

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Determinação do Balanço Energético e de Gases do Efeito Estufa
(GEE) em função do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**

Luiz Flávio Reis Fernandes

ITAJUBÁ

2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

Luiz Flávio Reis Fernandes

**Determinação do Balanço Energético e de Gases do Efeito
Estufa (GEE) em função do Manejo de Resíduos Sólidos
Urbanos (RSU)**

**Dissertação submetida ao programa de Pós-
Graduação em Meio Ambiente e Recursos
Hídricos como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Ciências em Meio
Ambiente e Recursos Hídricos**

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lucio Tiago Filho

Co-Orientadora: Prof. Dra. Regina M. Barros

ITAJUBÁ

2010

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Jacqueline Balducci - CRB_6/1698

F363d

Fernandes, Luiz Flávio Reis.

Determinação do Balanço Energético e de Gases do Efeito Estufa
(GEE) em Função do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). /

Luiz Flávio Reis Fernandes. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2010.

87 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho.

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Regina Mambeli Barros.

Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Energia Elétrica. 3. PEGGEE. 4.
Gases do efeito estufa. I. Tiago Filho, Geraldo Lúcio, orient. II.
Barros, Regina Mambeli, co-orient. III. Universidade Federal de
Itajubá. IV. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu filho Arthur Reis e ao meu sobrinho Gabriel Fernandes de uma forma muito especial. Aos meus pais Toninho e Lucinha, aos meus irmãos Antônio Carlos e Ana Cláudia, a minha namorada Édna, e também a Vó Eledir e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, sobretudo a Deus, por me dar força, sabedoria e entendimento em todas as minhas realizações, guiando sempre o meu caminho.

À minha família, por sempre me apoiar em minhas decisões, dando-me forças para jamais desistir.

À Édna, por me dar força e incentivo nos momentos mais difíceis.

Ao Arthur e ao Gabriel por me recompensar com o sorriso mais sincero e acolhedor.

Ao Professor Dr. Tiago, pelos ensinamentos, pela orientação e simplicidade, o que me fez crescer como pessoa e como profissional.

A minha co-orientadora Professora Dra. Regina pelo apoio, sugestões e por sempre me receber com um sorriso no rosto.

Aos funcionários e colegas do IFSULDEMINAS, de modo especial ao Prof. Luizinho, a Prof. Joyce e ao Prof. José Hugo.

Aos amigos Thiago Caproni e André por terem me dado uma MACRO ajuda.

Aos professores e colegas do MEMARH de modo especial a Sara, Vanessa e Carol.

Ao pessoal da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Itajubá e da ACIMAR.

A todos aqueles que contribuíram de alguma maneira para o meu trabalho e que torceram por mim.

Obrigado por tudo!

Sonho que se sonha só
É só um sonho que se sonha só.
Mas sonho que se sonha junto é realidade!

Raul Seixas

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS E QUADROS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iii
LISTA DE VARIÁVEIS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 Gerais	3
2.2 Específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Resíduos Sólidos	4
3.2 A Geração dos RSU	5
3.3 Classificação dos Resíduos Sólidos	7
3.4 Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos	9
3.5 Sistemas de Destinação Final e Subprodutos dos RSU	14
3.6 Biogás	17
3.7 Aplicativos para o Cálculo de GEE	20
3.8 Fatores de Emissão Quanto ao Transporte de Materiais	26
3.9 Aterros sem Recuperação de Biogás	27
3.10 Aterros com Recuperação para queima em Flare ou Geração de Energia	27
3.11 Potencial de Aquecimento Global	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Caracterização do Município de Itajubá	29
4.2 Planilha para cálculo da Emissão de GEE de Resíduos Sólidos - PEGGEE	31
4.3 Quantidade de Carbono Emitido na Atmosfera	33

4.4 Fatores de Emissão e Consumo de Energia para Materiais Aterrados.....	35
4.5 Fatores de Emissão Quanto ao Transporte de Materiais	41
4.5.1 Aterros sem Recuperação de Biogás.....	41
4.5.2 Aterros com Recuperação de Biogás para Geração de Energia	42
4.5.3 Aterros com Recuperação para queima em Flare.....	43
4.6 Determinação do Potencial de Aquecimento Global do RSU.....	44
4.7 Comparação das Remoções dos Cenários a Outras Fontes.....	45
4.8 Estudo de Caso do Potencial de Emissão do GEE no Aterro de Itajubá.....	46
4.8.1 Cenário Referência.....	47
4.8.2 Cenários Alternativos.....	47
5. RESULTADOS e DISCUSSÃO	51
5.1 Planilha para o cálculo da Emissão dos GEE de resíduos sólidos – PEGEE	51
5.1.1 A Planilha Entrada de Dados	51
5.1.2 A Planilha Análise dos Resultados	56
5.1.3 A Planilha Relatório de Síntese.....	60
5.1.4 Quantidade de Carbono Emitido na Atmosfera	63
5.1.5 Potencial de Aquecimento Global.....	65
5.1.6 Equivalências energéticas	66
5.1.7 Cenários	68
6. CONCLUSÕES	72
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
8. ANEXO A	82
9. ANEXO B.....	85

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 3.1 – Destinação Final de RSU em Países.....	6
TABELA 3.2 – Composição Física dos RSD de Itajubá/MG.....	10
TABELA 3.3 – Valores de k e L ₀ do LandGEM.....	24
TABELA 4.1 – Fatores de Conversão Estequiométrica.....	38
TABELA 5.1 – Resultados dos Cenários Aplicados na PEGGEE e no WARM.....	69
QUADRO 3.1 – Resíduos Sólidos Domésticos Potencialmente Perigosos.....	8
QUADRO 3.2 – Valores de k e L ₀ em função da degradabilidade e precipitação.....	21
QUADRO 3.3 – Fatores de equivalência energética.....	27
QUADRO 4.1 – Listagem dos materiais presentes na PEGGEE.....	31

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Composição Gravimétrica do RSD no Brasil.....	10
FIGURA 3.2 – Composição Gravimétrica em Presidente Castelo Branco/PR.....	12
FIGURA 3.3 – Destinação Final do RSU no Brasil (%).....	15
FIGURA 3.4 – Padrão de Produção de Biogás.....	18
FIGURA 3.5 – Ciclo de Vida dos Materiais.....	25
FIGURA 4.1 – Distribuição dos Materiais Coletados em Itajubá/MG (ton).....	30
FIGURA 5.1 – Item 1 da Planilha Entrada de Dados.....	52
FIGURA 5.2 – Item 2 da Planilha Entrada de Dados.....	53
FIGURA 5.3 – Itens 3, 4, e 4.1 da Planilha Entrada de Dados PEGGEE.....	54
FIGURA 5.4 - Itens 5, 5.1 e 6 da Planilha Entrada de Dados PEGGEE.....	55
FIGURA 5.5 - Itens 7 e 8 da Planilha Entrada de Dados PEGGEE.....	56
FIGURA 5.6 – Resumo das Emissões e Fatores de Emissão para os materiais.....	57
FIGURA 5.7 – Emissões decorrentes do Cenário Referência.....	58
FIGURA 5.8 – Emissões decorrentes do Cenário Alternativo.....	59
FIGURA 5.9 – Quadro 4 da Planilha Análise dos Resultados.....	60
FIGURA 5.10 – Emissões de GEE para o Cenário Referência.....	61
FIGURA 5.11 – Emissões de GEE para o Cenário Alternativo.....	61
FIGURA 5.12 – Potencial de Aquecimento Global.....	63
FIGURA 5.13 – Planilha Emissões por Transportes.....	64
FIGURA 5.14 – Planilha Emissões em Aterros.....	65
FIGURA 5.15 – Planilha Potencial de Aquecimento Global.....	66
FIGURA 5.16 – Planilha Equivalências.....	67
FIGURA 5.17 – Comparações equivalentes as variações do consumo de energia.....	67
FIGURA 5.18 – Comparações das emissões equivalentes as remoções de gases.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais

GEE – Gases do Efeito Estufa

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

LFG – Landfill Gas

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PEGGEE – Planilha para Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa de Resíduos Sólidos

RSD – Resíduo Sólido Doméstico

RSU – Resíduo Sólido Urbano

TIR - Taxa Interna de Retorno

VPL - Valor Presente Líquido

USEPA – United States Environmental Agency

WARM – Waste Reduction Model

LISTA DE VARIÁVEIS

BTU – British Thermal Unit

GJ – GigaJoule

GgC – Gigagrama de carbono

kWh – Quilowatt hora

Mg - Megagrama

MW - Megawatt

MWh – Megawatt hora

m³ – Metro cúbico

t - Tonelada

tCe – Tonelada de Carbono Equivalente

tCO₂e – Tonelada de Dióxido de Carbono Equivalente

tep – Tonelada equivalente de Petróleo

TJ – Terajoule

RESUMO

Reis Fernandes, L.F. (2010). **Determinação do Balanço Energético e de Gases do Efeito Estufa (GEE) em função do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**. Itajubá, 2010. 85p. Dissertação – Universidade Federal de Itajubá-MG.

Atualmente, a despeito de algumas exceções, diversos países vêm buscando alternativas para acabar com a escassez de energia elétrica e aprimoramento da gestão dos *resíduos sólidos urbanos* (RSU). Com o Brasil não é diferente, o país se insere nesse contexto, devido à dificuldade que os municípios possuem em gerenciar os seus próprios RSU. Diversos fatores influenciam um sistema de gerenciamento de RSU, qualita e quantitativamente, a saber: situação econômica, comportamento social, educacional, cultural, entre outros. Como forma de enfrentar problemas como a destinação final correta dos RS, torna-se atraente a avaliação dos benefícios na redução de geração dos *gases do efeito estufa* (GEE), assim como o estudo da equivalência energética dos GEE. Para tanto, utilizando o aplicativo WASTE Reduction Model, (WARM), da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) o presente estudo apresenta uma planilha equivalente e adaptada à realidade brasileira em *Microsoft® Office Excell®*, com base em estudo da fundamentação teórica que fundamenta o WARM. Com a planilha desenvolvida, é possível avaliar cenários de geração de GEE e os equivalentes energéticos, para o município de Itajubá-MG. Os cenários apresentados são úteis para avaliação por parte dos gestores municipais já que o aterro sanitário de Itajubá deverá entrar em operação no ano de 2010.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Energia Elétrica; Gases do Efeito Estufa; Aplicativos de Gestão de RSU; PEGGEE.

ABSTRACT

Reis Fernandes, L.F. (2010). **Determination of Energy Balance and Greenhouse Gas (GHG) due to management of Municipal Solid Waste (MSW)**. Itajubá, 2010. 85p. Dissertação – Universidade Federal de Itajubá-MG.

At present times, despite a few exceptions, several nations have been searching for alternatives against the shortage in electric energy as well as improvements in the management of municipal solid waste (MSW). Brazil has been acting likewise, due to the cities' difficulties in managing their own MSW. Several factors will exert influence on a SUR management system, both qualitatively and quantitatively, such as economical situation, social, educational, and cultural behavior, among others. As an alternative way to face problems like the appropriate final destination for the SUR, the evaluation of the benefits from reduction in the generation of greenhouse gases (GHG) as well as a study on the GHG's energetic equivalence become attractive. Using the WASTE Reduction Model (WARM) software, from the United States Environmental Protection Agency (USEPA), this present study features a Microsoft® Office Excell® worksheet which is equivalent and adapted to the reality in Brazil, based on a study of the theoretical fundamentals on which WARM itself is based. The developed worksheet enables one to assess "GHG generation and energetic equivalents" scenarios for the city of Itajubá-MG. The scenarios presented are certainly useful assessment tools for the city's managers as Itajubá's sanitary landfill should start operating in 2010.

Key-words: Municipal Solid Waste; Electric Energy; Greenhouse Gases; Application Management Solid Waste Municipal; PEGGEE.

1. INTRODUÇÃO

O ser humano, para exercer suas atividades cotidianas necessita de diversos insumos, que são os recursos naturais extraídos do Planeta Terra para a produção de bens e produtos. A partir da utilização desses recursos, ocorre a geração de subprodutos, que consiste em um grave problema social, econômico e ambiental, já que o consumismo desenfreado eleva este problema a níveis perigosos colocando em risco a sobrevivência da espécie humana no planeta. O panorama apresentado coloca a humanidade diante de um novo e árduo desafio, que é viver dentro dos limites do Planeta a partir de um processo de adaptação ao novo modelo proposto.

Impulsionada pelas revoluções tecnológicas, as mudanças de hábitos e costumes das populações, aliado ao desenvolvimento desenfreado da economia mundial, fizeram com que ocorresse o aumento da quantidade de produtos consumidos, conseqüentemente, ocorreu o acréscimo da quantidade de resíduos gerados, ocasionando assim uma drástica consequência ao meio ambiente, que muitas vezes são difíceis de serem reparadas.

Dentre os diversos problemas decorrentes do contexto descrito tem-se a geração dos *resíduos sólidos urbanos* (RSU), que é composto pelos diferentes materiais oriundos das atividades pós-consumo nas cidades e variam de acordo com as características locais.

O termo resíduo é bastante confundido com o termo rejeito, pois estas nomenclaturas adquirem uma conotação de que são algo inúteis ou inservíveis. Na verdade resíduo é algo aproveitável, ou seja, aquilo que é passível de uso após o consumo do produto que o deu origem, já o termo rejeito pode ser definido como materiais que não podem ser aproveitados devido as suas características.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE no ano 2000, cada cidadão brasileiro gerou no ano 2000 em torno de 0,74 quilos de resíduos por dia. Ainda de acordo com a mesma pesquisa, no mesmo ano, nos 4.026 municípios brasileiros (73,1%) com população de até 20.000 habitantes, 68,5% dos resíduos gerados são dispostos em lixões e em alagados.

Para mitigar os impactos ambientais negativos causados pela disposição final dos RSU, é necessária a adoção de práticas de gestão pautadas nos aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois a decomposição dos RSU gera subprodutos

(gases e chorume) que à medida que são poluentes, são elementos passíveis de recuperação, evitando assim a contaminação de cursos d'água, do ar e do solo.

Apesar das dimensões geográficas do país, os municípios encontram dificuldades para identificar locais para a adequada disposição final de RSU. Por isso, a escolha de locais apropriados induz ao aproveitamento energético dos RSU e conseqüentemente o aproveitamento desta energia nas comunidades, além de diminuir a quantidade de gases do efeito estufa (GEE) lançados na atmosfera.

Não existe um arranjo específico para a determinação da quantidade e da composição dos RSU gerada nos municípios, já que estas características são bastante variáveis em função de diversos fatores como: estação do ano, poder de compra da população, costumes, serviço de coleta municipal, faixa etária, entre outros.

É evidente a necessidade de se adotar práticas de manejo de RSU adequadas à realidade de cada município. Essas práticas devem ser caracterizadas como cenários factíveis de ser implementados, objetivando o aproveitamento e a eficiência energética, assim como a redução de GEE lançados na atmosfera.

Diante disso, é apresentado no presente trabalho uma ferramenta para a obtenção do resultado da aplicação de práticas de manejo para os municípios brasileiros. Essa ferramenta é bastante útil para gestores de resíduos sólidos (governantes públicos e outras organizações) que desejam avaliar as iniciativas de gestão de RSU em comparação ao cenário corrente.

Inicialmente, o trabalho faz uma abordagem sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos, ilustrando dados como geração, logística, destinação final e métodos de recuperação dos subprodutos. Posteriormente, são apresentadas práticas de gerenciamento de RSU, e finalmente, é apresentada a Planilha para Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa de Resíduos Sólidos - PEGGEE que objetiva a avaliação do balanço energético e das emissões de GEE acompanhada de cenários de gestão de RSU para o município de Itajubá/MG.

1.1 Justificativa

O consumo de produtos, aliado ao modo de vida das populações acarretam como consequência uma maior geração de resíduos, dentre eles os Resíduos Sólidos Urbanos. Nesse sentido, é imposto ao poder público e a coletividade práticas que remetem à

destinação final correta desses resíduos através de sistemas de manejo adequados. Essas práticas devem ser colocadas em exercício observando as necessidades de se obter equilíbrio ambiental com desenvolvimento econômico, já que essa geração se encontra diante de um momento histórico em que a agressão ao meio ambiente e a extração dos recursos naturais ocorrem de forma desordenada.

