbina	$2,50 \times 10^7$
Gerador	$1,15 \times 10^5$
Compressor	$5,18 \times 10^4$
Torre de Resfriamento	$7,50 \times 10^5$
Peneira vibratória	$4,88 \times 10^5$
Ventiladores Secundários	$1,80 \times 10^5$
Eletroimã	$7,20 \times 10^4$
Separador de metais	$1,68 \times 10^5$
Tambor Rotativo	$2,50 \times 10^5$
Câmara	$1,25 \times 10^6$
TOTAL	$5,76 \times 10^7$

Tabela C-1. Demonstrativo do cálculo da massa de aço a ser descontada.

	Massa (g)
Caldeira	$7,80 \times 10^5$
Turbina	$2,50 \times 10^7$
Gerador	$1,15 \times 10^5$
TOTAL	$2,59 \times 10^7$

Tabela C-1a. Total de massa de aço.

Material	Massa (g)
Total de aço	$5,76 \times 10^7$
Aço a ser descontado	$2,59 \times 10^7$
TOTAL	$3,17 \times 10^7$

Nota 2. Mão-de-obra

No cálculo de energia da incineração com produção de energia elétrica, foram contabilizados 47 funcionários. Para a operação sem a produção de energia, descontou-se 3 funcionários por período.

Tabela C-2. Cálculo da mão-de-obra da fase de operação

Func.	Período	Necessidade diária (kcal/H.dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho (dias/ano)	Energia (J)
Homens					
38		$3,00 \times 10^3$ *	4186	305	$1,46 \times 10^{11}$
TOTAL					$1,46 \times 10^{11}$

Nota 3. Foram descontados a Tabela 19 (nota 19) e a Tabela 22a, nota 22 do B, tendo em vista que estes produtos são utilizados na caldeira.

Nota 19. Amônia

Tabela B - 19. Demonstrativo de cálculo da massa de amônia.

Qnt. (kg/h)	Fator de conversão (h/dia)	Dias de trabalho (dias/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Energia (J/ano)
20	24	305	$1,00 \times 10^3$	$1,46 \times 10^8$
Subtotal				$1,46 \times 10^8$
TOTAL				$4,61 \times 10^8$

Nota 22a Produtos Químicos

Tabela C – 22a. Demonstrativo de cálculo da massa de amônia.

Item	Qnt. (kg/mês)	Fator de conversão (m/ano)	Fator de conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
Fosfato	18	10	$1,00 \times 10^3$	$1,80 \times 10^5$
Seq.O ₂	17	10	$1,00 \times 10^3$	$1,70 \times 10^5$
Aminas	28,4	10	$1,00 \times 10^3$	$2,84 \times 10^5$
TOTAL				$6,34 \times 10^5$

Apêndice D. Memorial de cálculo da tocha de plasma com produção de energia.

Nota 1. Solo utilizado para o sistema Tocha de Plasma de Hortolândia.

A área estimada para a implantação do projeto na cidade de Hortolândia é de 30.000 m².

Tabela D – 1. Energia do solo utilizada no sistema de compostagem

Área (ha)	Conversão kg Eucalipto (kg/ha x ano)	Conversão De unidade (g/kg)	Conversão de unidade (kcal/g)	Conversão de unidade (J/kcal)	Energia (J/ano)
3	4,00x10 ⁴	1,0x10 ³	4,68	4186	2,35x10 ¹³
Total 30 anos					2,35x10 ¹³
Total ano					7,84x10 ¹⁰

*(Romitelli, 2000).

A energia do solo presente nos 30 hectares representa um custo para o sistema. O custo foi calculado com base na biomassa de eucalipto que se deixou de produzir no período de um ano (Romitelli, 2000).

Nota 2. Detalhamento de cálculo do consumo de diesel para a implantação.

Tabela D-2. Detalhamento de cálculo de Joules de energia consumida na implantação do sistema.

Fases	Energia (J)
Limpeza	1,63x10 ¹⁰
Construção	1,50x10 ¹¹
Total	1,67x10 ¹¹

Tabela D-2a. Cálculo de diesel utilizado na limpeza do terreno.

Ítem	Quant. (un)	Horas de trabalho (h.máq.)	Consumo de diesel (L/h.máq.)	Densidade (kg/L)	Fator de Conversão (kcal/kg)	Poder calorífico (J/kcal)	Energia (J)
Retroesc.	02	140	16*	0,85**	1,07x10 ⁴	4186	1,71x10 ¹¹
Escavad.	01	140	12*	0,85	1,07x10 ⁴	4186	6,40x10 ¹⁰
Tratores	01	140	10,5*	0,85	1,07x10 ⁴	4186	5,60x10 ¹⁰
Esteira	01	140	12	0,85	1,07x10 ⁴	4186	6,40x10 ¹⁰
Caminh.	05	140	2,5*	0,85	1,07x10 ⁴	4186	6,66x10 ¹⁰
Rolo com	02	140	6,5*				6,93x10 ¹⁰
Total 30 anos							4,90x10 ¹¹
Total ano							1,63x10 ¹⁰

* Engwhere, 2014.

Tabela D-2b. Cálculo de diesel utilizado na construção da obra.

Ítem (un)	Quant.	Horas de trabalho (h.máq.)	Consumo de diesel (L/h.máq.)	Densidade (kg/L)	Fator de Conversão (kcal/kg)	Poder calorífico (J/kcal)	Energia (J)
Retroesc.	01	1.680	16*	0,85**	1,07x10 ⁴	4186	1,02x10 ¹²

Tratores	02	1.680	10,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,34 \times 10^{12}$
Caminh.	07	1.680	2,5*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,12 \times 10^{12}$
Perfuratriz	02	280	12*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$2,56 \times 10^{11}$
Guindaste1	01	700	6*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,60 \times 10^{11}$
Guindaste2	01	980	6*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$2,24 \times 10^{11}$
Guindaste3	01	1.680	6	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$3,84 \times 10^{11}$
Total 30 anos							$4,51 \times 10^{12}$
Total ano							$1,50 \times 10^{11}$

* Engwhere, 2014.

A implantação do sistema ocorreu em 8 horas por dia, 5 dias por semana. O guindaste 1, de 200T foi utilizado por um período de 5 meses, contabilizando um total de 3.500 horas de uso anual. O Guindaste de 100 t, foi utilizado por um período de 7 meses, contabilizando 4.900 horas anuais.

Nota 3. Cálculo da mão-de-obra utilizada na implantação.

Tabela D-3 – Cálculo da mão de obra

Locais	Energia (J)
Construção	$1,54 \times 10^{11}$
Motoristas/Operadores	$2,66 \times 10^9$
TOTAL	$1,56 \times 10^{11}$

Tabela D-3a. Cálculo da mão de obra da implantação.

Item	obra (m ³)	Homem/hora (Hh/m ³)	Necessidade diária (kcal/H.dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Conversão de unidade (horas/dia)	Energia (J/ano)
Prédio 1	3.353	1,6*	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$5,39 \times 10^{11}$
Telhado	7.686	3,13*	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$2,42 \times 10^{12}$
Piso	7.686	1,6*	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$1,24 \times 10^{12}$
Asfalto	8.750	0,44	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$3,87 \times 10^{11}$
Fosso	212,4	1,6	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$3,41 \times 10^{10}$
Total 30 anos						$4,61 \times 10^{12}$
Total ano						$1,54 \times 10^{11}$

*SBD– Planejamento e Produtividade ** (Silva, 2006)

Tabela D - 3b. Cálculo da mão-de-obra de motoristas e operadores.

Func.	Necessidade diária (kcal/H dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho (dias/ano)	Energia (J)
Homens				
24	$3,00 \times 10^3$ *	4186	265	$7,99 \times 10^{10}$
Total 30 anos				$7,99 \times 10^{10}$
Total ano				$2,66 \times 10^9$

De acordo com a empresa 24 motoristas e operadores seriam necessários para a implantação do sistema.

Nota 4. Detalhamento de cálculo da mão-de-obra.

Tabela E - 4. Cálculo da mão-de-obra de motoristas e operadores.
culo do asfalto utilizado.

Área (m ²)	Densidade (kg/m ³)	Camada betuminosa (m)	Conversão De unidade (g/kg)	Energia (g/ano)
8.750	$1,2 \times 10^3$	0,04	$1,0 \times 10^3$	$1,10 \times 10^4$
Total 10 anos				$1,10 \times 10^4$
Total ano				$1,10 \times 10^3$

Nota 5. Detalhamento das telhas de fibrocimento para cobertura.

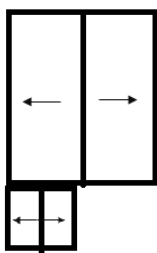
Tabela D-5. Massa de telhas de fibrocimento.

Item	Área (m ²)	Quant. Águas	Densidade (kg/m ²)	Conversã (g/kg)	Total (g/ano)
Telhado Prédio I	8.570,72	2	9,21*	$1,0 \times 10^3$	$1,58 \times 10^8$
Predio II	487,20	2	9,21	$1,0 \times 10^3$	$8,97 \times 10^6$
Fech.Frontal I	887,04	2	9,21	$1,0 \times 10^3$	$1,63 \times 10^7$
Portaria	8,12	2	9,21	$1,0 \times 10^3$	$1,50 \times 10^5$
Fech.Frontal II	277,2	2	9,21	$1,0 \times 10^3$	$5,11 \times 10^6$
Total 10 anos					$1,88 \times 10^8$
Total					$1,88 \times 10^7$

* Total Telhas, 2015.

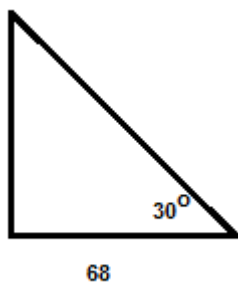
Tendo em vista que as medidas do prédio principal perfazem 128 x 136 metros Determinando a largura do telhado por meio da hipotenusa.

Considerando que a largura do telhado é de 128m, logo a metade corresponde a 64m, que corresponde a duas águas de 64 metros.



Prédio principal:

Determinando um triângulo retângulo com um ângulo de 30 graus, temos como largura



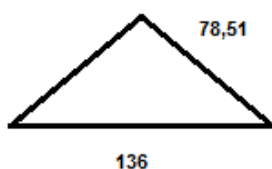
Para determinar a hipotenusa utilizou-se a fórmula do cosseno em trigonometria.

Sendo que o cosseno de 10 graus é 0,9848, logo, $0,9848 = \frac{64}{h}$

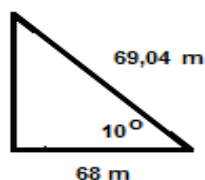
$h = 63,02 \text{ m}$.

Logo, cada água terá 63,02m de largura por 136m de comprimento, perfazendo o total de $8750,72 \text{ m}^2$ para cada água do telhado. As duas águas perfazem o total de $17.141,44 \text{ m}^2$. Foi utilizada a telha de fibrocimento trapezoidal N40, cujo peso é de $9,21 \text{ kg/m}^2$ (ABCEM, 2015).

Cálculo do fechamento frontal



Determinando a altura do triângulo:



Utilizando o teorema de Pitágoras temos:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$(68)^2 + x^2 = (69,04)^2 =$$

$$4624 + x^2 = 4,816,36 \text{ m}$$

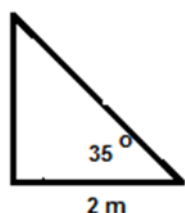
$$X^2 = 4.816,36 - 4624 = 13,86 \text{ m}$$

Sabendo que a área do triângulo é dada por $A = \frac{b \cdot h}{2}$, temos:

$$A = \frac{128 \times 13,86}{2} = 887,04 \text{ m}^2$$

Portaria

A portaria perfaz uma área de 12 m^2 (4 x 3). O lado maior para o telhado é dividido em duas águas. Para determinar a área faz-se necessário determinar a hipotenusa do triângulo abaixo, para isso, utilizamos a fórmula do cateto adjacente.



Cosseno de 10°. É 0,984, ENTÃO $0,9848 = \frac{2}{h}$, $h = 2,030$, o valor da hipotenusa corresponde a medida necessária para o preenchimento com as telhas. $2,03 \times 4 =$ logo a área a ser coberta por cada água do telhado corresponde a $8,12 \text{ m}^2$.

Cálculo da cobertura II

A cobertura II compreende uma área de $24 \times 40 \text{ m}$.

Utilizando-se o lado de 24m para divisão de duas águas temos:

$0,9848 = \frac{12}{h}$, o valor da hipotenusa corresponde a 12, 18m, que multiplicado pela largura de 40 metros, perfaz um total de $487,2 \text{ m}^2$ para cada água do telhado.

Fechamento frontal do telhado II.

A altura corresponde ao prédio I por motivos de estética, logo

$$A = \frac{40 \times 13,86}{2} = 277,2 \text{ m}^2 \text{ para metade do fechamento.}$$

Nota 6. Cálculo da massa de concreto armado utilizados na construção dos prédios.

Tabela D-6. Tabela do consumo total de concreto armado.

item	Energia (J)
Prédios	$1,15 \times 10^8$
Fosso de recebimento de RSU	$1,63 \times 10^7$
Contra piso dos prédios	$1,53 \times 10^8$
Total ano	$2,85 \times 10^8$

Tabela D-6a. Cálculo da massa de concreto armado utilizada na construção dos prédios do sistema.

Prédio	Paredes	Base (m)	Altura (m)	Espessur (m)	Densidad (kg)/(m³)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
1	1	136	16	0,15*	2.500**	$1,00 \times 10^3$	$8,16 \times 10^8$
1	1	128	16	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$7,68 \times 10^8$
1	1	152	16	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$9,12 \times 10^8$
1	1	40	16	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$2,40 \times 10^8$
1	1	24	16	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$1,44 \times 10^8$
1	1	96	16	0,15	2.500	$1,00 \times 10^3$	$5,76 \times 10^8$
Total 30 anos				$1.382,4 \text{ m}^3$		13600	$3,46 \times 10^9$
Total anos							$1,15 \times 10^8$

*Comunidade da Construção 2015, ** Maluf 2015.

A massa de blocos foi calculada na metragem quadrada que cada parede apresenta (base x altura). Foi utilizada a UEV (Unidade de Energia Valorada) de $1,35 \times 10^9$ (Haukoos, 2002), com fator de correção de 1,68. A vida útil foi estimada em 30 anos.

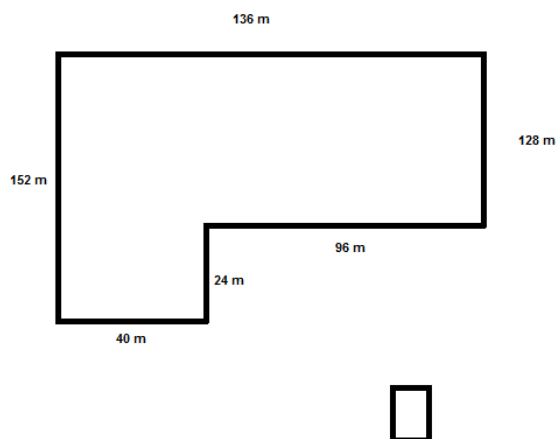


Figura E-1- Representação das medidas do prédio do sistema Tocha de Plasma.

Tabela D-6b. Cálculo da massa de concreto do fosso de recebimento de RSU.

Paredes	Área (m ²)	Espessura (m)	Concreto (m ³)	Densidade. (t/m ³)	Conversão de unidade (g/t)	Total (g/ano)
2	360	0,10	72	2,50*	$1,00 \times 10^6$	$1,80 \times 10^8$
2	176	0,10	35,2	2,50	$1,00 \times 10^6$	$8,80 \times 10^7$
1	880	0,10	88	2,50	$1,00 \times 10^6$	$2,20 \times 10^8$
Total 30 anos						$4,88 \times 10^8$
Total ano						$1,63 \times 10^7$

O Fosso de recebimento de RSU compreende 44 metros de comprimento, 20m de largura e 9 m de profundidade.

Tabela D – 6c. Detalhamento do cálculo de massa de concreto do contra-piso dos prédios.

Prédio	Área (m ²)	Espessura (m)	Concreto (m ³)	Densidade. (t/m ³)	Conversão de unidade (g/t)	Total (g/ano)
1	18.368	0,10	1.836,8	2,50*	$1,00 \times 10^6$	$4,59 \times 10^9$
2	12	0,10	2,4	2,50	$1,00 \times 10^6$	$6,00 \times 10^6$
Total 30 anos						$4,60 \times 10^9$
Total ano						$1,53 \times 10^8$

A área do piso de cada prédio foi estimada conforme as medidas da Figura E-1, que corresponde a uma área de 152x40m e 128x96m, totalizando 18.368m. A UEV utilizada é de Buranakarn, 1998 ($1,54 \times 10^9$ sej/g), considerando na tabela o fator de correção de 1,68.

Nota 7. Detalhamento de cálculo da massa de aço galvanizado.

Tabela D-7. Cálculo da massa de aço galvanizado

item	Energia (J)
Alambrado	$5,43 \times 10^5$
Postes	$4,23 \times 10^6$
Portas	$8,98 \times 10^4$
Chaminés	$1,81 \times 10^6$
Telhado	$2,58 \times 10^7$
Total ano	$3,25 \times 10^7$

O perímetro do sistema corresponde A 700 metros.

Tabela D-7a .Cálculo da massa de aço do alambrado galvanizado do cercamento.

Item	Comprimento (m)	altura (m)	Peso* (kg/m ²)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Alambr.	700	2,5	3,1*	$1,00 \times 10^3$	$5,43 \times 10^6$
Total 10 anos					$5,43 \times 10^6$
Total ano					$5,43 \times 10^5$

*Comtelas,2015.

Tabela D-7b. Cálculo da massa dos postes de aço do cercamento do perímetro do sistema.

Item	Comprimento (m)	Quantidade (un)	Peso* (kg/m ²)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Poste	2,7	234	67*	$1,00 \times 10^3$	$4,23 \times 10^7$
Total 10 anos					$4,23 \times 10^7$
Total ano					$4,23 \times 10^6$

** Grampotela, 2015.

A área do sistema compreende 30.000 m². Estimou-se a area como tendo 200 x 150 m. O projeto de cercamento consiste em 700 m alambrado. A altura da tela é de 2,5 metros. O perímetro da área é de 700 metros. Os postes de metal são colocados a cada 3 metros, totalizando 234 postes.

Tabela D-7c. Cálculo da massa de aço das portas

Item	Quant (un)	Massa (Kg)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
Porta de aço	2	449	$1,0 \times 10^3$	$8,98 \times 10^5$
TOTAL 10 ANOS				$8,98 \times 10^5$
TOTAL ANO				$8,98 \times 10^4$

Informações fornecidas por Thalita da empresa Zelina Portas de Aço Ltda, de uma porta de 5 x 7 m automatizada cujo peso unitário é de 449 kgs. Informações cedidas em 13/07/2015.

Tabela D-7d. Calculo de massa de aço das chaminés

Item	Quant. (un)	Largura (m)	Altura (m)	Espessura (m)	Densidade (kg/m ³)	Conversão (g/kg)	Total (g)
Chaminés	02	6,28	30	0,006	$8,00 \times 10^3$	$1,00 \times 10^3$	$1,81 \times 10^7$
TOTAL 10 ANOS							$1,81 \times 10^7$
TOTAL/ANO							$1,81 \times 10^6$

Tabela D- 7e. Cálculo de massa de aço galvanizado para construção do telhado

Item	Área (m ²)	Kg/aço/m ² (kg)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
Aço Prédio 1	9.057,92*	28,5**	$1,0 \times 10^3$	$2,58 \times 10^8$
TOTAL 10 ANOS				$2,58 \times 10^8$

TOTAL ANO	2,58x10 ⁷
* Tabela E-3 **(D'Ambert,2004)	

Nota 8. Cálculo de aço estrutural.

Tabela D-8. Detalhamento do cálculo de massa de aço utilizada no concreto armado do sistema

Item	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Piso	1838,00	150*	1,00x10 ³	2,76x10 ⁸
Prédios	9.057,92	150	1,00x10 ³	1,36x10 ⁹
Total 50 anos				1,63x10 ⁹
Total ano				3,27x10 ⁷

Em todas as edificações utiliza-se concreto contendo aço em sua estrutura. Neste estudo considerou-se 150 kg de aço para cada metro cúbico de concreto (Silva, 2006), utilizados nas lajes e pisos. O volume de concreto foi estimado na tabela D -3.

. Detalhamento de cálculo da massa de aço dos veículos utilizados na implantação do sistema.

Tabela D-9. Cálculo de massa de aço de máquinas e equipamentos.

item	Massa (g)
Veículos & Equip	2,35x10 ⁷
Balança	4,00x10 ⁴
Cranes	6,27x10 ⁴
Reator	1,49x10 ⁷
Eletroimã	7,20x10 ⁴
Turbinas	9,40x10 ⁶
Limpeza de gases	9,20x10 ⁴
Resfriadores	4,50x10 ⁵
Exaustão de ar	7,00x10 ⁵
Sist. Admissão de ar	5,00x10 ⁶
Triturador	1,80x10 ⁶
Silo para carvão coque	1,00x10 ⁷
Total ano	9,12x10 ⁷

Tabela D-9a. Cálculo da massa de aço dos veículos

Unidade (un)	Equipamento	Massa (kg)	Conversão De unidade (g/kg)	Massa (g/ano)
02	Retroescavadeira*	5.780*	1,00x10 ³	1,16x10 ⁷
01	Guindaste >200 t**	35.000	1,00x10 ³	3,50x10 ⁷
01	Guindaste >100 t	23.883	1,00x10 ³	2,39x10 ⁷
01	Guindaste > 50 t	18.580	1,00x10 ³	1,86x10 ⁷
01	Escavadeiras*	10.210	1,00x10 ³	1,02x10 ⁷

01	Tratores	3.220	$1,00 \times 10^3$	$3,22 \times 10^6$
01	Trator Esteira D6	17.000	$1,00 \times 10^3$	$1,70 \times 10^7$
03	Caminhões basculante	18.000	$1,00 \times 10^3$	$5,40 \times 10^7$
01	Caminhão Muck	2918	$1,00 \times 10^3$	$2,92 \times 10^6$
01	Caminhão pipa	4.750	$1,00 \times 10^3$	$4,75 \times 10^6$
01	Comboio Abastec	9.000	$1,00 \times 10^3$	$9,00 \times 10^6$
02	Utilitários	1.000	$1,00 \times 10^3$	$2,00 \times 10^6$
02	perfuratrizes	2.450	$1,00 \times 10^3$	$4,90 \times 10^6$
02	Rolo compactador	6.850	$1,00 \times 10^3$	$1,37 \times 10^7$
02	Betoneira	11.925	$1,00 \times 10^3$	$2,39 \times 10^7$
Total 10 anos				$2,35 \times 10^8$
Total				$2,35 \times 10^7$

Para o cálculo da massa das máquinas e equipamentos foi estimado o tempo proporcional de uso das perfuratrizes e guindastes (200 e 100 toneladas), guindaste de 200 toneladas (72.000) foi estimada sua utilização em um período de 5 meses, perfazendo 30.000 kg/ano, enquanto que o de 100 (70.000 kg) toneladas foi estimado para um período de 7 meses, perfazendo o total de 40.833 kg/ano. O tempo de uso das perfuratrizes foram estimadas num período de 2 meses (14.700 kg), contabilizando 2.450 kg/ano. Os demais equipamentos correspondem ao uso de 12 meses.

Tabela D-9b. cálculo da massa de aço das balanças utilizadas na pesagem do RSU

Item	Quant. (un)	kg (t)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
Balança	01	400*	$1,0 \times 10^3$	$4,00 \times 10^5$
TOTAL 10 ANOS				$4,00 \times 10^5$
TOTAL ANO				$4,00 \times 10^4$

*Rei das Balanças, 2015

Tabela D-9c. cálculo da massa de aço dos cranes (gruas), utilizados

Quant. (un)	Massa (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
01	627*	$1,00 \times 10^3$	$6,27 \times 10^5$
Total 10 anos			$6,27 \times 10^5$
Total ano			$6,27 \times 10^4$

Logismarket (2015).

Tabela D-9d. Cálculo da massa de aço do Reator

Item	Quant. (un)	Massa (t)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
	1	149*	$1,0 \times 10^6$	$1,49 \times 10^8$
Total 10 anos				$1,49 \times 10^8$
Total ano				$1,49 \times 10^7$

*RGT International

Tabela D-9e. Cálculo de massa do eletroímã.

Item	Quant (un)	Peso (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
Eletroímã	1	720*	$1,00 \times 10^3$	$7,20 \times 10^5$

Total 10 anos	$7,20 \times 10^5$
TOTAL ANO	$7,20 \times 10^4$

* Marquitech (2014)

Tabela D-9f. Cálculo de massa da Turbinas a gás

Item	Quant	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(t)	(g/kg)	(g)
Turbina Geradora	2	47*	$1,00 \times 10^6$	$9,40 \times 10^7$
Total 10 anos				$9,40 \times 10^7$
TOTAL ANO				$9,40 \times 10^6$

*Mitsubishi Hitashi Power Systems, 2015.

As informações sobre quantidade e modelo a que se refere esta nota foram concedidas em contato telefônico no dia 20/08/2015 com o sr. Carlos Takeo, representante da RGT no Brasil.

São utilizados duas turbinas modelo G-25 da MitsubisG-Hitash com eficiência de 34,2%.

Tabela D-9g. Cálculo da massa de aço do sistema de Limpeza de gases

Item	Quant.	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(kg)	(g/kg)	(g)
Limpeza de gases	1	920*	$1,00 \times 10^3$	$9,20 \times 10^5$
Total 10 anos				$9,20 \times 10^5$
TOTAL ANO				$9,20 \times 10^4$

Engelopes, 2015

A massa do equipamento foi estimada em 920 Kg. A potência elétrica é de 2,5 kw/h (Engelopes, 2015).

Tabela D-9h. Cálculo de massa dos Resfriadores (schiller)

Item	Quant.	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(t)	(g/kg)	(g)
Schiller	1	4,5*	$1,00 \times 10^6$	$4,50 \times 10^6$
Total 10 anos				$4,50 \times 10^6$
Total ano				$4,50 \times 10^5$

* tecnogeradores, 2015

Tabela D-9i. Cálculo da massa de aço do Sistema de exaustão de ar

Item	Quant.	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(t)	(g/kg)	(g)
Sopradores	1	7,0*	$1,00 \times 10^6$	$7,00 \times 10^6$
Total 10 anos				$7,00 \times 10^5$
TOTAL ANO				$7,00 \times 10^5$

Mitsubishi Hitashi, 2015.

Tabela D-9j. Cálculo de massa de aço do Sistema de admissão de ar.

Item	Quant	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(t)	(g/kg)	(g)
	1	51	$1,00 \times 10^6$	$5,10 \times 10^7$
Total 10 anos				$5,10 \times 10^7$
Total ano				$5,10 \times 10^6$

* Mitsubishi-Hitashi

Tabela D-9k. Cálculo de massa do Triturador de RSU

Item	Quant	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(t)	(g/kg)	(g)
Triturador	1	18*	$1,00 \times 10^6$	$1,80 \times 10^7$
Total 10 anos				$1,80 \times 10^7$
Total ano				$1,80 \times 10^6$

*Dimpsa, 2015

Tabela D-9I. Cálculo de massa do silo de armazenamento do coque de carvão e calcário.

Item	Quant.	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(un)	(t)	(g/kg)	(g)
Silo	2	5*	$1,00 \times 10^6$	$1,00 \times 10^7$
Total 10 anos				$1,00 \times 10^7$
Total ano				$1,00 \times 10^6$

Shelley Engineering Co, 2012

Tendo em vista que a densidade do carvão coque é de $1,2 \text{ kg/dm}^3$, ou 1.200 kg/m^3 , logo o volume ocupado é de 1.708 m^3 . A densidade do calcário é de 1.400 kg/m^3 , sendo necessários 2890 m^3 .

Nota 10. Detalhamento de cálculo do consumo de oxigênio do reator.

Tabela D-10. Consumo de oxigênio do reator.

Item	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(kg)	(g/kg)	(g)
Oxigênio	1.611.200	$1,00 \times 10^3$	$1,61 \times 10^9$
TOTAL ANO			$1,61 \times 10^9$

De acordo com Ducharme (2010) são consumidos 304 kg/t de RSU. A equação de gaseificação mostra que um mol de resíduos combustíveis requer 3 moles de oxigênio. Considerando os pesos moleculares, 148 kg de $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$, precisamos de $3 \times 32 = 96 \text{ kg}$ de oxigênio. Assim, a quantidade de oxigênio necessária para gaseificar uma tonelada de RSU é: $1000 \text{ kg} \times 60\% \times 96/146 = 304 \text{ kg}$ de oxigênio (DUCHARME, 2010). Uma planta de $200 \text{ t/d} \times 256 \text{ d/ano} = 5.300 \text{ t}$ de RSU, . ($5.300 \times 304 = 1.611.200 \text{ kg}$ de oxigênio).