Dessa forma, visando atender as exigências da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos que apresenta diretrizes para o gerenciamento dos resíduos sólidos e por saber que o município de Itajubá/MG irá inaugurar as instalações do aterro sanitário municipal no ano de 2010, este trabalho busca apresentar cenários de gestão de RSU para o referido município devendo ser analisados após ser aplicados na Planilha para Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa de Resíduos Sólidos – PEGGEE aqui elaborada e apresentada.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

- Efetuar um levantamento de dados acerca da geração de RSU no município de Itajubá/MG.
- Estudar a relação entre programas de manejo de resíduos sólidos urbanos e impactos ambientais.
- Entender a geração de GEE e consumo de energia a partir dos produtos de consumo.

2.2 Específicos

- Avaliar a forma de operação do aplicativo WARM, adaptando-o para a língua portuguesa e, sobretudo, à realidade brasileira.
- Criar uma planilha com interesse de conceber a gestão integrada dos RSU que permita a visualização de todo o sistema que compõe o ciclo de vida de produtos consumidos.
- Estudar a potencialidade de geração de GEE dos RSU gerados em Itajubá-MG.

- Avaliar o potencial energético dos GEE gerados em diversos cenários de tratamento e disposição final dos RSU, em Itajubá-MG.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos

O termo resíduo é bastante confundido com o termo rejeito, pois essas nomenclaturas adquirem uma conotação de que são algo inúteis ou inservíveis. Cabe ressaltar que resíduo é algo aproveitável, ou seja, aquilo que é passível de uso após o consumo do produto que o deu origem, já o termo rejeito pode ser definido como materiais que não podem ser aproveitados devido as suas características.

Gandelini & Caixeta Filho (2007), informam que os *resíduos sólidos urbanos* (RSU), mais comumente conhecidos por *lixo* são responsáveis por inúmeros problemas que surgiram em decorrência do atual momento histórico.

Conforme define a NBR 10.004 – *Resíduos Sólidos* (ABNT, 2004), entende-se por resíduos sólidos, resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição, os lodos provenientes de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Complementam essas definições, a conceituação de D'almeida & Vilhena (2000): “resíduos sólidos são os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis” e de Gonçalves (2007), que informa que os resíduos sólidos municipais (RSM) são aqueles gerados dentro de um município, podendo ser subdivididos em resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos sólidos rurais (RSR).

É possível admitir que os materiais resultantes das atividades pós-consumo são conhecidos como resíduos sólidos urbanos e lixo, onde o primeiro é conhecido como materiais passíveis de aproveitamento devendo ser determinado de acordo com sua

origem, e o segundo é a designação correta para aqueles materiais inservíveis, que de certa forma não são passíveis de recuperação.

Bidone e Povineli (1999) informam que RSU pode ser considerado como aqueles resíduos que se enquadram como residenciais, comerciais, de varrição, de feiras livres, de capinação e poda.

Na verdade não existe um arranjo específico para a determinação da quantidade e da composição dos RSU gerada nos municípios, pois estas características são bastante variáveis em função de diversos fatores como: estação do ano, poder de compra da população, costumes, serviço de coleta municipal, faixa etária, entre outros.

3.2 A Geração dos RSU

Praticamente não existe nenhuma atividade antrópica que não causa impacto ambiental negativo. Esses impactos ambientais negativos, em grande parte são ocasionados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos, que por sua vez são gerados pelas atividades consumidoras das comunidades citadinas.

Alguns fatores influenciam diretamente a geração de RSU, por isso, ocorre a diversidade dos valores médios de geração. Além do número de habitantes, esses fatores são: poder de compra da população, costumes, serviço de coleta municipal, faixa etária e estação do ano, entre outros.

O poder de compra da população influencia diretamente o modelo de vida da população, que conseqüentemente é motivado pelo consumo e descarte de insumos e produtos. Velloso (2008) informa que no ano de 2008 foi realizada uma pesquisa pela companhia de limpeza urbana do Rio de Janeiro que aponta hábitos e características de cada região carioca. Essa pesquisa relata que na Zona-Sul e Barra da Tijuca, bairros cujos moradores possuem alto poder aquisitivo, os caminhões seguem abarrotados de jornais, revistas, materiais importados, seguindo a tendência de quanto maior a quantidade de embalagens e papelão, maior o poder de compra do indivíduo. Na Lagoa, bairro de maior renda da cidade, nota-se a quantidade de extratos bancários, jornais de classe, faturas, sabonetes líquidos, cremes e bebidas importadas e no subúrbio carioca as lixeiras mostram que apesar da renda menor, há bastante sobra de carvão, churrasco e latas de bebidas, podendo ser notado que as famílias têm o costume de se reunir.

Os hábitos da população influenciam diretamente a quantidade e a composição dos resíduos, haja vista as festas, shows e demais eventos que induzem a população em participar dos acontecimentos festivos e levam ao aumento da atividade turística. Gomes et al. (2007) analisando os impactos decorrentes dos RSU gerados no carnaval de Recife/PE afirma que a geração de RSU durante o carnaval tem aumentado ao longo dos anos, podendo ser notada a falta de comprometimento da população e dos turistas em reduzir a produção e descartar os RSU em locais apropriados, já que foi encontrado uma grande quantidade de RSU nas ruas e nas águas do Rio Capiberibe.

Dados de Vilhena (2010) demonstram que são gerados anualmente de 2 a 3 bilhões de toneladas de resíduos para uma população mundial estimada em 6,6 bilhões. De acordo com a IBGE (2000) a geração média de RSU no Brasil é de 0,74 kg/hab.dia¹. Corroborando com essa informação, Vilhena (2010) ao indicar que cada brasileiro envia anualmente 251 kg de RSU para lixões e aterros. Tais dados demonstram que é necessária a adoção de práticas de gestão voltadas para o consumo e descarte de produtos, assim como a recuperação e o tratamento dos resíduos de forma a evitar que os mesmos sejam depositados em locais impróprios podendo causar contaminação no solo, na água e no ar. A TABELA 3.1 apresenta os valores para destinação final dos RSU em alguns países. Os dados demonstram que a variação da geração de RSU em diversos países é oriunda do nível de desenvolvimento de cada nação.

TABELA 3.1 - Destinação final de RSU em alguns países (kg per capita/ano)

País	Aterros e/ou Lixões	Incineração com recuperação para energia	Compostagem e Reciclagem
Brasil	251	-	33
Alemanha	4	179	383
Bélgica	24	155	296
Espanha	289	41	253
França	192	183	178
Hungria	376	39	53
Itália	284	65	199
Portugal	274	95	66

TABELA 3.1 - Destinação final de RSU em alguns países (kg per capita/ano)

País	Aterros e/ou Lixões	Incineração com recuperação para energia	Compostagem e Reciclagem
Reino Unido	353	55	180
República Tcheca	234	29	33
Suécia	25	233	239

Fonte: VILHENA (2010)

Gonçalves, (2007) informa que a geração média de RSU no município de Itajubá é em torno da média nacional, pois está na casa de $0,75 \text{ kg/hab.dia}^{-1}$. Remedio et al. (2002) citando Negreiros (1988) afirmam que em São Paulo foram geradas naquele ano cerca de $920 \text{ g/hab.dia}^{-1}$, em Curitiba houve a geração de $609 \text{ g/hab.dia}^{-1}$ e em Salvador $786 \text{ g/hab.dia}^{-1}$.

Melo et al. (2009) informam que a produção total de RSU de 1990 a 2007, mais que dobrou na capital paranaense, onde no ano de 1990 a produção total foi de 188.629 toneladas e, em 2007 a produção ultrapassou 400 mil toneladas. De acordo com os mesmos autores, nesse mesmo intervalo de tempo, a taxa de geração *per capita* dos RSU também cresceu, partindo de $0,402 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ no início da década de 90 para $0,613 \text{ kg.hab}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em 2007. Esses valores demonstram que a variação do PIB influencia diretamente na geração de resíduos.

3.3 Classificação dos Resíduos Sólidos

Segundo ABNT (2004) para classificar os resíduos, é preciso identificar o processo ou matéria prima, assim como as características de seus constituintes e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

A partir da classificação dos RSU é possível otimizar as práticas de gerenciamento de RSU, pois essa classificação varia de acordo com o objetivo proposto, podendo ser: relacionado a origem, a disposição final, ao aproveitamento energético, a reciclagem, a incineração e a compostagem.

De acordo com Vilhena (2010), os resíduos sólidos urbanos podem ser classificados como secos e molhados (natureza física), como matéria orgânica e

inorgânica (natureza química) e também como perigosos, inertes e não inertes (riscos potenciais ao meio ambiente).

Bidone e Povineli (1999) informam que RSU podem ser divididos em residenciais, comerciais, de varrição, de feiras livres, de capinação e poda. A responsabilidade de gerenciamento dos RSU impõe às prefeituras a execução direta, que de acordo com Segala (2007a) é o processo pelo qual o Poder Público desempenha a prestação dos serviços públicos, desde que disponha de recursos materiais, humanos e técnicos. O mesmo autor segue afirmando que na execução direta, não há contratação de particular ou criação de entidade da Administração Pública indireta para isso, diferentemente da execução indireta, onde o Poder Público delega o serviço para terceiro. Esta delegação pode ocorrer por lei, por contrato para o particular, permitindo a formalização da concessão, parceria público-privada, permissão ou terceirização. Portanto, cabe ressaltar que a responsabilidade pelo gerenciamento dos RSU é das prefeituras municipais, salvo alguma exceção onde a responsabilidade passa a ser do gerador como acontece com os resíduos do serviço de saúde.

A classificação dos RSU é uma ferramenta que deve ser aplicada para a elaboração de qualquer programa de manejo, pois qualquer material a ser descartado tem potencial para aproveitamento ou até mesmo oferece risco à saúde humana. O QUADRO 3.1 representa alguns produtos geralmente encontrados nos RSU que contém substâncias que conferem riscos a saúde humana.

QUADRO 3.1 - Resíduos Sólidos Domésticos potencialmente perigosos

TIPO	PRODUTO
Material para Pintura	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas; • Solventes; • Pigmentos; • Vernizes.
Materiais para Jardinagem e Animais	<ul style="list-style-type: none"> • Pesticidas; • Inseticidas; • Repelentes; • Herbicidas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Óleos Lubrificantes;

QUADRO 3.1 - Resíduos Sólidos Domésticos potencialmente perigosos

TIPO	PRODUTO
Materiais Automotivos	<ul style="list-style-type: none"> • Fluidos de Freio e Transmissão; • Baterias.
Outros Itens	<ul style="list-style-type: none"> • Pilhas (exceto alcalinas a base de zinco); • Frascos de Aerossóis em geral; • Lâmpadas fluorescentes (com quantidades elevadas de mercúrio)

Fonte: GOMES & OGURA citado por VILHENA (2010)

3.4 Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos

O gerenciamento adequado dos RSU é uma preocupação frequente dos gestores municipais e demais tomadores de decisão devido ao alto potencial de geração de impactos ambientais no seu ciclo, que inclui as etapas de geração até a destinação final.

A *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos* (GIRS) pode ser entendida como a maneira de idealizar, implementar e gerenciar sistemas de manejo de RSU, considerando a participação dos setores da sociedade, buscando o equilíbrio entre consumo e geração de resíduos (SEGALA, 2007a).

Partindo do princípio de que toda a produção mundial de bens irá se transformar em resíduos, é importante que seja lançado mão de ferramentas que objetivem a GIRS, portanto, é preciso identificar todo o ciclo de vida dos produtos de maneira a conceber e aplicar sistemas de manejo pautados desde a geração do RSU até a sua destinação final. No entanto, para que os sistemas de manejo de RSU possam ser colocados em prática, é necessária a identificação da composição física ou composição gravimétrica dos RSU.

A composição gravimétrica, segundo Melo e Jucá (2000) citados por Mattei e Escosteguy (2007), constitui uma informação importante na compreensão do comportamento dos resíduos, aterrados ou não, e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos.

De acordo com estudos de PHILIPPI JÚNIOR (1999) a composição percentual média dos Resíduos Sólidos Domésticos no Brasil está apresentada na FIGURA 3.1.

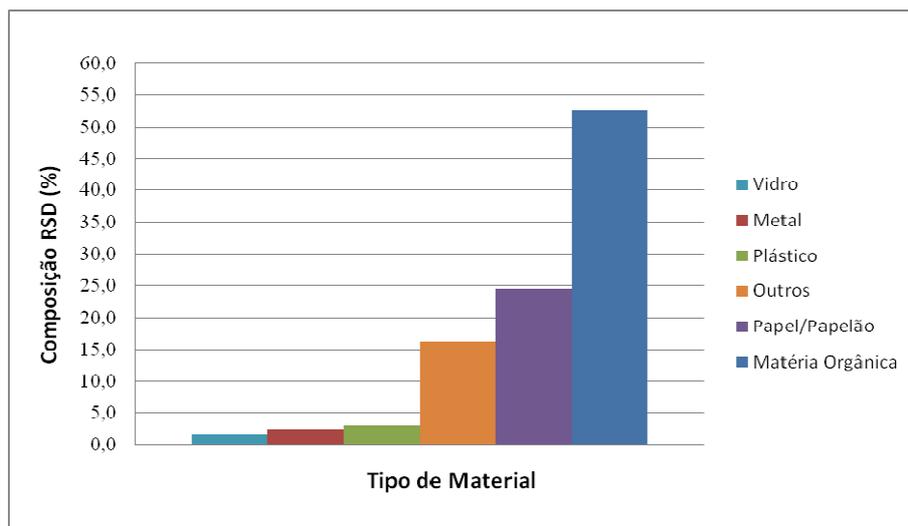


FIGURA 3.1 – Composição Gravimétrica dos RSD no Brasil

Fonte: PHILIPPI JÚNIOR (1999)

A TABELA 3.2 apresenta a composição física dos RSU do município de Itajubá através de um estudo elaborado por Gonçalves (2007) que, utilizando a metodologia proposta por MARTINS et.al. (s/d) adaptado pelo CETEC (CETEC, 2006), realizou a caracterização física dos RSD (resíduos sólidos domésticos) e RSC (resíduos sólidos comerciais). As amostras foram coletadas no depósito de resíduo municipal entre os dias de 20 a 29 de setembro de 2006, período este definido para evitar possíveis influências externas nos resultados, como eventos, festas, etc. Este trabalho dividiu o município de acordo com quatro classes sociais, tendo como parâmetro a renda (salário mínimo) e identificou como os diferentes hábitos das populações aliado ao poder de compra influenciam na geração de resíduos.

TABELA 3.2 - Composição Física dos RSD de Itajubá/MG

Componentes	Descrição	Setor A* (%)	Setor B* (%)	Setor C* (%)	Percentual presente
Matéria Orgânica	Resto de alimento				
	Resto de Podas	39,8	49,7	37,0	41,90
	Papel e Papelão				
	Reciclável				
Material	Plásticos (Mole,				

TABELA 3.2 - Composição Física dos RSD de Itajubá/MG

Componentes	Descrição	Setor A* (%)	Setor B* (%)	Setor C* (%)	Percentual presente
Potencialmente	Duro e PET)				
Reciclável	Tetra Pak	36	26,4	31,5	31,50
	Metais (aço, alumínio e não ferrosos)				
	Vidro				
Resto de	-	7,5	9,0	12,5	10,60
Banheiro					
Entulho	Entulho	12,9	9,9	9,1	8,80
Trapo	Trapo	2,3	2,5	5,9	3,30
Outros	Rejeitos	1,5	2,5	4,4	3,90

* Classe A – Renda acima de dez salários mínimos; Classe B – Renda entre cinco e dez salários mínimos; Classe C – Renda superior a dois e inferior a cinco salários mínimos; Classe D – Renda entre zero e dois salários mínimos.

Fonte: GONÇALVES (2007)

Com o objetivo de identificar a composição dos RSU do município de Presidente Castelo Branco no Paraná, Souza e D'oliveira (2009), utilizando o método do quarteamento realizado três vezes durante o mês de agosto de 2006, procedimento este adotado uma vez por semana, determinou a porcentagem específica de cada tipo de material encontrado nos resíduos sólidos gerados no município, que segue representado na FIGURA 3.2. Os autores indicam que houve uma variação das características dos resíduos de acordo com o dia da coleta, onde segunda-feira prevaleceu o maior teor de matéria orgânica. O trabalho indicou que existe viabilidade da implantação de um programa de coleta seletiva no município, assim como a criação de um programa de compostagem da matéria orgânica presente no RSU.

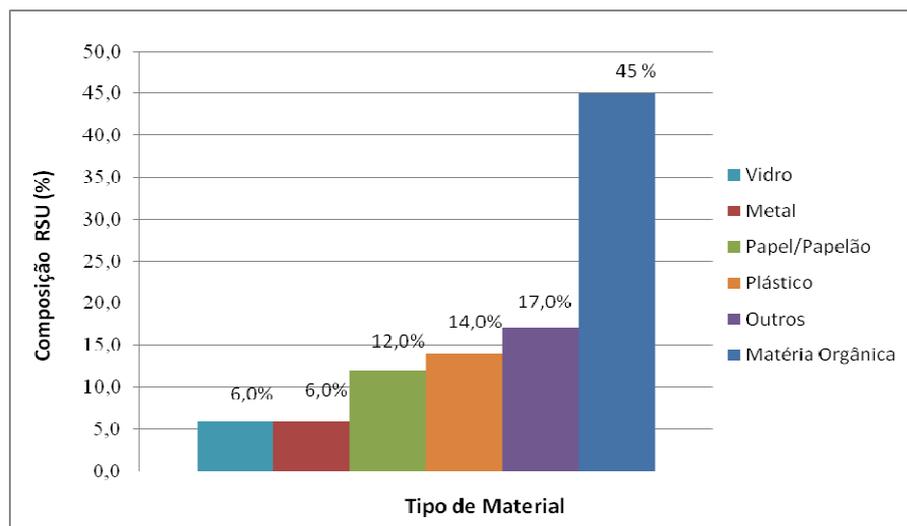


FIGURA 3.2 – Composição Gravimétrica em Presidente Castelo Branco/PR

Fonte: Souza e D'oliveira (2009)

Diante dos dados apresentados acima, pode-se notar que os municípios não possuem a composição física semelhante à média nacional. Apesar dos valores serem próximos, as médias apresentadas confirmam a bibliografia referente ao assunto quando informa que a composição física dos RSU varia de acordo com a localidade por causa das suas características específicas.

De fato, a composição física dos RSU é um parâmetro fundamental e básico para implementação de qualquer programa de GIRS, porém não se deve perder de vista, para efeito de GIRS, o gerenciamento dos aspectos desde a geração dos RSU até a produção dos subprodutos gerados a partir da sua disposição final, que são o chorume e a formação de gases. Portanto, para que um GIRS possa ser implantado é necessária a adoção de programas voltados para práticas de manejo e gestão, que são eles: redução na fonte, compostagem, reciclagem e a incineração.

Comumente encontra-se na literatura técnica programas voltados para a prática dos 3 R's, que significam: redução, reutilização e reciclagem. Certamente esses programas devem vir acompanhado de um programa de Educação Ambiental, deduzindo que pouco adianta o poder público aplicar e colocar em prática programas de Educação Ambiental se não houver a participação popular. Diante disso, é importante frisar que qualquer programa de GIRS que se queira implementar deve estar sustentado pela Legislação Ambiental, pelas Políticas Públicas e principalmente pela Educação Ambiental através da participação popular.

Programas de coleta seletiva formais ou informais (com ou sem a participação do poder público) sempre devem vir acompanhados de um programa voltado para a reciclagem, já que não se pode idealizar um projeto que promova a segregação de materiais sem conhecer o seu destino final. O principal objetivo de programas de coleta seletiva deve ser segregar materiais com fins econômicos, sociais e ambientais, para que desta forma o programa seja viável. A segregação de materiais passíveis de reciclagem faz com que aumente a vida útil dos aterros, pois será enviada uma quantidade menor de resíduos ao mesmo.

A coleta seletiva vem possibilitando em muitos países e em algumas cidades brasileiras, a geração de uma oferta de matéria-prima secundária de boa qualidade, tornando economicamente viável o reaproveitamento de um volume maior de resíduos no processo produtivo (MUYLAERT, 2000). Muitas vezes, o que inviabiliza programas de coleta seletiva são os altos custos operacionais.

Ribeiro e Besen (2007) pesquisaram o panorama da coleta seletiva no Brasil e identificaram que existem ameaças à continuidade dos programas municipais de coleta seletiva desenvolvidos em parceria com organizações de catadores, seja pela redução do material coletado ou pela alteração do preço dos materiais recicláveis devido às oscilações do dólar.

Gonçalves et al. (2008) informam que o trabalho da Associação dos Catadores de Papel, Papelão e Material Reaproveitável de Belo Horizonte, Asmare, modelo de programa de coleta seletiva no país, propicia o aumento da vida útil do aterro sanitário, a economia de recursos naturais e a limpeza urbana, além de garantir o rendimento de famílias que sobrevivem desta atividade em Belo Horizonte.

Para que um programa de coleta seletiva possa ser completo, é viável que este seja acompanhado também de um programa de compostagem. Afinal, os resíduos orgânicos presentes na massa de RSU são passíveis de recuperação através da decomposição aeróbia podendo ser aproveitado como fertilizante natural. Pelo fato de o Brasil ser um país agrícola, as práticas de compostagem visando a utilização do composto como adubo orgânico deveria receber mais investimentos.

No ano de 2001, 17 municípios da Região Metropolitana de Curitiba idealizaram o Consórcio Intermunicipal para Gestão de RSU. Nascimento Neto e Moreira (2009) avaliando que este novo sistema não apresentava estratégias de implantação na prática propuseram elaboração de uma Política Regional de Compostagem. Os autores

concluíram que diante da proposta de ordenamento definindo duas unidades de planejamento, urbana e rural, a problemática dos resíduos sólidos urbanos não está somente na solução de sistemas e tecnologias, mas se estende ao âmbito político, de modo que o desafio esteja também na alteração do sistema de valores da sociedade, compatibilizando-o com as exigências de sustentabilidade socioambientais.

Adhikari et al (2006) ao criar práticas de gestão de resíduos alimentares propôs a criação de dois cenários de gestão para reduzir as emissões de GEE, onde o primeiro consiste no encorajamento da população a ficar na zona rural e compostar cerca de 75% dos resíduos orgânicos alimentares, o segundo cenário seria em adição ao cenário 1 compostar ou promover a digestão anaeróbia de 75% dos resíduos alimentares urbanos. Esse estudo conclui que o cenário 1 pode baixar a produção de resíduos alimentares em 30% e manter a quota de aterro nas emissões antropogênicas globais na casa de 8%. Com o cenário 2, as emissões por parte de aterros poderiam ser ainda mais reduzidas entre 8 a 6% e a produção de chorume pode ser reduzida em 40%.

3.5 Sistemas de Destinação Final e Subprodutos dos RSU

Dados dos IBGE informam que quanto mais populoso e urbanizado o município, maior a cobertura do serviço público de coleta de RSU (IBGE, 2000a). O serviço de coleta de RSU é composto pelo recolhimento dos resíduos, logística e destinação final.

Podem ser considerados sistemas de disposição final de RSU: Lixões, Incineradores, Aterros Controlados e *Aterros Sanitários* (AS). O último é o processo mais adequado para disposição final de RSU por apresentar características técnicas-operacionais bastante avançadas que proporcionam a mitigação dos impactos ambientais negativos gerados, além de poder contar com sistemas de captação dos gases.

Leite (2005) cita que a disposição de RSU em lixões inviabiliza o aproveitamento do biogás ou *LFG* (Landfill Gase), primeiramente pela produção irregular de biogás, depois pela falta de condições de se estabelecer um sistema de drenagem e transporte do mesmo do aterro até os locais de seu aproveitamento em unidades de geração de energia elétrica ou simplesmente sua queima em “flares”.

Os lixões são práticas bastante frequentes no país. Apesar de toda a tentativa de gestores municipais em evitar esse sistema de disposição final, o baixo orçamento

municipal, a existência de poucas políticas de incentivo ao fechamento dos lixões associados às más administrações fazem com que os lixões ainda existam em muitos municípios brasileiros. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada no ano de 2010 pelo governo federal, objetiva acabar, a longo prazo, com os lixões e irá obrigar municípios e empresas a criarem programas de manejo e proteção ambiental.

Outra forma de disposição final de RSU são os incineradores, que de acordo com Pecora et al. (2008) é uma maneira de tratar os resíduos sólidos, cujo processo de destruição térmica é realizado sob alta temperatura (900 a 1250 °C com tempo de residência controlado) e utilizado para o tratamento de resíduos de alta periculosidade, ou que necessita de destruição completa e segura. No Brasil, a prática da incineração ainda é pouco adotada, sendo voltada na maioria das vezes para o tratamento dos Resíduos do Serviço de Saúde.

Caso a incineração fosse adotada para todo o Brasil, e considerando que todo os RSU seriam destinados para a incineração, poderia-se ter cerca de 45 TWh/ano de energia elétrica oferecida para a população brasileira. (HENRIQUES, 2004)

É evidente a necessidade de adotar sistemas de disposição final adequados no Brasil, porém essa prática não vem sendo adotada. De acordo com a IBGE (2000) a maioria dos sistemas de disposição final de RSU no Brasil são lixões. A FIGURA 3.3 demonstra a distribuição percentual dos sistemas de destinação final de RSU para os 5.507 municípios brasileiros.

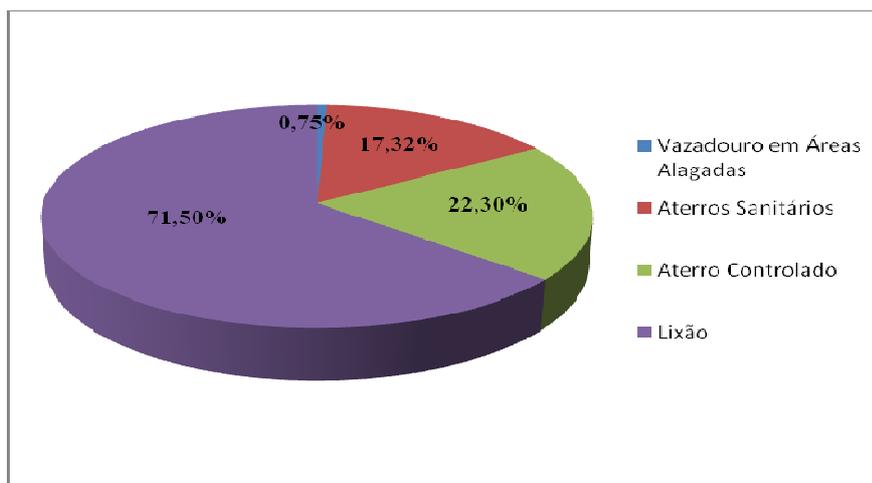


FIGURA 3.3 - Destinação Final de RSU no Brasil (%)

Fonte: IBGE (2000)

De acordo com Jaramillo (2002), Aterro Sanitário é o método de disposição final praticamente de todos os RSU. Este mesmo autor cita que o AS é o único admissível, pois não representa perigo algum e nem riscos para a saúde pública. Além disso, minimiza a contaminação e os impactos ambientais negativos no ambiente.

A NBR 8419 - *Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*, ABNT (1992) define aterro sanitário como uma técnica de disposição de RSU no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. A referida norma ainda informa que o AS utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Segundo Silva e Campos (2008), os aterros podem produzir de 6 a 20% do total de metano emitido na atmosfera. Para Segala (2007a), os resíduos sólidos urbanos, pelo seu elevado teor de matéria orgânica, representam cerca de 12% das fontes emissoras desse gás.

No ano de 2002, os Estados Unidos emitiram cerca de 7.644 milhões de toneladas equivalentes de CO₂, dos quais 659 milhões eram emissões de metano. Neste mesmo ano, os AS dos Estados Unidos contribuíram com aproximadamente 32% destas emissões de metano, o que representa cerca de 3% das emissões de GEE do país. (MATTHEWS, 2000).

Dentre os sistemas de disposição final, os aterros sanitários são os que melhores apresentam condições para o acondicionamento final dos RSU por promoverem a recuperação dos gases gerados a partir da decomposição anaeróbia dos RSU e também realizarem a captação e o tratamento do chorume, além disso, os AS tem potencial para resolver dois dos grandes problemas enfrentados pela sociedade moderna: a disposição final de RSU adequada e a escassez de energia elétrica. Consequentemente, é importante a pesquisa de fontes energéticas que estejam próximas aos centros consumidores, como é o caso do aproveitamento energético dos RSU.

A geração de energia a partir do RSU apresenta a vantagem de abastecer localidades com energia elétrica e amenizar os problemas de emissões gasosas para atmosfera.

De acordo com estudos realizados por Zulauf (2004), um aterro com cerca de 1 milhão de toneladas, típico de uma cidade com cerca de 300 mil habitantes, pode ter

uma potência de aproximadamente 1MW de energia elétrica por uma década (SEGALA, 2007b).

Dentro deste contexto, cabe ressaltar que o aterro sanitário Bandeirantes, localizado em Perus, no município de São Paulo-SP recebe cerca de 7 mil toneladas de resíduos gerados por dia, o que corresponde à metade do total gerado na cidade de São Paulo. Este aterro possui sistema de geração de energia a partir do biogás que é considerado atualmente, o maior do mundo, com a geração prevista em 170 mil MWh por ano (TEIXEIRA et al., 2009).

3.6 Biogás

O Biogás é um dos subprodutos dos processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem a partir da decomposição dos materiais aterrados. Devido a grande composição orgânica dos RSU, os processos microbiológicos conduzem a geração do gás. De acordo com Banco Mundial (2003) tais processos são sensíveis ao meio-ambiente e, portanto, há numerosas condições naturais e antrópicas que afetarão a população microbiológica e, dessa forma, a taxa de produção do Biogás.

Cassini (2003) afirma que o processo anaeróbio, responsável pela estabilização da fração orgânica nos AS, é alvo de diversas pesquisas, já que é uma fonte produtora de Biogás. Este produto da decomposição anaeróbia é composto por uma mistura de gases, possuindo como constituinte energético o metano, além do gás carbônico e outros gases.

Verma (2002) citado por Henriques (2004) mostra que o biogás tem a seguinte composição:

- ✓ Metano (CH₄): 55% a 70% por volume;
- ✓ Dióxido de Carbono (CO₂): 30 a 45% por volume;
- ✓ Sulfeto de Hidrogênio: 200 a 4000 ppm.

Já Muylaert (2000) afirma que a composição do biogás é de 40% a 55% de metano e de 35% a 50% de dióxido de carbono, entre outros gases.

Conforme citado anteriormente, além do metano, a decomposição anaeróbia dos RSU gera outros gases que também contribuem para o aquecimento global, sendo classificados, portanto, como Gases do Efeito Estufa (GEE). A geração de gases varia de acordo com a forma de construção e a vida útil dos aterros, com o material

depositado, umidade, nível de compactação, temperatura e pH, por isso não existe um modelo básico que possa ilustrar a geração do biogás.

Há cinco fases de geração de biogás, que apesar de um pouco variável conceitualmente na literatura técnica está baseada na produção dos gases de acordo com a fase. Um gráfico das fases de geração de Biogás pode ser visto na FIGURA 3.4.

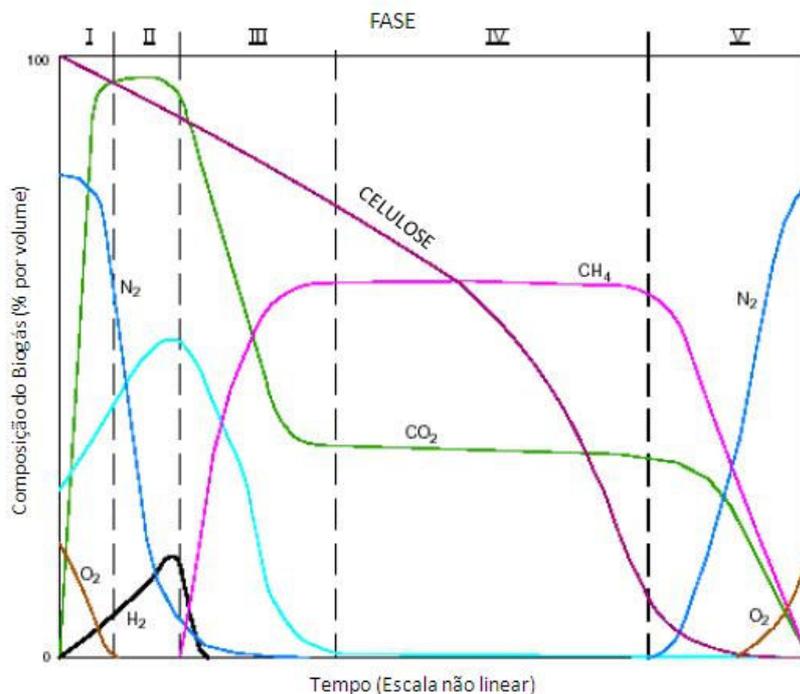


FIGURA 3.4 - Padrão de Produção de Biogás

Fonte: Adaptado de Banco Mundial (2003)

De acordo com Banco Mundial (2003) a fase I pode ser considerada com a fase aeróbica; a fase II como anóxica; a fase anaeróbica, metanogênica, instável está representada na etapa III; a fase IV é nomeada como anaeróbica, metanogênica, estável e finalmente a fase V considerada como anaeróbica, metanogênica, declinante.