Nota 11. Consumo de coque pelo reator

Tabela D-11. Cálculos da massa do coque.

Item	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(t)	(g/kg)	(g)
Carvão	2.048	$1,00 \times 10^6$	$2,05 \times 10^9$
TOTAL ANO			$2,05 \times 10^9$

São utilizados 4% do total da massa de RSU para elevar a temperatura do reator.

(Young, 2012; Ducharme, 2010). Tendo em vista que são tratados 200 t de RUS diariamente, o total de carvão utilizado em um ano corresponde a 2.048 toneladas de carvão. ($200 \times (4/100) \times 256 = 2048$)

Nota 12. Consumo de diesel

Tabela D-12. Consumo de diesel pelos veículos utilitários.

Item	Quant.	Horas de trabalho	Consumo de diesel	Densidade	Fator de Conversão	Poder calorífico	Energia
(un)		(h.máq.)	(L/h.máq.)	(kg/L)	(kcal/kg)	(J/kcal)	(J)
Utilitários	02	1.680	7*	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$9,55 \times 10^{11}$
Total							$9,55 \times 10^{11}$

Nota 13. Detalhamento de cálculo da Mão-de-obra.

Tabela D -13. Mão de obra da operação.

Func.	Período	Necessidade diária	Conversão de unidade	Trabalho	Energia
Homens		(kcal/H dia)	(J/kcal)	(dias/ano)	(J)
72*		$3,00 \times 10^3$ *	4186	265	$2,40 \times 10^{11}$
TOTAL					$2,40 \times 10^{11}$

*RGT Internacional, 2016.

O período de funcionamento é de 22 horas por dia, com 24 funcionários em jornada de trabalho de 8 horas por dia. Para estimar a quantidade os cálculos sem a produção de energia elétrica, foram descontados 3 funcionários do sistema (RGT International).

Nota 14. Consumo do calcário.

Tabela D-14. Demonstrativo de cálculo da massa do calcário.

Item	Peso (t)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
Calcário	4,045	$1,00 \times 10^6$	$4,05 \times 10^9$
Total			$4,05 \times 10^9$

Para o consumo do calcário utiliza-se 7,9% da massa de RSU (RGT, Ducharme, 2010).

$$(200 \times 256 \times 7,9/100) = 4.044,8 \text{ toneladas anuais.}$$

Nota 15. Consumo de água

Tabela D – 15. Demonstrativo do consumo de água.

Consumo (m³/ano)	Água (m³/ano)
$1,6 \times 10^3$ *	$1,6 \times 10^3$
TOTAL	$1,6 \times 10^3$

* RGT International, 2013.

O lavador de gases consome 340 litros por dia, que corresponde a 0,34 m³/dia.

Nota 16. Energia Bruta Gerada.

Tabela D– 16. Demonstrativo de cálculo da Energia gerada.

RSU	Energia Bruta Gerada	Energia total	Conversão	Energia
(t/ano)	(kWh/t)	(kWh/ano)	(kWh/J)	(kWh/ano)
$9,28 \times 10^4$	929	$8,62 \times 10^7$	$3,6 \times 10^6$	$3,10 \times 10^{14}$
TOTAL				$3,10 \times 10^{14}$

De acordo com Ducharme (2010) a Energia gerada por uma planta da Whestinghouse é de 929 kW/h por tonelada de RSU tratado. Este cálculo é com base na capacidade de tratamento de RSU do sistema e não expressa o que é tratado anualmente pelo sistema.

Nota 17. Energia líquida (excedente comercializável).

Nota D – 17. Demonstrativo de cálculo da energia elétrica excedente.

	RSU	Energia Bruta Gerada	Energia total	Conversão	Energia
	(t/ano)	(kWh/t)	(kWh/ano)	(J/kWh)	(J/ano)
Energia	$9,28 \times 10^4$	617	$5,73 \times 10^7$	$3,6 \times 10^6$	$2,06 \times 10^{14}$
Tota ano					$2,06 \times 10^{14}$

De acordo com Ducharme (2010), a energia líquida de uma planta da Whestinghouse é de 617 kWh/t de RSU (p.61). Este cálculo é com base na capacidade de tratamento de RSU do sistema.

Nota 18. Cálculo do benefício da energia elétrica excedente.

Tabela D-18. Cálculo do benefício da energia excedente.

Energia Gerada	Transformidade	Energia
(J/ano)	(sej/J)	(sej/ano)
$2,06 \times 10^{14}$	$1,47 \times 10^5 *$	$3,03 \times 10^{19}$

Giannetti *et al.*, 2015.

Nota 19. Energia consumida pelas tochas.

Tabela D – 19. Demonstrativo de cálculo da energia elétrica consumida pelos maçaricos de plasma.

RSU	Energia utilizada	Energia total	Conversão	Conversão	Energia
(t/ano)	J/h.t)	(J/ h.t)	(d/ano)	(h/dia)	(kWh/ano)
5.300	115	$6,10 \times 10^5$	265	22	$3,55 \times 10^9$
				$3,55 \times 10^9$	

De acordo com Ducharme (2010), para uma tonelada, em uma hora, utiliza-se a energia de 115 J.

Apêndice E. Memorial de cálculo da tocha de plasma sem a produção de energia.

Para estimar a energia do sistema sem a produção de energia, utilizou-se a Tabela E-18, com o cálculo do sistema de tocha de plasma com produção de energia elétrica, cujo valor total de energia corresponde a: $3,23 \times 10^{18}$ sej, com informações foram fornecidas pela RGT International.

Nota 1. Cálculo de massa de aço de máquinas e equipamentos.

Foram descontadas as turbinas do Apêndice E, nota 9, Tabela E-9, descrita abaixo.

Tabela D-9. Cálculo de massa de aço de máquinas e equipamentos.

item	Massa (g)
Veículos & Equip	$2,35 \times 10^7$
Balança	$4,00 \times 10^4$
Cranes	$6,27 \times 10^4$
Reator	$1,49 \times 10^7$
Eletroimã	$7,20 \times 10^4$
Turbinas	$9,40 \times 10^6$
Limpeza de gases	$9,20 \times 10^4$
Resfriadores	$4,50 \times 10^5$
Exaustão de ar	$7,00 \times 10^5$
Sist. Admissão de ar	$5,00 \times 10^6$
Triturador	$1,80 \times 10^6$
Silo para carvão coque	$1,00 \times 10^7$
Total ano	$9,12 \times 10^7$

Logo, $2,35 \times 10^7 - 9,40 \times 10^6 = 5,18 \times 10^7$ gramas.

Portanto o total da massa de máquinas e equipamentos para o cálculo de energia da tocha de plasma sem geração de energia corresponde a $5,18 \times 10^7$ gramas.

Nota 2. Cálculo da mão-de-obra.

Foram descontados os valores de energia correspondente a 9 funcionários (3 para cada turno) que operam nesses sistemas, com base na Tabela E-13, Nota 13 do Apêndice E. A Tabela F-1 apresenta o total de mão-de-obra que será descontada da Tabela E-13.

Tabela D -13. Mão de obra da operação.

Func.	Período	Necessidade diária	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho	Energia
Homens		(kcal/H dia)		(dias/ano)	(J)
72*		$3,00 \times 10^3$ *	4186	265	$2,40 \times 10^{11}$
TOTAL					$2,40 \times 10^{11}$

*RGT Internacional, 2016.

Tabela E-1 Cálculo da energia da mão-de-obra a ser descontada.

Func.	Período	Necessidade diária	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho	Energia
Homens		(kcal/H dia)		(dias/ano)	(J)
9*		$3,00 \times 10^3$ *	4186	265	$3,00 \times 10^{10}$
TOTAL					$3,00 \times 10^{10}$

Apêndice F. Memorial de cálculo do sistema de tratamento por pirólise

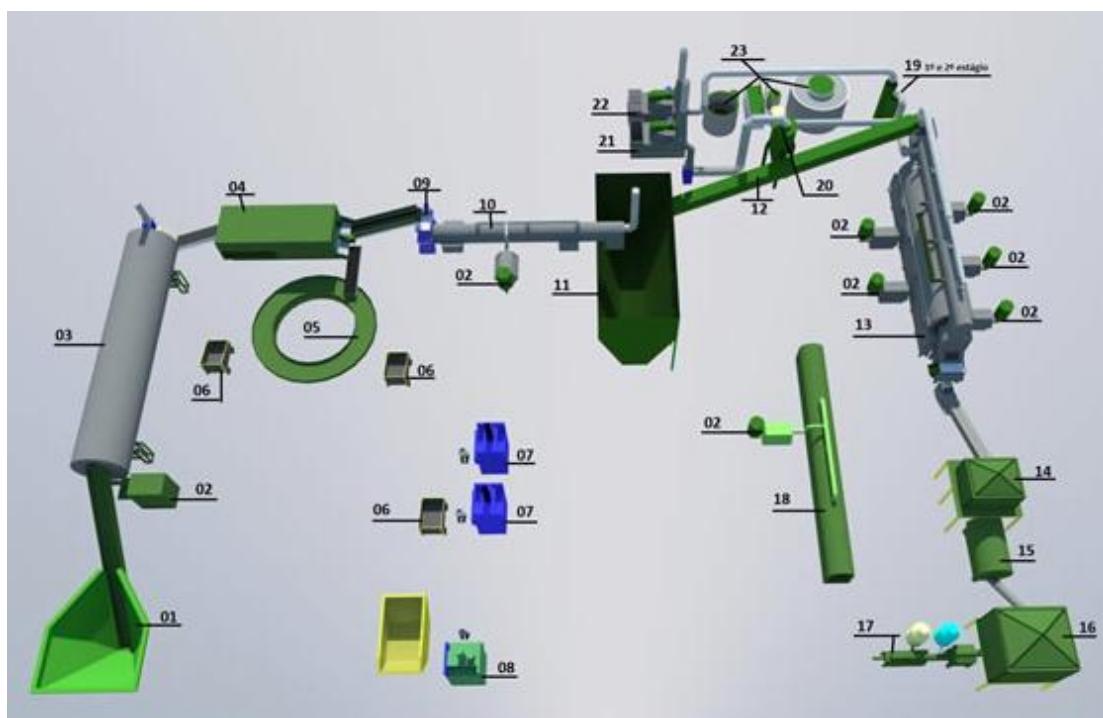


Figura F-1. Diagrama dos equipamentos do sistema de pirólise

1. Moega de recebimento de Resíduos Sólido Urbano • Componentes: esteira de arraste e captação de líquidos (Este líquido é bombeado ao forno secador) •
2. Forno secador Capacidade: 5 th • Componentes: Caixa de combustão, controle de temperatura de trabalho com média de 120°C, sistema equalizado de exaustão e vaporização e campo magnético. • Função: Desumidificar os resíduos em até 20% / desodorizar em até 60% / retirar em 50% metais ferrosos.
3. Separador densimétrico • Capacidade: 5 t/h • Componentes: turbinas de aeração, esteiras de separação e campo magnético. • Função: Separar por densidade materiais recicláveis / polímeros, derivados de celulose, metais não ferrosos, embalagens etc.
4. Prensa de recicláveis • Capacidade: 2 t/h
5. Triturador de vidros • Capacidade: 2 t/h

6. Triturador de orgânicos • Capacidade: 4 t/h • Componentes: Facas cilíndricas e esteira transportadora • Função: Desfragmentar numa granulometria de aproximadamente 5cm³ a sobra orgânica
7. Transportador rotativo térmico • Capacidade: 4 t/h • Componentes: Caixa de combustão, controle de temperatura de trabalho de 130°C e sistema equalizado de exaustão e vaporização • Função: Desumidifica a sobra orgânica desfragmentada em até 20% e desodoriza em até 60%
8. Moega de orgânicos • Capacidade: 50 ton • Componentes: esteira de arraste e captação de líquidos (Este líquido é bombeado à uma serpentina na câmara térmica do reator pirolítico para evaporação, captação e purificação dos gases e efluentes) • Função: recebe o material orgânico para alimentação do reator pirolítico.
9. Transportador alimentador blindado • Capacidade: 20 t/h • Componentes: Motorização e blindagem • Função: Transporta o material orgânico para o reator pirolítico.
10. Reator pirolítico • Capacidade: 3 t/h • Componentes: Caixas de combustão, exaustão para ciclone, controle de temperatura, acionamentos mecânicos e hidráulicos, válvulas de controle de exaustão e vazão por painel eletroeletrônico, controle de giro. • Função: Piroliza a sobra orgânica com temperatura média de 370°C.
11. Silo de descarga do reator • Capacidade: 2,5 ton • Componentes: Equipamento blindado com fuso transportador e termopar para controle de temperatura • Função: recebe o material pirolizado do reator pirolítico
12. Célula de destorramento e peneiramento • Capacidade: 2,5 t/h • Componentes: Acionamento mecânico giratório, bolas de moinho e fuso transportador de finos. • Função: recebe o material pirolizado, resfria, corta combustão e transforma em moinha de carvão.
13. Silo de armazenamento • Capacidade: 20 ton • Componentes: Equipamento blindado com fuso transportador e termopar para controle de temperatura • Função: recebe a moinha do carvão gerado e armazena para briquetamento.
14. Briquetador • Capacidade: 2 t/h • Componentes: Sistema de extrusão, adicionamento de aglutinante e umidade controlada por painel eletroeletrônico. •

Função: Comprime a moinha de carvão misturada ao aglutinante e unidade para a formação de toletes.

15. Túnel secador de briquetes • Capacidade: 2 t/h • Componentes: Sistema fechado, caixa de combustão e exaustão. • Função: Seca os briquetes formados pelo briquetador

16. Condensador – 1º Estágio • Capacidade de trabalho: 3000 litros/ h • Temperatura de trabalho: 200°C • Componentes: Sistema de tubos de troca de calor e controle de temperatura por termopar, acionado por painel eletromecânico e torre de resfriamento. • Função: condensa materiais graxos estimados em 40 Kg /dia • Material graxo é coletado e utilizado como combustível de queima na caixa de combustão. • Condensador – 2º Estágio • Temperatura de trabalho: 75°C • Capacidade de trabalho: 3000 litros/ h • Componentes: Sistema de tubos de troca de calor e controle de temperatura por termopar, acionado por painel eletromecânico e torre de resfriamento. • Função: condensa efluentes líquidos • Resultado condensado segue para o sistema de tratamento de efluentes. Os gases para sistema de lavagem (21)

17. Ciclone • Temperatura de trabalho: 150°C • Componentes: Sistema de exaustão e coleta. de cinzas e foligem • Função: retira as partículas de finos provenientes da queima das caixas de combustão e encaminha os gases para o sistema de lavagem (20)

18 – Sistema de lavagem dos gases • Temperatura de trabalho: 60°C • Gases capturados: HCl / Cl₂, Dioxinas, Furanos, Dióxido de Carbono (SO₂), Monóxido de Carbono (CO), Oxido de Azoto (NO_x) e outros • Função: O processo de absorção de gases com reação química, principalmente na absorção de VOC's, onde a concentração de dioxina e furanos são absorvida na ordem de ≥ 99,9 % essa absorção também se da com todos os gases mediante a composição da solução líquida do equipamento fragmentador de gases.

19. Sistema de tratamento dos efluentes • Capacidade: 6000 litros/ h • Componentes: Tanques, filtros arrastadores e resfriadores • Função: a água proveniente do lavador de gases e dos condensadores será tratada por sistema físico-químico, por hiper-aeração através de micro-bolhas de ar e separação do lodo por flotação.

Nota 1. Solo utilizado para o sistema.

Tabela F – 1. Energia do solo utilizada no sistema do Projeto Natureza Limpa.

Área (ha)	Conversão kg Eucalipto (kg/ha x ano)	Conversão De unidade (g/kg)	Conversão de unidade (kcal/g)	Conversão de unidade (J/kcal)	Energia (J/ano)
1,8	$4,00 \times 10^4$ *	$1,0 \times 10^3$	4,68	4186	$1,41 \times 10^{12}$
Total 30 anos					$1,41 \times 10^{12}$
Total ano					$4,70 \times 10^{10}$

* (Romitelli, 2000)

O sistema ocupa uma área de 18.000 m², localizado no município de Unaí-MG. A energia do solo foi calculada com base na produção de eucalipto que se deixou de produzir no período de um ano.

Nota 2. Mão de obra da implantação.

Tabela F – 2. Detalhamento do cálculo da mão de obra para implantação do sistema.

Item	obra (m ²)	Homem/hora (Hh/m ² / m ³)	Necessidade diária (kcal/H.dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Conversão de unidade (horas/dia)	Vida Útil	Energia (J/ano)
Asfalto	9.000	0,44*	$3,00 \times 10^3$	4186	8	50	$1,21 \times 10^8$
Paredes	1.792	3,5***	$3,00 \times 10^3$	4186	8	50	$1,97 \times 10^8$
Telhado	5110	3,13**	$3,00 \times 10^3$	4186	8	50	$5,02 \times 10^8$
Piso	2118	1,6**	$3,00 \times 10^3$	4186	8	50	$1,06 \times 10^8$
Fech.Lat.	624	3,13	$3,00 \times 10^3$	4186	8	50	$6,13 \times 10^7$
Total ano							$9,87 \times 10^8$
Total 30 anos							$3,29 \times 10^9$

*(Filho, 2009) **SBD– PLANEJAMENTO e PRODUTIVIDADE *** (Silva, 2006)

Nota 3. Asfalto utilizado para o sistema.

Tabela F – 3. Detalhamento do cálculo da manta de asfalto das ruas.

Área (m ²)	Densidade (kg/m ³)	Camada betuminosa (m)	Conversão De unidade (g/kg)	Energia (g/ano)
6.000	$1,2 \times 10^3$ *	0,04	$1,0 \times 10^3$	$2,88 \times 10^8$
TOTAL 10 anos				$9,60 \times 10^6$

*Sucrana (2014)

De acordo com informações in loco, a área do asfalto é de 9.000 m². A vida útil foi estimada em 10 anos (UFPR,2010).

Nota 4. Detalhamento dos cálculos referentes a massa dos artefatos de cimento.

Tabela F – 4. Resumo da massa de cimento utilizada no sistema.

Item	Massa (g)
Mourões	$4,86 \times 10^5$
Blocos	$1,02 \times 10^7$

TOTAL 25 ANOS	$1,07 \times 10^7$
---------------	--------------------

Tabela F – 4a. Detalhamento do cálculo de massa dos mourões.

Item	Quantidade(un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Mourões	270	45*	$1,0 \times 10^3$	$1,22 \times 10^7$
TOTAL 25 ANOS				$4,86 \times 10^5$

*(Artcompre,2013)

A área compreende 18.000m^2 , tendo $120 \times 150\text{m}$ a, logo o perímetro corresponde a 540 metros. Em visita in loco observou-se que o espaçamento entre os mourões corresponde a 2 metros. O período de vida útil foi considerado em 25 anos, de acordo com Thomson (2004).

Detalhamento de cálculo da massa de blocos utilizada na construção dos prédios do sistema.

Tabela F– 4b. Detalhamento do cálculo de massa dos blocos utilizados.

Prédio	Paredes	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Blocos* (bl)/(m ²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa (g)
1	2	40	3	240	12,5*	6000	13600	$4,08 \times 10^7$
	2	14	3	84	12,5	2100	13600	$1,43 \times 10^7$
2	2	20	6	240	12,5	3000	13600	$4,08 \times 10^7$
	2	20	6	240	12,5	3000	13600	$4,08 \times 10^7$
3	2	15	3	180	12,5	2250	13600	$3,06 \times 10^7$
	2	30	3	180	12,5	4500	13600	$3,06 \times 10^7$
4	2	20	3	120	12,5	3000	13600	$2,04 \times 10^7$
	2	30	3	360	12,5	4500	13600	$6,12 \times 10^7$
5	2	12	3	72	12,5	900	13600	$1,22 \times 10^7$
	2	8	3	48	12,5	600	13600	$8,16 \times 10^6$
6	2	3	2	12	12,5	150	13600	$2,04 \times 10^6$
	2	4	2	16	12,5	200	13600	$2,72 \times 10^6$
Total 30 ANOS				1792		18.825		$3,05 \times 10^8$
TOTAL ANO								$1,02 \times 10^7$

*Pavimenti Blocos (2014).

A Figura F-2 ilustra as instalações e suas respectivas medidas, aferidas in loco. A vida útil foi estimada em 50 anos.

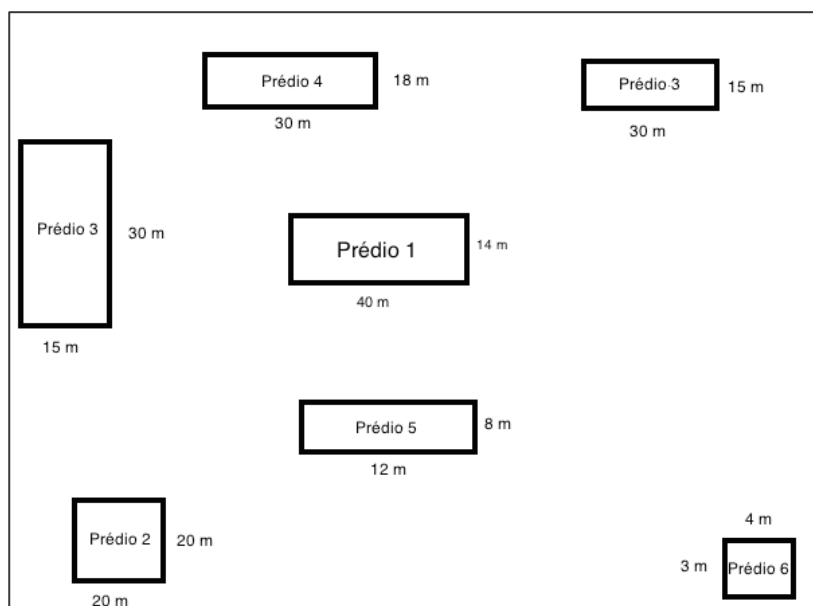


Figura F-2 . Esquema de instalações e medidas

NOTA 5. Demonstrativo dos cálculos de massa de concreto do contra-piso dos prédios.

Tabela F – 5. Detalhamento do cálculo de massa de concreto dos pisos.

Prédio	Área (m ²)	Espessura (m)	Concreto (m ³)	Densidade. (t/m ³)	Conversão de unidade (g/t)	Massa (g/ano)
1	560	0,10	56	2,70*	1,00x10 ⁶	1,51x10 ⁸
2	400	0,10	40	2,70	1,00x10 ⁶	9,72x10 ⁷
3	450	0,10	45	2,70	1,00x10 ⁶	1,22x10 ⁸
4	540	0,10	54	2,70	1,00x10 ⁶	1,46x10 ⁸
5	96	0,10	9,6	2,70	1,00x10 ⁶	2,59x10 ⁷
6	12	0,10	1,2	2,70	1,00x10 ⁶	3,24x10 ⁶
TOTAL 30 ANOS			201,8			5,45x10 ⁸
TOTAL ANO						1,82x10 ⁷

*(Cortesia Concreto, 2013)

Nota 6. Cálculo da massa de aço galvanizado.

Tabela f-6. Resumo da massa de aço galvanizado.

Item	Total (g/ano)
Alambrado	2,02x10 ⁵
Telhas Fech.Lat	3,18x10 ⁵
Telhas cobertura	2,74x10 ⁶
Fech.Lateral	5,35x10 ⁵
Estrut.Cobert.	2,77x10 ⁶
Total	6,56x10 ⁶

Tabela F – 6. Detalhamento do cálculo de massa de aço do alambrado para cercamento do perímetro do sistema e das telhas para fechamento lateral e cobertura dos prédios.

item	Comp. (m)	Largura (m)	Área (m ²)	Peso (kg/m ²)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
tela	540	2,0	1080	1,87*	1,0x10 ³	2,02x10 ⁶

TOTAL 10 ANOS	$2,02 \times 10^6$
TOTAL ANO	$2,02 \times 10^5$

*(Grampotela, 2014)

Tabela F – 6b. Detalhamento do cálculo de massa das telhas galvanizadas para fechamento lateral dos prédios 1 e 3.

Prédio	Paredes	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Peso (kg/m ²)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
1	2	40	3	240	5,36*	1000	$1,29 \times 10^6$
	2	14	3	84	5,36	1000	$4,50 \times 10^5$
3	2	30	3	180	5,36	1000	$9,65 \times 10^5$
	2	15	3	120	5,36	1000	$4,82 \times 10^5$
Total 10 anos							$3,18 \times 10^6$
Total ano							$3,18 \times 10^5$

*Regional Telhas (2014).

Os prédios 1 e 3 recebem fechamento lateral em telhas galvanizadas. As medidas foram aferidas in loco, conforme a tabela.

Tabela F – 6c. Detalhamento do cálculo de massa das telhas galvanizadas para cobertura.

Área (m ²)	Densidade* (kg)/(m ²)	Fator de Conversão (g/Kg)	Total (g/ano)
$5,11 \times 10^3$	5,36	1000	$2,74 \times 10^7$
Total 10 anos			$2,74 \times 10^6$

Para a cobertura, considerou-se a NBR 8039, que de acordo com a Figura F-3, expressa as metragens utilizadas.

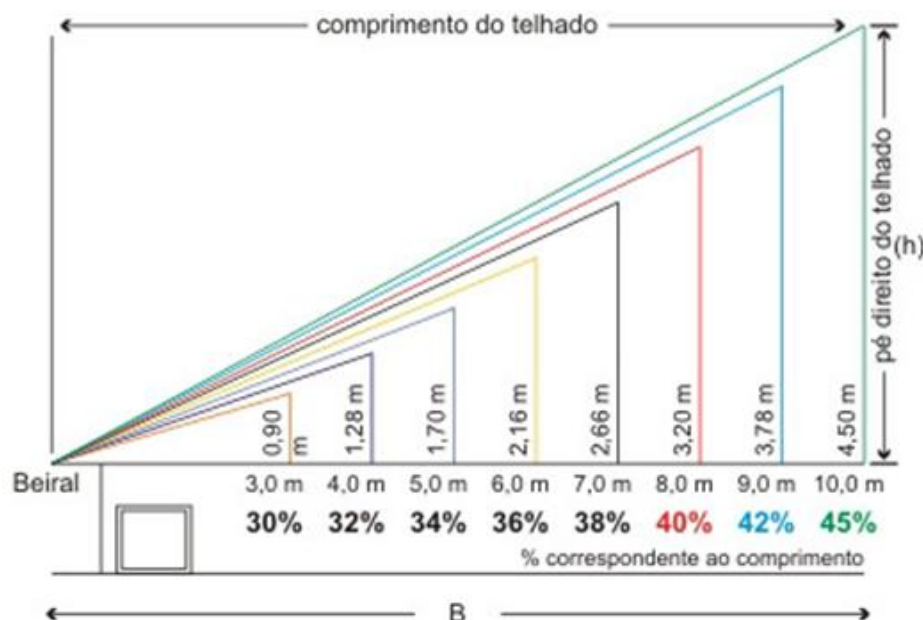


Figura F-3 – Medida considerada na inclinação do telhado

Cálculo da metragem quadrada do telhado, considerando a inclinação:

Prédio 1 : dimensões de 40x 14, considerando duas águas na extensão de 7 metros :

De acordo com o Teorema de Pitágoras:

$$x^2 = 2,66^2 + 7^2 =$$

$$x^2 + 7,0756 + 49 \Rightarrow x^2 = 56,0756 \Rightarrow x = 7,48 \text{ metros}$$

Considerando duas águas:

$$7,48 \times 2 = 14,96$$

$$\text{area total do telhado do prédio 1: } 14,96 \times 40 = 598,4 \text{ m}^2$$

Prédio 2:

Dimensões: 20 x 20 metros

Considerando duas águas de 10 metros:

$$x^2 = 10^2 + (4,5)^2 =$$

$$x^2 = 100 + 20,25 =$$

$$x = 10,96 \text{ metros}$$

Considerando duas águas:

$$10,96 \times 2 = 21,92$$

$$21,92 \times 20 =$$

$$\text{Total: } 438,4 \text{ m}^2$$

Prédio 3:

Dimensões: 15 x 30

Considerando duas águas de 8 metros

$$x^2 = 30^2 + (8)^2 =$$

$$x^2 = 900 + 64 =$$

$$x = 31,04 \text{ metros}$$

$$2 \times 31,04 = 62,08$$

$$62,08 \times 30 =$$

$$\text{Total: } 1.862,4 \text{ m}^2$$

Prédio 4:

Dimensões: 20 x 30

Considerando duas águas de 10 metros:

$$x^2 = 30^2 + 10^2 =$$

$$x^2 = 900 + 100 =$$

$$x = 31,62 \text{ metros}$$

$$31,62 \times 2 = 63,24$$

$$63,24 \times 30 =$$

$$\text{Total: } 1.897,20 \text{ m}^2$$

Prédio 5:

Dimensões: 8 x 12 metros

Considerando duas águas de 4 metros:

$$x^2 = 12^2 + 4^2 =$$

$$x^2 = 144 + 16 = 160$$

$$x = 12,64 \text{ metros}$$

$$12,64 \times 2 = 25,28$$

$$25,28 \times 12 =$$

$$\text{Total} = 303,36$$

Prédio 6:

Dimensões:

4 x 3, considerando uma água de 3 metros

$$x = 4 \times 3$$

$$x = 12 \text{ metros}$$

Total de metros quadrados de telhas galvanizadas utilizadas nos telhados do empreendimento: 5111,76 m².

Tabela F -6d. Detalhamento do cálculo de massa de aço para fechamento lateral

Prédio	Paredes	Área (m ²)	Densidade (kg/m ²)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
1	(14x6)	84	9	1,00x10 ³	7,56x10 ⁵
1	(40x6)	240	9	1,00x10 ³	2,16x10 ⁶
3	(30x6)	180	9	1,00x10 ³	1,62x10 ⁵
3	(15x6)	90	9	1,00x10 ³	8,10x10 ⁵
Total 10 anos					5,35x10 ⁶
Total ano					5,35x10 ⁵

Em virtude do prédio 1 possuir uma altura de 3 metros de construção de alvenaria e possuir 6 metros de altura, logo sobram 3 metros de fechamento de telhas galvanizadas. Como são duas paredes de 14x3, optou-se por contabilizar 1 parede de 14 x 6, pois D'alambert trabalha com a altura de 6 metros. De acordo com D'Alambert, o peso de aço por metro quadrado varia de 6 a 12 kg/m², neste estudo optou-se pela media, ou seja 9 kg/m².

Tabela F – 6e Detalhamento do cálculo de massa de aço para construção dos galpões.

Prédio	Área (m ²)	Densidade (kg/m ²)	Conversão de unidade (g/t)	Massa (g/ano)
1 (9x40)	360	23*	1,00x10 ³	8,28x10 ⁶
1 (6x40)	240	30*	1,00x10 ³	7,20x10 ⁶
3 (6x30)	180	23	1,00x10 ³	4,14x10 ⁶

3 (9x30)	270	30	$1,00 \times 10^3$	$8,10 \times 10^6$
Total 10 anos				$2,77 \times 10^7$
Total ano				$2,77 \times 10^6$

*(D'Alambert, 2004)

O prédio 1, de dimensões de 40x 14, de acordo com D'ALAMBERT, 2004, este estudo considerou a velocidade do vento de 30 a 45 m/S , obedecendo os padrões da estação climatológica de Unaí (INMET, 2014). Em virtude da largura ser de 14m, considerou-se dois galpões, um sendo de 9x40 e outro de 6x40, pelo fato do estudo do D'Alambert (2004) contemplar somente essas larguras em seu trabalho.

A quantidade de aço para o fechamento lateral, segundo D'Alambert (2004), depende da área, o que justifica para este estudo ter sido utilizado 23 e 30 kg/m².

Nota 7. Cálculo da massa de concreto

Tabela F – 7 Detalhamento do cálculo do aço estrutural.

Item	Volume (m ³)	Densidade aço de concreto (kg/m ³)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Concreto	201,8	150*	$1,00 \times 10^3$	$3,03 \times 10^7$
Total 30 anos				$3,03 \times 10^7$
Total ano				$1,01 \times 10^6$

De acordo com a Nota 5, Tabela G-5, perfazem 201,8 metros cúbicos.

Nota 8. Cálculo da massa de aço para máquinas e equipamentos.

Tabela F – 8 Resumo da massa de aço e equipamentos.

Ítem	Massa (g/ano)
Moega	$4,95 \times 10^3$
Forno Rotativo	$1,97 \times 10^6$
Prensas	$3,48 \times 10^5$
Triturador vidro	$3,0 \times 10^5$
Triturador Org.	$4,7 \times 10^5$
Eletroimã	$7,2 \times 10^4$
Reator	$5,50 \times 10^6$
Silo Desc. 2,5 t	$3,20 \times 10^5$
Célula de Destor.	$6,0 \times 10^3$
Silo Armaz.	$1,0 \times 10^5$
Briquetador	$3,7 \times 10^5$
Queimador Briq.	$1,0 \times 10^6$
Condensador	$4,00 \times 10^4$
Ciclone	$1,10 \times 10^5$
Balança	$4,00 \times 10^4$
Trat. Efluente	$6,00 \times 10^4$
TOTAL ANO	$1,54 \times 10^7$

Tabela F – 8.a. Detalhamento do cálculo de massa de aço para moega de recebimento

Paredes	Área (m ²)	Densidade. (kg/m ³)	Conversão de unidade (g/t)	Massa (g/ano)
2	30	99,7*	$1,00 \times 10^3$	$5,98 \times 10^6$

2	21	99,7	$1,00 \times 10^3$	$4,19 \times 10^6$
base	2,5	99,7	$1,00 \times 10^3$	$2,49 \times 10^3$
Total 10 anos				$1,04 \times 10^7$
Total				$1,04 \times 10^6$

*Scacos (2014)

O fosso de recebimento consiste em um fosso em formato de um tronco de pirâmide cuja base maior perfaz 7x6 m e a base menor 2,5x1 m, tendo 6 metros de altura e espessura de 0,10 metros. Estimou-se o aço para confecção sendo astm A-36 (Bridi, 2008), de espessura 12,7 mm.

Tabela F -8b. Forno rotativo de secagem

Forno	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Massa (g/ano)
1	19.700*	$1,00 \times 10^3$	$1,97 \times 10^7$
Total 10 anos			$1,97 \times 10^7$
Total ano			$1,97 \times 10^6$

* Zhengzhou Dahua Mining Machinery (2014)

O equipamento possui um motor de 15 kw.

Tabela G -8c. Detalhamento dos cálculos de prensa hidráulica

Unidades	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
3	1.160*	$1,00 \times 10^3$	$3,48 \times 10^6$
Total 10 anos			$3,48 \times 10^6$
Total ano			$3,48 \times 10^5$

* Iguaçumec (2014)

Cada prensa opera com motor elétrico trifásico de 20 cavalos de potência.

Tabela F -8d. Triturador de vidros

Item	Quantidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Triturador	1	300*	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5$
Total 10 anos				$3,0 \times 10^5$
Total ano				$3,0 \times 10^4$

*Lipel (2014)

Dados fornecidos por telefone com Leandro Markuez (LIPEL). A potência do motor é de 3 kW (Lipell, 2014).

Tabela F-8e. Triturador de orgânicos

Item	Quantidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Triturador	1	4700*	$1,0 \times 10^3$	$4,70 \times 10^6$
Total 10 anos				$4,70 \times 10^6$
Total ano				$4,70 \times 10^5$

(Lipel, 2014) potência 37HP

Dados fornecidos por telefone com Leandro Markuez (Lipel, 2014),

Tabela F -8f. Detalhamento do cálculo do eletroímã.

Item	Quant (un)	Peso (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
Eletroímã	01	720*	$1,00 \times 10^3$	$7,20 \times 10^5$

Total 10 anos	$7,20 \times 10^5$
TOTAL ANO	$7,20 \times 10^4$

*(Iguaçumec, 2014)

O consume de energia é de 1 kW. (Pioneer, 2014).

Tabela F- 8g. Reator pirolítico

Unidades	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
1	33.000*	$1,00 \times 10^3$	$3,30 \times 10^7$
Total 6 anos*			$3,30 \times 10^7$
Total/ano			$5,50 \times 10^6$

*(Lanning Energy, 2014) - 15KW

Tabela.F-8h. Silo de descarga capacidade 2,5 toneladas

Item	Quantidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Silo	1	320*	$1,0 \times 10^3$	$3,20 \times 10^5$
TOTAL 10 ANOS				$3,20 \times 10^5$
TOTAL ANO				$3,20 \times 10^4$

* Wenzhou Engineering Machinery (2014)

Tabela F -8i.Célula de destorramento

Quant	Peso (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
01	60*	$1,00 \times 10^3$	$6,0 \times 10^4$
Total 10 anos			$6,0 \times 10^3$

*Mecamig (2014)

A massa e a potência do motor (2 cavalos) foi fornecida em 27/08/2014, em contato telefônico com a empresa Mecamig na pessoa de Stanley Maciel.

Tabela F 8j. Silo de armazenamento capacidade 20 t

Item	Quant. (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Silo	1	1000*	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^6$
Total 10 anos				$1,0 \times 10^6$
Total ano				$1,0 \times 10^5$

*Henan Ronglida Imp.&Exp (2014)

Tabela F-9k Briquetador

Item	Quantidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Triturador	1	3700*	$1,0 \times 10^3$	$3,7 \times 10^6$
Total 10 anos				$3,7 \times 10^6$
Total ano				$3,7 \times 10^5$

* Lippel (2014)

A massa do equipamento e a potência do motor (5 cv) foi fornecida pelo sr. Leandro Markuez, da Lippel em 27.08.2014.

Tabela F -8l. Queimadores de briquetes

Item	Quantidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g)
Triturador	1	10000*	$1,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^7$
Total 10 anos				$1,0 \times 10^6$
Total ano				$1,0 \times 10^6$

*Lippel (2014)

A massa do equipamento e a potência do motor (75 cv) foi fornecida pelo sr. Leandro Markuez, da Lippel em 27.08.2014.

Tabela F – 8m. Condensador.

Unidades	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
1	830*	$1,00 \times 10^3$	$8,30 \times 10^5$
Total 10 anos			$8,30 \times 10^5$
Total ano			$8,30 \times 10^4$

*Dongguan Mitex Automation Machinery (2014) - 2,1 kw/h

Tabela F-8n. Ciclone

Unidades	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
1	1100*	$1,00 \times 10^3$	$1,10 \times 10^6$
Total 10 anos			$1,10 \times 10^6$
Total ano			$1,10 \times 10^5$

*Henan Zhongke Engineering & Technology (2014) - 3kw/h

Nota F – 8o. Balança de 100 toneladas.

Unidades	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
1	400*	$1,00 \times 10^3$	$4,00 \times 10^5$
Total 10 anos			$4,00 \times 10^5$
Total ano			$4,00 \times 10^4$

* Rei das Balanças (2014).

Tabela F – 8p. Detalhamento dos calculos de tratamento de efluente.

Unidades	Massa (kg)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
1	600*	$1,00 \times 10^3$	$6,00 \times 10^5$
Total 10 anos			$6,00 \times 10^5$
Total ano			$6,00 \times 10^4$

*Verlag (2014) - motor 380v, trifásico, IP 55, 1/2cv.

A massa do equipamento foi fornecida em contato por e-mail com Paulo Américo Boff da empresa Verlag – Soluções em Equipamentos.

A Usina de Unaí tem capacidade para tartar 72 toneladas de RSu/ dia. De acordo com Pereira Neto e Lelis (1999) a umidade do RSU é de 47%, in loco constatou-se que a umidade é em torno de 27% (Natureza Limpa, 2013). Sendo a densidade do chorume 1 g/ml, logo , (Massai e Massai, 2005) temos um total de 19.440 litros/dia.

Tabela F-8q. Esteiras rolantes

Item	Comp. (m)	Densidade (kg/m)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
Esteiras	32	168*	$1,00 \times 10^3$	$5,38 \times 10^6$
Total 10 anos				$5,38 \times 10^6$
Total ano				$5,38 \times 10^5$

*Marquitec (2014)

Nota 9. Cálculo referente ao cimento utilizado no sistema.

Tabela f-9. Resumo do cimento utilizado no sistema.

Item	Massa (g/ano)
Argamassa	$1,49 \times 10^5$
Chapisco	$1,91 \times 10^6$
Reboco	$1,45 \times 10^5$
Total	$3,51 \times 10^6$

Tabela F-9a. Cálculo de argamassa para assentamento dos blocos do sistema.

	Argamassa (m³/bl)	Densidade (kg/m³)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
22.400	0,2*	2,21**	$1,00 \times 10^3$	$4,48 \times 10^6$
Total 30 anos				$4,48 \times 10^6$
Total ano				$1,49 \times 10^5$

*Netsaber (2010) ** UFRJ (2010)

Tabela F- 9b. Cálculo de massa do chapisco interno e externo dos prédios do sistema.

	Paredes de Blocos (m²)	un	Espessura (mm)	Conversão de unidade (m/mm)	Traço (%)	Densidade do cimento (kg/m³)	Fator de Conversão (g/kg)	Total (g)
Cimento	1792	2	10	$1,0 \times 10^{-3}$	0,2	1.200	$1,0 \times 10^3$	$8,60 \times 10^6$
Areia	1792	2	10	$1,0 \times 10^{-3}$	0,8	1.700	$1,0 \times 10^3$	$4,87 \times 10^7$
Total 30 anos								$5,73 \times 10^7$
Total ano								$1,91 \times 10^6$

*Dobrou-se a quantidade para contabilizar área interna e externa.

Tabela F -9c. Cálculo de massa do reboco interno e externo das paredes dos prédios do sistema

Item	Paredes de Blocos (m²)	un	Espessura (mm)	Fator de conversão (m/mm)	Fator do Traço	Densidade do cimento (kg/m³)	Fator de Conversão (g/kg)	Total (g)
Cimento	$1,52 \times 10^3$	2	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,0833	1.200	$1,0 \times 10^3$	$3,04 \times 10^6$
Areia	$1,52 \times 10^3$	2	10*	$1,0 \times 10^{-3}$	0,1666	1.700	$1,0 \times 10^3$	$8,61 \times 10^6$
Cal Hidrat.	$1,52 \times 10^3$	2	10*	$1,00 \times 10^{-3}$	0,7497	1.400	$1,0 \times 10^3$	$3,19 \times 10^7$
Total 30 anos								$4,36 \times 10^7$
*Total ano								$1,45 \times 10^6$

A coluna que indica o número 2 refere-se a contabilidade do reboco interno e externo das paredes

Tabela F- 10. Consumo de C na queima de carvão

Descrição	Consumo (g/ano)	Conversão (g/mol)	Total de carvão (moles/ano)
Carvão (C)	$5,84 \times 10^8$	12	$4,87 \times 10^7$
Total			$4,87 \times 10^7$

Para a reação de queima de carvão no sistema de pirólise, realiza-se a equação abaixo (em moles):

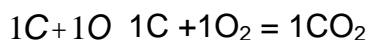


Tabela F– 10a. Consumo de O₂ na queima de carvão

Descrição	Consumo (moles/ano)	Conversão (g/mol)	Total de O ₂ (g/ano)
Oxigênio (O ₂)	$4,87 \times 10^7$	16	$7,79 \times 10^8$
Total			$7,79 \times 10^9$

Logo, são necessários $7,79 \times 10^9$ gramas de O₂ por ano para a queima do carvão utilizado na pirólise.

Tabela F– 11. Consumo de energia elétrica

Item	Potência (kW)	Horas (h/dia)	Dias (d/ano)	Total (kWh/ano)	Conversão (J/kWh)	Total (J/ano)
Secador Rotativo	15	16	365	$8,76 \times 10^4$		
Prensa Hidr.	14,71	16	365	$8,59 \times 10^4$		
Trit. de vidro	3	16	365	$1,75 \times 10^4$		
Trit.Orgânicos	27,21	16	365	$1,59 \times 10^5$		
Eletroimã	1	16	365	$5,84 \times 10^3$		
Reator	22	16	365	$5,84 \times 10^5$		
Cel.Destorramento	1,471	16	365	$5,59 \times 10^3$		
Briquetador	3,6775	16	365	$2,15 \times 10^4$		
Queimadores de Briquetes	50,57	16	365	$2,96 \times 10^5$		
Condensador	3	16	365	$1,75 \times 10^4$		
Ciclone	3	16	365	$1,75 \times 10^4$		
Tratamento de efluente	0,37	16	365	$2,16 \times 10^3$		
Total				$7,19 \times 10^5$	$3,6 \times 10^6$	$2,59 \times 10^{12}$

Nota 12. Cálculo da mão-de-obra da fase de operação.

Tabela F – 12. Mão-de-obra operação

Func. (H)	Necessidade diária (kcal/H.dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho (dias/ano)	Energia (J/ano)
34	$3,00 \times 10^3$	4186	365	$1,56 \times 10^{11}$
Total ano				$1,56 \times 10^{11}$

De acordo com Mário Martins, gestor do sistema, a empresa necessita de 34 trabalhadores para movimentar a planta.

Nota 13. Consumo de água

Tabela F – 13. Consumo de água.

Consumo (m ³ /ano)	Água (m ³ /ano)
2,33x10 ³	2,33x10 ³
Total	2,33x10 ³

Apêndice G. Memorial de cálculo do sistema de compostagem

Detalhamento de cálculos do sistema de compostagem.

Cálculos detalhados das fases de implantação e operação do sistema Compostagem

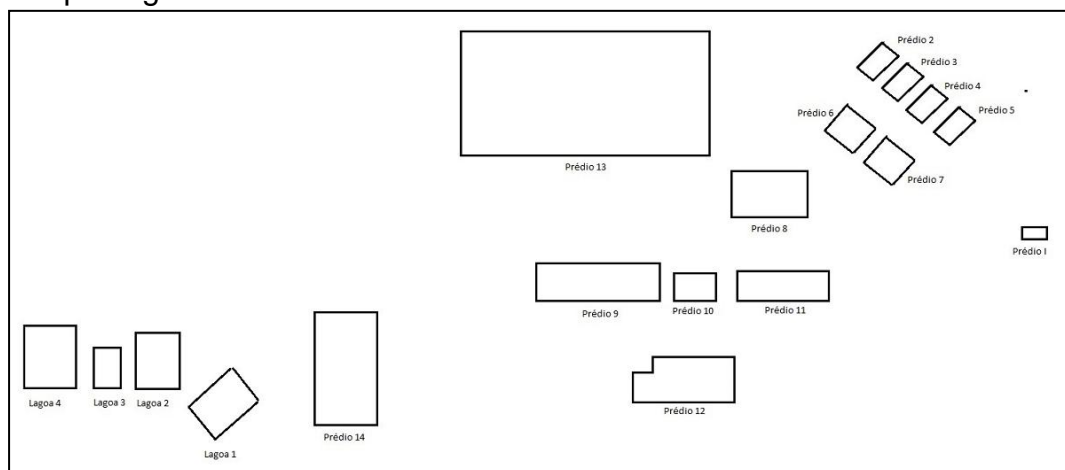


Figura G-1. Planta baixa do sistema de Compostagem Valor Ambiental.

Nota 1. Solo utilizado para o sistema da usina de compostagem

Tabela G – 1. Energia do solo utilizada no sistema de compostagem

Área (ha)	Conversão kg Eucalipto (kg/ha x ano)	Conversão De unidade (g/kg)	Conversão de unidade (kcal/g)	Conversão de unidade (J/kcal)	Energia (J/ano)
88	$4,00 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$	4,68	4186	$6,90 \times 10^{13}$
TOTAL 50 ANOS					$6,90 \times 10^{13}$
TOTAL ANO					$1,38 \times 10^{12}$

*(ROMITELLI, 2000).

A energia do solo presente nos 50 hectares representa um custo para o sistema. O custo foi calculado com base na biomassa de eucalipto que se deixou de produzir no período de um ano (ROMITELLI, 2000). A transformidade utilizada foi de $2,21 \times 10^4$ sej/J, de acordo com Romitelli, 2000.

Nota 2. Cálculo da mão de obra utilizada para implantação.

Tabela G-2. Cálculo da mão-de-obra da implantação do sistema de compostagem.

Item	obra (m ²)	Homem/hora (Hh/m ²)	Necessidade diária (kcal/H.dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Conversão de unidade (horas/dia)	Energia (J/ano)
Asfalto	82.448,25	0,44*	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$3,64 \times 10^{12}$
Paredes	3.353	3,5***	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$1,18 \times 10^{12}$
Telhado	2.362,5	3,13**	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$7,43 \times 10^{11}$
Piso	2.362,5	1,6**	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$3,80 \times 10^{11}$
Fech.	1.134	3,13*	$3,00 \times 10^3$	4186	8	$3,57 \times 10^{11}$
Total 50 anos						$6,30 \times 10^{12}$
Total ano						$1,26 \times 10^{11}$

*(FILHO, 2009) **SBD– PLANEJAMENTO e PRODUTIVIDADE *** (SILVA, 2006)

Nota 3. Asfalto utilizado para o sistema de compostagem Valor Ambiental.f

Tabela G-3. Detalhamento do cálculo da manta de asfalto dos pátios e ruas.

Área	Densidade	Camada betuminosa	Conversão De unid.	Total
(m ²)	(kg/m ³)	(m)	(g/kg)	(g/ano)
82.448,25	$1,2 \times 10^3$	0,04	$1,0 \times 10^3$	$3,96 \times 10^9$
Total 10 anos				$7,96 \times 10^9$
Total ano				$3,96 \times 10^8$

Nota 4. Artefatos de cimento (mourões e telhas de fibrocimento).

Tabela G-4. Cálculo total dos artefatos de cimento, compreendendo as tabelas B-3^a, B-3-B e B-3e.

Item	Total (g/ano)
Mourões	$1,27 \times 10^8$
Telhas cobertura	$1,55 \times 10^7$
Telhas fech Lateral	$2,44 \times 10^6$
Total ano	$1,45 \times 10^8$

Tabela G-4a. Cálculo da mourões da implantação do sistema de compostagem.

Quantidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
141.400	45*	$1,0 \times 10^3$	$6,36 \times 10^9$
Total 50 anos			$6,36 \times 10^9$
Total ano			$1,27 \times 10^8$

(ARTCOMPRES, 2010)

A área compreende 50 ha, cada hectare corresponde a 10.000 m², devido a área irregular do terreno, estimou-se a menor área, que corresponde a um quadrado de 70.700 m x 70.700 m, cujo perímetro compreende 282.800 metros. O espaçamento entre os mourões é de 2m, perfazendo um total de 141.400 mourões. A UEV utilizada foi de $1,20 \times 10^9$ (HAUKOOS, 2002).

Tabela G-4b. Detalhamento do cálculo de massa das telhas de fibrocimento utilizada na cobertura dos prédios 7,8, 13 e 14.

Prédio	Comp. do prédio	Largura da telha	Quant.de Águas do telhado	Quant. Telhas p/ Comp.	Quant.de Telhas	Peso	Fator de Conversão	Massa
	(m)	(m)	(un)	(tl/água)	(un)	(kg)	(g/kg)	(g/ano)
7	13,5	0,90	2	1	30	134*	$1,0 \times 10^3$	$4,02 \times 10^6$
8	21	0,90	2	1	47	167*	$1,0 \times 10^3$	$7,85 \times 10^6$
13	90	0,90	2	3	600	134*	$1,0 \times 10^3$	$8,04 \times 10^8$
14	70	0,90	2	3	467	134*	$1,00 \times 10^3$	$6,26 \times 10^7$
Total 10 anos								$1,55 \times 10^8$
Total								$1,55 \times 10^7$

*BRASILIT (2014)

Para determinar a quantidade de telhas necessárias, utilizou-se o resultado da Tabela G-4b, que determina o tamanho da telha a ser utilizada (hipotenusa) e a quantidade de telhas para cada água do telhado (item Quant telhas da tabela B – 4 a). Sabendo o comprimento lateral do prédio (telhado), divide-se o comprimento pelo comprimento de cada telha (0,90 m) para determinar a quantidade de telhas necessárias para cada água. De posse do número de quantidade de telhas, basta multiplicar pela quantidade de telhas (Tabela 4 – a) para determinar o número total de telhas a serem utilizadas. O peso (BRASILIT, 2014) é determinado pelo valor da hipotenusa da Tabela B – 4 a.

Tabela G-4d. aplicação da fórmula do cosseno para determinar o comprimento das telhas a serem utilizadas na cobertura.

Prédio	Cat.adj (m)	Cosseno /10º.	Hipotenusa (m)	Quant. Telhas comp. (un)	Quant. Telhas (un)
7	6,5	0,98	6,63	1	2
8	8,75	0,98	8,92	1	2
13	20	0,98	20,40	1	6
14	20,25	0,98	20,66	1	6

O telhado é composto de duas águas, e de acordo com o fabricante, utilizou-se a inclinação de 10 graus. A tabela B – 4a determina o comprimento das telhas, que corresponde ao valor da hipotenusa. Para determinar a medida da hipotenusa, utilizou-se a fórmula do cosseno ($\cos 10^\circ = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$), cujo valor do ângulo de 10 graus é de 0,98.

Nota G-4e. Calhetão de 6 metros de fibrocimento para fechamento lateral do prédio 13:

Tabela G-5. Cálculo de massa de telhas de fibrocimento.

Metros (telhas)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
224	109*	$1,0 \times 10^3$	$2,44 \times 10^7$
Total 10 anos			$2,44 \times 10^6$

O perímetro de 249 metros foi calculado nas medidas laterais do prédio (40,5 x 90 m) Foram descontadas as medidas de duas portas laterais que perfazem 6 metros cada, totalizando um perímetro de 249 metros. Cada telha possui 1 metro, descontando a sobreposição das mesmas, perfaz um total de 0,90 m por telha (BRASILIT, 2014). A vida útil foi considerada em 20 anos, de acordo com Tettos (2010).

Nota 5. Cálculo da massa de blocos utilizados na construção dos prédios.

Tabela G-5. Cálculo da massa de blocos utilizada na construção dos prédios do sistema.

Prédio	Paredes	Base (m)	Altura (m)	Área (m²)	Blocos* (bl)/(m²)	Total (bl)	Densidade* (g)/(bl)	Massa (g)
1	2	4	3	24	12,5*	300	13600	4,08x10 ⁶
	2	3	3	18	12,5	225	13600	3,06x10 ⁶
2	2	10	3	60	12,5	750	13600	1,02x10 ⁷
	2	7	3	42	12,5	525	13600	7,14x10 ⁶
3	2	10	3	60	12,5	750	13600	1,02x10 ⁷
	2	7	3	42	12,5	525	13600	7,14x10 ⁶
4	2	10	3	60	12,5	750	13600	1,02x10 ⁷
	2	7	3	42	12,5	525	13600	7,14x10 ⁶
5	2	10	3	60	12,5	750	13600	1,02x10 ⁷
	2	7	3	42	12,5	525	13600	7,14x10 ⁶
6	2	15,5	3	105	12,5	1312,5	13600	1,79x10 ⁷
	2	21,0	3	126	12,5	1575	13600	2,14x10 ⁷
7	2	13,5	3	78	12,5	975	13600	1,33x10 ⁷
	2	13	3	30	12,5	1012,5	13600	5,10x10 ⁶
8	2	21,0	3	126	12,5	1575	13600	2,14x10 ⁷
	2	17,5	3	105	12,5	1312,5	13600	1,79x10 ⁷
13	2	37,5	6	450	12,5	5625	13600	7,65x10 ⁷
	2	63	6	756	12,5	9450	13600	1,29x10 ⁸
Total 50 anos				3353		41912,5	13600	3,79x10 ⁸
Total anos								7,58x10 ⁶

*(PAVIMENTI BLOCOS, 2014).

A massa de blocos foi calculada na metragem quadrada que cada parede apresenta (base x altura). Foi utilizada a UEV (Unidade de Energia Valorada) de $1,35 \times 10^9$ (HAUKOOS, 1998), com fator de correção de 1,68.

NOTA 6. Demonstrativo dos cálculos de massa de concreto do contra-piso dos prédios.

Tabela G-6. Detalhamento do cálculo de massa de concreto do contra-piso dos prédios.

Prédio	Área	Espessura	Concreto	Densidade.	Conversão de unidade	Total
	(m²)	(m)	(m³)	(t/m³)	(g/t)	(g/ano)
1	12	0,10	1,2	2,70*	1,00x10 ⁶	3,24x10 ⁶
2	70	0,10	7,0	2,70	1,00x10 ⁶	1,89x10 ⁷
3	70	0,10	7,0	2,70	1,00x10 ⁶	1,89x10 ⁷
4	70	0,10	7,0	2,70	1,00x10 ⁶	1,89x10 ⁷
5	70	0,10	7,0	2,70	1,00x10 ⁶	1,89x10 ⁷
6	325,5	0,10	32,55	2,70	1,00x10 ⁶	8,79x10 ⁷
7	175,5	0,10	17,55	2,70	1,00x10 ⁶	4,74x10 ⁷
8	367,5	0,10	36,75	2,70	1,00x10 ⁶	9,92x10 ⁷
13	2.362,50	0,10	360,0	2,70	1,00x10 ⁶	9,72x10 ⁸
Total 50 anos						1,29x10 ⁹
Total ano						2,57x10 ⁷

O área do piso de cada prédio foi estimada em visita in loco. A UEV utilizada é de Buranakarn, 1998 ($1,54 \times 10^9$ sej/g), considerando na tabela o fator de correção de 1,68.

Nota 8. Cálculo da massa de aço galvanizado para cercamento da área do sistema de compostagem.

Tabela G-8. Cálculo da massa de aço do arame farpado.