Bidone e Povinelo (1999) consideram as fases de I a V da seguinte forma: ajustamento inicial, transição, formação de ácidos, fermentação metânica e maturação final respectivamente.

Alguns estudos adotam o termo biogás como a composição dos gases gerados a partir da decomposição dos RSU, outros autores indicam que biogás é o metano. Para o presente trabalho, será adotado o termo biogás quando se referir à mistura dos gases gerados a partir da decomposição anaeróbia dos RSU.

Estudos de curto prazo feitos em aterros de tamanho grande, usando dados de testes de produção de biogás, indicam uma magnitude de produção entre 0,05 e 0,40 m³ de biogás por quilograma ou 50 a 400 m³ por tonelada de resíduo disposto num aterro (HAM,1989 citando BANCO MUNDIAL 2003). La Rovere; Costa; Dubeux (2010) indicam que a produção média de biogás por tonelada de lixo, nas condições sócio-ambientais brasileiras é de 180 metros cúbicos por tonelada de lixo. Iwasaki et al. (2009) informa que um quilo de lixo processado gera 0,059 m³ de biogás, o que corresponde a 59 m³ por tonelada de resíduo aterrado. Wilson (2001) cita que em condições normais de temperatura e pressão, a geração de biogás é de 250 m³ por tonelada de resíduo biodegradável aterrado.

Devido ao seu potencial de aquecimento global e ao alto potencial energético, o metano é o gás presente no biogás que desperta maior interesse. Cabe ressaltar que o metano possui alto poder calorífico por ter em sua molécula quatro átomos de hidrogênio além do fato do carbono estar menos oxidado, ou seja, mais reduzido.

O Brasil tem um grande potencial para efetivar o aproveitamento energético a partir do RSU devido aos valores de compostos orgânicos presentes na composição total de RSU. Henriques (2004) informa que o poder calorífico do metano é de 14,9 MJ/m³ a 20,5 MJ/m³. CETESB (2006) cita que são gerados 9,87 kWh por m³ de metano. Já Iwasaki et al. (2009), utilizando dados do Grupo RUSSULA (2010) em seus estudos, indicam que a produção de energia elétrica está na casa de 1,66 kWh por m³ de metano, considerando as perdas energéticas no processo de uma usina termoelétrica convencional. Santos (2009) ilustra que caso aplicado um processo de depuração para a separação do metano existente em 55% a 75% no biogás, é possível obter um poder energético de 1,43 kWh por m³, que supera o gás natural, a gasolina e o diesel. Apesar de ser bastante atrativo na geração de energia, o que justifica a não utilização do biogás como fonte energética é a necessidade de implantação de um sistema de recuperação dos gases, que consiste em um processo oneroso e requer cuidados técnico-operacionais.

Além de ser útil na geração de energia, a captação do biogás para geração de energia ou queima favorece a política proposta no Protocolo de Kyoto, firmado em 1997. Nesse protocolo, está previsto medidas para mitigar os impactos ambientais negativos oriundos das fontes emissoras de GEE através do Crédito de Carbono que é um dos Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) apresentado no Protocolo de

Kyoto. Avaliando a viabilidade econômica e a redução dos impactos ambientais por meio da redução das emissões de GEE no projeto NovaGerar desenvolvido em aterros de Nova Iguaçu-RJ, Segreti e Bito (2006) identificaram que o projeto não é viável quando se analisa apenas a geração de energia elétrica, porém, ao acrescentar o Crédito de Carbono o resultado mostra-se atrativo, já que apresenta uma taxa interna de retorno de 36,19% ao ano.

As crescentes preocupações com a captação desse gás é evidenciada pelo fato de o metano ter o potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes superior ao dióxido de carbono (IPCC, 2007), fato que torna viável queimar o CH₄ em “flares” ou aproveitá-lo energeticamente, pois, segundo Henriques (2004) parar as emissões de metano hoje pode trazer um progresso mais rápido na recuperação do lento processo de mudança do clima global.

3.7 Aplicativos para o Cálculo de GEE

Existem diferentes métodos para calcular a quantidade de GEE gerado a partir da decomposição anaeróbia de RSU. Os métodos variam bastante, onde alguns são aproximações ásperas, já que consideram somente a quantidade de RSU disposta no aterro e outros modelos que considerem uma cinética de geração de biogás, função de três tipos importantes de parâmetros (condições climáticas locais, concentração de nutrientes no solo e composição do resíduo) (MENDES et al. 2007).

Os parâmetros que devem ser levados em conta e que são de fundamental importância para dar credibilidade aos métodos de análise devem ser o potencial de geração de metano (L_0) e a constante de decaimento (k). O potencial de geração de metano (dado em m³ de metano por tonelada de resíduo) varia em função da fração de matéria orgânica presente na massa de resíduos, ou seja, da degradabilidade dos RSU. A constante de decaimento (k) é variável em função de fatores como disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura e, principalmente, umidade. Quanto maior o índice de precipitação local, maior o valor admitido para k . Diante do exposto, tem-se que os valores de L_0 e k são variáveis de acordo com características locais. O QUADRO 3.2 apresenta valores sugeridos para L_0 e k .

QUADRO 3.2 – Valores de k e L₀ em função da degradabilidade e precipitação

<u>Precipitação e</u> <u>Degradabilidade</u>		<u>Composição do RSU</u>	Relativamente Inerte	Moderamente Degradável	Altamente Degradável
		k (1/ano)	P < 250 mm	0,01	0,02
Constante de Decaimento	250 > P < 500 mm	0,01	0,03	0,05	
	500 > P < 1000 mm	0,02	0,05	0,08	
	P > 1000 mm	0,02	0,06	0,09	
L₀ (m³CH₄/ton RSU)	Valor Mínimo	5	140	225	
Potencial da geração de CH₄	Valor Máximo	25	200	300	

P = Precipitação Anual

Fonte: Adaptado de BANCO MUNDIAL (2003).

Objetivando fornecer subsídios técnicos para auxiliar na tomada de decisões que buscam o desenvolvimento sustentável, são criadas ferramentas úteis para que os usuários possam utilizar e assim realizar práticas de GIRS. Pode-se observar que já existem diversos aplicativos que desempenham funções para que seja possível obter dados confiáveis que revelam as características do modelo de GIRS atual e apresenta resultados a partir de modelos propostos buscando melhorar a gestão dos RSU. Cada um desses aplicativos é criado com um objetivo central, buscando conhecer previamente a origem dos resíduos a serem analisados e que objetivos se pretende alcançar.

Na intenção de promover a disseminação da tecnologia de produção e uso do biogás, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, por intermédio da CETESB¹ - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, elaborou o programa “Biogás – Geração e Uso Energético”, versão aterros, tornando acessível à todos os cidadãos, representado de forma adequada as informações sobre a gestão dos RSU, avaliando custos, investimentos e outros aspectos, especialmente a possibilidade de transformar a recuperação do metano em

¹ Em agosto de 2009 entrou em vigor a lei 13.542/09 que alterou o nome da CETESB para Companhia Ambiental Paulista, porém a sigla CETESB continua sendo utilizada.

Créditos de Carbono. Este programa tem o objetivo de auxiliar a avaliação de viabilidade do uso energético do biogás gerado pela disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros. Nesse aplicativo, é permitido ao usuário a caracterização do aterro a ser estudado, bem como a localização do aterro, demanda energética e a composição estrutural do mesmo, como por exemplo, a existência de drenos.

O programa computacional Biogás ainda possibilita ao usuário a entrada de dados como constante de decaimento k (ano^{-1}), o potencial de geração de metano L_0 (dado em $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{kg}$) e o fluxo de resíduos R_x (dado em ton/ano), taxa de crescimento populacional (%), taxa de geração de RSU (ton/kg.hab^{-1}) e a taxa de coleta de RSU (%). Para os casos em que o usuário desconhece os dados acima citados, o programa apresenta valores sugeridos, que são:

$$k = 0,08 \text{ ano}^{-1}$$

$$L_0 = 0,12 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{kg}$$

$$\text{Taxa de Crescimento Populacional} = 1,7\%$$

$$\text{Taxa de Geração de RSU} = 0,1825 \text{ ton/ano}$$

$$\text{Taxa de Coleta de RSU} = 88\%$$

Portanto, o usuário que desconhece o histórico de dados do aterro a ser analisado deverá entrar apenas com os dados de População (hab), ano de abertura e ano de encerramento das atividades do aterro. Pieroni et al. (2010), utilizando o programa Biogás pesquisaram a avaliação da produção de biogás proveniente do aterro sanitário do município de Itajubá – MG. Os autores criaram duas hipóteses para efetuar a avaliação utilizando valores de $k = 0,04 \text{ ano}^{-1}$, $L_0 = 140 \text{ m}^3/\text{t}$ e uma eficiência de coleta de gases de 75% para o município de Itajubá e concluíram que o programa “Biogás: geração e uso energético – aterros” apresentou resultados satisfatórios na avaliação da produção de biogás e na determinação de créditos de carbono.

Massukado e Zanta (2006) criaram o aplicativo para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares – SIMGERE. O aplicativo consiste no desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão como ferramenta para analisar diferentes cenários de GIRS. O SIMGERE foi desenvolvido para apoiar as Administrações Públicas Municipais na gestão dos resíduos sólidos domiciliares por meio da simulação de cenários, mostrando os efeitos que poderão ocorrer a partir de possíveis mudanças nas estratégias da gestão.

Ao trabalhar com o programa, o usuário deve inserir alguns dados, como produção de resíduos, existência ou não de coleta seletiva, custo para coleta e transporte dos resíduos, custo para disposição, entre outros. No SIMGERE, o conhecimento da composição gravimétrica dos RSU é de fundamental importância. Se o usuário não tiver posse desses dados, é possível utilizar um banco de dados do programa que fornece a composição gravimétrica de outros municípios, devendo o usuário selecionar aquele município com características semelhantes ao que se deseja analisar. Massukado e Zanta (2005) informam que os resultados fornecidos pelo programa são: projeção do crescimento da população, projeção da produção de resíduos, projeção anual do volume ocupado no aterro sanitário, estimativa da vida útil do aterro sanitário, estimativas dos custos operacionais e da receita obtida com a venda dos resíduos recicláveis.

Massukado e Schalch (2007) pesquisaram o SIMGERE como recurso didático e verificou que o aplicativo é uma competente ferramenta do processo de construção do conhecimento, já que possibilitou que os alunos pudessem compreender as relações existentes para se calcular a vida útil do aterro sanitário, ao invés de terem de memorizar uma lista de requisitos necessários para efetuar o mesmo cálculo. Massukado e Zanta (2005) simularam cenários, aplicou-os no SIMGERE e obteve resultados satisfatórios nos valores da vida útil do aterro, porém afirmam que ao utilizar o SIMGERE o usuário não deve deixar a experiência profissional de lado.

A USEPA, sigla em inglês que designa Agência Norte Americana de Proteção Ambiental, criou um aplicativo com a intenção de quantificar as emissões de gases oriundas da decomposição dos RSU aterrados. Esse aplicativo, denominado LandGEM - Landfill Gas Emissions Model, é uma ferramenta automatizada com interface na planilha do Microsoft Excel[®] que pode ser utilizado para avaliar as taxas de emissão dos gases componentes do biogás: metano, dióxido de carbono, compostos orgânicos não metânicos.

O aplicativo é composto por dois conjuntos de dados padronizados, que são o CAA e Inventory. Os dados do CAA são baseados em regulamentos federais referentes à gestão de RSU, colocados em prática através da política de Clean Air Act (CAA) e pode ser usado para os casos em que o aterro é sujeito as normas e regulamentos desta política. Já os dados de Inventory são baseados em fatores de emissão da EPA e podem ser usados para estimar as emissões para avaliações gerais, ou seja, para os casos em

que não se possui dados específicos do local analisado (USEPA, 2005). O conjunto de dados padronizados no LandGEM, estão apresentados na TABELA 3.3.

TABELA 3.3 – Valores de k e L₀ do LandGEM

	CAA	Inventory
k (ano.⁻¹) Convencional	0,05	0,04
k (ano.⁻¹) Áreas Áridas	0,02	0,02
L₀ (m³CH₄/ton) Convencional	170	170
L₀ (m³CH₄/ton) Áreas Áridas	170	100
Conteúdo de Metano no Biogás (%)	50	50

Fonte: USEPA (2005)

Ao trabalhar com o LandGEM o usuário deve conhecer ao menos os valores de ano de abertura do aterro, ano de encerramento das atividades do mesmo ou a capacidade de disposição dos resíduos no aterro, além de conhecer a taxa de disposição de resíduos para o ano a ser analisado. Segala (2007b) informa que o aplicativo é bastante empregado no mundo, tendo sido utilizado inclusive no estudo do potencial de geração de energia nos municípios brasileiros realizado pelo Ministério do Meio Ambiente.

Apesar de o LandGEM ser uma metodologia mundialmente utilizada, Gonçalves (2007) citando CEPEA (2004) e Scharff & Jacobs (2006), informa que o programa pode superestimar a geração de metano, devendo, portanto, os resultados serem aferidos por medidas em campo. Barros e Tiago Filho (2008) por intermédio do uso do aplicativo LandGEM, calcularam e compararam dois cenários de emissões dos gases total do aterro para um período de 80 anos, os resultados indicaram benefícios ambientais, com redução da ordem de $1,44 \cdot 10^2$ toneladas para o metano e $3,97 \cdot 10^2$ toneladas para o dióxido de carbono, equivalente, por exemplo ao carbono sequestrado por 79.576 árvores plantadas e em crescimento por 10 anos.

Diante das necessidades de gerenciamento adequado dos resíduos sólidos urbanos a USEPA, criou o programa computacional WARM[®], que é a abreviação de Waste Reduction Model (Modelo de Redução de Resíduos).

O WARM[®], que foi criado em uma planilha do programa Microsoft Excel[®] (Microsoft Office) com o objetivo de auxiliar gestores municipais e tomadores de

decisão da questão ambiental no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, é uma ferramenta bastante favorável para auxiliar na quantificação das relações entre práticas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos e emissões de gases do efeito estufa.

A primeira versão do WARM[®] surgiu em 1996 e, atualmente, está disponível a versão 9. O WARM[®] é periodicamente atualizado para apresentar novos dados e adicionar novos materiais ou opções de modelo de gestão de RSU.

Nesse modelo, atividades pós-consumo estão relacionadas ao gerenciamento dos RSU (incluindo redução na fonte, reciclagem, queima e aterramento). Atividades pré-consumo são aquisição de matéria prima, fabricação/produção, transporte e sequestro de carbono. Quando práticas de gerenciamento de resíduos são empregadas pós-consumo, emissões pré-consumo são evitadas. Por exemplo, quando o alumínio é reciclado ocorre um decréscimo da necessidade de extração de bauxita, matéria prima do alumínio.

As atividades pré e pós consumo representam o Ciclo de Vida dos materiais, que é ilustrado pela FIGURA 3.5. O WARM não inclui a fase de consumo na representação do Ciclo de Vida dos Materiais por supor que o consumo de energia ou emissões liberadas durante o uso pelo consumidor são as mesmas se o produto fosse feito de matérias-primas virgens ou reciclados.