Perímetro (m)	Quant. (um)	Massa (kg/m)	Conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
141.400	8	0,0704*	$1,00 \times 10^3$	$7,96 \times 10^7$
Total 10 anos				$7,96 \times 10^7$
Total				$7,96 \times 10^6$

*(GERDAU, 2010)

In loco observou-se que o fechamento da área é constituído por 8 arames paralelos, fixados nos mourões dispostos no perímetro. Utilizou-se o mesmo padrão indicado pelo manual de implantação de aterros Sanitários e Resíduos Sólidos (PMSP, 2008), devendo ser arame farpado nº.14 958 WG (4 X 4), sendo o espaçamento entre os fios de 0,25m.

Estimou-se a quantidade necessária baseado em um mourão de altura correspondente a 2,20 metros (considerando sua implantação no solo, a altura do mourão instalado será de 1,90 m), que perfazem um total de 8 fios.

O peso por metro linear do arame farpado correspondente foi calculado com base na informação de que 250 metros de arame pesam 17,6 kg (GERDAU, 2010) resultando 0.704 kg/m.

Nota 9. Aço estrutural para construção do prédio 13 e 14.

Tabela G-9. Cálculo de massa de aço estrutural para construção do galpão.

Item	Área (m ²)	Kg/aço/m ² (kg)	Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
Aço Prédio 13	3645	25*	$1,0 \times 10^3$	$9,11 \times 10^7$
Aço Prédio 14	2660	25*	$1,0 \times 10^3$	$6,65 \times 10^7$
Aço fech. lateral	1080	9	$1,0 \times 10^3$	$9,72 \times 10^6$
TOTAL 50 ANOS				$1,67 \times 10^8$
TOTAL ANO				$3,35 \times 10^6$

*(D'AMBERT, 2004)

Para o prédio 13, a quantidade de ferro foi estimada com base no trabalho de D'ÁLAMBERT (2004), considerando um galpão de 9 x 45. Pelo fato da medida do galpão compreender 45,5 x 90, logo, multiplicou-se o valor encontrado por 10, para perfazer as medidas de 90 x 45. Considerou-se para o uso o ferro Q4, que corresponde à média dos ferros indicados para a construção. De acordo com D'Alambert (2004), para o fechamento lateral é utilizado de 6 kg a 12 kg por metro quadrado. Para esse estudo utilizamos $9,0 \text{ kg/m}^2$, que corresponde a média do indicado por D'Alambert. Para o fechamento lateral contabilizou-se somente as laterais de 90m, que são as que servem de apoio. A UEV utilizada é a de $2,77 \times 10^9$ sej/g para aço estrutural (Haukoos, 2006).

Nota 10. Cálculo da massa de aço das máquinas e equipamentos.

Tabela G-10. Massa de aço das máquinas e equipamentos.

Item	Massa (g/ano)
Veículos	$1,22 \times 10^7$
Esteiras	$2,55 \times 10^6$
Extrator	$7,50 \times 10^7$
Eletroimã	$1,44 \times 10^5$
Peneiras rotativas	$1,79 \times 10^6$
TOTAL	$9,17 \times 10^7$

Tabela G -10a. Cálculo de massa de aço dos veículos

Unidade (un)	Peso (kg)	Conversão (g/kg)	Massa (g/ano)
2	$23 \times 10^3^*$	$1,0 \times 10^3$	$4,60 \times 10^7$
1	$16 \times 10^3^*$	$1,0 \times 10^3$	$1,60 \times 10^7$
5	12.035^{**}	$1,00 \times 10^3$	$6,02 \times 10^4$
TOTAL 10 anos			$1,22 \times 10^8$
Total			$1,22 \times 10^7$

*(DER, 2014),

** (CACESE, 2014)

A empresa possui três caminhões, sendo dois modelos Mercedes Bens 1938 e um modelo 1621 e cinco pás carregadeiras modelo 2w20. A vida útil foi calculada com base em Thompson (2004). A UEV utilizada foi de $3,00 \times 10^9$ (ODUM, 2002).

Tabela G-10b. Detalhamento de cálculo das esteiras rolantes.

Item	Comp. (m)	Densidade (kg/m)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
Esteiras	152	168^*	$1,00 \times 10^3$	$2,55 \times 10^7$
Total 10 anos				$2,55 \times 10^7$
TOTAL ANO				$2,55 \times 10^6$

(Marquitech, 2014)

O peso da esteira foi fornecido pelo Sr. Marcelo da empresa Marquitech Soluções em Processos de Trituração e Moagem (2014).

Tabela G-10c. Cálculo de massa do extrator

Item	Peso (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
Extrator	$7,5 \times 10^5^*$	$1,00 \times 10^3$	$7,50 \times 10^8$

Total 10 anos	$7,50 \times 10^8$
TOTAL ANO	$7,50 \times 10^7$

*(Marquitech, 2014)

Tabela G-10d. Cálculo de massa do eletroímã.

Item	Quant (un)	Peso (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
Eletroímã	02	720*	$1,00 \times 10^3$	$1,44 \times 10^6$
Total 10 anos				$1,44 \times 10^6$
Total ano				$1,44 \times 10^5$

*(Marquitech, 2014)

Tabela G-10e. Massa de aço das peneiras rotativas.

Item	Quant	Peso (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Massa (g)
14 x 14 cm	02	$6,8 \times 10^{-3}$ *	$1,00 \times 10^3$	$1,36 \times 10^7$
38x38 mm	02	$3,5 \times 10^{-2}$ *	$1,00 \times 10^3$	$7,00 \times 10^5$
12x12 mm	03	$1,2 \times 10^{-3}$ *	$1,00 \times 10^3$	$3,6 \times 10^6$
Total 10 anos				$1,79 \times 10^7$
Total ano				$1,79 \times 10^6$

*(Marquitech, 2014)

Nota 11 – Cálculo de argamassa para assentamento dos blocos do sistema de compostagem.

Tabela G-11. Total da massa de argamassa, chapisco, reboco e cimento jateado utilizado nos prédios do sistema de compostagem.

Blocos	Total (g)
Argamassa	$3,70 \times 10^5$
Chapisco	$2,14 \times 10^6$
Reboco	$1,92 \times 10^6$
Total	$4,43 \times 10^6$

Tabela G-11a. Cálculo de argamassa para assentamento dos blocos do sistema de compostagem.

Quant. Blocos	Argamassa (m³/bl)	Densidade (kg/m³)	Conversão de unidade (g/kg)	Total (g)
41912,5	0,2*	2,21**	$1,00 \times 10^3$	$1,85 \times 10^7$
TOTAL 50 ANOS				$1,85 \times 10^7$
TOTAL/ANO				$3,70 \times 10^5$

*(NETSABER, 2010)

** (UFRJ, 2010)

Tabela g-11b. Cálculo de massa do chapisco interno e externo dos prédios do sistema de compostagem

*

Dobrou-se a quantidade para contabilizar área interna e externa

Paredes de	Espessura	Conversão de	Traço	Densidade do	Fator de Conversão	Total
---------------	-----------	-----------------	-------	-----------------	-----------------------	-------

	Blocos (m²)		(mm)	unidade (m/mm)	(%)	cimento (kg/m³)	(g/kg)	(g)
Cimento	3,35x10 ³	2	10*	1,0x10 ⁻³	0,2	1.200	1,0x10 ³	1,61x10 ⁷
Areia	3,35x10 ³	2	10*	1,0x10 ⁻³	0,8	1.700	1,0x10 ³	9,11x10 ⁷
Total 50 anos								1,07x10 ⁸
Total ano								2,14x10 ⁶

A demonstração dos traços (%) de cimento e areia foram extraídos do estudo de Frimaio (2011). A vida útil foi considerada em 25 anos (THOMSON, 2004)

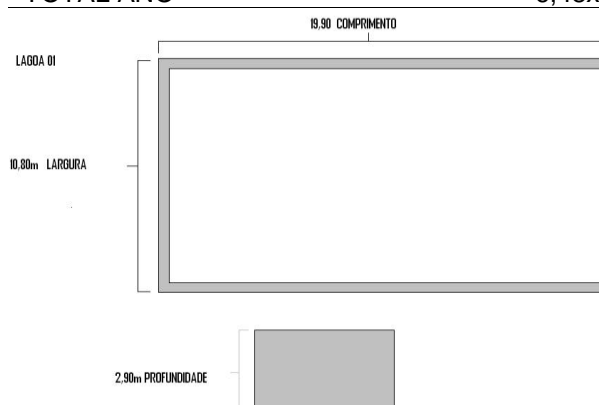
Tabela G-11c. Cálculo de massa do reboco interno e externo das paredes dos prédios do sistema de compostagem.

Item	Paredes de Blocos	Espessura	Fator de conversão	Fator do Traço	Densidade do cimento	Fator de Conversão	Total	
	(m²)	(mm)	(m/mm)		(kg/m³)	(g/kg)	(g)	
Cimento	3,35x10 ⁻³	2	10*	1,0x10 ⁻³	0,0833	1.200	1,0x10 ⁻³	6,70x10 ⁶
Areia	3,35x10 ⁻³	2	10*	1,0x10 ⁻³	0,1666	1.700	1,0x10 ⁻³	1,90x10 ⁷
Cal Hidrat.	3,35x10 ⁻³	2	10*	1,00x10 ⁻³	0,7497	1.400	1,0x10 ⁻³	7,03x10 ⁷
TOTAL 50 ANOS								9,60x10 ⁷
TOTAL ANO								1,92x10 ⁶

Nota 12. Cálculo de manta PEAD das lagoas.

Tabela G-12. Cálculo da massa de manta PEAD utilizada nas lagoas do sistema de compostagem

Manta PEAD	Área (m ²)	Densidade (g/m ²)	Massa (g)
Lagoa 1	545,26	*1,50x10 ⁵	8,18x10 ⁷
Lagoa 2	422,30	*1,50x10 ⁵	6,33x10 ⁷
Lagoa 3	550,78	*1,50x10 ⁵	8,26x10 ⁷
Lagoa 4	643,58	*1,50x10 ⁵	9,65x10 ⁷
Total 50 anos			3,24x10 ⁸
TOTAL ANO			6,48x10 ⁶



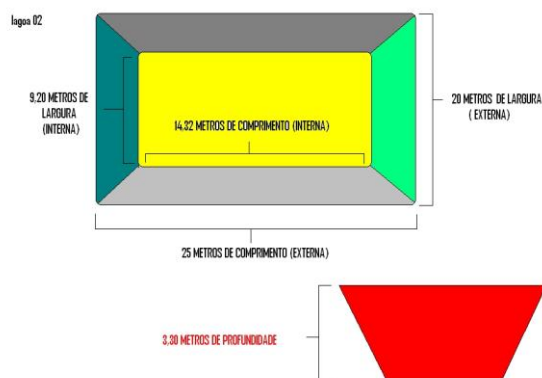
Área da base: 10,8 x 19,9 = 214,92 m

Área da largura: 31,32 m x 2

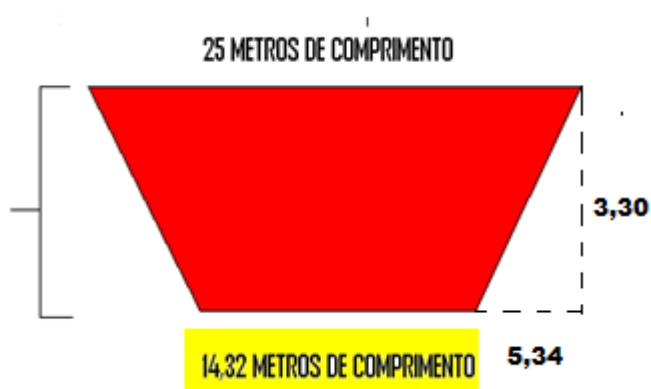
Área do comprimento: 19,9 x 2,9 = 57,71 m

Total de manta PEAD utilizada: 545,26 m²

Lagoa 2



Para o cálculo da área do comprimento interno, primeiramente dimensionou-se a altura, que corresponde à hipotenusa, conforme Figura.



Cálculo da Altura:

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = (5,34)^2 + (3,30)^2$$

$$a^2 = 28,51 + 10,89$$

$$a^2 = 39,40 \text{ m}$$

$$a = 6,27 \text{ m}$$

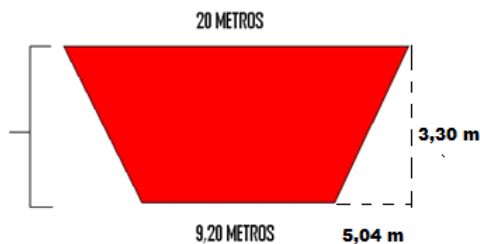
Para o cálculo da área interna do comprimento, utilizamos a fórmula da área do trapézio:

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

$$A = 123,26 \text{ m}^2$$

Cálculo da área interna da largura:



Cálculo da altura

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = (5,04)^2 + (3,30)^2$$

$$a^2 = 25,40 + 10,89$$

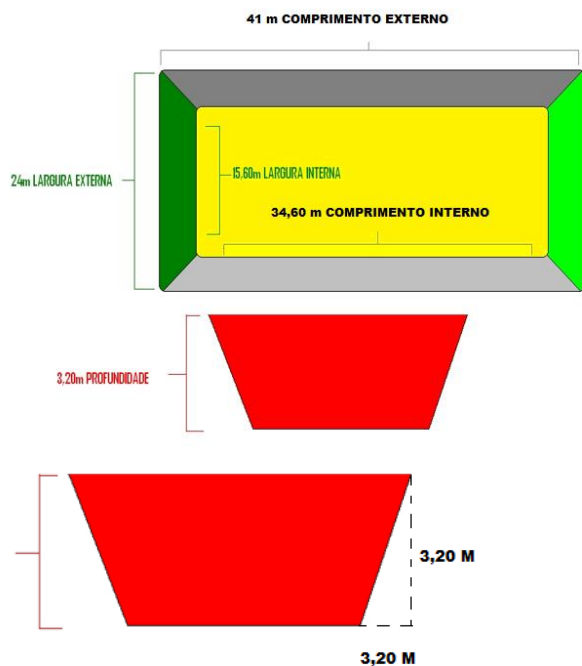
$$a^2 = 36,29 \text{ m}$$

$$a = 6,02 \text{ m}$$

Para o cálculo da área interna do comprimento, utilizamos a fórmula da área do trapézio, cuja área corresponde a 87,89 m²

Total da área de manta PEAD da lagoa 1 : 422,30 m².

Lagoa 3:



Cálculo da altura

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = (3,20)^2 + (3,20)^2$$

$$a^2 = 10,24 + 10,24$$

$$a^2 = 20,48 \text{ m}$$

$$a = 4,52 \text{ m}$$

Para o cálculo da área interna do comprimento, utilizamos a fórmula da área do trapézio, cuja área perfaz 170,85 m²

Cálculo da área interna da largura:



Cálculo da altura

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = (3,20)^2 + (4,20)^2$$

$$a^2 = 10,24 + 17,64$$

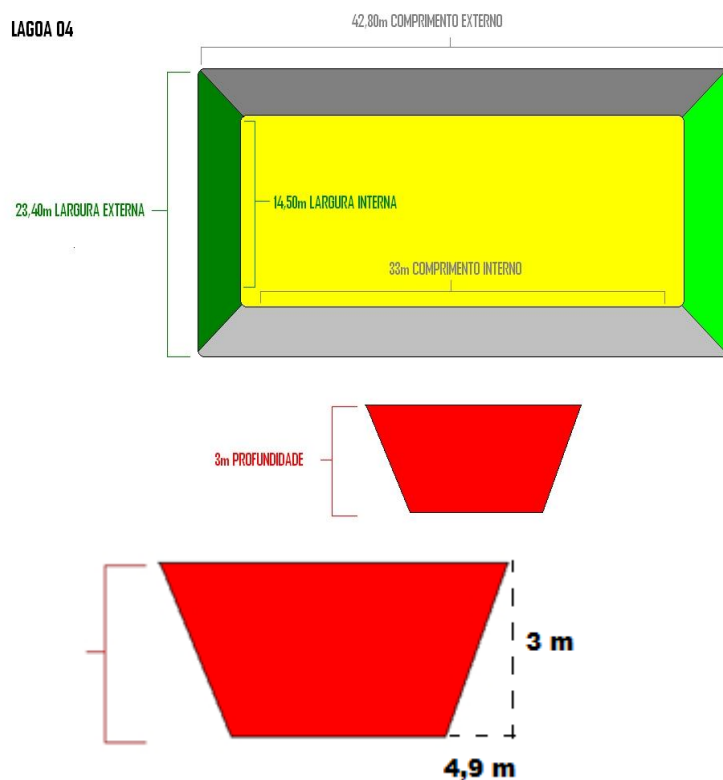
$$a^2 = 27,88 \text{ m}$$

$$a = 5,28 \text{ m}$$

Para o cálculo da área interna do largura, utilizamos a fórmula da área do trapézio, onde $A = 104,54 \text{ m}^2$

Total de Manta PEAD utilizada na lagoa 3: 550, 78 m^2

Lagoa 4:



Cálculo da altura

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = (3,00)^2 + (4,90)^2$$

$$a^2 = 9,00 + 24,01$$

$$a^2 = 33,01 \text{ m}$$

$$a = 5,74 \text{ m}$$

Utilizando a área do trapézio, temos que $A = 217,54 \text{ m}^2$



Cálculo da altura

$$a^2 = b^2 + c^2$$

$$a^2 = (3,00)^2 + (4,45)^2$$

$$a^2 = 9,00 + 19,80$$

$$a^2 = 33,01 \text{ m}$$

$$a = 5,36 \text{ m}$$

$$A = 104,25 \text{ m}^2$$

Total de manta PEAD: $643,58 \text{ m}^2$

Nota 13. Detalhamento de cálculo de cobertura dos prédios 1,2,3,4,5 e 6, que utilizam telhas de cerâmica para uma inclinação de 35° .

Tabela G-13. Detalhamento do cálculo de massa das telhas de cerâmica.

Prédio	Área (m ²)	Fator de correção	Total (m ²)	Telhas* (telhas)/(m ²)	Total (telhas)	Densidade* (kg)/(telha)	Massa (kg)
1	12	1,059*	12,7	13,7*	174	3,4**	$5,92 \times 10^2$
2	70	1.059	74,13	13,7	175,5	3,4	$3,45 \times 10^3$
3	70	1.059	74,13	13,7	1016	3,4	$3,45 \times 10^3$
4	70	1.059	74,13	13,7	1016	3,4	$3,45 \times 10^3$
5	70	1.059	74,13	13,7	1016	3,4	$3,45 \times 10^3$
6	144	1.059	152,5	13,7	2089,2	3,4	$7,10 \times 10^3$
7	175,5	1.059	185,9	13,7	2546,5	3,4	$8,66 \times 10^3$
Total 50 anos							$3,02 \times 10^4$
Total							$6,03 \times 10^2$

*Toptelha ** Madertelhas

O fator de correção 1,059 corresponde para uma inclinação de 35° . Desta forma, basta multiplicar a área pelo fator de correção

Nota 14. Energia solar utilizada no sistema de compostagem:

Tabela G-14. Cálculo da energia solar utilizada.

Área utilizada para RSU (m ²)	Insolação Média (kWh/m ² .ano)	Conversão de unidade (J/kWh)	Albedo	Energia (J/ano)
33×10^3	4,93	$3,6 \times 10^6$	0,41*	$2,4 \times 10^{11}$
TOTAL				$2,4 \times 10^{11}$

*Cabral *et al.* (2013).

O índice de insolação foi calculado por meio de dados coletados no site Sundata (CRESESB, 2014) para as coordenadas geográficas do sistema.

Nota 15. Cálculo da chuva potencial.

Tabela G-15. Cálculo da chuva potencial.

Item	Área (m ²)	Calor Geotérmico (mW/m ²)	Fator de Conversão (W/mW)	Conversão De tempo (s.ano)	Energia (J/ano)
Energia Geotérmica.	33,0x10 ³	50*	1,0x10 ⁻³	3,1x10 ⁷	5,12x10 ¹⁰
TOTAL ANUAL					5,12x10 ¹⁰

*(ARBOIT *et al.*, 2013)

O calor geotérmico foi determinado por meio.

Nota 16. Cálculo da energia química da precipitação.

Tabela G-16. Detalhamento dos cálculos referente à Precipitação (química)

Área	Precipitação (m/ano)	Energia livre de Gibbs (J/kg)	Fator de Conversão (kg/m ³)	Energia (J/ano)
3,3x10 ⁴	0,35	4940	1,0x10 ³	5,71x10 ¹⁰
Total anual				5,71x10 ¹⁰

A média de precipitação no local do sistema é de 350 mm/ano, logo:

$$350 \frac{\text{mm}}{\text{ano}} \times \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} = 0,35 \text{ metros por ano.}$$

Tabela G-16a. Cálculo de precipitação (energia potencial) do sistema de compostagem.

Precipitação Média (mm/ano)	Elevação Média (m)	Runoff	Fator de Conversão (kg/m ³)	Aceleração gravidade (m/s ²)	Área (m ²)	Fator de Conversão (m/mm)	Energia (J/ano)
350	2,5	*0,41	1,0x10 ³	9,8	33,0x10 ³	1,0x10 ⁻³	1,16x10 ⁸
TOTAL ANUAL							1,16x10 ⁸

*(MANGONI *et al.*, 2014)

Primeiramente foi estimada a quantidade de chuva que caiu no local durante os 28 anos (INMET, 2014). A quantidade foi estimada considerando os períodos trimestrais, que corresponde a média de 350 mm/ano.

O cálculo da energia potencial da precipitação foi efetuado considerando a altura de 3 metros atingida pelo volume de RSU nas leiras de compostagem.

O escoamento superficial corresponde ao deslocamento das águas no ciclo hidrológico sobre a superfície do solo. Parte do volume total precipitado é interceptado pela vegetação, enquanto o restante atinge a superfície do solo.

Nota 17. Consumo da massa de diesel utilizado nos veículos.

Tabela G-17. Consumo da massa de diesel.

Item	Diesel	Densidade	Conversão de	Poder calorífico	Diesel
(un)	(L/ano)	(kg/l)	(kcal/kg)	(J/kcal)	(J/ano)
2	7,30x10 ³	0,85*	1,07x10 ⁴	4186	5,56x10 ¹¹

1	$2,63 \times 10^3$	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$1,00 \times 10^{11}$
5	$3,50 \times 10^3$	0,85	$1,07 \times 10^4$	4186	$6,66 \times 10^{11}$
Total 10 anos					$1,32 \times 10^{12}$
Total ano					$1,32 \times 10^{11}$

O sistema de compostagem possui 2 caminhões modelo MB1938, que fazem a média de 2,5 km/l (Revista Do Carreteiro, 2014). Cada veículo percorrendo a uma velocidade de 30 km/h, consome 0,8333 litros por hora. Em um dia o consumo de diesel compreende 20 litros, consumindo 7.300 litros por ano

O sistema possui 1 caminhão 1621 cujo consumo compreende 10 km/l (PMSC, 2014), percorrendo a velocidade de 30 km/h. Portanto consome 3 l/h. Dessa forma o consumo por hora é de 0,3 litros. Por dia o consumo é de 7,2 litros por dia, apresentando um consumo anual de 2.628 litros.

O sistema possui ainda cinco pás carregadeiras modelo 2W20, cujo consumo é de 12 l/h (Terraplanagem.Net, 2014), logo, consome 0,4 litros por hora, por dia 9,6 litros e por ano 3.504 litros.

Nota 18. Cálculo da energia elétrica consumida pelo sistema.

Tabela G-18. Cálculo da energia elétrica.

Energia consumida (kWh/ano)	Conversão de unidade (J/kWh)	Energia (J/ano)
$8,76 \times 10^6$	$3,6 \times 10^6$	$3,15 \times 10^{12}$
Total		$3,15 \times 10^{12}$

Nota 19. Mão de obra da operação do sistema

Tabela G-19. Mão de obra da operação do sistema

Func. (H)	Necessidade diária (kcal/H.dia)	Conversão de unidade (J/kcal)	Trabalho (dias/ano)	Energia (J/ano)
129	$3,00 \times 10^3$	4186	365	$5,91 \times 10^{11}$
157	$3,00 \times 10^3$	4186	330	$1,97 \times 10^9$
TOTAL ANO				$5,93 \times 10^{11}$

Nota 20 .Detalhamento de cálculo das bactérias heterotróficas que atuam no processo de compostagem.

Tabela G-20. Cálculo da UFC das bactérias heterotróficas do sistema.

RSU (ton/ano)	Conversão (g/t)	Quantidade (UFC/g)	UFC (G/ano)
$1,5 \times 10^5$	$1,00 \times 10^6$	$3,4 \times 10^6$	$5,10 \times 10^{17}$
Total ano			$5,10 \times 10^{17}$

*(Symansky, 2005)

Em um ano o sistema recebe 150 000 toneladas de RSU. De acordo com Symanky (2005), a média de UFC (Unidade Formadora de Colônias) de bactérias presentes em uma grama de RSU é de $3,4 \times 10^6$ UFC/g.

Tabela G-20b. Cálculo do oxigênio utilizado pelos microorganismos na compostagem

RSU (t)	Oxigênio (m ³ /t.min)	Conversão (min/dia)	Conversão (dias/ano)	Total (m ³ /ano)
$1,5 \times 10^5$	0,75	$1,4 \times 10^3$	360	$5,67 \times 10^{10}$
Total				$5,67 \times 10^{10}$

De acordo com Cordeiro (2010 apud Mustin, 1987), Nas fases iniciais do processo de compostagem, entendidas como fase máxima e média de decomposição aeróbia, o consumo de oxigênio varia de $0,5$ a $1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Na terceira fase, que compreende a fraca decomposição aeróbia são consumidos menos de $0,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$. Para efeito de contabilidade, utilizou-se a média para as primeiras fases, que compreende $0,75$. Não foi utilizado nenhum valor para a terceira fase, pois nesta fase o processo é anaeróbio. Para o valor do oxigênio de $0,5$, somou-se as duas fases iniciais e dividiu-se por 3. A primeira fase tem duração de 30 dias e a segunda de 40 dias.

Para transformar litros em gramas, sabe-se que 1 mol de O_2 possui 32 gramas e ocupa 22,4 litros, e que 1 m^3 corresponde a 1.000 litros. Utilizando a regra de três temos:

$$22,4 \quad - \quad 32$$

$$5,67 \times 10^{10} \quad - \quad x, \text{ logo temos } 8,10 \times 10^{10} \text{ g de } \text{O}_2.$$

Nota 21. Cálculo do cal hidratada utilizado nas lagoas de chorume.

Tabela G-21. Cálculo do cal hidratado utilizado nas lagoas de percolado.

Chorume	Cal Hidratada	Total
(m ³ /ano)	(g/m ³)	(g/ano)
$1,45 \times 10^4$	600	$8,71 \times 10^6$
TOTAL		$8,71 \times 10^6$

De acordo com Gorgati e Lucas Júnior (2002), a quantidade de chorume produzida no processo de compostagem de RSU depende da chuva, onde os autores modelam equações para estimar a quantidade de chorume produzida, de acordo com o volume de chuva das estações do ano. O volume de chuva foi o estimado para o ano de 2013 em Brasília – DF (INMET, 2014), que como resultado obteve-se o volume de 95 mm/m^2 (verão), 285 mm/m^2 (outono), 65 mm/m^2 , 120 mm/m^2 (inverno) e 135 mm/m^2 na primavera.

Utilizou-se as equações abaixo, onde x compreende ao volume de chuva de cada estação.

Para obter o valor de x, multiplicou-se o total da chuva em mm/m² de cada estação pela área (m²) para obter-se o total de milímetros por metro quadrado de chuva, dessa forma:

$$\text{Verão: } y = 0,8077(285 \times 33.000) - 4,305 = 7,60 \times 10^6 \text{ mm}$$

$$\text{Outono: } y = 0,3885 (65 \times 33.000) - 0,3327 = 8,35 \times 10^5 \text{ mm}$$

$$\text{Inverno: } y = 0,564(120 \times 33.000) + 0,4976 = 2,23 \times 10^6 \text{ mm}$$

$$\text{Primavera: } y = 0,8638 (135 \times 33.000) + 1,9158 = 3,85 \times 10^6 \text{ mm}$$

Logo, temos o total de $1,45 \times 10^7$ litros de chorume produzido. Para transformar em metros cúbicos, sabemos que 1.000 litros é igual a 1 metro cúbico, logo, no período de um ano foi produzido $1,45 \times 10^4$ metros cúbicos de chorume. Segundo informações do engenheiro químico da usina de compostagem, são adicionados 600 gramas de cal hidratada para cada metro cúbico de chorume, portanto estimado que utilizou-se $8,71 \times 10^6$ gramas de cal hidratada no período de um ano.

Nota 22. Detalhamento de cálculo do consumo de água

Tabela G-22. Consumo de água

Consumo (m ³ /ano)	Água (m ³ /ano)
$3,45 \times 10^5$	$3,45 \times 10^5$
TOTAL	$3,45 \times 10^5$

Nota 23. Cálculo da quantidade de RSU recebida.

Tabela G-23. Cálculo da quantidade de RSU anual.

RSU (t/dia)	Frequência (dia/ano)	Total (t/ano)
550	365	$2,1 \times 10^5$
TOTAL		$2,1 \times 10^5$

De acordo com informações da Valor Ambiental, o sistema recebe de 500 a 600 toneladas por dia de RSU. Utilizou-se a média de 550 t por dia para um período de 365 dias.

Nota 24. Cálculo da massa do composto orgânico.

Para o cálculo do RSU, utilizou-se a capacidade de tratamento que perfaz $6,57 \times 10^4$ toneladas de RSU anuais. De acordo com a Valor Ambiental (2013), o

composto orgânico corresponde a 30% da massa total de RSU tratado, logo contabilizou-se essa diferença na massa de RSU

Tabela G-24a. Cálculo da massa de N, P e K do RSU.

RSU (t/ano)	Nutrientes	Percentual (%)	Total (kg/ano)
$6,57 \times 10^4$	N	1	$6,57 \times 10^5$
$6,57 \times 10^4$	P	0,8	$5,26 \times 10^5$
$6,57 \times 10^4$	K	0,5	$3,29 \times 10^5$

De acordo com Silva *et al.* (2010), com base nos teores médios de N, P e K do composto de lixo, pode-se observar que esse produto equivale à fórmula 1-0,8-0,5, onde uma tonelada de composto irá fornecer 10 kg de N, 8 kg de P₂O₅ e 5 kg de K₂O.

Tabela G-24b. Cálculo do benefício calculado em energia do composto

Nutrientes	Total (kg/ano)	Conversão (g/kg)	UEV (sej/g)	Fator de Correção	Total (sej/g)
N	$6,57 \times 10^5$	$1,00 \times 10^3$	$3,80 \times 10^{9*}$	1,68	$4,19 \times 10^{18}$
P	$5,26 \times 10^5$	$1,00 \times 10^3$	$1,78 \times 10^{10*}$	1,68	$1,57 \times 10^{19}$
K	$3,29 \times 10^5$	$1,00 \times 10^3$	$1,10 \times 10^9*$	1,68	$6,08 \times 10^{17}$
total					$2,05 \times 10^{19}$

* Odum, 1996.

Nota 25. Cálculo da massa das embalagens utilizadas para o composto orgânico

Tabela G-25. Cálculo da massa de plástico das embalagens.

Composto (t/ano)	Conversão de Unidade (kg/t)	Capacidade Embalagem (kg)	Peso Embalagem (kg)	Fator de Conversão (g/kg)	Total (g/ano)
$6,57 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$	50	0,115*	$1,0 \times 10^3$	$1,51 \times 10^8$
Total					$1,51 \times 10^8$

Nota 26. Água

Tabela G-26. Consumo de água.

Água (m ³)	Total (m ³)
$3,45 \times 10^5$	$3,45 \times 10^5$
TOTAL ANO	$3,45 \times 10^5$

Nota 27. Cálculo da Precipitação (energia química) do sistema de compostagem.

Tabela G-27. Cálculo de precipitação (energia química) do sistema de compostagem.

Precipitação Média	Média Precip.	Energia livre de Gibbs	Energia
(m ²)	(g/m ²)	(J/g)	(J/ano)
33.000	350	4,94*	5,71x10 ⁷
TOTAL ANUAL			5,71x10 ⁷

(ODUM, 1996)

Para o cálculo utilizou-se a média da chuva no período de 25 anos, o pátio de compostagem ocupa uma área de 33.000 m².

Nota 28. Cálculo do Nitrogênio consumido pelos microorganismos:

Tabela G-28. Cálculo da quantidade de Nitrogênio utilizada pelos microorganismos.

RSU	Nitrogênio	Conversão de unidade	Total
(t)	(g/kg)	(t/kg)	(g t ⁻¹)
1,5x10 ⁵	1,305*	1,0x10 ⁻³	1,15x10 ²
TOTAL ANO			1,15x10 ²

*(Alcantara, 2007)

De acordo com Alcântara (2007), em amostras de RSU frescas, a quantidade de Nitrogênio varia de 1,01 a 1,6 g kg⁻¹, sendo utilizado nesse estudo a média, que corresponde a 1,305 g kg⁻¹.

Cálculo: $1,5 \times 10^5 / (1,305 \times 1.000) = 1,15 \times 10^2 \text{ g t}^{-1}$.

Nota 29. Cálculo do Carbono utilizado pelos microorganismos no processo de compostagem:

Tabela G-29. Cálculo da quantidade de Carbono.

RSU	Nitrogênio	Conversão de unidade	Total
(t)	(g.kg ⁻¹)	(t/kg)	(g t ⁻¹)
1,5x10 ⁵	36,87*	1,0x10 ⁻³	4,07x10 ⁰
Total ano			4,07x10 ⁰

O quadro de funcionários compreende 105 e 24 operadores/motoristas de máquinas e caminhões. 157 catadores cooperados que fazem a coleta seletiva, no entanto o sistema, que funciona 24 hs por dia realiza uma parada para manutenção das 15-30hs de domingo até 7:30hs de segunda-feira, o que reduz os dias de trabalho dos catadores cooperados.

Nota 30. Cálculo do benefício do sistema.

Apêndice H. Cálculo das UEVs para cada cenário de tratamento de RSU.

Primeiramente calculou-se a capacidade de tratamento de RSU anual para cada sistema.

Nota I-1. Capacidade de tratamento dos sistemas.

Tabela H-1. Demonstrativo da capacidade de tratamento dos sistemas.

	RSU (t/dia)	Conversão (dia/ano)	Conversão (g/t)	Massa (g/ano)
Tocha de plasma	350	265	$1,00 \times 10^6$	$9,28 \times 10^{10}$
Incineração	825	305	$1,00 \times 10^6$	$2,52 \times 10^{11}$
Pirólise	72	365	$1,00 \times 10^6$	$2,63 \times 10^{10}$
Compostagem	600	365	$1,00 \times 10^6$	$2,19 \times 10^{11}$
Aterro sanitário				$1,59 \times 10^{12}$

O aterro sanitário recebeu 28.553.113 toneladas de 1992 a 2009.

Nota 2. Cálculo das UEVs para cada sistema.

Tabela H- 2. Demonstrativo do cálculo das UEVs para cada sistema de tratamento de RSU.

	Energia (sej)	Cap.de trat. (g)	UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,52 \times 10^{19}$	$1,59 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$
Incineração	$4,30 \times 10^{18}$	$2,52 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$
Tocha de plasma	$2,98 \times 10^{18}$	$9,28 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$
Pirólise	$2,01 \times 10^{18}$	$2,63 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$
Compostagem	$9,50 \times 10^{18}$	$2,19 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,91 \times 10^{20}$	$1,59 \times 10^{12}$	$1,20 \times 10^8$
Incineração c/ prod. de energia	$4,53 \times 10^{18}$	$2,52 \times 10^{11}$	$1,80 \times 10^7$
Tocha de plasma c/ prod. de energia	$3,23 \times 10^{18}$	$9,28 \times 10^{10}$	$3,48 \times 10^7$

Para compor os cenários, considerou-se a capacidade máxima de tratamento de RSU de cada sistema (anual). A razão entre a energia de cada sistemas de tratamento e a capacidade de tratamento, fornece a quantidade de energia para tratar 1 grama de RSU.

Multiplicou-se o valor da UEV obtido, pelas respectivas quantidades de RSU e de matéria orgânica, a soma, compreende o total de energia empregada por cada sistema de tratamento para tratar todo o RSU da cidade.

Todo o material reciclável proveniente da coleta seletiva foi retirado no total que RSU que contemplam todos os cenários deste estudo.

Nota 3. Cidade de São Paulo.

Cálculo da energia para os cenários da cidade de São Paulo, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem é de $2,75 \times 10^{12}$ g, enquanto $2,02 \times 10^{12}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de energia que cada sistema de tratamento empregada para tratar 1 grama de RSU.

Tabela H-3a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de São Paulo.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$2,02 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$	$8,28 \times 10^{19}$
Incineração	$2,02 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^7$	$3,45 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$2,02 \times 10^{12}$	$3,21 \times 10^7$	$6,49 \times 10^{19}$
Pirólise	$2,02 \times 10^{12}$	$7,64 \times 10^7$	$1,54 \times 10^{20}$
Compostagem	$2,75 \times 10^{12}$	$4,34 \times 10^7$	$1,19 \times 10^{20}$

A quantidade de RSU e matéria orgânica gerada pelo município (descontado os materiais recicláveis) que seguem para tratamento, são multiplicadas pelas UEVs de cada sistema de tratamento, para estimar o total de energia necessária para tratar todo o RSU da cidade.

Tabela H-3b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento.

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$8,28 \times 10^{19}$	$1,19 \times 10^{20}$	$2,02 \times 10^{20}$
Incineração	$3,45 \times 10^{19}$	$1,19 \times 10^{20}$	$1,53 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$6,49 \times 10^{19}$	$1,19 \times 10^{20}$	$1,84 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,54 \times 10^{20}$	$1,19 \times 10^{20}$	$2,73 \times 10^{20}$

A energia empregada por cada sistema de tratamento é adicionada à energia empregada pela compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

O total de energia empregado para tratar um grama de RSU (UEV) de cada cenário) compreende a razão entre a energia total de cada cenário e o RSU a ser tratado.

Tabela H – 3c. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,02 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$4,24 \times 10^7$
Incineração	$1,53 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$3,22 \times 10^7$
Tocha de plasma	$1,84 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$3,85 \times 10^7$
Pirólise	$2,73 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$5,73 \times 10^7$
Compostagem			

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de São Paulo destinará $1,38 \times 10^{12}$ g de RSU para a compostagem e $3,40 \times 10^{12}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela H – 3d. Cálculo da energia para os cenários da cidade de São Paulo, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$3,40 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$	$1,39 \times 10^{20}$
Incineração	$3,40 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^7$	$5,80 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$3,40 \times 10^{12}$	$3,21 \times 10^7$	$1,09 \times 10^{20}$
Pirólise	$3,40 \times 10^{12}$	$7,64 \times 10^7$	$2,60 \times 10^{20}$
Compostagem	$1,38 \times 10^{12}$	$4,34 \times 10^7$	$5,99 \times 10^{19}$

Tabela H– 3e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,42 \times 10^{20}$	$5,99 \times 10^{19}$	$1,99 \times 10^{20}$
Incineração	$5,81 \times 10^{19}$	$5,99 \times 10^{19}$	$1,18 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$1,09 \times 10^{20}$	$5,99 \times 10^{19}$	$1,69 \times 10^{20}$
Pirólise	$2,60 \times 10^{20}$	$5,99 \times 10^{19}$	$3,20 \times 10^{20}$

Tabela H-3f. Cálculo da UEV para os cenários da cidade de São Paulo que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,02 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$4,18 \times 10^7$
Incineração	$1,18 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$2,47 \times 10^7$
Tocha de plasma	$1,69 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$3,54 \times 10^7$
Pirólise	$3,20 \times 10^{20}$	$4,77 \times 10^{12}$	$6,70 \times 10^7$

Tabela H-3g. Valores de UEVs para os cenários de São Paulo, com base nas Tabelas 3c e 3f.

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro	Comp./Incin.	Comp./Plasma	Comp./Pirólise
100%	$4,24 \times 10^7$	$3,22 \times 10^7$	$3,85 \times 10^7$	$5,73 \times 10^7$
50%	$4,18 \times 10^7$	$2,47 \times 10^7$	$3,54 \times 10^7$	$6,70 \times 10^7$

Nota I - 4. Cidade do Rio de Janeiro.

Cálculo da energia para os cenários da cidade do Rio de Janeiro, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Para o Rio de Janeiro o RSU que segue para tratamento foi estimado em $1,62 \times 10^{12}$ g por ano, e a matéria orgânica $1,76 \times 10^{12}$ g.

Tabela H- 4a. Demonstrativo da emergia dos cenários para a cidade do Rio de Janeiro

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$1,62 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$	$6,64 \times 10^{19}$
Incineração	$1,62 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^7$	$2,77 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,62 \times 10^{12}$	$3,21 \times 10^7$	$5,20 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,62 \times 10^{12}$	$7,64 \times 10^7$	$1,24 \times 10^{20}$
Compostagem	$1,76 \times 10^{12}$	$4,34 \times 10^7$	$7,64 \times 10^{19}$

Tabela H-4b. Cálculo do total de emergia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$6,64 \times 10^{19}$	$7,64 \times 10^{19}$	$1,43 \times 10^{20}$
Incineração	$2,77 \times 10^{19}$	$7,64 \times 10^{19}$	$1,04 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$5,20 \times 10^{19}$	$7,64 \times 10^{19}$	$1,28 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,24 \times 10^{20}$	$7,64 \times 10^{19}$	$2,00 \times 10^{20}$

Tabela H – 4c. Cálculo da UEV para os cenários .

	(A) Emergia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$1,43 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$4,23 \times 10^7$
Incineração	$1,04 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$3,08 \times 10^7$
Tocha de plasma	$1,28 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$3,79 \times 10^7$
Pirólise	$2,00 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$5,92 \times 10^7$

50% da matéria orgânica do Rio de Janeiro corresponde a $8,80 \times 10^{11}$, portanto o RSu encaminhado para tratamento é de $2,50 \times 10^{12}$ g.

Tabela H – 4d. Cálculo da emergia para os cenários da cidade do Rio de Janeiro, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$2,50 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$	$1,03 \times 10^{20}$
Incineração	$2,50 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^7$	$4,28 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$2,50 \times 10^{12}$	$3,21 \times 10^7$	$8,03 \times 10^{19}$
Pirólise	$2,50 \times 10^{12}$	$7,64 \times 10^7$	$1,91 \times 10^{20}$
Compostagem	$8,80 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$3,82 \times 10^{19}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $8,81 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $2,50 \times 10^{12}$ g.

Tabela H – 4e. Cálculo do total de emergia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A)	(B)	(A+B)
--	-----	-----	-------

	Energia (sej)	Energia Compostagem (sej)	Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,03 \times 10^{20}$	$3,82 \times 10^{19}$	$1,41 \times 10^{20}$
Incineração	$4,28 \times 10^{19}$	$3,82 \times 10^{19}$	$8,10 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$8,03 \times 10^{19}$	$3,82 \times 10^{19}$	$1,19 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,91 \times 10^{20}$	$3,82 \times 10^{19}$	$2,29 \times 10^{20}$

Tabela H-4f. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$1,41 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$4,17 \times 10^7$
Incineração	$8,10 \times 10^{19}$	$3,38 \times 10^{12}$	$2,40 \times 10^7$
Tocha de plasma	$1,19 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$3,52 \times 10^7$
Pirólise	$2,29 \times 10^{20}$	$3,38 \times 10^{12}$	$6,78 \times 10^7$

Tabela H-4g. Valores de UEVs para os cenários de Rio de Janeiro, com base nas Tabelas 4c e 4f.

	Comp./Aterro	Comp./Incin.	Comp./Plasma	Comp./Pirólise
	$4,23 \times 10^7$	$3,08 \times 10^7$	$3,79 \times 10^7$	$5,92 \times 10^7$
	$4,17 \times 10^7$	$2,40 \times 10^7$	$3,52 \times 10^7$	$6,78 \times 10^7$

Nota 5. Cidade de Manaus.

Cálculo da energia para os cenários da cidade de Manaus, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem. A quantidade de RSU pode ser observada na Tabela 10.

Tabela H- 5a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de Manaus.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$7,10 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$2,91 \times 10^{19}$
Incineração	$7,10 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$1,21 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$7,10 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$2,28 \times 10^{19}$
Pirólise	$7,10 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$5,42 \times 10^{19}$
Compostagem	$2,61 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$1,13 \times 10^{19}$

Tabela H-5b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$2,91 \times 10^{19}$	$1,13 \times 10^{19}$	$4,04 \times 10^{19}$
Incineração	$1,21 \times 10^{19}$	$1,13 \times 10^{19}$	$2,34 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$2,28 \times 10^{19}$	$1,13 \times 10^{19}$	$3,41 \times 10^{19}$
Pirólise	$5,42 \times 10^{19}$	$1,13 \times 10^{19}$	$6,55 \times 10^{19}$

O RSU para o tratamento compreende $2,61 \times 10^{11}$ (compostagem) mais $7,10 \times 10^{11}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $9,71 \times 10^{11}$ g.

Tabela H - 5c. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Energia Total	(B) Total de RSU p/ Tratamento	(A/B) UEV
--	-------------------------	--------------------------------------	--------------

	(sej)	(g)	(sej/g)
Aterro sanitário	$4,04 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$4,16 \times 10^7$
Incineração	$2,34 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$2,41 \times 10^7$
Tocha de plasma	$3,41 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$3,51 \times 10^7$
Pirólise	$6,55 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$6,75 \times 10^7$

Tabela H – 5d. Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Manaus, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$8,41 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$3,45 \times 10^{19}$
Incineração	$8,41 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$1,44 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$8,41 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$2,70 \times 10^{19}$
Pirólise	$8,41 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$6,43 \times 10^{19}$
Compostagem	$1,30 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$5,64 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $1,30 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $8,41 \times 10^{11}$ g.

Tabela H– 5e. Cálculo do total de emergia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$3,45 \times 10^{19}$	$5,64 \times 10^{18}$	$4,01 \times 10^{19}$
Incineração	$1,44 \times 10^{19}$	$5,64 \times 10^{18}$	$2,00 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$2,70 \times 10^{19}$	$5,64 \times 10^{18}$	$3,26 \times 10^{19}$
Pirólise	$6,43 \times 10^{19}$	$5,64 \times 10^{18}$	$6,99 \times 10^{19}$

Tabela H-5f. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Emergia Total (sej)	(B) RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$4,01 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$4,13 \times 10^7$
Incineração	$2,00 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$2,06 \times 10^7$
Tocha de plasma	$3,26 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$3,36 \times 10^7$
Pirólise	$6,99 \times 10^{19}$	$9,71 \times 10^{11}$	$7,20 \times 10^7$

Tabela H-5g. Valores de UEVs para os cenários de Manaus, com base nas Tabelas 5c e 5f.).

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,16 \times 10^7$	$2,41 \times 10^7$	$3,51 \times 10^7$	$6,75 \times 10^7$
	$4,13 \times 10^7$	$2,06 \times 10^7$	$3,36 \times 10^7$	$7,20 \times 10^7$

Nota 6. Cidade de Salvador.

O RSu para a cidade de Salvador corresponde a $9,23 \times 10^{11}$ g/ano matéria orgânica e $1,26 \times 10^{11}$ g de RSU destinado a cada tipo de tratamento.

Tabela H – 6a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de Salvador.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$1,26 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$	$5,17 \times 10^{19}$
Incineração	$1,26 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^7$	$2,15 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,26 \times 10^{12}$	$3,21 \times 10^7$	$4,04 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,26 \times 10^{12}$	$7,64 \times 10^7$	$9,63 \times 10^{19}$
Compostagem	$9,23 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$4,01 \times 10^{19}$

Tabela H-6b: Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$5,17 \times 10^{19}$	$4,01 \times 10^{19}$	$9,18 \times 10^{19}$
Incineração	$2,15 \times 10^{19}$	$4,01 \times 10^{19}$	$6,16 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$4,04 \times 10^{19}$	$4,01 \times 10^{19}$	$8,05 \times 10^{19}$
Pirólise	$9,63 \times 10^{19}$	$4,01 \times 10^{19}$	$1,36 \times 10^{20}$

Tabela H– 6c. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Energia Total (sej)	(B) RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$9,18 \times 10^{19}$	$2,18 \times 10^{12}$	$4,21 \times 10^7$
Incineração	$6,16 \times 10^{19}$	$2,18 \times 10^{12}$	$2,83 \times 10^7$
Tocha de plasma	$8,05 \times 10^{19}$	$2,18 \times 10^{12}$	$3,69 \times 10^7$
Pirólise	$1,36 \times 10^{20}$	$2,18 \times 10^{12}$	$6,24 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $9,23 \times 10^{11}$ (compostagem) mais $1,26 \times 10^{12}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $2,18 \times 10^{12}$ g.

Tabela H – 6d. Cálculo da energia para os cenários da cidade de Salvador, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$1,72 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^7$	$7,05 \times 10^{19}$
Incineração	$1,72 \times 10^{12}$	$1,71 \times 10^7$	$2,94 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,72 \times 10^{12}$	$3,21 \times 10^7$	$5,52 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,72 \times 10^{12}$	$7,64 \times 10^7$	$1,31 \times 10^{20}$
Compostagem	$4,62 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$2,01 \times 10^{19}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $4,61 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $1,72 \times 10^{12}$ g.

Tabela H– 6e: Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$7,05 \times 10^{19}$	$2,01 \times 10^{19}$	$9,06 \times 10^{19}$
Incineração	$2,94 \times 10^{19}$	$2,01 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$5,52 \times 10^{19}$	$2,01 \times 10^{19}$	$7,53 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,31 \times 10^{20}$	$2,01 \times 10^{19}$	$1,51 \times 10^{20}$

Tabela H-6f. Cálculo da UEV para os cenários.

	(A) Emergia Total (sej)	(B) RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$9,06 \times 10^{19}$	$2,18 \times 10^{12}$	$4,16 \times 10^7$
Incineração	$4,95 \times 10^{19}$	$2,18 \times 10^{12}$	$2,27 \times 10^7$
Tocha de plasma	$7,53 \times 10^{19}$	$2,18 \times 10^{12}$	$3,45 \times 10^7$
Pirólise	$1,51 \times 10^{20}$	$2,18 \times 10^{12}$	$6,93 \times 10^7$

Tabela H-6g. Valores de UEVs para os cenários de Salvador, com base nas Tabelas 6c e 6f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,21 \times 10^7$	$2,83 \times 10^7$	$3,69 \times 10^7$	$6,24 \times 10^7$
	$4,15 \times 10^7$	$2,27 \times 10^7$	$3,45 \times 10^7$	$6,93 \times 10^7$

Nota 7. Cidade de Goiânia.

Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Goiânia, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H – 7a. Demonstrativo da emergia dos cenários para a cidade de Goiânia.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$1,62 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$6,64 \times 10^{18}$
Incineração	$1,62 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$2,77 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,62 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$5,20 \times 10^{18}$
Pirólise	$1,62 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$1,24 \times 10^{19}$
Compostagem	$3,33 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$1,45 \times 10^{19}$

Tabela H-7b. Cálculo do total de emergia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$6,64 \times 10^{18}$	$1,45 \times 10^{19}$	$2,11 \times 10^{19}$
Incineração	$2,77 \times 10^{18}$	$1,45 \times 10^{19}$	$1,73 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$5,20 \times 10^{18}$	$1,45 \times 10^{19}$	$1,97 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,24 \times 10^{19}$	$1,45 \times 10^{19}$	$2,69 \times 10^{19}$

Tabela H– 7c. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Emergia Total (sej)	(B) RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,11 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$4,26 \times 10^7$
Incineração	$1,73 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$3,49 \times 10^7$
Tocha de plasma	$1,97 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$3,98 \times 10^7$
Pirólise	$2,69 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$5,43 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $3,33 \times 10^{11}$ (compostagem) mais $1,62 \times 10^{11}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $4,95 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 7d. Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Goiânia, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$3,29 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$1,35 \times 10^{19}$
Incineração	$3,29 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$5,63 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$3,29 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$1,06 \times 10^{19}$
Pirólise	$3,29 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$2,51 \times 10^{19}$
Compostagem	$1,67 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$7,25 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $1,66 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $3,28 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 7e. Cálculo do total de emergia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,35 \times 10^{19}$	$7,25 \times 10^{18}$	$2,07 \times 10^{19}$
Incineração	$5,63 \times 10^{18}$	$7,25 \times 10^{18}$	$1,29 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,06 \times 10^{19}$	$7,25 \times 10^{18}$	$1,78 \times 10^{19}$
Pirólise	$2,51 \times 10^{19}$	$7,25 \times 10^{18}$	$3,24 \times 10^{19}$

Tabela H-7f. Cálculo da UEV para os cenários.

	(A) Emergia Total (sej)	(B) RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,07 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$4,18 \times 10^7$
Incineração	$1,27 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$2,57 \times 10^7$
Tocha de plasma	$1,78 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$3,60 \times 10^7$
Pirólise	$3,24 \times 10^{19}$	$4,95 \times 10^{11}$	$6,55 \times 10^7$

Tabela H-7g. Valores de UEVs para os cenários de Goiânia, com base nas Tabelas 7c e 7f.

	Comp./Aterro	Comp./Incin.	Comp./Plasma	Comp./Pirólise
	$4,26 \times 10^7$	$3,49 \times 10^7$	$3,98 \times 10^7$	$5,43 \times 10^7$
	$4,18 \times 10^7$	$2,57 \times 10^7$	$3,60 \times 10^7$	$6,55 \times 10^7$

Nota 8. Cidade de Belo Horizonte

Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Belo Horizonte, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H – 8a. Demonstrativo da emergia dos cenários para a cidade de Belo Horizonte.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$3,68 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$1,51 \times 10^{19}$
Incineração	$3,68 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$6,29 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$3,68 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$1,18 \times 10^{19}$
Pirólise	$3,68 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$2,81 \times 10^{19}$

Compostagem	$2,97 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$1,29 \times 10^{19}$
-------------	-----------------------	--------------------	-----------------------

Tabela H-8b: Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,51 \times 10^{19}$	$1,29 \times 10^{19}$	$2,80 \times 10^{19}$
Incineração	$6,29 \times 10^{18}$	$1,29 \times 10^{19}$	$1,92 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,18 \times 10^{19}$	$1,29 \times 10^{19}$	$2,47 \times 10^{19}$
Pirólise	$2,81 \times 10^{19}$	$1,29 \times 10^{19}$	$4,10 \times 10^{19}$

Tabela H – 8c. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,80 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$4,21 \times 10^7$
Incineração	$1,92 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$2,89 \times 10^7$
Tocha de plasma	$2,47 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$3,71 \times 10^7$
Pirólise	$4,10 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$6,17 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $2,97 \times 10^{11}$ (compostagem) mais $3,68 \times 10^{11}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $6,65 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 8d. Cálculo da energia para os cenários da cidade de Belo Horizonte, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$5,17 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$2,12 \times 10^{19}$
Incineração	$5,17 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$8,84 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$5,17 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$1,66 \times 10^{19}$
Pirólise	$5,17 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$3,95 \times 10^{19}$
Compostagem	$1,49 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$6,47 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $1,49 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $5,16 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 8e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$2,12 \times 10^{19}$	$6,47 \times 10^{18}$	$2,77 \times 10^{19}$
Incineração	$8,84 \times 10^{18}$	$6,47 \times 10^{18}$	$1,53 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,66 \times 10^{19}$	$6,47 \times 10^{18}$	$2,31 \times 10^{19}$
Pirólise	$3,95 \times 10^{19}$	$6,47 \times 10^{18}$	$4,60 \times 10^{19}$

Tabela H-8f. Cálculo da UEV para os cenários 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C e 4D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,77 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$4,17 \times 10^7$

Incineração	$1,53 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$2,30 \times 10^7$
Tocha de plasma	$2,31 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$3,47 \times 10^7$
Pirólise	$4,60 \times 10^{19}$	$6,65 \times 10^{11}$	$6,92 \times 10^7$

Tabela H-8g. Valores de UEVs para os cenários de Belo Horizonte, com base nas Tabelas 8c e 8f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,21 \times 10^7$	$2,89 \times 10^7$	$3,71 \times 10^7$	$6,17 \times 10^7$
	$4,17 \times 10^7$	$2,30 \times 10^7$	$3,47 \times 10^7$	$6,92 \times 10^7$

Nota I - 9. Cidade de Curitiba.

Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Curitiba, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H- 9a. Demonstrativo da emergia dos cenários para a cidade de Curitiba.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$3,43 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$1,41 \times 10^{19}$
Incineração	$3,43 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$5,87 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$3,43 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$1,10 \times 10^{19}$
Pirólise	$3,43 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$2,62 \times 10^{19}$
Compostagem	$2,29 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$9,94 \times 10^{18}$

Tabela H-9b. Cálculo do total de emergia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,41 \times 10^{19}$	$9,94 \times 10^{18}$	$2,40 \times 10^{19}$
Incineração	$5,87 \times 10^{18}$	$9,94 \times 10^{18}$	$1,58 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,10 \times 10^{19}$	$9,94 \times 10^{18}$	$2,10 \times 10^{19}$
Pirólise	$2,62 \times 10^{19}$	$9,94 \times 10^{18}$	$3,61 \times 10^{19}$

Tabela H – 9c. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Emergia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,40 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$4,20 \times 10^7$
Incineração	$1,58 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$2,76 \times 10^7$
Tocha de plasma	$2,10 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$3,65 \times 10^7$
Pirólise	$3,61 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$6,31 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $2,29 \times 10^{11}$ (compostagem) mais $3,43 \times 10^{11}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $5,72 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 9d. Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Curitiba, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
--	--------------------	----------------	------------------

Aterro sanitário	$4,58 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$1,88 \times 10^{19}$
Incineração	$4,58 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$7,83 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$4,58 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$1,47 \times 10^{19}$
Pirólise	$4,58 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$3,50 \times 10^{19}$
Compostagem	$1,15 \times 10^{11}$	$4,34 \times 10^7$	$4,99 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $1,15 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $4,58 \times 10^{11}$ g.