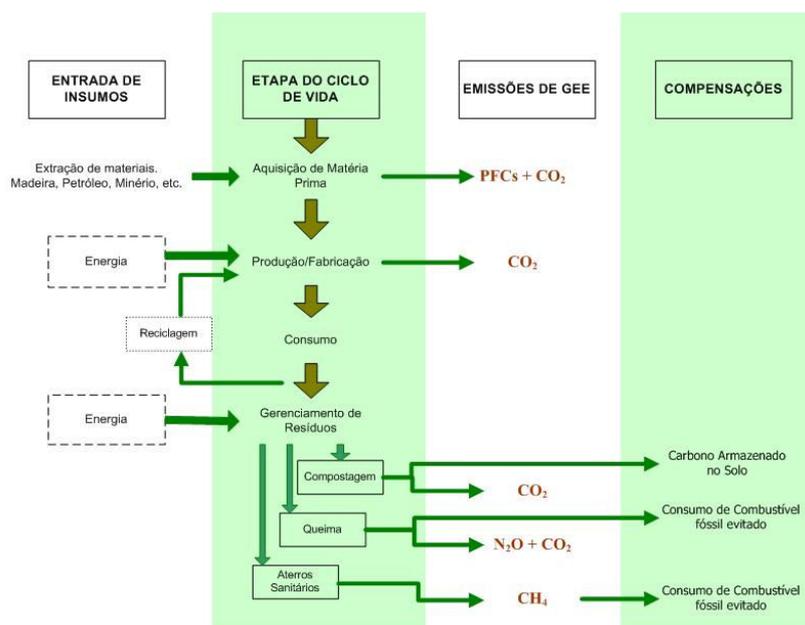


FIGURA 3.5 - Ciclo de Vida dos materiais

Fonte: Adaptado de USEPA, 2006.

3.8 Fatores de Emissão Quanto ao Transporte de Materiais

O processo de gerenciamento dos RSU é composto pela geração, coleta e destinação final. Parte desse processo é baseado na logística, que consiste no encaminhamento dos materiais para os sistemas de recuperação ou de destinação final, podendo ser Aterro Sanitário, Usina de Triagem e Compostagem, Indústrias de Reciclagem, Incineradores, entre outros. O processo de logística é feito na maioria das vezes por caminhões com capacidades diferentes, porém com consumo de combustível bastante semelhante entre si.

Segundo Calderoni (1998) um caminhão percorre cerca de 52 quilômetros para realizar a coleta seletiva em PEV's. Dados de Duarte (1998), indicam que em Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, quando o gari se mantém na maior parte do tempo caminhando à frente do caminhão na coleta, a distância percorrida é de 21,2 quilômetros. Para Godinho Filho e Junqueira (2006), no município de São Carlos/SP, um caminhão de coleta de resíduos percorre em média de 35 a 40 quilômetros no período diurno. Henrique (2010), cita que um coletor de lixo (gari) desloca em média cerca de 35 a 40 quilômetros por dia de trabalho.

Os dados supracitados corroboram com o valor de 32 quilômetros adotado pela EPA no WARM como distância média dos sistemas de destinação final de RSU.

Não se deve perder de vista que o consumo de combustíveis emite gases e também consome energia. De acordo com ANEEL (2008), o setor de transportes consumiu cerca de 1,575 TWh e o setor agropecuário brasileiro consumiu cerca de 17,536 TWh, o que corresponde a 5.667.207 GJ e a 63.098.499 GJ respectivamente².

O QUADRO 3.3 apresenta fatores de equivalência para conversão de unidades energéticas em relação a diversos combustíveis.

² 1,575 TWh = 1575000 kWh

17,536 TWh = 17536000 kWh

QUADRO 3.3 - Fatores de Equivalência Energética

	giga-caloria	tep	giga-joule	milhões BTU	kilowatt-hora
Petróleo (m³)	8,9	0,89	37,25	35,3	10.350
Óleo diesel (m³)	8,48	0,848	35,52	33,66	9.870
Óleo combustível (m³)	9,59	0,959	40,15	38,05	11.150
Gasolina automotiva (m³)	7,7	0,77	32,22	30,54	8.950

Fonte: BEN, 2009

3.9 Aterros sem Recuperação de Biogás

Apesar da evidente necessidade de recuperação, as tecnologias encontradas são bastante onerosas, o que faz com que grande parte dos aterros brasileiros não possua nenhum tipo de recuperação de biogás.

A ausência de sistemas de recuperação de biogás demonstra que pode ser emitida para a atmosfera toda a quantidade de gases gerados em aterros.

Dados do Banco Mundial (2009) mostram que valores de 75% de eficiência para recuperação de gases é considerado otimista e cita ainda que 50% é um valor conservador, porém aceitável.

3.10 Aterros com Recuperação para queima em Flare ou Geração de Energia

Outra alternativa para evitar a emissão dos gases gerados em aterros é a queima. Muitas vezes os aterros possuem um dispositivo para queima, denominado Flare. A queima do biogás evita a emissão de metano na atmosfera, já que uma tonelada de metano queimada, representa a emissão de 2,75 toneladas de dióxido de carbono. Por outro lado, tem-se que o metano possui potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do dióxido de carbono.

Para aterros que não é conhecido o valor de eficiência de recuperação de gases, ficou convencionado o valor de 75%. Adotou-se também o valor de 90% de eficiência na queima (ICLEI, 2009).

A quantidade de metano emitido na atmosfera é representado considerando os 25% de perda referente à eficiência de recuperação de gases e, adicionar este valor à perda de 10% referente a eficiência do queimador (flare).

3.11 Potencial de Aquecimento Global

Dentre as grandes problemáticas ambientais relacionadas aos RSU, têm-se a geração de gás metano produzido espontaneamente nos depósitos de lixo, que contribui de forma negativa para o aquecimento global. O metano possui potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao dióxido de carbono, o que em outras palavras significa que o primeiro é 21 vezes mais eficiente no aprisionamento do calor na atmosfera.

Dentro dessa perspectiva é válido avaliar a quantidade de metano emitido na atmosfera para os dois cenários, partindo-se do princípio que cada cenário irá enviar uma quantidade diferente de RSU para os aterros.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização do Município de Itajubá

O município de Itajubá situa-se numa altitude de 1746 metros no seu ponto mais alto e de 830 metros no ponto mais baixo, em relação ao nível do mar. O município ocupa uma área de 290,45 km² de extensão, com população de 90.812 habitantes, o equivalente a 312,65 hab./km², numa taxa anual de crescimento de 1,26% habitantes por ano. (PMI, 2010)

Atualmente o município de Itajubá não possui um sistema adequado de disposição final de Resíduos Sólidos. O atual depósito de resíduos do município está localizado a uma distância de aproximadamente 7,0 km do centro da cidade com uma área total de 10,0 hectares. Durante muitos anos, o depósito de resíduos do município funcionou como lixão a céu aberto, o que fez com que a prefeitura, visando à regularização do local, promovesse a execução de obras necessárias para a transformação do depósito em aterro controlado de forma a atender os dispositivos legais do Estado de Minas.

Essa modificação surtiu melhorias no local, mas ainda não atendia o que prega a legislação mineira, onde determina que os municípios com população urbana superior a 30.000 habitantes devem realizar o licenciamento ambiental do sistema de disposição final de RSU. Diante disso, a prefeitura municipal buscou empresas no mercado que realizassem o licenciamento ambiental preventivo, que é aquele que o empreendimento deve percorrer toda a tramitação para obtenção da LP (Licença de Instalação), LI (Licença de Instalação) e LO (Licença de Operação).

Portanto no dia 20 de setembro de 2006 foi publicada no Diário Oficial da União do Estado de Minas Gerais a concessão da LP concomitante com a LI. Desse modo, iniciou-se a instalação do aterro sanitário de Itajubá que deverá contar com um consórcio de municípios. Além de Itajubá, os resíduos de Delfim Moreira, Piranguinho, Piranguçu, São José do Alegre e Wenceslau Braz deverão encaminhar os seus resíduos para o aterro sanitário, que tem a previsão de entrar em operação no ano de 2010.

O local escolhido para o atual aterro sanitário dista cerca de 12 km do centro do município e de acordo com informações da prefeitura este sistema foi projetado para

captar os gases, porém ainda não foi decidido se haverá geração de energia ou somente queima.

PMI (2010) informa que só o município de Itajubá encaminha para o aterro controlado cerca de 60 toneladas por dia, existindo um programa de coleta seletiva em alguns bairros realizado pela Associação dos Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis – ACIMAR em parceria com a prefeitura municipal, além de existir um trabalho de conscientização ambiental nas escolas para incentivar o programa.

Com o encerramento das atividades no lixão em 2007, foi fundada a ACIMAR. Hoje a associação conta com 29 associados, tendo uma variação de 20 a 35 membros. Dados da ACIMAR informam que atualmente é coletado mensalmente 18 toneladas de papelão, 5 toneladas de papel (branco e misto), 1,5 toneladas de PET, 500 kg garrafas de óleo, 600 kg de embalagens tetra park, uma tonelada de PEAD (polietileno de alta densidade), 1,5 toneladas de PEBD (polietileno de baixa densidade), 500 kg de PP (polipropileno), 40 kg de placa de computador, 50 kg de cobre, 200 kg de lata de alumínio e 3.5 toneladas de sucata de ferro, além de coletar cerca de 1000 litros de óleo de cozinha usado para a produção de biodiesel. Todos os materiais são triados, prensados e posteriormente é vendido para atacadista, que hoje vai para Pouso Alegre.

A FIGURA 4.1 apresenta a distribuição do material coletado mensalmente pela ACIMAR em parceria com a Prefeitura Municipal de Itajubá.

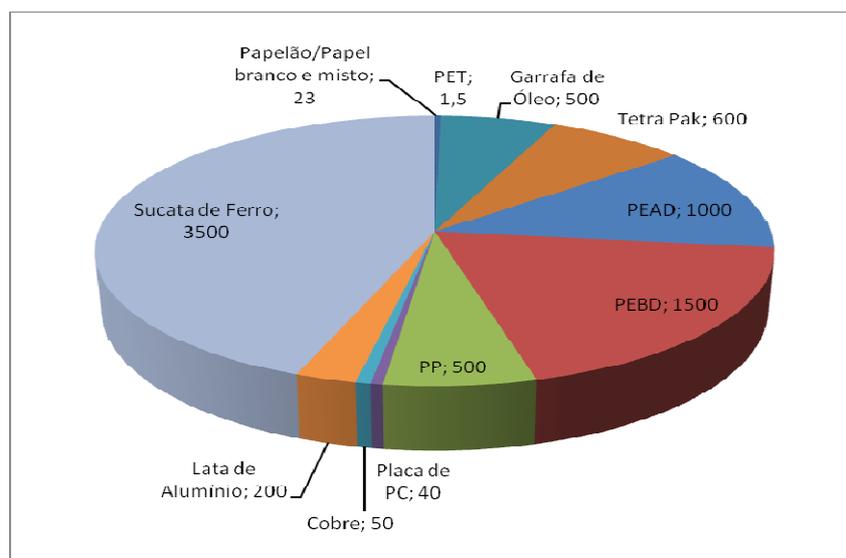


FIGURA 4.1 - Distribuição dos materiais coletados em Itajubá (toneladas)

Fonte: ACIMAR (2010)

4.2 Planilha para cálculo da Emissão de GEE de Resíduos Sólidos - PEGGEE

O presente estudo apresenta uma nova planilha do programa Microsoft Excel[®] (Microsoft Office), intitulado como Planilha para Cálculo da Emissão de Gases de Efeito Estufa de Resíduos Sólidos - PEGGEE cujos dados adaptados à realidade brasileira foram tabulados na planilha em questão para que o usuário possa comparar Cenários tidos como Referência, podendo ser o atual cenário de gestão de RSU, com Cenários Alternativos de gerenciamento de RSU.

Assim como o WARM, a PEGGEE permite estimar as emissões de gases do efeito estufa ou energia poupada comparando-se os cenários através das práticas de gestão para diversos materiais consumidos no dia a dia e, conseqüentemente, encontrados com frequência na composição dos resíduos sólidos urbanos. No QUADRO 4.1 está exibida a listagem dos materiais presentes na PEGGEE que permite a criação dos cenários:

QUADRO 4.1 - Listagem dos materiais presentes na PEGGEE

Latas de Alumínio	Latas de Aço	Fio de Cobre	Pneus
Vidro	PEAD	PEBD	PET
Papel Ondulado	Revistas	Jornal	Papel Ofício
Agenda Telefônica	Livros	Caco de madeira	Chapa de madeira
Resto de Alimentos	Poda	Gramma	Folhas
Ramos	Papéis misturados (largo)	Papéis misturados (residencial)	Papéis misturados (escritório)
Metais misturados	Plásticos misturados	Recicláveis misturados	Orgânicos misturados
RSU misturados	Tapete	Computadores pessoais	Tijolo de barro
Concreto	Cinza		

Algumas das utilidades da planilha foram efetuadas por macros através da linguagem de programação Visual Basic[®], com o objetivo de facilitar a apresentação dos dados e das fórmulas de conversão na planilha.

As técnicas de gestão de RSU que compõem a PEGGEE são: Redução na Fonte, Reciclagem, Aterramento, Combustão e Compostagem.

Diversos fatores de entrada tais como práticas de recuperação de biogás e distâncias de transporte para as instalações de destinação final de RSU, podem ser modificados pelos usuários. Nele é permitido construir diversos cenários simplesmente inserindo dados sobre a quantidade de resíduos para cada tipo de material e pela prática de gestão. A partir disso, a PEGGEE aplica automaticamente os fatores de emissão específicos por material para cada prática de gestão para calcular as emissões de GEE e de energia poupada para cada cenário. A quantidade de gases emitidas, ao final da PEGEE serão comparadas com outras fontes emissoras, baseados em dados da FEAM (2008), que informa que no ano de 2005, cada habitante mineiro emitiu 6,4 tCO₂e e que em média, cada cidadão brasileiro emitiu 9,4 tCO₂e no ano de 1994. O mesmo documento cita ainda que cada cidadão dos Estados Unidos, emitiu em 2003 cerca de 23,4 tCO₂e. Esses são os dados que servirão como parâmetro para a comparação entre os valores removidos avaliando os cenários na PEGGEE.

O modelo calcula as emissões em toneladas de carbono equivalente (tCe) e toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e). Além disso, é calculado o consumo de energia para cada uma dos materiais e permite que os usuários interpretem os resultados por gás ou por consumo de energia. Finalmente, a PEGGEE apresenta um relatório de síntese que demonstra a redução das emissões dos gases ou a quantidade de energia poupada em dados equivalentes a outras fontes emissoras ou a outras fontes consumidoras de energia.

Na criação dos cenários, além de ser obrigatório a entrada de dados em toneladas, o usuário pode definir qual a situação do controle do biogás dos aterros que deseja avaliar. Se um aterro possui recuperação de biogás, é permitido ainda ao usuário, escolher se a recuperação é para queima ou para geração de energia. Ainda nesse caso, o usuário poderá definir qual a eficiência de recuperação dos gases nos aterros.

O grande diferencial da nova planilha para a anterior é a possibilidade de o usuário comparar as reduções ou aumento no potencial de aquecimento global entre os cenários.

O novo modelo é ordenado da seguinte forma:

Planilha 1 – Entrada de Dados

Planilha 2 – Análise dos Resultados

Planilha 3 – Relatório de Síntese

Planilha 4 – Equivalências

Planilha 5 – Emissão por transporte

Planilha 6 – Emissão em aterros

Planilha 7 – PAG (Potencial de Aquecimento Global)

As planilhas Análise de Resultados e Relatório de Síntese serão exibidas como An. Resultados e Rel. Síntese respectivamente. Essas duas planilhas estarão sempre acompanhadas da unidade em que se deseja avaliar os cenários, que são: toneladas de Carbono Equivalente (tCe), toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO_{2e}) e consumo de energia, representado em Giga Joule (GJ). Vale lembrar que além da unidade especificada, deverá ser escolhida a característica dos materiais que irão compor os cenários, ou seja, é preciso definir se os materiais têm origem de matéria prima 100% Virgem ou se a origem é de materiais Não Virgens. Em caso de definição para materiais 100% Virgens, as planilhas exibidas mostrarão o termo Virgin, caso contrário será exibido o termo Mix.

As planilhas de 4 a 7 (Emissão por transporte, Emissão em Aterros, PAG e Equivalências) não serão exibidas em nenhuma hipótese. A função das mesmas é servir de suporte para a conversão dos dados. O capítulo 5 apresenta as planilhas e relata como elas foram tabuladas.

4.3 Quantidade de Carbono Emitido na Atmosfera

O combustível utilizado em caminhões de lixo é o óleo diesel, por isso, adotou-se a sequência abaixo para o cálculo dos fatores de emissão referentes ao transporte de materiais.