Tabela H– 9e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,88 \times 10^{19}$	$4,99 \times 10^{18}$	$2,38 \times 10^{19}$
Incineração	$7,83 \times 10^{18}$	$4,99 \times 10^{18}$	$1,28 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,47 \times 10^{19}$	$4,99 \times 10^{18}$	$1,97 \times 10^{19}$
Pirólise	$3,50 \times 10^{19}$	$4,99 \times 10^{18}$	$4,00 \times 10^{19}$

Tabela H-9f. Cálculo da UEV para os cenários

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$2,35 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$4,16 \times 10^7$
Incineração	$1,40 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$2,24 \times 10^7$
Tocha de plasma	$2,00 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$3,44 \times 10^7$
Pirólise	$3,76 \times 10^{19}$	$5,72 \times 10^{11}$	$6,99 \times 10^7$

Tabela H-9g. Valores de UEVs para os cenários de Curitiba, com base nas Tabelas 9c e 9f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,20 \times 10^7$	$2,76 \times 10^7$	$3,65 \times 10^7$	$6,31 \times 10^7$
	$4,16 \times 10^7$	$2,24 \times 10^7$	$3,44 \times 10^7$	$6,99 \times 10^7$

Nota 10. Cidade de Porto Velho.

Cálculo da energia para os cenários da cidade de Porto Velho, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H – 10a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de Porto Velho.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$7,27 \times 10^{10}$	$4,10 \times 10^7$	$2,98 \times 10^{18}$
Incineração	$7,27 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^7$	$1,24 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$7,27 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$	$2,33 \times 10^{18}$
Pirólise	$7,27 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$	$5,55 \times 10^{18}$
Compostagem	$7,49 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$3,25 \times 10^{18}$

Tabela H-10b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$2,98 \times 10^{18}$	$3,25 \times 10^{18}$	$6,23 \times 10^{18}$
Incineração	$1,24 \times 10^{18}$	$3,25 \times 10^{18}$	$4,49 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$2,33 \times 10^{18}$	$3,25 \times 10^{18}$	$5,58 \times 10^{18}$
Pirólise	$5,55 \times 10^{18}$	$3,25 \times 10^{18}$	$8,80 \times 10^{18}$

Tabela H- 10c. Cálculo da UEV para os cenários 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C e 2D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,23 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$4,21 \times 10^7$
Incineração	$4,49 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$3,03 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,58 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$3,77 \times 10^7$
Pirólise	$8,80 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$5,95 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $7,49 \times 10^{10}$ (compostagem) mais $7,27 \times 10^{10}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $1,48 \times 10^{11}$ g.

Tabela H- 10d. Cálculo da energia para os cenários da cidade de Porto Velho, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$1,10 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$4,51 \times 10^{18}$
Incineração	$1,10 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$1,88 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,10 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$3,53 \times 10^{18}$
Pirólise	$1,10 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$8,40 \times 10^{18}$
Compostagem	$3,75 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$1,63 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $1,15 \times 10^{11}$ g. O restante do RSU compreende $4,57 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 10e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$4,51 \times 10^{18}$	$1,63 \times 10^{18}$	$6,14 \times 10^{18}$
Incineração	$1,88 \times 10^{18}$	$1,63 \times 10^{18}$	$3,51 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$3,53 \times 10^{18}$	$1,63 \times 10^{18}$	$5,16 \times 10^{18}$
Pirólise	$8,40 \times 10^{18}$	$1,63 \times 10^{18}$	$1,00 \times 10^{19}$

Tabela H-10f. Cálculo da UEV para os cenários 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C e 4D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,14 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$4,15 \times 10^7$
Incineração	$3,51 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$2,37 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,16 \times 10^{18}$	$1,48 \times 10^{11}$	$3,49 \times 10^7$
Pirólise	$1,00 \times 10^{19}$	$1,48 \times 10^{11}$	$6,76 \times 10^7$

Tabela H-10g. Valores de UEVs para os cenários de Porto Velho, com base nas Tabelas 10c e 10f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,21 \times 10^7$	$3,03 \times 10^7$	$3,77 \times 10^7$	$5,95 \times 10^7$
	$4,15 \times 10^7$	$2,37 \times 10^7$	$3,49 \times 10^7$	$6,76 \times 10^7$

Nota 11. Cidade de Campina Grande.

Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Campina Grande, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H- 11a. Demonstrativo da emergia dos cenários para a cidade de Campina Grande.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$3,17 \times 10^{10}$	$4,10 \times 10^7$	$1,30 \times 10^{18}$
Incinerção	$3,17 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^7$	$5,42 \times 10^{17}$
Tocha de plasma	$3,17 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$	$1,02 \times 10^{18}$
Pirólise	$3,17 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$	$2,42 \times 10^{18}$
Compostagem	$6,29 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$2,73 \times 10^{18}$

Tabela H-11b: Cálculo do total de emergia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$1,30 \times 10^{18}$	$2,73 \times 10^{18}$	$4,03 \times 10^{18}$
Incinerção	$5,42 \times 10^{17}$	$2,73 \times 10^{18}$	$3,27 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,02 \times 10^{18}$	$2,73 \times 10^{18}$	$3,75 \times 10^{18}$
Pirólise	$2,42 \times 10^{18}$	$2,73 \times 10^{18}$	$5,15 \times 10^{18}$

Tabela H – 11c. Cálculo da UEV para os cenários 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C e 2D.

	(A) Emergia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$4,03 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$4,26 \times 10^7$
Incinerção	$3,27 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$3,46 \times 10^7$
Tocha de plasma	$3,75 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$3,96 \times 10^7$
Pirólise	$5,15 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$5,44 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $6,29 \times 10^{10}$ (compostagem) mais $3,17 \times 10^{10}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $9,46 \times 10^{10}$ g.

Tabela H – 11d. Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Campina Grande, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$6,32 \times 10^{10}$	$4,10 \times 10^7$	$2,59 \times 10^{18}$
Incinerção	$6,32 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^7$	$1,08 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$6,32 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$	$2,03 \times 10^{18}$
Pirólise	$6,32 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$	$4,83 \times 10^{18}$
Compostagem	$3,15 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$1,37 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $3,15 \times 10^{10}$ g. O restante do RSU compreende $6,32 \times 10^{10}$ g.

Tabela H – 11e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$2,59 \times 10^{18}$	$1,37 \times 10^{18}$	$3,96 \times 10^{18}$
Incineração	$1,08 \times 10^{18}$	$1,37 \times 10^{18}$	$2,45 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$2,03 \times 10^{18}$	$1,37 \times 10^{18}$	$3,40 \times 10^{18}$
Pirólise	$4,83 \times 10^{18}$	$1,37 \times 10^{18}$	$6,20 \times 10^{18}$

Tabela H-11f. Cálculo da UEV para os cenários 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C e 4D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$3,96 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$4,19 \times 10^7$
Incineração	$2,45 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$2,59 \times 10^7$
Tocha de plasma	$3,40 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$3,59 \times 10^7$
Pirólise	$6,20 \times 10^{18}$	$9,46 \times 10^{10}$	$6,55 \times 10^7$

Tabela H-11g. Valores de UEVs para os cenários de Campina Grande, com base nas Tabelas 11c e 11f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,26 \times 10^7$	$3,46 \times 10^7$	$3,96 \times 10^7$	$5,44 \times 10^7$
	$4,19 \times 10^7$	$2,59 \times 10^7$	$3,59 \times 10^7$	$6,55 \times 10^7$

Nota 12. Cidade de Aparecida de Goiânia

Cálculo da energia para os cenários da cidade de Aparecida de Goiânia, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H – 12a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de Aparecida de Goiânia.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$8,01 \times 10^{10}$	$4,10 \times 10^7$	$3,28 \times 10^{18}$
Incineração	$8,01 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^7$	$1,37 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$8,01 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$	$2,57 \times 10^{18}$
Pirólise	$8,01 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$	$6,12 \times 10^{18}$
Compostagem	$7,63 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$3,31 \times 10^{18}$

Tabela H-12b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$3,28 \times 10^{18}$	$3,31 \times 10^{18}$	$6,59 \times 10^{18}$
Incineração	$1,37 \times 10^{18}$	$3,31 \times 10^{18}$	$4,68 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$2,57 \times 10^{18}$	$3,31 \times 10^{18}$	$5,88 \times 10^{18}$
Pirólise	$6,12 \times 10^{18}$	$3,31 \times 10^{18}$	$9,43 \times 10^{18}$

Tabela H– 12c. Cálculo da UEV para os cenários 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C e 2D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,59 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$4,22 \times 10^7$
Incineração	$4,68 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$3,00 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,88 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$3,77 \times 10^7$
Pirólise	$9,43 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$6,04 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $7,63 \times 10^{10}$ (compostagem) mais $8,01 \times 10^{10}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $1,56 \times 10^{11}$.

Tabela H – 12d. Cálculo da energia para os cenários da cidade de Aparecida de Goiânia, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$1,18 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$4,84 \times 10^{18}$
Incineração	$1,18 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$2,02 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,18 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$3,79 \times 10^{18}$
Pirólise	$1,18 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$9,02 \times 10^{18}$
Compostagem	$3,82 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$1,66 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $3,82 \times 10^{10}$ g. O restante do RSU compreende $1,18 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 12e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$4,84 \times 10^{18}$	$1,66 \times 10^{18}$	$6,50 \times 10^{18}$
Incineração	$2,02 \times 10^{18}$	$1,66 \times 10^{18}$	$3,68 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$3,79 \times 10^{18}$	$1,66 \times 10^{18}$	$5,45 \times 10^{18}$
Pirólise	$9,02 \times 10^{18}$	$1,66 \times 10^{18}$	$1,07 \times 10^{19}$

Tabela H-12f. Cálculo da UEV para os cenários 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C e 4D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,50 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$4,17 \times 10^7$
Incineração	$3,68 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$2,36 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,45 \times 10^{18}$	$1,56 \times 10^{11}$	$3,49 \times 10^7$
Pirólise	$1,07 \times 10^{19}$	$1,56 \times 10^{11}$	$6,86 \times 10^7$

Tabela H-12g. Valores de UEVs para os cenários de Aparecida de Goiânia, com base nas Tabelas 12c e 12f.

	Comp./Aterro	Comp./Incin.	Comp./Plasma	Comp./Pirólise
--	--------------	--------------	--------------	----------------

	(A)	(B)	(C)	(D)
	$4,22 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$	$3,77 \times 10^7$	$6,04 \times 10^7$
	$4,17 \times 10^7$	$2,36 \times 10^7$	$3,49 \times 10^7$	$6,86 \times 10^7$

Nota 13. Cidade de São José do Rio Preto.

Cálculo da energia para os cenários da cidade de São José do Rio Preto, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H– 13a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de São José do Rio Preto.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$7,14 \times 10^{10}$	$4,10 \times 10^7$	$2,93 \times 10^{18}$
Incineração	$7,14 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^7$	$1,22 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$7,14 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$	$2,29 \times 10^{18}$
Pirólise	$7,14 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$	$5,45 \times 10^{18}$
Compostagem	$7,56 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$3,28 \times 10^{18}$

Tabela H-13b Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$2,93 \times 10^{18}$	$3,28 \times 10^{18}$	$6,21 \times 10^{18}$
Incineração	$1,22 \times 10^{18}$	$3,28 \times 10^{18}$	$4,50 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$2,29 \times 10^{18}$	$3,28 \times 10^{18}$	$5,57 \times 10^{18}$
Pirólise	$5,45 \times 10^{18}$	$3,28 \times 10^{18}$	$8,73 \times 10^{18}$

Tabela H – 13c. Cálculo da UEV para os cenários 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C e 2D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,21 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$4,22 \times 10^7$
Incineração	$4,50 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$3,06 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,57 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$3,79 \times 10^7$
Pirólise	$8,73 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$5,94 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $7,56 \times 10^{10}$ (compostagem) mais $7,14 \times 10^{10}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $1,47 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 13d. Cálculo da energia para os cenários da cidade de São José do Rio Preto, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$1,09 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$4,47 \times 10^{18}$
Incineração	$1,09 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$1,86 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,09 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$3,50 \times 10^{18}$
Pirólise	$1,09 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$8,33 \times 10^{18}$
Compostagem	$3,78 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$1,64 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $3,78 \times 10^{10}$ g. O restante do RSU compreende $1,09 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 13e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

Tabela H-13f. Cálculo da UEV para os cenários .

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,11 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$4,16 \times 10^7$
Incineração	$3,50 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$2,38 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,14 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$3,50 \times 10^7$
Pirólise	$9,97 \times 10^{18}$	$1,47 \times 10^{11}$	$6,78 \times 10^7$

Tabela H-13g. Valores de UEVs para os cenários de São José do Rio Preto, com base nas Tabelas 13c e 13f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,22 \times 10^7$	$3,06 \times 10^7$	$3,79 \times 10^7$	$5,94 \times 10^7$
	$4,16 \times 10^7$	$2,38 \times 10^7$	$3,50 \times 10^7$	$6,78 \times 10^7$

Nota 14. Cidade de Caxias do Sul

Cálculo da energia para os cenários da cidade de Caxias do Sul, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Tabela H – 14a. Demonstrativo da energia dos cenários para a cidade de Caxias do Sul.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Energia (sej)
Aterro sanitário	$5,99 \times 10^{10}$	$4,10 \times 10^7$	$2,46 \times 10^{18}$
Incineração	$5,99 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^7$	$1,02 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$5,99 \times 10^{10}$	$3,21 \times 10^7$	$1,92 \times 10^{18}$
Pirólise	$5,99 \times 10^{10}$	$7,64 \times 10^7$	$4,58 \times 10^{18}$
Compostagem	$8,88 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$3,85 \times 10^{18}$

Tabela H-14b Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia (sej)	(B) Energia Compostagem (sej)	(A+B) Energia Total (sej)
Aterro sanitário	$2,46 \times 10^{18}$	$3,85 \times 10^{18}$	$6,31 \times 10^{18}$
Incineração	$1,02 \times 10^{18}$	$3,85 \times 10^{18}$	$4,87 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,92 \times 10^{18}$	$3,85 \times 10^{18}$	$5,77 \times 10^{18}$
Pirólise	$4,58 \times 10^{18}$	$3,85 \times 10^{18}$	$8,43 \times 10^{18}$

Tabela H– 14c. Cálculo da UEV para os cenários 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C e 2D.

	(A) Energia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,31 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$4,23 \times 10^7$
Incineração	$4,87 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$3,27 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,77 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$3,87 \times 10^7$
Pirólise	$8,43 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$5,66 \times 10^7$

O RSU para o tratamento compreende $8,88 \times 10^{10}$ (compostagem) mais $5,99 \times 10^{10}$ (RSU para tratamento), cuja soma é de $1,49 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 14d. Cálculo da emergia para os cenários da cidade de Caxias do Sul, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	UEV (sej/g)	Emergia (sej)
Aterro sanitário	$1,04 \times 10^{11}$	$4,10 \times 10^7$	$4,26 \times 10^{18}$
Incineração	$1,04 \times 10^{11}$	$1,71 \times 10^7$	$1,78 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$1,04 \times 10^{11}$	$3,21 \times 10^7$	$3,34 \times 10^{18}$
Pirólise	$1,04 \times 10^{11}$	$7,64 \times 10^7$	$7,95 \times 10^{18}$
Compostagem	$4,44 \times 10^{10}$	$4,34 \times 10^7$	$1,93 \times 10^{18}$

O total que segue para a matéria orgânica para estes cenários é de 50%, perfazendo $4,44 \times 10^{10}$ g. O restante do RSU compreende $1,04 \times 10^{11}$ g.

Tabela H – 14e. Cálculo do total de emergia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Emergia (sej)	(B) Emergia Compostagem (sej)	(A+B) Emergia Total (sej)
Aterro sanitário	$4,26 \times 10^{18}$	$1,93 \times 10^{18}$	$6,19 \times 10^{18}$
Incineração	$1,78 \times 10^{18}$	$1,93 \times 10^{18}$	$3,71 \times 10^{18}$
Tocha de plasma	$3,34 \times 10^{18}$	$1,93 \times 10^{18}$	$5,27 \times 10^{18}$
Pirólise	$7,95 \times 10^{18}$	$1,93 \times 10^{18}$	$9,88 \times 10^{18}$

Tabela H-14f. Cálculo da UEV para os cenários 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C e 4D.

	(A) Emergia Total (sej)	(B) Total de RSU p/ Tratamento (g)	(A/B) UEV (sej/g)
Aterro sanitário	$6,19 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$4,15 \times 10^7$
Incineração	$3,71 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$2,49 \times 10^7$
Tocha de plasma	$5,27 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$3,54 \times 10^7$
Pirólise	$9,88 \times 10^{18}$	$1,49 \times 10^{11}$	$6,63 \times 10^7$

Tabela H-14g. Valores de UEVs para os cenários de Caxias do Sul com base nas Tabelas 14c e 14f.

	Comp./Aterro (A)	Comp./Incin. (B)	Comp./Plasma (C)	Comp./Pirólise (D)
	$4,23 \times 10^7$	$3,27 \times 10^7$	$3,87 \times 10^7$	$5,66 \times 10^7$
	$4,15 \times 10^7$	$2,49 \times 10^7$	$3,54 \times 10^7$	$6,63 \times 10^7$

Apêndice I. Cálculo dos benefícios para as cidades

Primeiramente calculou-se a energia de cada sistema de tratamento.

Nota I-1. Capacidade de tratamento dos sistemas.

Tabela I-1. Demonstrativo da capacidade de tratamento dos sistemas.

	RSU (t/dia)	Conversão (dia/ano)	Conversão (g/t)	Massa (g/ano)
Tocha de plasma	350	265	$1,00 \times 10^6$	$9,28 \times 10^{10}$
Incineração	825	305	$1,00 \times 10^6$	$2,52 \times 10^{11}$
Pirólise	72	365	$1,00 \times 10^6$	$2,63 \times 10^{10}$
Compostagem	600	365	$1,00 \times 10^6$	$2,19 \times 10^{11}$
Aterro sanitário				$1,59 \times 10^{12}$

O benefício em energia gerado pelos sistemas de tratamento (energia elétrica, composto orgânico), foram subtraídos da energia total dos sistemas, conforme Tabela J-2.

Nota 2. Diferença entre energia do benefício e energia do sistema de tratamento.

Tabela I- 2. Demonstrativo do cálculo do benefício líquido para os sistemas de tratamento.

	Benefício (sej/ano)	Energia (sej/ano)	Benefício (sej/ano)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$3,30 \times 10^{21}$	$1,91 \times 10^{20}$	$3,11 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$6,26 \times 10^{19}$	$4,53 \times 10^{18}$	$5,81 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$3,03 \times 10^{19}$	$3,23 \times 10^{18}$	$2,71 \times 10^{19}$
Pirólise	$4,60 \times 10^{18}$	$2,01 \times 10^{18}$	$2,59 \times 10^{18}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$4,77 \times 10^{21}$	$9,50 \times 10^{18}$	$4,76 \times 10^{21}$

Para compor os cenários, efetuou-se a razão entre o benefício líquido e a capacidade de tratamento de RSU dos sistemas, obtendo-se dessa forma, o benefício líquido que cada grama de RSU pode oferecer.

Nota 3. Benefício líquido por grama de RSU.

Tabela I -3. Demonstrativo do benefício por grama de RSU.

	Benefício Em energia (sej/ano)	Res. Tratado (g/ano)	Benefício por grama (sej/g)
Aterro sanitário c/ prod. de ee	$3,11 \times 10^{21}$	$1,59 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$
Incineração com prod. de ee	$5,81 \times 10^{19}$	$2,52 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$
Tocha de plasma com prod. de energia	$2,71 \times 10^{19}$	$9,28 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$
Pirólise	$2,59 \times 10^{18}$	$2,63 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$
Compostagem	$4,76 \times 10^{21}$	$2,19 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$

Nota 4. Cidade de São Paulo.

Cálculo do benefício para os cenários da cidade de São Paulo, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem é de $2,75 \times 10^{12}$ g, enquanto $2,02 \times 10^{12}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em sej por grama

Tabela I-4. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$2,02 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$	$3,96 \times 10^{21}$
Incineração	$2,02 \times 10^{12}$	$2,31 \times 10^8$	$4,67 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$2,02 \times 10^{12}$	$2,92 \times 10^8$	$5,90 \times 10^{20}$
Pirólise	$2,02 \times 10^{12}$	$9,85 \times 10^7$	$1,99 \times 10^{20}$
Compostagem	$2,75 \times 10^{12}$	$2,17 \times 10^{10}$	$5,97 \times 10^{22}$

A quantidade de RSU e matéria orgânica gerada pelo município (descontado os materiais recicláveis) que seguem para tratamento, são multiplicadas pelos benefícios de cada sistema de tratamento, para estimar o total de benefícios que cada sistema de tratamento pode oferecer.

Tabela I-4a. Cálculo do benefício destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$3,96 \times 10^{21}$	$5,97 \times 10^{22}$	$6,37 \times 10^{22}$
Incineração + Compostagem	$4,67 \times 10^{20}$	$5,97 \times 10^{22}$	$6,02 \times 10^{22}$
Tocha de plasma + Compostagem	$5,90 \times 10^{20}$	$5,97 \times 10^{22}$	$6,03 \times 10^{22}$
Pirólise + Compostagem	$1,99 \times 10^{20}$	$5,97 \times 10^{22}$	$5,99 \times 10^{22}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de São Paulo destinará $1,38 \times 10^{12}$ g de RSU para a compostagem e $3,40 \times 10^{12}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 4b. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de São Paulo, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$3,40 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$	$6,66 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$3,40 \times 10^{12}$	$2,31 \times 10^8$	$7,85 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$3,40 \times 10^{12}$	$2,92 \times 10^8$	$9,93 \times 10^{20}$

Pirólise	$3,40 \times 10^{12}$	$9,85 \times 10^7$	$3,35 \times 10^{20}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$1,38 \times 10^{12}$	$2,17 \times 10^{10}$	$2,99 \times 10^{22}$

Tabela I – 4c.: Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$6,66 \times 10^{21}$	$2,99 \times 10^{22}$	$3,66 \times 10^{22}$
Incineração	$7,85 \times 10^{20}$	$2,99 \times 10^{22}$	$3,07 \times 10^{22}$
Tocha de plasma	$9,93 \times 10^{20}$	$2,99 \times 10^{22}$	$3,09 \times 10^{22}$
Pirólise	$3,35 \times 10^{20}$	$2,99 \times 10^{22}$	$3,02 \times 10^{22}$

Tabela I-4d. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de São Paulo.

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incín. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$6,37 \times 10^{22}$	$6,02 \times 10^{22}$	$6,03 \times 10^{22}$	$5,99 \times 10^{22}$
50%	$3,66 \times 10^{22}$	$3,07 \times 10^{22}$	$3,09 \times 10^{22}$	$3,03 \times 10^{22}$

Nota 5. Cidade do Rio de Janeiro.

Cálculo dos benefícios gerados pelos sistemas para os cenários da cidade do Rio de Janeiro, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

Para o Rio de Janeiro o RSU que segue para tratamento foi estimado em $1,62 \times 10^{12}$ g por ano, e a fração orgânica em $1,76 \times 10^{12}$ g.

Tabela I – 5a Cálculo do benefício para os cenários da cidade do Rio de Janeiro, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,62 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$	$3,18 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$1,62 \times 10^{12}$	$2,31 \times 10^8$	$3,74 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$1,62 \times 10^{12}$	$2,92 \times 10^8$	$4,73 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,62 \times 10^{12}$	$9,85 \times 10^7$	$1,60 \times 10^{20}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$1,76 \times 10^{12}$	$2,17 \times 10^{10}$	$3,82 \times 10^{22}$

Tabela I – 5b.: Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia	(B) Energia do	(A+B) Benefício
--	----------------	-------------------	--------------------

	do Benefício (sej)	Benefício da Compostagem (sej)	(sej)
Aterro sanitário	$3,18 \times 10^{21}$	$3,82 \times 10^{22}$	$4,14 \times 10^{22}$
Incineração	$3,74 \times 10^{20}$	$3,82 \times 10^{22}$	$3,86 \times 10^{22}$
Tocha de plasma	$4,73 \times 10^{20}$	$3,82 \times 10^{22}$	$3,87 \times 10^{22}$
Pirólise	$1,60 \times 10^{20}$	$3,82 \times 10^{22}$	$3,84 \times 10^{22}$

Para a cidade do Rio de Janeiro, 50% fração orgânica do RSU corresponde a $8,80 \times 10^{11}$, portanto o RSU encaminhado para tratamento é de $2,50 \times 10^{12}$ g.

Tabela I – 5c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade do Rio de Janeiro, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$2,50 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$	$4,90 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$2,50 \times 10^{12}$	$2,31 \times 10^8$	$5,78 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$2,50 \times 10^{12}$	$2,92 \times 10^8$	$7,30 \times 10^{20}$
Pirólise	$2,50 \times 10^{12}$	$9,85 \times 10^7$	$2,46 \times 10^{20}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$8,80 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,91 \times 10^{22}$

Tabela I – 5d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$4,90 \times 10^{21}$	$1,91 \times 10^{22}$	$2,40 \times 10^{22}$
Incineração	$5,78 \times 10^{20}$	$1,91 \times 10^{22}$	$1,97 \times 10^{22}$
Tocha de plasma	$7,30 \times 10^{20}$	$1,91 \times 10^{22}$	$1,98 \times 10^{22}$
Pirólise	$2,46 \times 10^{20}$	$1,91 \times 10^{22}$	$1,93 \times 10^{22}$

Tabela I-5e. Valores dos benefícios para os cenários do Rio de Janeiro

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$4,14 \times 10^{22}$	$3,86 \times 10^{22}$	$3,87 \times 10^{22}$	$3,84 \times 10^{22}$
50%	$2,40 \times 10^{22}$	$1,97 \times 10^{22}$	$1,98 \times 10^{22}$	$1,93 \times 10^{22}$

Nota 6. Cidade de Manaus.

A fração orgânica da cidade de Manaus corresponde a $2,61 \times 10^{11}$ g/ano e o restante que segue para tratamento corresponde a $7,10 \times 10^{11}$ g/ano.

Tabela I – 6a. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Manaus, destinando 100% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$2,61 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$5,12 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$2,61 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$6,03 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$2,61 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$7,62 \times 10^{19}$
Pirólise	$2,61 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$2,57 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$7,10 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,54 \times 10^{22}$

Tabela I – 6b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$5,12 \times 10^{20}$	$1,54 \times 10^{22}$	$1,59 \times 10^{22}$
Incineração	$6,03 \times 10^{19}$	$1,54 \times 10^{22}$	$1,55 \times 10^{22}$
Tocha de plasma	$7,62 \times 10^{19}$	$1,54 \times 10^{22}$	$1,55 \times 10^{22}$
Pirólise	$2,57 \times 10^{19}$	$1,54 \times 10^{22}$	$1,54 \times 10^{22}$

Para a cidade de Manaus, 50% fração orgânica do RSU corresponde a $1,30 \times 10^{11}$, portanto o RSU encaminhado para tratamento é de $8,41 \times 10^{11}$ g.

Tabela I – 6c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Manaus destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$8,41 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$1,65 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$8,41 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$1,94 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$8,41 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$2,46 \times 10^{20}$
Pirólise	$8,41 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$8,28 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$1,30 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$2,82 \times 10^{21}$

Tabela I – 6d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$1,65 \times 10^{21}$	$2,82 \times 10^{21}$	$4,47 \times 10^{21}$
Incineração	$1,94 \times 10^{20}$	$2,82 \times 10^{21}$	$3,01 \times 10^{21}$
Tocha de plasma	$2,46 \times 10^{20}$	$2,82 \times 10^{21}$	$3,07 \times 10^{21}$
Pirólise	$8,28 \times 10^{19}$	$2,82 \times 10^{21}$	$2,90 \times 10^{21}$

Tabela I-6e. Valores dos benefícios para os cenários do Manaus.

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$1,59 \times 10^{22}$	$1,55 \times 10^{22}$	$1,55 \times 10^{22}$	$1,54 \times 10^{22}$
50%	$4,47 \times 10^{21}$	$3,01 \times 10^{21}$	$3,07 \times 10^{21}$	$2,90 \times 10^{21}$

Nota 7. Cidade de Salvador.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $9,23 \times 10^{11}$ g, enquanto $1,26 \times 10^{12}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso joules de energia solar.