Para efetuar o cálculo da quantidade de Carbono emitido na atmosfera, utilizou-se a metodologia de cálculo apresentada por MACÊDO (2004). Essa metodologia é baseada em fatores de emissão para o diesel de acordo com números do IPCC e apresenta como resultado a quantidade de Carbono emitida em Tonelada de Dióxido de Carbono. As equações 4.1 a 4.4 demonstram o memorial de cálculo.

$$CC = CA \times F_{conv} \times 41,841 \times 10^3 \times F_{corr} \quad (\text{eq. 4.1})$$

onde,

CC: Consumo de energia (TJ);

CA: Consumo de combustível (m³);

Fconv: Fator de conversão da quantidade de combustível para tEP, com base no (PCS) do combustível. O Óleo diesel possui 0,848 tep/m³.³

1 tEP: 41,87 x 10⁻³ TJ (tera-joule = 10¹² J);

Fcorr: Fator de correção de PCS para PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o Fcorr é de 0,95 conforme MCT.⁴

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser estimada conforme a equação a seguir:

$$QC = CC \times Femiss \times 10^{-3} \quad (\text{eq. 4.2})$$

onde,

QC: Conteúdo de Carbono (Giga grama de Carbono);⁵

CC: Consumo de energia em TJ;

Femiss: Fator de emissão de carbono em tonelada de carbono por tera-joule (tC/TJ).⁶

10⁻³: tC/GgC.

Finalmente, para encontrar as emissões reais de dióxido de carbono, tem-se;

$$ERCO_2 = (QC \times 44/12) \times 10^3 \quad (\text{eq. 4.3})$$

onde,

ERCO₂: Emissões reais de dióxido de carbono em tCO₂;

QC: Conteúdo de carbono em GgC;

3,67: Conversão entre pesos moleculares;

10³: 1 GgCO₂

Aplicando as equações (4.1), (4.2) e (4.3), adotando CA igual a 1,0 litro de diesel combustível, chegou-se aos valores de ERCO₂ na casa de 0,0025 tCO₂ emitidas.

³ O Balanço Energético Nacional 2009, Ano Base 2008 apresenta como coeficiente de equivalência Médios para os Combustíveis Líquidos, em específico o óleo diesel o valor de 0,848 tep/m³.

⁴ No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI.

⁵ Um Giga grama equivale a 1.000 toneladas.

⁶ De acordo com SEMA (2009) o valor de Femiss do diesel é de 20,2 tC/TJ;

É possível obter também o consumo energético de 1,0 litro de óleo diesel em GJ, para isso basta verificar no QUADRO 3.3 que relata que 1,0 m³ de diesel contém valor energético de 35,53 GJ, o que significa que um litro de diesel possui 0,036 GJ.

Como já informado, o combustível dos caminhões de lixo é o óleo diesel. Portanto, foi necessário obter os dados de consumo do combustível (diesel) dos caminhões que transportam os materiais. Dados de fabricantes de caminhões de lixo demonstram que o consumo de óleo diesel está em torno de 6,0 quilômetros por litro. Semar/PR (2009) apresenta que a eficiência do consumo de combustível para veículos grandes é de 6,0 quilômetros por litro.

A equação (4.4) apresenta os fatores para a obtenção da quantidade de carbono emitido na atmosfera em relação a distância percorrida, utilizando o óleo diesel como combustível.

$$ECO_2 = (DT_{per} \div C_{comb}) \times 0,0025 \quad (\text{eq. 4.4})$$

onde,

ECO₂: Emissões de dióxido de carbono em tCO₂;

DT_{per}: Distância Total percorrida (km);

C_{comb}: Consumo de Combustível (km/l) - 6,0 km/l.

0,0025: emissões de CO₂ por litro de diesel consumido (tCO₂)

Aplicando a equação (4.4), tem-se para a distância de 10 quilômetros percorridos e um consumo médio de 6,0 km/l o valor de 0,004 tCO₂e emitidas. Convertendo para tCe, obtém o valor de 0,001 tCe o que corresponde energeticamente a um consumo de 0,06 GJ.

4.4 Fatores de Emissão e Consumo de Energia para Materiais Aterrados

Um dos sistemas de destinação final de RSU são os aterros sanitários. Quando aterrados, os materiais sofrem um processo de decomposição anaeróbia, formando gases do efeito estufa. Diante disso, o presente estudo pretende apresentar a quantidade de gases emitido na atmosfera e os possíveis sistema de recuperação do mesmo: queima ou geração de energia.

Para que seja facilmente entendido o memorial de cálculo referente aos materiais aterrados, será criado um cenário onde é gerada uma tonelada de resíduo por um determinado período de tempo.

Primeiramente foram adotados valores que indicam que uma tonelada de resíduos sólidos urbanos gera em torno de 180 m³ de metano (LA ROVERE; COSTA; DUBEUX, 2010). Outros trabalhos auxiliam na definição desse parâmetro: Barros, Oliveira e Tiago Filho (2008), afirma que quanto maior for o teor de celulose nos resíduos, maior será a quantidade de metano gerada, e assim, utiliza os valores de geração de metano equivalentes a 170 m³/Mg ou 170 m³ por tonelada de resíduo. Gonçalves (2007) relata que o potencial de geração de metano pode ser variável de acordo com a matéria orgânica presente nos RSU podendo variar de 6,2 a 270 m³/t de resíduos. A mesma autora citando a EPA apresenta dados de que o metano é produzido nas quantias de 140 a 180 m³/t de resíduos. O Banco Mundial (2003) citado por Leite, Mahler e Britto Filho (2005), estabelece uma taxa de geração de biogás que vai de 0,05 a 0,40 m³ de gás por kg de resíduos sólidos urbanos, o que representa uma variação de 50 a 400 m³ de biogás por tonelada de resíduo.

Pelo fato do resíduo brasileiro ter em sua composição de matéria orgânica próximo de 60%, o trabalho de Silva et al. (2009) adotou 170 m³ de CH₄/ton de resíduos. Reforçam essa idéia, os valores da composição gravimétrica do município de Itajubá, que segundo Gonçalves (2007), a matéria orgânica ali presente variou de 40 a 60% de 1997 a 2006.

Conforme mencionado nas seções anteriores, a composição do biogás varia de acordo com diversas características. Devido a essas variações, pode-se afirmar que não existe uma composição exata, em porcentagem, dos gases presentes no biogás, mas sim um modelo geral. Diante disso, para efeitos de elaboração da planilha, foi definido que a composição do biogás é de 50% de metano e 50% de dióxido de carbono. A composição do biogás é de 60% por metano, aproximadamente 45% de dióxido de carbono e aproximadamente 5% de outros gases, como: Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Amônia, Ácido Sulfídrico, Aminoácidos Voláteis e Monóxido de Carbono (ICLEI, 2009). EPE (2008), afirma que a composição do biogás varia de 55% e 45%, de metano e dióxido de carbono respectivamente. Vanzin et al. (2007), utilizou valores equivalentes a 50% de metano, já Muylaert (2000), USEPA (2006) e Barros, Oliveira e Tiago Filho

(2008) determinaram valores de 50% para metano e 50% para dióxido de carbono na composição do biogás.

As equações (3.5) e (3.6), a seguir, apresentam como devem ser obtidos os valores (em toneladas) para a quantidade de biogás gerado. Nela fica evidente que a quantidade de biogás varia em função da quantidade de metano e dióxido de carbono gerado e, também, do percentual de oxidação do metano em aterros. Portanto, o biogás corresponde à soma dos valores de metano e do dióxido de carbono.

$$QM = (P_M \times 0,00072) \times 0,9 \quad (\text{eq. 4.5})$$

$$QDC = (P_{DC} \times 0,00153) + (QM \times 0,1) \quad (\text{eq. 4.6})$$

onde,

QM: Quantidade de metano gerada (tCH₄)

P_M: Produção de metano no RSU (m³ CH₄/t RSU): 180 m³CH₄/t RSU

D_m: Densidade do Metano (tCH₄/m³ de CH₄)

QDC: Quantidade de dióxido de carbono gerada (tCO₂)

P_{DC}: Produção de dióxido de carbono no RSU (m³CO₂/t RSU): 180 m³CO₂/t RSU

D_{dc}: Densidade do Dióxido de Carbono (tCO₂/m³ de CO₂)

0,9: Fração não oxidada de metano (90%)⁷

0,1: Fator de oxidação do metano em dióxido de carbono (10%)⁷

Aplicando as equações (4.5) e (4.6), adotando o valor de uma tonelada de RSU aterrada, tem-se QM=0,12 tCH₄, pois conforme recomendado por Iwasaki et al. (2009) a densidade do metano é de 0,00072 t/m³. Conforme mencionado anteriormente, a composição do dióxido de carbono no biogás assume os mesmos valores da composição do metano (50% cada gás), por isso, para a mesma uma tonelada gerada, encontra-se o valor de QDC igual a 0,29 tCO₂, já que Iwasaki et al. (2009) apresenta que a densidade do dióxido de carbono é de 0,00153 t/m³.

Com o intuito de determinar a quantidade de carbono emitida nos aterros, é necessário representar os dados com a mesma unidade. Conforme determina o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) a unidade de deverá ser em toneladas de dióxido de carbono equivalente ou tCO₂e.

⁷, Fator de oxidação do metano em dióxido de carbono. 10% não pode ser considerado um valor exato, porém é geralmente adotado. Gonçalves (2007) e USEPA (2006)

Vale ressaltar que não basta apenas realizar a somatória direta dos gases emitidos. Usualmente é feita a conversão em massa molar (fator estequiométrico) de metano para dióxido de carbono, o que significa multiplicar os valores de metano por 2,75.

É permitido ainda, analisar as emissões em toneladas de Carbono Equivalente (tCe). Para que os valores possam ser representados nessa unidade, é necessário efetuar a conversão de dióxido de carbono equivalente para carbono equivalente através da massa molar dos gases, o que significa dividir o valor de CO₂ por 3,67. A TABELA 4.1 mostra os fatores de conversão estequiométrico dos gases.

TABELA 4.1 - Fatores de Conversão Estequiométrica

Gás	C	CH4	CO2
Massa Molecular	12	16	44
Fator estequiométrico de C para	-	× 1,33	× 3,67
Fator estequiométrico de CH4 para	÷ 1,33	-	× 2,75
Fator estequiométrico de CO2 para	÷ 3,67	÷ 0,75	-
Elemento	Carbono	Oxigênio	Hidrogênio
Massa	12	16	1

× - multiplicação e ÷ divisão

Aplicando a equação (4.7), é obtido o valor de 0,61 tCO₂e, correspondente a QDC_E, o que equivale a 0,17 tCe.

$$QDC_E = (QM \times 2,75) + QDC \quad (\text{eq. 4.7})$$

onde,

QDC_E: Quantidade de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e)

QM: Quantidade de metano gerada (tCH₄)

2,75: Fator estequiométrico

QDC: Quantidade de dióxido de carbono gerada (tCO₂)

Aplicando as equações 4.1 a 4.7, adotando-se uma perspectiva de aterramento de uma tonelada de RSU, tem-se para a queima do biogás em flare os seguintes resultados:

$$QM_{\text{rec.}} = 0,0972 \text{ tCH}_4$$

$$QM_{em} = 0,0421 \text{ tCH}_4$$

$$QDC_{em} = \mathbf{0,39 \text{ tCO}_2e}$$

Se a opção do usuário for definida como a recuperação do biogás para geração de energia, aplicando as equações 4.1 a 4.7, para a mesma tonelada de RSU, tem-se os seguintes resultados:

$$QM_{rec.} = 0,03402 \text{ tCH}_4$$

$$QM_{em} = 0,063 \text{ tCH}_4$$

$$QDC_{em} = \mathbf{0,31 \text{ tCO}_2e}$$

Esse resultado demonstra que aterrando uma tonelada de RSU e adotando-se um sistema de recuperação do biogás para geração de energia, emite-se cerca de 0,31 toneladas de dióxido de carbono na atmosfera, o que corresponde em carbono equivalente a 0,08 toneladas emitidas, ao passo que recuperando o gás para queima em flare tem-se o valor de 0,39 tCO₂e. Tal fato comprova que além de ser possível utilizar o biogás na geração de energia elétrica, é mais viável recuperar o gás para geração de energia ao invés de queimá-lo, já que a primeira alternativa promove uma menor emissão de gases na atmosfera.

As equações (4.1) a (4.7) estão tabuladas na PEGGEE em uma planilha de apoio chamada Emissão em Aterros que estará oculta durante a operação do mesmo. Os resultados dessa planilha são alterados de acordo com a quantidade de materiais aterrados referentes aos Cenários de Referência e aos Cenários Alternativos, que serão representados na planilha Entrada de Dados.

Todo o memorial descrito nessa seção é válido para os Cenários de Referência e também para os Cenários Alternativos. Esse fato poderá ser evidenciado no Capítulo Resultados e Discussão.

A recuperação de biogás nos aterros sanitários é de fundamental importância para que possa ser evitada a emissão dos gases gerados a partir da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente nos RSU. Esses gases, conforme mencionado anteriormente contribuem negativamente para as mudanças no clima do Planeta Terra, por serem gases constituintes do Efeito Estufa.

Para efetuar o cálculo da vazão de metano emitido anualmente é possível utilizar o modelo de primeira ordem do LandGEM[®], que é uma função da quantidade de

resíduos aterrados por ano (m^3/ano), potencial de geração de metano em peso de lixo (L_0), quantidade anual de resíduos depositados no aterro (R), taxa de geração de metano por ano (k), tempo desde o início da disposição do aterro (t anos) e tempo desde o encerramento do aterro (c anos), onde para aterros em operação o valor de c é de 0.

A equação 4.8 representa a vazão de metano gerado.

$$Q_{CH_4} = L_0 \times R (e^{-kc} \div e^{-kt}) \quad (\text{eq. 4.8})$$

onde,

Q_{CH_4} : Vazão de metano por resíduos aterrados por ano (m^3/ano)

L_0 : potencial de geração de metano em peso de lixo (m^3/ton)

R : quantidade anual de resíduos depositados no aterro (ton/ano)

e : número de euler (2,71828183)

k : taxa de geração de metano por ano ($1/\text{ano}$)

t : tempo desde o início da disposição do aterro (anos)

c : tempo desde o encerramento do aterro (anos)

Para avaliar a quantidade de energia gerada pelos RSU aterrados, tem-se os valores de que um metro cúbico de biogás gera 9,87 kWh, conforme recomenda CETESB (2006).

Para determinar o potencial de energia gerada para os RSU aterrados, deve-se aplicar a seguinte equação:

$$Q_{E_{pot}}: Q_{CH_4} \times 9,87 \times 0,0036 \times Q_{res} \quad (\text{eq. 4.9})$$

onde,

Q_{CH_4} : Vazão de metano por resíduos aterrados por ano (m^3/ano)

$VM_{ger.}$: Volume de metano gerado ($m^3CH_4/\text{ton RSU}$)

9,87: Fator de geração de metano. $1m^3$ gera 9,87 kWh

0,0036: Fator de conversão de kWh/GJ

Q_{res} : Quantidade de RSU aterrado (ton)

Como já mencionado, tem-se que uma tonelada de RSU gera $180 m^3$ de metano. Portanto, aplicando o valor de uma tonelada de RSU aterrado à equação (4.9), encontra-se o valor para $Q_{E_{pot}}$ de 1.776,6 kWh ou 6,40 GJ.

4.5 Fatores de Emissão Quanto ao Transporte de Materiais

No presente trabalho, padronizou-se a distância de 32 quilômetros a partir do centro de geração até o sistema de destinação final ou recuperação, aqui descritos: Aterros Sanitário, Queima, Reciclagem e Compostagem.

4.5.1 Aterros sem Recuperação de Biogás

Para a elaboração da planilha objeto desse estudo, determinou-se o valor de 75% para eficiência na recuperação do metano para geração de energia, seguindo o que recomenda os estudos apresentados por EPA (2006) e Zanette (2009) citando EPA (1999). Porém, no item 4.1 da planilha Entrada de Dados, especificamente nas células F124 e I124, é possível modificar o valor de eficiência de recuperação de gases para energia para os Cenários de Referência e para os Cenários Alternativos respectivamente.

Para a determinação da eficiência do gerador, adotou-se o valor de 35% que também é estabelecido por (ZANETTE,2009 citando EPA 1999).

A equação (4.10) determina a quantidade de energia que os cenários criados deixarão de emitir por não aproveitar o biogás para geração de energia.

$$QE_{ger} = (QE_{pot} \times \eta_{rec. \text{ gás}}) \times \eta_{gerador} \quad (\text{eq. 4.10})$$

onde,

QE_{ger} : Quantidade de energia gerada (GJ)

QE_{pot} : Quantidade potencial de geração de energia (GJ)

$\eta_{rec. \text{ gás}}$: Eficiência da recuperação de gases (75%)

$\eta_{gerador}$: Eficiência do gerador (35%)

Os valores obtidos a partir da equação (4.10) estão representados nas planilhas Relatório de Síntese, nas células O13 e P53 com os seguintes dizeres: Esse Cenário deixa de Gerar “n” GJ, onde n é o valor obtido em (4.10).

Portanto, para uma tonelada de RSU gerada, tem-se que Quantidade de energia gerada, (QE_{ger}) é de 1,68 GJ.

Para o cenário adotado (geração de uma tonelada de resíduos) é possível afirmar que todo o volume de biogás gerado será emitido para a atmosfera, se não houver um

sistema de recuperação de gases, o que traduzindo em números significa que, sem a recuperação de biogás no aterro é emitido para a atmosfera cerca de 0,63 tCO₂e ou 0,17 tCe. Esses valores equivalem também a 6,40 GJ.

4.5.2 Aterros com Recuperação de Biogás para Geração de Energia

Para o cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás gerado nos aterros sanitários foram assumidos dados de eficiência para recuperação de metano e eficiência do gerador elétrico.

Para a determinação da eficiência do gerador, adotou-se o valor de 35%. (ZANETTE, 2009).

Segue representada abaixo a sequência de cálculo adotado para a obtenção da quantidade de carbono emitido para a atmosfera a partir da recuperação de gases para geração de energia.

Para efetuar o cálculo da quantidade de metano recuperada para geração de energia, tem-se:

$$QM_{rec.} = QE_{pot} \times \eta_{rec. \text{ gás}} \times \eta_{gerador} \quad (\text{eq. 4.11})$$

onde,

QE_{pot} : Quantidade potencial de geração de energia (GJ)

QM : Quantidade de metano gerado (tCH₄)

$\eta_{rec. \text{ gás}}$: Eficiência da recuperação de gases para geração de energia (75%)

$\eta_{gerador}$: Eficiência do gerador (35%)

Para que seja calculada a quantidade de metano emitida na atmosfera, é necessário considerar os 25% de perda referente à eficiência de recuperação de gases e, adicionar esse valor à perda de 65% referente a eficiência do gerador.

$$QM_{em.} = (QM_{ger.} \times 0,25) + (QM_{rec.} \times 0,65) \quad (\text{eq. 4.12})$$

onde,

$QM_{em.}$: Quantidade de metano emitida (tCH₄)

$QM_{ger.}$: Quantidade de metano gerado (tCH₄)

0,25: Perda referente à eficiência da recuperação de gases (25%)

$QM_{rec.}$: Quantidade de metano não emitido (tCH₄)

0,65: Perda referente à eficiência do gerador (65%)

Finalmente, para obtenção da quantidade de carbono emitido na atmosfera, é preciso adicionar ao valor do somatório em (4.12) a quantidade de CO₂ emitida, ou seja, a quantidade de CO₂ que não foi recuperada para geração de energia, que corresponde aos 50% do biogás gerado, conforme demonstra equação 4.4.

$$QDC_{em} = (QM_{em} \times 2,75) + QDC_{ger} \quad (\text{eq. 4.13})$$

onde,

QDC_{em} : Quantidade de dióxido de carbono emitido (tCO₂)

2,75 = Fator de conversão da massa molar de metano para dióxido de carbono

$QDC_{ger.}$: Quantidade de dióxido de carbono gerado (tCO₂)

Para o cálculo do aproveitamento energético, pode-se utilizar a equação (4.11) apresentada na seção 4.5.2, que efetua o cálculo da quantidade de energia de a ser gerada com o aproveitamento do biogás.

4.5.3 Aterros com Recuperação para queima em Flare

Para efetuar o cálculo da quantidade de metano recuperada para queima, deve-se seguir a equação (4.14) que demonstra que a quantidade de metano recuperado varia em função da quantidade de metano gerado e da eficiência de coleta desses gases, assim como a eficiência da queima.

$$QM_{rec.} = QM_{ger.} \times \eta_{rec. \text{ gás}} \times \eta_{queima} \quad (\text{eq. 4.14})$$

onde,

$QM_{rec.}$: Quantidade de metano não emitido ou recuperado (tCH₄)

$QM_{ger.}$: Quantidade de metano gerado (tCH₄)

$\eta_{rec. \text{ gás}}$: Eficiência da recuperação de gases para geração de energia (75%)

η_{queima} : Eficiência da queima (90%)

A quantidade de metano emitido na atmosfera é representado considerando os 25% de perda referente à eficiência de recuperação de gases e, adicionar esse valor à perda de 10% referente a eficiência do queimador (flare). A equação (4.15) representa a quantidade de metano emitida.

$$QM_{em.} = (QM_{ger.} \times 0,25) + (QM_{rec.} \times 0,10) \quad (\text{eq. 4.15})$$

onde,

$QM_{em.}$: Quantidade de metano emitido (tCH₄)

$QM_{ger.}$: Quantidade de metano gerado (tCH₄)

0,25: Perda referente à eficiência da recuperação de gases (25%)

$QM_{rec.}$: Quantidade de metano não emitido ou recuperado (tCH₄)

0,10: Perda referente a queima dos biogás (10%)

Ao final, para obtenção da quantidade de carbono emitido na atmosfera, é preciso adicionar ao valor do somatório em (4.15) a quantidade de CO₂ emitida, ou seja, a quantidade de CO₂ que não foi recuperada, que corresponde aos 50% do biogás gerado, conforme demonstra equação 4.16.

$$QDC_{em} = (QM_{em} \times 2,75) + QDC_{ger} \quad (\text{eq. 4.16})$$

onde,

$QDC_{em.}$: Quantidade de dióxido de carbono emitido (tCO₂)

2,75: Fator de conversão da massa molar de metano para dióxido de carbono

$QDC_{ger.}$: Quantidade de dióxido de carbono gerado (tCO₂)

4.6 Determinação do Potencial de Aquecimento Global do RSU

A Planilha PAG está tabulada para efetuar o cálculo para representar os dados de redução ou aumento do potencial de aquecimento global. A equação (4.8) apresenta as emissões de GEE que são calculadas em toneladas equivalentes de CO₂:

$$ER_{CR} = 21 \times QM_{em} \quad (\text{eq. 4.17})$$

onde,

ER_{CR} : emissão de GEE no Cenário Referência (tCO₂e)

21: GWP⁸ do CH₄ (tCO₂e /tCH₄)

QM_{em}: Quantidade de metano emitido no Cenário Referência (tCH₄)

A equação (4.18) pode também ser utilizada para o cenário alternativo na avaliação das emissões de GEE, conforme demonstrando pela equação abaixo.

$$ER_{CA} = 21 \times QM_{em} \quad (\text{eq. 4.18})$$

onde,

ER_{CA}: emissão de GEE no Cenário Alternativo (tCO₂e)

21: GWP do CH₄ (tCO₂e /tCH₄)

QM_{em}: Quantidade de metano emitido Cenário Alternativo (tCH₄)

A redução de GEE alcançada pela atividade do projeto (ER_f) durante um dado tempo é a diferença entre a quantidade de CH₄ mitigada pelo cenário alternativo (ER_{CA}) e a quantidade de CH₄ mitigada no Cenário Referência (ER_{CR}), como mostra a Equação (4.19).

$$ER_f = (ER_{CA} - ER_{CR}) \quad (\text{eq. 4.19})$$

onde,

ER_f: emissão evitada de GEE (tCO₂e)

ER_{CA}: emissão de GEE no Cenário Alternativo (tCO₂e)

ER_{CR}: emissão de GEE no Cenário Referência (tCO₂e)

4.7 Comparação das Remoções dos Cenários a Outras Fontes

Essa seção pretende apresentar os dados utilizados para que fosse realizada a comparação das emissões evitadas no cenários com outras fontes.

Apesar das remoções estarem sendo apresentadas em toneladas de dióxido de carbono equivalente, carbono equivalente e em GJ para consumo de energia é possível

⁸ GWP – Global Warming Potencial ou Potencial de Aquecimento Global.

efetuar conversões para que o usuário possa entender de diversas formas, qual o significado das remoções tendo em vista a comparação entre os cenários.

Conforme já visto no presente estudo, os resultados para emissão de gases estão representados em toneladas. Para que as comparações em termos energéticos possam ser efetuadas, é necessário entender as equivalências energéticas, que são apresentadas no QUADRO 3.3 na seção 3.8.

Quando o usuário desejar verificar os dados por consumo de energia, será apresentado no final na planilha Relatório de Síntese as comparações com fontes de energia: litros de gasolina, megawatt-hora e litros de petróleo, além de também ser exibido comparações entre setores consumidores de energia, que são: setor energético e setor agropecuário. Para isso, foi elaborada a planilha Equivalências Energéticas.

4.8 Estudo de Caso do Potencial de Emissão do GEE no Aterro de Itajubá

Com a utilização da PEGGEE, é permitido criar cenários de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos como forma de avaliar a geração de RSU e conseqüentemente apresentar alternativas ambientalmente corretas para auxiliar o gestor municipal nas tomadas de decisões.

A criação dos Cenários é baseada em informações da Prefeitura Municipal de Itajubá e na bibliografia referente ao assunto. Os Cenários aqui determinados serão importantes ferramentas para o gerenciamento dos RSU de Itajubá/MG por condizerem com situações concretas e possíveis de serem alcançadas, além de trazerem respostas rápidas dando apoio ao sistema de tomadas de decisões.

Para efeitos do presente trabalho, além do Cenário Referência, serão determinados três Cenários Alternativos de Gestão de RSU.

O Cenário Referência é baseado no sistema de gerenciamento de RSU para o ano de 2008⁹ em Itajubá. Já os Cenários Alternativos, serão elaborados de forma a melhorar o desempenho do Gerenciamento dos RSU no município.

Portanto tem-se:

Cenário Referência: Gestão de RSU de Itajubá no ano de 2008

Cenários Alternativos: Pessimista, Pouco Otimista e Otimista

⁹ Baseado nos estudos de Gonçalves (2007).

4.8.1 Cenário Referência

Para a formulação do Cenário Referência, utilizou dados de Gonçalves (2007), que avaliou em seu trabalho a Potencialidade Energética dos RSU do Município de Itajubá – MG.

Neste trabalho, a autora efetuou uma previsão do crescimento populacional do município e estimou a quantidade de RSU gerados para os anos correntes. Além disso, o trabalho apresenta a composição gravimétrica dos RSU aterrados do município de Itajubá – MG para o ano de 2008.

Baseado nesta perspectiva tem-se o Cenário Referência. Para o presente estudo, esse cenário representa o *status quo* do gerenciamento dos RSU em Itajubá para o ano de 2008, conforme recomendado por (ADHIKARI; BARRINGTON; MARTINEZ, 2006). Os valores que compõem esse cenário serão detalhados a seguir:

Esse cenário é tido como referência para a construção dos outros cenários, sendo, portanto, considerado o cenário da tendência histórica, tendo em vista que a geração de RSU no município de Itajubá é em torno de 0,75 kg/hab.dia⁻¹ (Gonçalves 2007). Nesse cenário, pressupõe que todo o resíduo gerado seria encaminhado para o aterro controlado da cidade que não possui nenhum sistema de recuperação de gases.

- . Ano: 2008;
- . População Estimada: 93.061 habitantes;
- . Total de RSU produzido: 25.475 ton/ano;
- . Composição do RSU:
 - . Recicláveis: 8.025 ton/ano (31,5%);
 - . Entulho: 2.242 ton/ano (8,8%);
 - . Orgânico: 10.674 ton/ano (41,9%);
 - . Rejeito: 4.535 ton/ano (17,8%);
- . Sistema de Destinação Final: Lixão sem recuperação de gases;
- . Localização do Aterro Controlado: 7 km em relação a cidade de Itajubá.

4.8.2 Cenários Alternativos

Os Cenários Alternativos foram elaborados de acordo com a perspectiva de gerenciamento de resíduos sólidos do município de Itajubá (PMI) e a literatura que remete ao assunto. Dessa forma eles serão divididos em Pessimista, Pouco Otimista e

Otimista. Cabe ressaltar que os cenários alternativos variam ao longo dos anos, por acreditar que novos gestores municipais (prefeitos, vereadores, secretários municipais, etc) irão buscar novas práticas de gerenciamento de RSU para o município.

- ***Cenário Pessimista***

O Cenário Pessimista é semelhante ao Cenário Referência, porém com recuperação de gases para queima, já que está em estudo a proposta para implantação do sistema de coleta de gases para geração de energia no aterro. De acordo com PMI (2010), caso o estudo ateste inviabilidade, será utilizado a recuperação de gases para a queima.

- . Ano: 2008;
- . População Estimada: 93.061 habitantes;
- . Total de RSU produzido: 25.475 ton/ano;
- . Composição do RSU:
 - . Recicláveis: 8.025 ton/ano (31,5%);
 - . Entulho: 2.242 ton/ano (8,8%);
 - . Orgânico: 10.674 ton/ano (41,9%);
 - . Rejeito: 4.535 ton/ano (17,8%);
- . Sistema de Destinação Final e Gestão:
 - . Aterro Sanitário com recuperação de gases para a queima com eficiência de 75%;¹⁰
- . Localização do Aterro Sanitário: 12 km em relação a cidade de Itajubá.

- ***Cenário Pouco Otimista***

O Cenário Pouco Otimista tem como base a viabilidade da recuperação de gases para geração de energia no Aterro Sanitário de Itajubá, e assim como o cenário pessimista, propõe a redução da produção de RSU em 3% ao ano. Esse cenário também objetiva avaliar o aspecto da separação dos materiais recicláveis presentes nos RSU. Considerou-se para esse cenário, uma hipótese de redução na quantidade de recicláveis destinados ao aterro na faixa de 20% e a possibilidade de compostagem de 10% dos

¹⁰ Segundo PMI (2010) está em estudo de viabilidade para recuperação de gases para geração de energia. Caso o estudo indique inviabilidade, os gases serão queimados em flare.

resíduos orgânicos, de acordo com estudos de Melo, Sautter e Janissek (2009), o que poderia ocorrer caso programas de reciclagem fossem intensificados e desenvolvidos, e esforços do gerenciamento fossem direcionados para o aspecto da separação e reciclagem.

- . Ano: 2012;
- . População Estimada: 96.970 habitantes;
- . Geração: 0,664 kg/hab.dia⁻¹
- . Total de RSU produzido: 23.502 ton/ano;
- . Composição do RSU:
 - . Recicláveis: 7.403 ton/ano (31,5%);
 - . Entulho: 2.242 ton/ano (8,8%);
 - . Orgânico: 9.847 ton/ano (41,9%);
 - . Rejeito: 4.183 ton/ano (17,8%);
- . Sistema de Destinação Final e Gestão:
 - . Aterro Sanitário com recuperação de gases para a geração de energia com eficiência de 75%;
 - . Reciclagem: 1.482 ton/ano (20% do total de recicláveis)
 - . Compostagem: 985 ton/ano (10% do total de compostos orgânicos)
 - . Redução na Fonte: 1.974 ton/ano¹¹
- . Localização do Aterro Sanitário: 12 km em relação a cidade de Itajubá.

- ***Cenário Otimista***

O Cenário Otimista parte da proposta do trabalho de Gonçalves (2008), cuja hipótese é a implantação de um programa de educação ambiental, com a aplicação da política dos 3 R's, reduziria a produção de RSU em 3% ao ano. Para esse cenário, existe a proposta de avaliar o aspecto da separação dos materiais recicláveis e compostos orgânicos presentes nos RSU. Para isso, considerou-se que 36% dos resíduos fossem reciclados, (32% recicláveis e 4% de entulho) conforme Gonçalves (2007) e cerca de

¹¹ Diferença entre os valores para geração de 0,75 kg/hab.dia em relação à política de educação ambiental (3%)

75% dos restos de alimentos seriam encaminhados para a compostagem conforme (ADHIKARI; BARRINGTON; MARTINEZ, 2006)

- . Ano: 2016;
- . População Estimada: 100.591 habitantes;
- . Total de RSU produzido: 21.589 ton/ano;
- . Composição do RSU:
 - . Recicláveis: 6.800 ton/ano (31,5%);
 - . Entulho: 1.900 ton/ano (8,8%);
 - . Orgânico: 9.256 ton/ano (41,9%);
 - . Rejeito: 4.535 ton/ano (17,8%);
- . Sistema de Destinação Final e Gestão:
 - . Aterro Sanitário com recuperação de gases para geração de energia com eficiência de 75%;
 - . Reciclagem: 2.253 ton/ano (32% do total de recicláveis)
 - . Compostagem: 5.894 ton/ano (75% do total de compostos orgânicos)
- . Redução na Fonte: 1.512 ton/ano¹²
- . Localização do Aterro Sanitário: 12 km em relação a cidade de Itajubá.