Tabela I-7a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$1,26 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$	$2,47 \times 10^{21}$
Incineração	$1,26 \times 10^{12}$	$2,31 \times 10^8$	$2,91 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$1,26 \times 10^{12}$	$2,92 \times 10^8$	$3,68 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,26 \times 10^{12}$	$9,85 \times 10^7$	$1,24 \times 10^{20}$
Compostagem	$9,23 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$2,00 \times 10^{22}$

Tabela I-7b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$2,47 \times 10^{21}$	$2,00 \times 10^{22}$	$2,25 \times 10^{22}$
Incineração + Compostagem	$2,91 \times 10^{20}$	$2,00 \times 10^{22}$	$2,03 \times 10^{22}$
Tocha de plasma + Compostagem	$3,68 \times 10^{20}$	$2,00 \times 10^{22}$	$2,04 \times 10^{22}$
Pirólise + Compostagem	$1,24 \times 10^{20}$	$2,00 \times 10^{22}$	$2,01 \times 10^{22}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Salvador destinará $4,62 \times 10^{11}$ g de RSU para a compostagem e $1,72 \times 10^{12}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 7c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Salvador, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,72 \times 10^{12}$	$1,96 \times 10^9$	$3,37 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$1,72 \times 10^{12}$	$2,31 \times 10^8$	$3,97 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$1,72 \times 10^{12}$	$2,92 \times 10^8$	$5,02 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,72 \times 10^{12}$	$9,85 \times 10^7$	$1,69 \times 10^{20}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$4,62 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,00 \times 10^{22}$

Tabela I – 7d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$3,37 \times 10^{21}$	$1,00 \times 10^{22}$	$1,34 \times 10^{22}$
Incineração	$3,97 \times 10^{20}$	$1,00 \times 10^{22}$	$1,04 \times 10^{22}$
Tocha de plasma	$5,02 \times 10^{20}$	$1,00 \times 10^{22}$	$1,05 \times 10^{22}$
Pirólise	$1,69 \times 10^{20}$	$1,00 \times 10^{22}$	$1,02 \times 10^{22}$

Tabela I-7e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Salvador

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$2,25 \times 10^{22}$	$2,03 \times 10^{22}$	$2,04 \times 10^{22}$	$2,01 \times 10^{22}$
50%	$1,34 \times 10^{22}$	$1,04 \times 10^{22}$	$1,05 \times 10^{22}$	$1,02 \times 10^{22}$

Nota 8. Cidade de Goiânia.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $3,33 \times 10^{11}$ g, enquanto $1,62 \times 10^{11}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em sej por grama

Tabela I-8a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$1,62 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$3,18 \times 10^{20}$
Incineração	$1,62 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$3,74 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$1,62 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$4,73 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,62 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$1,60 \times 10^{19}$
Compostagem	$3,33 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$7,23 \times 10^{21}$

Tabela I-8b: Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$3,18 \times 10^{20}$	$7,23 \times 10^{21}$	$7,55 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$3,74 \times 10^{19}$	$7,23 \times 10^{21}$	$7,27 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$4,73 \times 10^{19}$	$7,23 \times 10^{21}$	$7,28 \times 10^{21}$
Pirólise + Compostagem	$1,60 \times 10^{19}$	$7,23 \times 10^{21}$	$7,45 \times 10^{21}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Goiânia destinará $1,67 \times 10^{11}$ g de RSU para a compostagem e $3,29 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 8c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Goiânia, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$3,29 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$6,45 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$3,29 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$7,60 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$3,29 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$9,61 \times 10^{19}$
Pirólise	$3,29 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$2,31 \times 10^{20}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$1,67 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$3,62 \times 10^{21}$

Tabela I – 8d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$6,45 \times 10^{20}$	$3,62 \times 10^{21}$	$4,27 \times 10^{21}$
Incineração	$7,60 \times 10^{19}$	$3,62 \times 10^{21}$	$3,70 \times 10^{21}$
Tocha de plasma	$9,61 \times 10^{19}$	$3,62 \times 10^{21}$	$3,71 \times 10^{21}$
Pirólise	$2,31 \times 10^{20}$	$3,62 \times 10^{21}$	$3,85 \times 10^{21}$

Tabela I-8e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Goiânia

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$7,55 \times 10^{21}$	$7,27 \times 10^{21}$	$7,28 \times 10^{21}$	$7,45 \times 10^{21}$

50%	$4,27 \times 10^{21}$	$3,70 \times 10^{21}$	$3,71 \times 10^{21}$	$3,85 \times 10^{21}$
-----	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Nota 9. Cidade de Belo Horizonte

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $2,97 \times 10^{11}$ g, enquanto $3,68 \times 10^{11}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em sej por grama

Tabela I-9a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$3,68 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$7,21 \times 10^{20}$
Incineração	$3,68 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$8,50 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$3,68 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$1,07 \times 10^{20}$
Pirólise	$3,68 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$3,62 \times 10^{19}$
Compostagem	$2,97 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$6,44 \times 10^{21}$

Tabela I-9b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$7,21 \times 10^{20}$	$6,44 \times 10^{21}$	$7,16 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$8,50 \times 10^{19}$	$6,44 \times 10^{21}$	$6,53 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$1,07 \times 10^{20}$	$6,44 \times 10^{21}$	$6,55 \times 10^{21}$
Pirólise + Compostagem	$3,62 \times 10^{19}$	$6,44 \times 10^{21}$	$6,48 \times 10^{21}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Belo Horizonte destinará $1,49 \times 10^{11}$ g de RSU para a compostagem e $5,17 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 9c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Belo Horizonte, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$5,17 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$1,01 \times 10^{21}$
Incineração com prod. de energia	$5,17 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$1,19 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$5,17 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$1,51 \times 10^{20}$
Pirólise	$5,17 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$5,09 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$1,49 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$3,23 \times 10^{21}$

Tabela I – 9d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$1,01 \times 10^{21}$	$3,23 \times 10^{21}$	$4,24 \times 10^{21}$
Incineração	$1,19 \times 10^{20}$	$3,23 \times 10^{21}$	$3,35 \times 10^{21}$
Tocha de plasma	$1,51 \times 10^{20}$	$3,23 \times 10^{21}$	$3,38 \times 10^{21}$
Pirólise	$5,09 \times 10^{19}$	$3,23 \times 10^{21}$	$3,28 \times 10^{21}$

Tabela I-9e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Belo Horizonte.

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$7,16 \times 10^{21}$	$6,53 \times 10^{21}$	$6,55 \times 10^{21}$	$6,48 \times 10^{21}$
50%	$4,24 \times 10^{21}$	$3,35 \times 10^{21}$	$3,38 \times 10^{21}$	$3,28 \times 10^{21}$

Nota 10. Cidade de Curitiba.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $2,29 \times 10^{11}$ g, enquanto $3,43 \times 10^{11}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em joules de energia soalr por grama de RSU.

Tabela I-10a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$3,43 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$6,72 \times 10^{20}$
Incineração	$3,43 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$7,29 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$3,43 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$1,00 \times 10^{20}$
Pirólise	$3,43 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$3,38 \times 10^{19}$
Compostagem	$2,29 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$4,97 \times 10^{21}$

Tabela I-10b Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenario (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício liquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$6,72 \times 10^{20}$	$4,97 \times 10^{21}$	$5,64 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$7,29 \times 10^{19}$	$4,97 \times 10^{21}$	$5,04 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$1,00 \times 10^{20}$	$4,97 \times 10^{21}$	$5,07 \times 10^{21}$

Pirólise + Compostagem	$3,38 \times 10^{19}$	$4,97 \times 10^{21}$	$5,00 \times 10^{21}$
------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Curitiba destinará $1,15 \times 10^{11}$ g de RSU para a compostagem e $4,58 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 10c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Curitiba destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$4,58 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$8,98 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$4,58 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$1,06 \times 10^{20}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$4,58 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$1,34 \times 10^{20}$
Pirólise	$4,58 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$4,51 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$1,15 \times 10^{11}$	$2,17 \times 10^{10}$	$2,50 \times 10^{21}$

Tabela I – 10d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$8,98 \times 10^{20}$	$2,50 \times 10^{21}$	$3,40 \times 10^{21}$
Incineração	$1,06 \times 10^{20}$	$2,50 \times 10^{21}$	$2,61 \times 10^{21}$
Tocha de plasma	$1,34 \times 10^{20}$	$2,50 \times 10^{21}$	$2,63 \times 10^{21}$
Pirólise	$4,51 \times 10^{19}$	$2,50 \times 10^{21}$	$2,55 \times 10^{21}$

Tabela I-10e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Curitiba

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$5,64 \times 10^{21}$	$5,04 \times 10^{21}$	$5,07 \times 10^{21}$	$5,00 \times 10^{21}$
50%	$3,40 \times 10^{21}$	$2,61 \times 10^{21}$	$2,63 \times 10^{21}$	$2,55 \times 10^{21}$

Nota 11. Cidade de Porto Velho.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $7,49 \times 10^{10}$ g, enquanto $7,27 \times 10^{10}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso joules de energia solar por grama de RSU.

Tabela I-11a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$7,27 \times 10^{10}$	$1,96 \times 10^9$	$1,42 \times 10^{20}$
Incineração	$7,27 \times 10^{10}$	$2,31 \times 10^8$	$1,68 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$7,27 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$	$2,12 \times 10^{19}$
Pirólise	$7,27 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$	$7,16 \times 10^{18}$
Compostagem	$7,49 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,63 \times 10^{21}$

Tabela I-11b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$1,42 \times 10^{20}$	$1,63 \times 10^{21}$	$1,77 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$1,68 \times 10^{19}$	$1,63 \times 10^{21}$	$1,65 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$2,12 \times 10^{19}$	$1,63 \times 10^{21}$	$1,65 \times 10^{21}$
Pirólise + Compostagem	$7,16 \times 10^{18}$	$1,63 \times 10^{21}$	$1,64 \times 10^{21}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Porto Velho destinará $3,75 \times 10^{10}$ g de RSU para a compostagem e $1,10 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 11c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Porto Velho, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,10 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$2,16 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$1,10 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$2,54 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$1,10 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$3,21 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,10 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$1,08 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$3,75 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$8,14 \times 10^{20}$

Tabela I – 11d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do	(B) Energia do Benefício da	(A+B) Benefício (sej)
--	----------------------	-----------------------------------	-----------------------------

	Benefício (sej)	Compostagem (sej)	
Aterro sanitário	$2,16 \times 10^{20}$	$8,14 \times 10^{20}$	$1,03 \times 10^{21}$
Incineração	$2,54 \times 10^{19}$	$8,14 \times 10^{20}$	$8,39 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$3,21 \times 10^{19}$	$8,14 \times 10^{20}$	$8,46 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,08 \times 10^{19}$	$8,14 \times 10^{20}$	$8,25 \times 10^{20}$

Tabela I-11e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Porto Velho.

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$1,77 \times 10^{21}$	$1,65 \times 10^{21}$	$1,65 \times 10^{21}$	$1,64 \times 10^{21}$
50%	$1,03 \times 10^{21}$	$8,39 \times 10^{20}$	$8,46 \times 10^{20}$	$8,25 \times 10^{20}$

Nota 12. Cidade de Campina Grande.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $3,17 \times 10^{10}$ g, enquanto $6,29 \times 10^{10}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em sej por grama

Tabela I- 12a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$6,29 \times 10^{10}$	$1,96 \times 10^9$	$1,23 \times 10^{20}$
Incineração	$6,29 \times 10^{10}$	$2,31 \times 10^8$	$1,45 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$6,29 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$	$1,84 \times 10^{19}$
Pirólise	$6,29 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$	$6,20 \times 10^{18}$
Compostagem	$3,17 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$6,88 \times 10^{20}$

Tabela I-12b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício liquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$1,23 \times 10^{20}$	$6,88 \times 10^{20}$	$8,11 \times 10^{20}$
Incineração + Compostagem	$1,45 \times 10^{19}$	$6,88 \times 10^{20}$	$7,03 \times 10^{20}$
Tocha de plasma + Compostagem	$1,84 \times 10^{19}$	$6,88 \times 10^{20}$	$7,06 \times 10^{20}$
Pirólise + Compostagem	$6,20 \times 10^{18}$	$6,88 \times 10^{20}$	$6,94 \times 10^{20}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Campina Grande destinará $3,15 \times 10^{10}$ g de RSU para a compostagem e $6,32 \times 10^{10}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 12c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Campina Grande, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$6,32 \times 10^{10}$	$1,96 \times 10^9$	$1,24 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$6,32 \times 10^{10}$	$2,31 \times 10^8$	$1,46 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$6,32 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$	$1,85 \times 10^{19}$
Pirólise	$6,32 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$	$6,23 \times 10^{18}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$3,15 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$6,84 \times 10^{20}$

Tabela I – 12d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$1,24 \times 10^{20}$	$6,84 \times 10^{20}$	$8,08 \times 10^{20}$
Incineração	$1,46 \times 10^{19}$	$6,84 \times 10^{20}$	$6,99 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$1,85 \times 10^{19}$	$6,84 \times 10^{20}$	$7,03 \times 10^{20}$
Pirólise	$6,23 \times 10^{18}$	$6,84 \times 10^{20}$	$6,90 \times 10^{20}$

Tabela I-12e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Campina Grande.

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$8,11 \times 10^{20}$	$7,03 \times 10^{20}$	$7,06 \times 10^{20}$	$6,94 \times 10^{20}$
50%	$8,08 \times 10^{20}$	$6,99 \times 10^{20}$	$7,03 \times 10^{20}$	$6,90 \times 10^{20}$

Nota 13. Cidade de Aparecida de Goiânia

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $7,63 \times 10^{10}$ g, enquanto $8,01 \times 10^{10}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em sej por grama

Tabela I-13a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat	Benefício	Energia
--	-------------	-----------	---------

	(g)	Por grama (sej/g)	do benefício (sej)
Aterro sanitário	$8,01 \times 10^{10}$	$1,96 \times 10^9$	$1,57 \times 10^{20}$
Incineração	$8,01 \times 10^{10}$	$2,31 \times 10^8$	$1,85 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$8,01 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$	$2,34 \times 10^{19}$
Pirólise	$8,01 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$	$7,89 \times 10^{18}$
Compostagem	$7,63 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,66 \times 10^{21}$

Tabela I-13b: Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício liquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$1,57 \times 10^{20}$	$1,66 \times 10^{21}$	$1,82 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$1,85 \times 10^{19}$	$1,66 \times 10^{21}$	$1,68 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$2,34 \times 10^{19}$	$1,66 \times 10^{21}$	$1,68 \times 10^{21}$
Pirólise + Compostagem	$7,89 \times 10^{18}$	$1,66 \times 10^{21}$	$1,67 \times 10^{21}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Aparecida de Goiânia destinará $3,82 \times 10^{10}$ g de RSU para a compostagem e $1,18 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 13c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Aparecida de Goiânia destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,18 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$2,31 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$1,18 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$2,73 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$1,18 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$3,45 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,18 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$1,16 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$3,82 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$8,29 \times 10^{20}$

Tabela I – 13e. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$2,31 \times 10^{20}$	$8,29 \times 10^{20}$	$1,06 \times 10^{21}$
Incineração	$2,73 \times 10^{19}$	$8,29 \times 10^{20}$	$8,56 \times 10^{20}$

Tocha de plasma	$3,45 \times 10^{19}$	$8,29 \times 10^{20}$	$8,64 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,16 \times 10^{19}$	$8,29 \times 10^{20}$	$8,41 \times 10^{20}$

Tabela I-13d. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Aparecida de Goiânia

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$1,82 \times 10^{21}$	$1,68 \times 10^{21}$	$1,68 \times 10^{21}$	$1,67 \times 10^{21}$
50%	$1,06 \times 10^{21}$	$8,56 \times 10^{20}$	$8,64 \times 10^{20}$	$8,41 \times 10^{20}$

Nota 14. Cidade de São José do Rio Preto.

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $7,56 \times 10^{10}$ g, enquanto $7,14 \times 10^{10}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em joules de energia solar por grama de RSU.

Tabela I-14a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$7,14 \times 10^{10}$	$1,96 \times 10^9$	$1,40 \times 10^{20}$
Incineração	$7,14 \times 10^{10}$	$2,31 \times 10^8$	$1,65 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$7,14 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$	$2,08 \times 10^{19}$
Pirólise	$7,14 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$	$7,03 \times 10^{18}$
Compostagem	$7,56 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,64 \times 10^{21}$

Tabela I-14b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$1,40 \times 10^{20}$	$1,64 \times 10^{21}$	$1,78 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$1,65 \times 10^{19}$	$1,64 \times 10^{21}$	$1,66 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$2,08 \times 10^{19}$	$1,64 \times 10^{21}$	$1,66 \times 10^{21}$
Pirólise + Compostagem	$7,03 \times 10^{18}$	$1,64 \times 10^{21}$	$1,65 \times 10^{21}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de São José do Rio Preto destinará $3,78 \times 10^{10}$ g de RSU para a compostagem e $1,09 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 14c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de São José do rio Preto, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,09 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$2,14 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$1,09 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$2,52 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$1,09 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$3,18 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,09 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$1,07 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$3,78 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$8,20 \times 10^{20}$

Tabela I – 14d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$2,14 \times 10^{20}$	$8,20 \times 10^{20}$	$1,03 \times 10^{21}$
Incineração	$2,52 \times 10^{19}$	$8,20 \times 10^{20}$	$8,45 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$3,18 \times 10^{19}$	$8,20 \times 10^{20}$	$8,52 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,07 \times 10^{19}$	$8,20 \times 10^{20}$	$8,31 \times 10^{20}$

Tabela I-14e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de São José do Rio Preto

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
100%	$1,78 \times 10^{21}$	$1,66 \times 10^{21}$	$1,66 \times 10^{21}$	$1,65 \times 10^{21}$
50%	$1,03 \times 10^{21}$	$8,45 \times 10^{20}$	$8,52 \times 10^{20}$	$8,31 \times 10^{20}$

Nota 15. Cidade de Caxias do Sul

De acordo com a Tabela 10, a massa anual de RSU destinado para a compostagem corresponde a $8,88 \times 10^{10}$ g, enquanto $5,99 \times 10^{10}$ g compreende a massa de RSU calculada neste item para cada sistema de tratamento.

O Valor obtido fornece a quantidade de benefício, expresso em sej por grama

Tabela I-15a. Demonstrativo de cada sistema

	RSU p/ trat (g)	Benefício Por grama (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário	$5,99 \times 10^{10}$	$1,96 \times 10^9$	$1,77 \times 10^{20}$
Incineração	$5,99 \times 10^{10}$	$2,31 \times 10^8$	$1,38 \times 10^{19}$
Tocha de plasma	$5,99 \times 10^{10}$	$2,92 \times 10^8$	$1,75 \times 10^{19}$
Pirólise	$5,99 \times 10^{10}$	$9,85 \times 10^7$	$5,90 \times 10^{18}$
Compostagem	$8,88 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$1,93 \times 10^{21}$

Tabela I-15b. Cálculo do total de energia destinando 100% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento com geração de energia elétrica.

Cenários	(A) energia do benefício do cenário (sej)	(B) benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício líquido (sej)
Aterro sanitário + Compostagem	$1,77 \times 10^{20}$	$1,93 \times 10^{21}$	$2,11 \times 10^{21}$
Incineração + Compostagem	$1,38 \times 10^{19}$	$1,93 \times 10^{21}$	$1,94 \times 10^{21}$
Tocha de plasma + Compostagem	$1,75 \times 10^{19}$	$1,93 \times 10^{21}$	$1,95 \times 10^{21}$
Pirólise + Compostagem	$5,90 \times 10^{18}$	$1,93 \times 10^{21}$	$1,94 \times 10^{21}$

O benefício estimado por cada sistema de tratamento é adicionada o benefício da compostagem, obtendo-se dessa forma a energia de cada cenário.

Para compor os cenários que destinam 50% da matéria orgânica para o sistema de compostagem, os valores de RSU são recalculados, desta forma, a cidade de Caxias do Sul destinará $4,44 \times 10^{10}$ g de RSU para a compostagem e $1,04 \times 10^{11}$ g integralmente para cada sistema de tratamento.

Tabela I – 15c. Cálculo do benefício para os cenários da cidade de Caxias do Sul, destinando 50% da matéria orgânica para o tratamento em compostagem.

	RSU p/ trat (g)	Benefício (sej/g)	Energia do benefício (sej)
Aterro sanitário c/ prod. de energia	$1,04 \times 10^{11}$	$1,96 \times 10^9$	$2,04 \times 10^{20}$
Incineração com prod. de energia	$1,04 \times 10^{11}$	$2,31 \times 10^8$	$2,40 \times 10^{19}$
Tocha de plasma com prod. de energia	$1,04 \times 10^{11}$	$2,92 \times 10^8$	$3,04 \times 10^{19}$
Pirólise	$1,04 \times 10^{11}$	$9,85 \times 10^7$	$1,02 \times 10^{19}$
Compostagem contabilizando N, P e K	$4,44 \times 10^{10}$	$2,17 \times 10^{10}$	$9,63 \times 10^{20}$

Tabela I – 15d. Cálculo do total de energia destinando 50% da matéria orgânica para a compostagem e o restante do RSU para cada sistema de tratamento

	(A) Energia do Benefício (sej)	(B) Energia do Benefício da Compostagem (sej)	(A+B) Benefício (sej)
Aterro sanitário	$2,04 \times 10^{20}$	$9,63 \times 10^{20}$	$1,17 \times 10^{21}$
Incineração	$2,40 \times 10^{19}$	$9,63 \times 10^{20}$	$9,87 \times 10^{20}$
Tocha de plasma	$3,04 \times 10^{19}$	$9,63 \times 10^{20}$	$9,93 \times 10^{20}$
Pirólise	$1,02 \times 10^{19}$	$9,63 \times 10^{20}$	$9,73 \times 10^{20}$

Tabela I-15e. Valores dos benefícios para os cenários da cidade de Caxias do Sul

Matéria Orgânica (%)	Comp./Aterro c/energia	Comp./Incin. c/prod.de energia	Comp./Plasma c/prod. de energia	Comp./Pirólise c/prod.de energia
-------------------------	---------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	--

100%	$2,11 \times 10^{21}$	$1,94 \times 10^{21}$	$1,95 \times 10^{21}$	$1,94 \times 10^{21}$
50%	$1,17 \times 10^{21}$	$9,87 \times 10^{20}$	$9,93 \times 10^{20}$	$9,73 \times 10^{20}$

Apêndice J. Apresentação dos dados utilizados na Programação por Metas

Nota 1. Áreas utilizadas pelos sistemas de tratamento de RSU.

Tabela J-1. Tabela de áreas dos sistemas.

Sistema de Tratamento		Área utilizada (m ²)
1	Compostagem	880.000
2	Incineração	37.200
3	Aterro Sanitário	797.600
4	Aterro sanitário com Produção de energia	800.000
5	Tocha de Plasma	30.000
6	Pirólise	18.000

Nota 2. UEV dos sistemas de tratamento de RSU

Tabela J-2. Tabela de UEVs dos sistemas.

Sistema de Tratamento		UEV (10 ⁷ sej/t.ano)
1	Compostagem	4,34
2	Incineração	1,80
3	Aterro Sanitário	4,10
4	Aterro sanitário com Produção de energia	12,0
5	Tocha de Plasma	3,48
6	Pirólise	4,34

Nota 3. Produtividade, também entendida como capacidade de tratamento de cada sistema, conforme Tabela 20.

Tabela J-3. Tabela de produtividade de tratamento dos sistemas.

Sistema de Tratamento		Produtividade (t/ano)
1	Compostagem	2,19x10 ⁵
2	Incineração	2,52x10 ⁵
3	Aterro Sanitário	1,59x10 ⁶
4	Aterro sanitário com Produção de energia	1,59x10 ⁶
5	Tocha de Plasma	9,28x10 ⁴
6	Pirólise	2,63x10 ⁴

Nota 4. Emissões

Tabela J-4. Tabela de áreas das emissões de CO₂ equivalente.

Sistema de Tratamento		Emissões (t.CO ₂ eq/ano)
1	Compostagem	6,57x10 ³
2	Incineração	1,6941x10 ²
3	Aterro Sanitário	2,76x10 ⁵
4	Aterro sanitário com Produção de energia	7,22x10 ⁴
5	Tocha de Plasma*	1,685x10 ²
6	Pirólise	2,561x10 ¹

As emissões foram retiradas da literatura. Para a conversão, foram utilizados os dados de Winnipeg (2016).

Os dados referentes às emissões foram extraídos de:

Aterro, incineração e pirólise: (Zaman, 2010);

Aterro sanitário com produção de energia (Frimaio, 2011 e Zaman, 2010)

Tocha de Plasma (Dovetail Partners Inc., 2010).

Nota 6. Tabelas de Custos.

Tabela J-5. Tabela de custos do sistema de compostagem.

Compostagem	Implantação (R\$/t)	Operação (R\$/t)	Total (R\$/t)
250 a 1 milhão hab.	*5,50	70,00	75,50
Acima de 1 milhão	*3,075	45,00	48,075

*ABRELPE (2015)E Jucá *et al.*, (2014, p. 125).

Tabela J-5a. Tabela de custos do sistema de Tocha de Plasma.

Plasma **750tpd	Implantação (R\$/t) *	Operação (R\$/t)	Total (R\$/t)	Total Corrigido (R\$/t)
	139,24	55,00	194,24	284,51

*convertido dólar set/2010 (comercial) . ** Ducharme, 2010

Tabela J-5b. Tabela de custos do sistema de Tocha de Pirólise.

Pirólise	Implantação (R\$/t)	Operação (R\$/t)	Total (R\$/t)
	19,00*	33,45	52,45

* Cekirge *et al.* (2015). Convertido dólar março de 2010 (Portal Brasil, 2016).

Tabela J-5c. Tabela de custos do sistema de Incineração.

Incineração	Implantação (R\$/t)	Operação (r\$/t)	Total (R\$/t)
650 t/dia	92,31*	108,88	201,19
1300 t/dia	75,74*	95,00	170,74

* Zaman (2010).

Tabela J-5d. Tabela de custos do sistema de aterro sanitário.

Aterro s/ger. Energia	Implantação (R\$/t)*	Operação (r\$/t)*	Total	Valor corrigido (R\$/t)**
PEQUENO	4,49	62,29	66,78	97,82
MÉDIO	1,96	35,36	37,32	54,66
GRANDE	1,52	31,61	33,13	48,53

*FGV (2007, p.24), **correção pelo IGPM para 2016.

Tabela J-5e. Tabela de custos do sistema de aterro sanitário com produção de energia.

Aterro com geração de energia elétrica	Implantação (R\$/t)	Operação (r\$/t)	Total	Valor corrigido (R\$/t)**
	92,24	708,81	801,05	1.173,33

FGV (2007, p.24). **correção pelo IGPM para 2016.

Nota 6. Dados dos benefícios por grama de RSU.

Tabela J-6. Tabela dos benefícios por grama de RSU tratado.

		Benefícios (sej/ano)
1	Compostagem	$5,02 \times 10^7$
2	Incineração	$2,31 \times 10^8$
3	Aterro Sanitário	0,0
4	Aterro sanitário com Produção de energia	$1,96 \times 10^9$
5	Tocha de Plasma	$2,92 \times 10^8$
6	Pirólise	0,0

Nota 7. Tabela de eficiência de tratamento por dia.

Tabela J-7. Tabela de eficiência de tratamento por dia.

Sistema de Tratamento		Tempo de tratamento (t.RSU/dia)
1	Compostagem	600
2	Incineração	825
3	Aterro Sanitário	4356,16
4	Aterro sanitário com Produção de energia	4356,16
5	Tocha de Plasma	350
6	Pirólise	72

Nota 8. Custo de tratamento por área para megacidades de cidades de grande porte.

Tabela J-8. Custos de tratamento por área para megacidades de cidades de grande porte.

Sistema de Tratamento		Custo (t.R\$)
1	Compostagem	48,07
2	Incineração	170,74
3	Aterro Sanitário	33,13
4	Aterro sanitário com Produção de energia	801,05
5	Tocha de Plasma	194,24
6	Pirólise	52,45

Os dados foram normalizados utilizando a fórmula:

$$d_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m b_{ij}^2}} \quad v_{ij}$$

Nota 9. Dados normalizados de custo de tratamento para megacidades e cidades de grande porte.

Tabela J-9. Tabela de custos de tratamento normalizada.

Sistema de Tratamento		Custo (t.R\$)
1	Compostagem	0,05686
2	Incineração	0,20196
3	Aterro Sanitário	0,03919
4	Aterro sanitário com Produção de energia	0,94753
5	Tocha de Plasma	0,22976
6	Pirólise	0,06204

Nota 10. Custos de tratamento para cidades de médio porte

Tabela J-10. Tabela de custos de tratamento para cidades de médio porte.

Sistema de Tratamento		Custo t.R\$
1	Compostagem	75,50
2	Incineração	201,19
3	Aterro Sanitário	48,53
4	Aterro sanitário com Produção de energia	1.173,33
5	Tocha de Plasma	194,24
6	Pirólise	52,45

Tabela J-10a Tabela de custos com dados normalizados para cidade de médio porte.

Sistema de Tratamento		Custo t.R\$
1	Compostagem	0,06236
2	Incineração	0,16618
3	Aterro Sanitário	0,04009
4	Aterro sanitário com Produção de energia	0,96916
5	Tocha de Plasma	0,16044
6	Pirólise	0,04332

Nota 11. Emissões por tonelada de CO₂ equivalente.

Tabela 11. Tabela de emissão tonelada de CO₂ equivalente por tonelada de RSU tratado.

Sistema de Tratamento		Emissões (t.CO ₂ equiv.)	RSU (t/ano)	Total (t.CO ₂ equiv./t.ano)
1	Compostagem	6,57x10 ³	2,19x10 ⁵	3,00x10 ⁻²
2	Incineração	1,6941x10 ²	2,52x10 ⁵	6,72x10 ⁻⁴
3	Aterro Sanitário	2,76x10 ⁵	1,59x10 ⁶	1,74x10 ⁻¹
4	Aterro sanitário com Produção de energia	7,22x10 ⁴	1,59x10 ⁶	4,54x10 ⁻²
5	Tocha de Plasma	1,685x10 ²	9,28x10 ⁴	1,82x10 ⁻³
6	Pirólise	2,561x10 ¹	2,63x10 ⁴	9,74x10 ⁻⁴

Normalização dos dados:

Tabela 11a. Tabela de emissão com dados normalizados.

Sistema de Tratamento		Total (t.CO ₂ equiv./t.ano)
1	Compostagem	0,16490
2	Incineração	0,00370
3	Aterro Sanitário	0,95413
4	Aterro sanitário com Produção de energia	0,24960
5	Tocha de Plasma	0,00998
6	Pirólise	0,00535

Nota 12. Tabela de eficiência de tempo de tratamento.

Tabela J-12. Tabela de toneladas por tempo de tratamento.

Sistema de Tratamento		RSU (t/h)
1	Compostagem	600
2	Incineração	825
3	Aterro Sanitário	4356,16
4	Aterro sanitário com Produção de energia	4356,16

5	Tocha de Plasma	350
6	Pirólise	72

Tabela J-12a. Tabela de normalização dos dados de toneladas de CO₂ equivalente.

Sistema de Tratamento		Total (t.CO ₂ equiv./t.ano)
1	Compostagem	0,09596
2	Incineração	0,13195
3	Aterro Sanitário	0,69622
4	Aterro sanitário com Produção de energia	0,69670
5	Tocha de Plasma	0,05598
6	Pirólise	0,01152

Nota 13. Benefícios dos sistemas.

Tabela J-13. Tabela de benefícios por tonelada de RSU

Sistema de Tratamento		Benefícios (sej/t)
1	Compostagem	$5,02 \times 10^1$
2	Incineração	$2,31 \times 10^2$
3	Aterro Sanitário	0,0
4	Aterro sanitário com Produção de energia	$1,96 \times 10^3$
5	Tocha de Plasma	$2,92 \times 10^2$
6	Pirólise	0,0

Tabela J-13a. Tabela de normalização das UEVS dos benefícios.

Sistema de Tratamento		Benefícios (sej/t)
1	Compostagem	0,02515
2	Incineração	0,11575
3	Aterro Sanitário	0,00000
4	Aterro sanitário com Produção de energia	0,98212
5	Tocha de Plasma	0,14632
6	Pirólise	0,00000

Nota 14. UEV do tratamento de RSU.

Tabela J-14. Tabela de UEV de cada tratamento de RSU.

Sistema de Tratamento		UEV (sej/t.ano)
1	Compostagem	43,4
2	Incineração	18
3	Aterro Sanitário	41
4	Aterro sanitário com Produção de energia	120
5	Tocha de Plasma	34,8
6	Pirólise	43,4

Tabela J-14a. Tabela das UEV normalizadas.

Sistema de Tratamento		UEV (sej/t.ano)
1	Compostagem	0,29679
2	Incineração	0,12309
3	Aterro Sanitário	0,28038
4	Aterro sanitário com Produção de energia	0,82063
5	Tocha de Plasma	0,23798
6	Pirólise	0,29679

Apêndice K. Apresentação das Linhas de Programação do Software LINDO

Linhas de Programação:

Identificam-se os distintos sistemas de tratamento de resíduos sólidos; $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ (Compostagem=1, Incineração=2, Aterro sanitário=3, Aterro com recuperação energética=4, Plasma=5, Pirólise=6), e digitam-se as linhas de comando abaixo:

MIN $P1 + N2 + P3 + P4 + N5 + N6$

ST

!1 - Restrição de custos de implantação e operação pela capacidade de tratamento de cada sistema (R\$/t.ano).

$R\$/tS1 + R\$/tS2 + R\$/tS3 + R\$/tS4 + R\$/t5 + R\$/tS6 + N1 - P1 \leq$ ao custo de aterros sanitários (R\$/t).

!2 - Restrição da capacidade de tratamento de RSU pela área de cada sistema de tratamento \geq (t.RSU/m²);

$t.RSU/m^2S1 + t.RSU/m^2S2 + t.RSU/m^2S3 + t.RSU/m^2S4 + t.RSU/m^2S5 + t.RSU/m^2S6 + N2 - P2 \geq$ valor médio entre os sistemas (t.RSU/m²).

!3 - Restrição de emissão de t/CO₂ equivalente para o sistema de tratamento de RSU (tCO₂ Equiv/t.RSU.ano);

$t/CO_2 S1 + t/CO_2 S2 + t/CO_2 S3 + t/CO_2 S4 + t/CO_2 S5 + t/CO_2 S6 + N3 - P3 \leq$ a de valor médio entre os sistemas (t/CO₂);

!4 - Restrição da UEV do sistema de tratamento de resíduo (sej/g);.

$sej/g S1 + sej/g S2 + sej/g S3 + sej/g S4 + sej/g S5 + sej/g S6 + N4 - P4 \leq$ valor médio de UEV (sej/g).

!5 - Restrição da UEV dos benefícios (sej/g).

!Somente para aterro com recuperação energética, plasma e incineração e compostagem (sej/g).

$sej/anoS1 + sej/anoS2 + sej/anoS4 + sej/anoS5 + N5 - P5 \geq$ média das UEVs (sej/g)

!6= Restrição da complexidade do tratamento de RSU

!(Para 1, seleciona-se o melhor sistema, para 2 seleciona-se os dois melhores, se são 3! selecionam-se três sistemas, e assim sucessivamente, até 6 sistemas de tratamento)

$S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 = 3$

END

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DOS ANEXOS

ABCEM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual técnico de telhas de aço**. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/manual-de-telhas.pdf>>. Acesso em: 19/05/2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa - procedimento – **NBR 8039**. Rio de Janeiro, 1983.

ABRELPE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS **Estimativas dos custos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil**. 2015

ARAUTERM. **Insuflamento e pré aquecimento do ar da combustão**. Disponível em: <http://www.arauterm.com.br/pdf/eco_ar.pdf>. Acesso em 22.05.2014.

ARTCOMPRES - ARTEFATOS DE CIMENTO. Mourões de concreto. Disponível em: <<http://www.artconpre.com.br/#>>. Acesso em 23/09/16.

BENSON BPE. **Review of three new landfill gas to energy facilities using advanced reciprocating engine technology installed in the pacific northwest**. Disponível em: <<http://www.swanaoregon.org/Docs/Symposium%202008/Session%208/Benny%20Benson%20ENERGYneering%20OR%20LFG%20E.pdf>>. Acesso em 09.10.09.

BIOGÁS ENERGIA AMBIENTAL S/A . Disponível em: < www.biogas-ambiental.com.br>. Acesso em 22/05/16.

BH TERRAPLANAGEM E DEMOLIÇÕES. Disponível em: <[www. Bhterraplenagem.com.br / equipamentos.asp](http://www.Bhterraplenagem.com.br/equipamentos.asp)>. Acesso em 18.09.10.

BRANDT-WILLIAMS, S. L.;. (2002) - Handbook of Emergy Evaluation - **A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios - Folio #4** (2nd printing): Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy - Environmental Engineering Sciences.

BRASIL. **Lei 11.445** de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.660, de 21 de junho 1993, .987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providencias. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em 23/07/2016.

BRASIL. **Lei 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras provideências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em 23/07/2016.

BRIDI E. **Resíduos sólidos urbanos – uma proposta para otimização dos serviços de coleta e destinação final.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado. 2008.186 p.

BROWN MT, ULGIATI S. **Emergy analysis and environmental accounting.** Encyclopedia of Energy. P.329–54. 2004.

BROWN MT, BRANDT-WILLIAMS S, TLLEY D, ULGIATI S. **Emergy synthesis: An introduction in emergy synthesis: Theory and applications of the methodology.** Proceedings of the first biennial emergy synthesis research conference. Eds. M.T.Brown, S. Brandt-Williams, D. Tilley and S. Ulgiati. Gainesville, September 1999, 289-301. Gainesville: Center for environmental Policy, University of Florida.

BUARQUE SC. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais.** 2003.disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2865/1/td_939.pdf> Acesso em 21/01/2016.

BUENFIL AA, **Emergy Evaluation of Water.** Thesis – University of Florida, USA. 248p. 2001.

CARRO ESPORTE. **A história da Kombi.** 2010. Disponível em: <www.carroesporte.com.br/.../31-a-historia-da-vw-kombi>. Acesso em 19.11.09.

CAMPINA GRANDE. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos do município de Campina Grande – Prognóstico, diretrizes, estratégias e metas.** 2014. Disponível em: <http://relicipb.org/assets/CGPMRSPrognosticoFinalPreliminar20140319.pdf>. Acesso em 02/09/2016.

CARVALHO MF. **Comportamento mecânico dos resíduos sólidos urbanos.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). 1999. 300p.

CAXIAS DO SUL. Secretaria do meio ambiente. **Aterro Sanitário.** Disponível em: https://caxias.rs.gov.br/meio_ambiente/texto.php?codigo=626. Acesso em 02/09/2016.

CEKIRGE HM, OUDA OKM, ELHASSAN A. **Economic analysis of solid waste treatment plants using pyrolysis.** American Journal of Energy Engineering. 2015.

CEMENT-MACHINE. Disponível em:< <http://www.cement-machine.com.es/triple-pass-dryer.html>. Acesso em:29/10/2014.

CEMENTMILL. Secador de tripla passagem. Disponível em:< http://www.0086cementmill.com/p-product_detail08/id/50.html. Acesso em: 27.08.2014 Comtelas. Poste Reto. Disponível em http://www.comtelasms.com.br/?page_id=121. Acesso em 12.05.2015.

CEMPRE. **Radiografando a coleta seletiva.** Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclossoft/id/2%20em%2030/08/2016>. Acesso em 02/09/2016.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário estadual dos resíduos sólidos urbanos.** Disponível em: <http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2013/11/residuosSolidos2014.pdf>. Acesso em 02/09/2016.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.** Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/pref_saopaulo.pdf. Acesso em 02/09/2016.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO.2005. Disponível em: <<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/interna.php?bloco=7>>. Acesso em 29.09.10.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de produção.** 2010. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/.../custosproducao_metodologia.pdf>. Acesso em 29/09/10.

CORTESIA CONCRETO (2010) – Engenharia do concreto. Disponível em: <www.cortesiaconcreto.com.br/Manual%20do%20Concreto.pdf>. Acesso em 14.05.10.

CORTESIA CONCRETO. **Manual do Concreto.** Disponível em: <<http://cortesiaconcreto.com.br/assets/files/manual-do-concreto.pdf>>. Acesso em 23/11/2015.

DALIAN SUNSHINE BOILER AUXILIARIES CO., LTD. Disponível em: <https://www.alibaba.com/product-detail/Waste-treatment-machine-solid-waste-incinerator_60398629785.html?spm=a2700.7724838.0.0.qKyST6>. Acesso em 25/02/2016.

D'AMBERT F. **Galpões em pórticos com perfis estruturais laminados.** 2004. 5ª. Edição. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/products-services/products/Document%20Gallery/manual-galpoes-em-porticos-perfis-estruturais-laminados.pdf>>. Acesso em 04/03/2014.

DINPSA. **Máquinas e Equipamentos.** Disponível em: [http://www.gdinpsa.com/triturador %20ejes.html](http://www.gdinpsa.com/triturador%20ejes.html). Acesso em 18/08/2014.

DONGGUAN MITEX AUTOMATION MACHINERY CO. LTD. Disponível em: <http://www.alibaba.com/product-detail/60-ton-cement-silo-for-sale_1555505691.html?spm=a2700.7724838.0.0.3PmUZj>. Acesso em 18/08/2014.

DOVETAIL PARTNERS INC. **Plasma Gasification: An Examination of the Health, Safety and Environmental Records of Established Facilities.** June 7, 2010. Disponível em: <http://www.dovetailinc.org/files/u1/plasmagasificationrptfinal6710.pdf>. Acesso em 27/01/2017.

DUCHARME C. **Technical and economic analysis of Plasma-assisted Waste-to-Energy processes.** Department of Earth and Environmental Engineering. Columbia University. 2010.

ECOURBIS AMBIENTAL. Disponível em: www.ecourbis.com.br. Acesso em: 24/05/09.

ENGELOPES INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **As características técnicas dos lavadores modelos horizontal ou vertical.** Disponível em: <<http://despoluidor.com.br/lgcaratec.htmEngelopes>><Acesso em 3/9/2015.

ENGETUBO (2009) – **Manual engepol.** disponível em: <<http://www.engepol.com/produtos/pdfs/capitulo04.pdf>> acesso em 25.08.09.

EXPLOTUGAL. disponível em:< www.explotugal.pt/maquinas/motoscraper.html> . acesso em: 23.11.09

ENGWHERE SOFTWARES DE ENGENHARIA. **Consumo de Combustíveis.** Disponível em: <<http://www.engwhere.com.br/software/equipamentos.htm>. Acesso em 18/98/2015.

FGV. FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários.** Relatório Final. 2007.

FILHO NOQ . **Análise dos índices de produtividade praticados pelas empresas de construção civil na região metropolitana de Fortaleza.** Universidade Federal do Ceará. 2009.

FORMÁQUINAS. **Retroescavadeira.** disponível em: <www.formaquinas.com.br/.../retroescavadeiracase580m.pdf>. acesso em 05.10.09.

FRIMAIO G.S. **Aterro sanitário São João: estudo dos indicadores ambientais em emergia.** Dissertação de Mestrado. Universidade Paulista, 2011.

GERDAU. Disponível em:< www.comercialgerdau.com.br/produtos/.../catalogo_arames_industriais.pdf>. Acesso em 24.10.10.

GIANNETTI B.F., AGOSTINHO F, MORAES L.C., ALMEIDA C.M.V.B., ULGIATI S. **Multicriteria cost–benefit assessment of tannery production: The need for breakthrough process alternatives beyond conventional technology optimization.** Environmental Impact Assessment Review, 2015.

GOMES LP, CONCEIÇÃO DC, FLECK A. **Avaliação dos recalques em sistemas piloto de aterramento de resíduos sólidos urbanos.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ambiental., 2012

GOMES, AJL, HAMZA VM. **Avaliação de Recursos Geotermiais do estado do Rio de Janeiro,** Eighth International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil. 2003.

GUANGDONG FEIYANG INDUSTRY GROUP CO., LTD. Disponível em:<http://www.alibaba.com/product-detail/LKG-Series-Closed-Cooling-Tower40T_1850918051.html> 12.02.2015.

GUINA TUBOS. **Canos de concreto armado não reforçados**. Disponível em: < <http://www.br.all.biz/canos-de-concreto-armado-nao-reforcados-bgg1004384>. Acesso em: 17/04/2010.

GRAMPOTELA INDÚSTRIA DE TELAS LTDA. **Alambrado**. Disponível em: <http://www.grampotela.com.br/alambrado.htm>. Acesso em 16/07/2015.

HENAN RONGLIDA IMP.&EXP. CO., Ltd. Disponível em: < http://www.alibaba.com/product-detail/livestock-poultry-feed-storage-silo_2018013283.html > . Acesso em: 29.08.2014.

HENAN SRON INDUSTRY EQUIPMENT CO., LTD. Disponível em: http://www.alibaba.com/product-detail/SRON-Brand-Perfect-Sealing-Steel-Coal_60349741462.html?spm=a2700.7724838.0.0.pXhSdB. 21.02.2016.

HEMEISOLANTES. Disponível em: < <http://www.hemeisolantes.com.br/fibra-ceramica-manta/fibra-ceramica-sem-revestimento.html> >. Acesso em 14/05/2010.

HUANCHUANG XIAMEN TECHNOLOGY CO., LTD. Mutiple purpose shredder. Disponível em: https://hcwater.en.alibaba.com/product/568308619801347010/Mutiple_purpose_shredder.html. Acesso em 03/04/2015.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001 - 200 p.; 21,0 x 29,7cm.

IDEAL SOFTWARES. Índices Econômicos. Disponível em: < <http://www.idealsoftwares.com.br/indices/dolar2010.html> >. Acesso em 13/01/2016.

IGUAÇUMEC ELETROMECÂNICA. **Prensas**. Disponível em: <http://www.iguacumec.com.br/prensas-enfardadeiras.html>. Acesso em 30/10/2014.

INBRÁS. **Separador de Metais Não-Ferrosos**. Disponível em: <Error! Hyperlink reference not valid.. Acesso em. 24/02/2016.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em 30/10/10.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia – **velocidade do vento**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTU0Mg. Acesso em 26/11/2014.

LANNING ENERGY. Disponível em: http://nl1nmachine.en.alibaba.com/product/953592484215841634/waste_tire_pyrolysis_machine_with_50_oil_output_rate.html. Acesso em 12/94/2014.

LIMA A. **Geração térmica**. Disponível em: Error! Hyperlink reference not valid.. Acesso em 13/02/2016.

LIPPEL. **Triturador de resíduos Lipel TRD 790x600**. Disponível em: <http://www.lippel.com.br/br/trituradores-para-reciclagem/trituradores-de-residuos/triturador-de-residuos-trd-790-x-600.html#.U_sX7F6dKT4>. Acesso em: 21/08/2014.

LIPPEL. Disponível em: <http://www.lippel.com.br/br/trituradores-para-reciclagem/trituradores-de-residuos/triturador-de-vidro-tvl-103.html?gclid=CjwKEAjww8eiBRCE7qvK9Z7W_DgSJABfOjf278Gwe8rx_xaxOMFPg5WMDzEX2K4ZwWyA9T7R_QgfRBoCzrPw_wcB#.VFKGOvnF_ZY>. Acesso em: 24/04/2016.

LIQUIGÁS. Disponível em: <[https://www.liquigas.com.br/wps/portal/!ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hvPwMjIw93IwN_Cy9TAyM_L6_AAPNAI39zE_2CbEdFAPmfWrg!/>](https://www.liquigas.com.br/wps/portal/!ut/p/c0/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hvPwMjIw93IwN_Cy9TAyM_L6_AAPNAI39zE_2CbEdFAPmfWrg!/)>. Acesso em: 14/04/2016.

Logismarket. Disponível em: <<https://www.logismarket.ind.br/gruas/kalmar/1939804229-1216292589-pcc.html>>. Acesso em 24/04/2016.

MACCAFERRI. **Case history. Aterro São João – Biogás**. Disponível em: <http://www.maccaferri.com.br/download/cat_reforco.pdf?PHPSESSID=paf48ar7botit232k3k9lb6hh1>, acesso em 22/08/09.

MACHINERYZONE. Disponível em: <<http://www.machineryzone.com.br/usado/escavadeira-lagartas/1/3090/komatsu/pc-210lc-7k.html>>. Acesso 05.10.09.

Mfunrural. Disponível em: <<http://comprar.vender.mfrural.com.br/detalhe/gerador-buffalo-diesel-25000-kva-monofasico-143377.aspx>>. Acesso: 21/02/2016.

MARQUITEC COMERCIO DE MAQUINAS INDUSTRIAIS LTDA. Disponível em: <<http://marquitec-trituradores.blogspot.com.br/>>. Acesso em 03/07/2014.

MASSAI LR, MASSAI LRD. **Oxidação térmica do líquido percolado (chorume) de aterros sanitários 2005**. XXXIII. Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2005.

MITSUBISHI HITASHI POWER SYSTEMS. Catalogue. Disponível em: <https://www.mhps.com/en/catalogue/pdf/mhps_gas_turbine_G-25.pdf>. Acesso em: 24/08/2015.

MITSUBISHI HITASHI POWER SYSTEMS. Disponível em: <http://www.hitachi.com.au/documents/product/H15_H25_Gas_Turbine_Brochure.pdf> Acesso: 24/08/2015.

MONTEROSSO EP. **Implantação de aterro controlado, com uso, e recuperação de área degradada por disposição final de resíduos sólidos**. 2000.

NAHAS CM. - **Aterros sanitários técnicas construtivas e métodos operacionais**. 2007.

NETSABER. Apostilas.netsaber.com.br/apostilas/573.doc. Disponível em: www.netsaber.com.br/apostilas/. Acesso em 13/08/09

PEREIRA NETO JT, LELIS MPN. **Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte**. In: CONGRESSO DA ABES, 20., 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Abes, 1999. 8 p.

PORTAL DAS TELHAS. **Telhas de fibrocimento**. Disponível em: <http://www.telhatelhas.com.br/telhas_fibrocimento.asp>. Acesso em 21.11.10.

RECOLAST. Disponível em: <www.recolast.com.br> Acesso em 28.09.10.

REGIONAL TELHAS. Disponível em: http://www.regionaltelhas.com.br/regional_2011/catalogos/catalogo_portugues.pdf. Acesso em 23/11/2014.

ROMITELLI MS. **Emergy analysis of the new Bolivian-Brazil gas pipeline (gasbol), Emergy Synthesis** – Proceedings of the first biennial emergy analysis research conference, Gainesville, Florida, Ed. Mark T. Brown, c.5 p.53-70.

OFITEXTO. Disponível em: <http://www.ofitexto.com.br/conteudo/deg_230686.htm>. Acesso em 19.11..10.

ORE. **Tambor Rotativo**. Disponível em: <<http://ore-beneficiation.com.br/2-18-rotary-magnetic-drum.html>> 22.02.2016.

PAVIMENTI BLOCOS. Disponível em: <<http://www.pavimentiblocos.com.br/Produtos/Blocos.aspx>>. Acesso em 30/10/2014.

PEREIRA NETO, J.T., LELIS M.P.N. **Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte**. In: CONGRESSO DA ABES, 20., 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Abes, 1999. 8 p.

PIONEER. Disponível em: <http://www.pioneerer.com/processing-equipments/0Z2352013.html?gclid=CJ_l2tDD1cECFTMQ7AoduEgA5w> Acesso em: 30.10.2014.

PORTAL BRASIL. Disponível em: <http://www.portalbrasil.net/2007/indices/dolar_riscopais_marco.htm>. Acesso em 13/01/2017.

POWER ENGINEERING. **Gas turbine technical data**. Disponível em: <<http://www.powerengineeringint.com/content/dam/pei/print-articles/2013/04/gas-steam-specs.pdf>>. Acesso em: 23/11/2014.

PRESTATI. Disponível em: <http://www.prestatti.com.br/#/produtos_interna/10/26> Acesso em 23/11/2014.

PROINTEC. PROGRAMA MUNICIPAL DE INCUBAÇÃO AVANÇADA DE EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA - **Estudo de viabilidade do programa para o tratamento e disposição de resíduos sólidos do estado do ceará**. Brasil, 2012.

QUATRO RODAS. **Fiat Strada Adventure**. Disponível em: <quattrorodas.abril.com.br/.../conteudo_143645.shtml>. Acesso em 23.10.10.

REGIONAL TELHAS – Disponível em:< http://www.regionaltelhas.com.br/regional_2010/pagina.asp?cod_menu=9. Acesso em: 23.09.10.

REGIONAL TELHAS. Disponível em:http://www.regionaltelhas.com.br/regional_2011/catalogos/catalogo_portugues.pdf. Acesso em 23/11/2014.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Parecer técnico referente à análise do CPRN/DAIA da Implantação da Central de Tratamento de Resíduos Leste – CTL, 2007.SBD** – Planejamento e produtividade Disponível em: <www.pedrobadra.com.br/planejamento_produtividade.htm. Acesso em 12/12/2013.

SCAÇOS. **Espessura**. Disponível em: <http://www.scacos.ind.br/arquivos/SCACOS_ESPESSURAS.pdf. Acesso em 09/08/2014.

SEPLANTEC. **Manual de gerenciamento de aterros sanitários**. 2002. Disponível em:< <http://www.unipacvaledoaco.com.br/ArquivosDiversos/Cartilha%20Opera%C3%A7%C3%A3o%20Aterro%20Sanit%C3%A1rio%20CONDER.pdf>>. Acesso em 23/09/10.

SHELLEY ENGINEERING CO: Disponível em:<http://www.alibaba.com/product-detail/HigG-quality-mill-used-600-tons_60043829602.html?spm=a2700.7724838.35.1.32HWEn>. Acesso em 23/11/2015.

SCHULTZ. **Compressores**. Disponível em:<<http://www.schulz.com.br/pt/site/compressores/produto/index?id=669#produto=669>> Acesso em 21/02/2016.

SIEMENS.**Struttura delle turbine a vapore** didattica.uniroma 25625-Slide-turbine-a-vapor., Italia, 2014.

SILVA CC. **Estudo de caso de sistemas de tratamento de efluentes domésticos com o uso de indicadores ambientais**. Universidade Paulista. 110p. Dissertação de mestrado. 2006.

SILVA FILHO PA, ARAÚJO, ALC, MEDEIROS, FBB, ANDRADE NETO CO, DUARTE MAC. **Diagnóstico construtivo e operacional de lagoas de estabilização**. In:Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24. Belo Horizonte, 2014.

SUCRANA. **Peso específico dos materiais**. Disponível em: <http://www.sucrana.com.br/tabelas/peso-especifico-materiais.pdf>. Acesso em 01/08/2014.

TECNOGERA. **Controle de temperatura – Chiller**. Disponível em: <http://www.tecnogeneradores.com.br/categoria/controle-de-temperatura-chiller/>. Acesso em 16/08/2015.

TETTOS. **Tabela Comparativa Qualitativa de Materiais (TCQM)**. Disponível em: <www.tettos.com.br/tcqm.pdf> . Acesso em 24/10/10.

THOMSON – 10B – **Taxas de depreciação de bens do ativo imobilizado**, Anuário, 2004.

TOPTELHAS. Disponível em: <http://www.toptelha.com.br/calculo_consumo_telhas.php>. Acesso em 23/11/2014.

TOTAL TELHAS. Disponível em: <http://www.totaltelhas.com/telha-kalheta/>/. Acesso em 14/03/2015.

UFPR. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Pavimentação**. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/MODulo%201%20%20Introducao.pdf>>. Acesso em 27/08/2014.

UFRJ. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Escoamento Superficial**. Disponível em: < [www.ufrj.br/.../manejo%20e%20conservacao%20-%20parte %203.pdf](http://www.ufrj.br/.../manejo%20e%20conservacao%20-%20parte%203.pdf)>. Acesso em 17/12/09.

UNTHA SHREDDING TECHNOLOGY. Disponível em: <http://www.untha.com/files/pdf/produkte/spanisch/xr_pre_triturador_nuevo_es.pdf>. Acesso em 10.08.2015.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Municipal solid waste in the United States: 1997 facts and figures, executive summary**. 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em 15/09/2016.

VALECAMINHOS. Disponível em: < <http://www.valecaminhos.com/cam-novos/especificacao/cargo-2622e.pdf>>. Acesso em 05.09.10.

VERLAG. **Estações de tratamento de água**. Disponível em: <<http://www.verlag.com.br/eta/>>. Acesso em 24/11/2014.

WENZHOU ENGINEERING MACHINERY CO. LTD. Disponível em: http://www.alibaba.com/product-detail/Small-cement-bulk-material-silo_383258529.html. Acesso em 13/11/2015.

WINNIPEG. **Emission factors in kg CO₂-equivalent per unit**. Disponível em: <http://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-2012/682-2012_Appendix_HWSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix%207.pdf>. Acesso em 29/01/2016.

WOLFSEEDS. Disponível em: < www.wolfseeds.com/pt_BR/produtos-e.../id/56>. Acesso em 02.07.10.

XINXIANG SIMO BLOWER. **Caldeira Industrial de alto volume para trás ventilador ventilador de ar secundário**. Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/higG-volume-backward-industrial-boiler-secondary-air-blower-fan-1692247620.html>>. Acesso em: 21.02.2016.

ZAMAN A.U. **Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method**. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (2), 225-234, Spring 2010 .

ZELINA PORTAS DE AÇO. Disponível em: <http://.zelinaportasdeaco.com.br>. Acesso em 23/07/2014.