¹² Diferença entre os valores para geração de 0,75 kg/hab.dia em relação à política de educação ambiental (3%)

5. RESULTADOS e DISCUSSÃO

5.1 Planilha para o cálculo da Emissão dos GEE de resíduos sólidos – PEGEE

A seguir são apresentadas todas as planilhas que compõem a PEGEE. Como forma de buscar a melhor compreensão da planilha, será realizado um esquema passo a passo devendo exibir os dados em tCO₂e para materiais não virgens.

A exibição será feita por partes (recortes) das planilhas, já que para a apresentação do arquivo completo seria necessário muito espaço, o que dificultaria a compreensão do leitor.

5.1.1 A Planilha Entrada de Dados

A Planilha Entrada de Dados é a primeira planilha exibida da PEGEE. Nessa planilha é permitido criar os cenários de gestão de RSU que se deseja comparar. Para que seja criado os cenários é preciso que os dados sejam inseridos em toneladas. Só é permitido inserir dados nas células sombreadas, ou seja, nas células que apresentam “N” não é permitida a entrada de dados, pois segundo a EPA a prática de gestão adotada não condiz com o tipo de material equivalente. Por exemplo: não é possível realizar a compostagem de latas de alumínio.

Essa planilha, exibida na FIGURA 5.1 é dividida em seis itens que irão compor os cenários requeridos pelo usuário. Sendo assim, segue abaixo a representação por imagem de cada um dos itens.

No item 1 é preciso descrever os valores, em tonelada, de RSU total gerados (E12:E45), que corresponde ao somatório da quantidade de RSU reciclada (F12:F45), aterrada (G12:G45), queimada (H12:H45) e compostada (I12:I45) no cenário referência. Geralmente, o cenário referência é o atual cenário de gestão de RSU. Caso o usuário não queira avaliar determinado tipo de material, basta deixar a célula em branco e dar continuidade na entrada de dados.

Para que a planilha possa ser preenchida corretamente é preciso que a quantidade total gerada seja igual ao somatório das práticas de gestão adotada. Para os casos em que o valor total gerado não for compatível com os valores da prática de gestão, aparecerá na coluna J uma mensagem de **ERRO**, indicando que a quantidade total

(coluna E) não equivale ao somatório dos valores inseridos para os sistemas pós-consumo (colunas F a I).

Ao final do item 1 será exibido nas células E46:I46 o total dos valores inseridos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	PLANILHA 01 - ENTRADA DE DADOS									
2	Use esta planilha para descrever os dados referentes ao <u>Cenário Atual</u> de Gestão de RSU e também para descrever os <u>Cenários Alternativos</u> de Gestão de RSU que você quer comparar.									
3	As áreas sombreadas indicam a célula que deverá receber as informações. Os locais indicados com "N" não deverão ser preenchidos.									
4	1. Descreva os valores de geração e destinação dos RSU para o <u>Cenário de Referência</u> de acordo com os materiais listados.									
5	Se o material não é gerado ou você não quer analisá-lo, deixe a célula em branco.									
6	ATENÇÃO: A mensagem ERRO indica que a quantidade de RSU gerada não equivale à quantidade inserida para os sistemas de destinação final									
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										

FIGURA 5.1 - Item 1. da Planilha Entrada de Dados.

Após ter completado o item 1 o usuário deverá seguir o trabalho no item 2, que é o local da planilha que deverá ser utilizado para criar o cenário alternativo de gerenciamento de RSU.

Os materiais são os mesmos do item 1, porém o que os diferencia são as práticas de gestão adotada, já que foi incluída nesse item a prática de redução na fonte. Como pode ser observado na FIGURA 5.2, os dados deverão ser inseridos em toneladas para cada prática de gestão adotada. Se determinado material não tiver sido selecionado no item 1, ele também não deverá ser selecionado no item 2.

Assim como no item 1 será exibido nas células D88:I88 o total dos valores inseridos para os cenários referência e tem-se também que para os casos em que o valor total gerado não for compatível com os valores da prática de gestão, aparecerá na coluna J uma mensagem de **ERRO**, indicando que a quantidade total (coluna D) não equivale ao somatório dos valores inseridos para os sistemas pós-consumo (colunas E a I).

2. Descreva os valores para os Cenários Alternativos de geração e destinação dos RSU. Qualquer diminuição na geração deve ser inserida na coluna Redução na Fonte. Para os casos de aumento na geração, os valores devem ser inseridos na mesma coluna, porém como um valor negativo.

ATENÇÃO: A mensagem ERRO indica que a quantidade de RSU gerada não equivale à quantidade inserida para os sistemas de destinação final

Material	Toneladas Geradas	Redução na Fonte	Toneladas Recicladas	Toneladas Aterradas	Toneladas Queimadas	Toneladas Compostadas
Latas de Alumínio						N
Latas de Aço						N
Fio de Cobre						N
Vidro						N
PEAD						N
PEBD						N
PET						N
Papel ondulado						N
Revistas						N
Jornal						N
Papel Ofício						N
Agenda Telefônica						N
Livros						N
Caco de madeira						N
Chapa de madeira						N
Resto de Alimentos			N			
Poda			N			
Gramma			N			
Folhas			N			
Ramos			N			
Papéis misturados (largo)		N				N
Papéis misturados (resid)		N				N
Papéis misturados (escritório)		N				N

FIGURA 5.2 - Item 2 da Planilha Entrada de Dados.

A próxima etapa da planilha é avaliar se os materiais são fabricados por matéria prima 100% virgens ou se eles são fabricados a partir de materiais não virgens, ou seja recicláveis. Após definida essa situação, o usuário deverá escolher em qual unidade deseja que seja demonstrado o resultado.

Conforme mencionado anteriormente, é possível avaliar os cenários a partir do consumo de energia e das emissões de carbono equivalente ou dióxido de carbono equivalente. Para que possa ser definida a unidade, o usuário deverá clicar em um dos botões presentes no item 3. Não é permitido clicar em mais de um botão, ou seja, não é possível exibir os resultados em mais de uma unidade. Caso o usuário queira verificar os resultados em outra unidade, basta clicar no botão correspondente.

Na FIGURA 5.3 pode-se notar que o botão selecionado indica a opção em tonelada de dióxido de carbono equivalente para materiais não virgens. É possível observar que imediatamente ao clicar no botão foram exibidas as planilhas Análise dos Resultados e Relatório de Síntese para o cenário proposto.

A opção 4 deve indicar qual a situação do lixão, do aterro controlado ou do aterro sanitário no que tange o controle do biogás gerado e qual a prática adotada em caso de recuperação do mesmo para os cenários previstos.

Na situação representada nota-se que para o Cenário Referência tem-se um aterro sem recuperação de biogás e para o Cenário Alternativo encontra-se um aterro com recuperação de gases para queima em flare. O item 4.1 solicita que seja apresentada a eficiência do sistema de recuperação de gases dos aterros para o Cenário Referência e para o Cenário Alternativo. Caso não seja conhecida essa eficiência, a planilha adota como valor padrão 75%. Nos itens 4.2, 4.3 e 4.4 é solicitado ao usuário dados referentes à estimativa de investimento, onde os resultados serão exibidos na planilha Relatório de Síntese (GJ).

Nas seções 4.3.2 e 4.3.3 estão descrito todo memorial de cálculo para os aterros com recuperação de gases para geração de energia e para a queima, assim como o memorial de cálculo em função da eficiência do sistema de recuperação de biogás.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										
101										
102										
103										
104										
105										
106										
107										
108										
109										
110										
111										
112										
113										
114										
115										
116										
117										
118										
119										
120										
121										
122										
123										
124										
125										

3. Para estimar os benefícios de redução na fonte, geralmente assume que o material a ser reduzido na fonte teria sido fabricado a partir da mistura de insumos virgens e reciclados (não virgens). No entanto, você pode escolher para estimar as reduções de emissões de redução na fonte sob o pressuposto de que o material teria sido fabricado a partir de insumos 100% virgem, a fim de obter uma estimativa do limite máximo dos benefícios da redução na fonte. Seleccione o modelo que pretende utilizar, marcando um dos botões abaixo.

Materiais 100% Virgens	Materiais Não Virgens
tCe <input checked="" type="radio"/>	tCe <input type="radio"/>
tCO _{2e} <input type="radio"/>	tCO _{2e} <input type="radio"/>
GJ <input type="radio"/>	GJ <input type="radio"/>

4. As emissões de biogás dos aterros dependem se o aterro tem um sistema de controle de biogás. Se o aterro não tem um sistema de biogás, selecione "Sem Recuperação de Biogás" e vá para o item 5. Se existe um sistema de controle de Biogás no aterro, selecione um dos botões a seguir para indicar se está recuperando o biogás para produzir energia ou queimando. Deverá ser selecionado sistema para o Cenário Referência e para o Alternativo. Atenção: Marque apenas uma opção.

CENÁRIO REFERÊNCIA	CENÁRIO ALTERNATIVO
Sem Recuperação de Biogás <input checked="" type="radio"/>	Sem Recuperação de Biogás <input checked="" type="radio"/>
Recuperação para energia <input type="radio"/>	Recuperação para energia <input type="radio"/>
Queima em Flare <input type="radio"/>	Queima em Flare <input type="radio"/>

4.1 Se o aterro possui recuperação de gás, qual a eficiência desse sistema?
A CETESB E A EPA recomendam que o sistema de coleta de gás tenha eficiência de 75%.
Se não é conhecido a eficiência desse sistema, deixe em branco que será usado 75% como padrão.

	CENÁRIO REFERÊNCIA	CENÁRIO ALTERNATIVO
Eficiência dos Sistema de Coleta de Gás de Aterro:	0.00%	50.0%

FIGURA 5.3 - Itens 3, 4 e 4.1 da planilha Entrada de Dados.

A FIGURA 5.4 exibe os itens 5, 5.1 e 6. O item 5 permite que o usuário avalie as emissões decorrentes do processo de transporte dos materiais. Para os casos em que o usuário não saiba qual a distancia real do centro gerador até o sistema de destinação

final, é permitido utilizar a distância padronizada, que é de 32 quilômetros. Caso essa opção seja selecionada, automaticamente o programa irá exibir os valores nas células D144:D147 e I144:I147 para os Cenários Referência e Alternativos respectivamente.

Porém, se o usuário tiver de posse desses dados, ele deve clicar no botão Inserir Distâncias e migrar para o item 5.1. Nesse item, ele deve inserir os valores em quilômetros na área sombreada. O memorial de cálculo para as emissões de gases e consumo de energia referente ao transporte de materiais foi apresentado descrito na seção 3.10.

O item 6., 6.1 e 6.2 exige do usuário a caracterização sistema de disposição final de RSU quanto ao tempo de operação e encerramento do mesmo. Como mencionado anteriormente, a vazão de metano é variável, dentre outros aspectos, em função do tempo de disposição da massa de RSU.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
126											
127											
128											
129											
130											
131											
132											
133											
134											
135											
136											
137											
138											
139											
140											
141											
142											
143											
144											
145											
146											
147											
148											
149											
150											
151											
152											
153											
154											

5. Emissões que ocorrem durante o transporte durante a gestão dos RSU estão incluídas neste modelo. Você pode usar padrões de distâncias de transporte, indicados na tabela abaixo, ou fornecer informações das distâncias de transporte para as várias opções de manejo de resíduos sólidos urbanos. Atenção: marque apenas uma opção.

Usar Distâncias Padronizadas

Inserir Distâncias

5.1 Se você tiver escolhido para fornecer informações, por favor preencha o quadro abaixo. As distâncias devem ser inseridas a partir do centro de geração para o aterro, incinerador, ou instalação de recuperação de material. Atenção: Devem ser fornecidas as distâncias tanto para o cenário de referência quanto para os cenários alternativos.

Cenário Referência			Cenário Alternativo		
Opção de Destinação	Padrão de distâncias (KM)	Distância (KM)	Opção de Destinação	Padrão de distâncias (KM)	Distância (KM)
Aterro Sanitário			Aterro Sanitário		
Queima			Queima		
Reciclagem			Reciclagem		
Compostagem			Compostagem		
Total	0	-	Total	-	-

6. Favor inserir os dados referentes ao aterro sanitário. Caso o aterro ainda esteja em operação, deixe o item 6.2 em branco em branco. ATENÇÃO: O PREENCHIMENTO DO ITEM 6.1 É OBRIGATÓRIO

6.1 Tempo desde o início da Operação do Aterro (anos)

6.2 Tempo desde o encerramento do aterro

Figura 5.4 - Itens 5, 5.1 e 6 da planilha Entrada de Dados.

Para os casos que o usuário desejar modificar os dados padronizados da PEGGEE, o item 7. habilita dados referentes à geração de metano (L_0), à constante de decaimento (1/ano) e a produção de energia elétrica (kWh/ton CH_4). Esses valores são exibidos na planilha Relatório de Síntese de acordo com a unidade que o usuário desejar avaliar os cenários.

Finalizando, a FIGURA 5.5 encerra a apresentação da planilha Entrada de Dados, demonstrando que é permitido ao usuário a identificação do seu trabalho. Por

isso, ele deve inserir os dados nos locais correspondentes no item 7 para que a PEGGEE possa ser personalizado de acordo com o desejado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
155											
156		7. O usuário poderá definir algumas características de geração do metano em função das particularidades do RSU. Caso o									
157		usuário desconheça os dados, selecione o item padrão.									
158		7.1 Geração de Metano: L_0 (m^3/ton RSU)			7.2 Constante de Decaimento: k (1/ano)			7.3 Produção de Energia Elétrica (kWh/ton CH_4)			
160		<input checked="" type="radio"/>	180 m^3/ton RSU Padrão		<input type="radio"/>	0,06 Padrão		<input type="radio"/>	9,87 Padrão (CETESB)		
161		<input type="radio"/>	90 m^3/ton RSU Pouco Orgânico		<input type="radio"/>	0,02 Pouco Orgânico		<input type="radio"/>	5,7 Henriques (2004)		
162		<input type="radio"/>	300 m^3/ton RSU Muito Orgânico		<input checked="" type="radio"/>	0,09 Muito orgânico		<input checked="" type="radio"/>	1,66 Iwasaki et al. (2009)		
164											
165											
166		8. Se você deseja personalizar seus resultados, insira seu nome e organização, e também especifique o									
167		período do projeto correspondente aos dados digitados acima.									
168											
169		Nome									
170		Organização									
171											
172		Período de Projeto		De		Até					
173											
174											
175		Parabéns! Você terminou com a entrada de dados. Um resumo dos resultados são apresentados na planilha "Relatório de Síntese."									
176		Para analisar mais detalhadamente as emissões de GEE, consulte a planilha "Análise de Resultados."									
177											

Figura 5.5 - Itens 7 e 8 da planilha Entrada de Dados.

5.1.2 A Planilha Análise dos Resultados

A Planilha Análise dos Resultados apresenta uma análise detalhada das emissões referente aos cenários criados. Nessa planilha, não é permitido a inserção de dados, ou seja, ela tem como finalidade calcular os resultados de emissões de gases ou consumo de energia, a partir dos valores referentes a quantidade de resíduos inseridos no planilha Entrada de Dados anteriormente.

Essa planilha é composta por quatro quadros que são interdependentes. Para que os resultados da PEGGEE possam ser produzidos, é necessário entender que existem fatores de emissão e consumo para todos os materiais que compõem o modelo.

Os fatores de emissão para os materiais foram obtidos no documento: Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, EPA (2006). Observando o novo modelo do WARM publicado em 2010, foi verificado que os fatores de emissão foram modificados. Diante disso, foi feito contato com a EPA, e a informação obtida era de que os fatores de emissões foram atualizados, mas que a metodologia para obtenção dos dados é a mesma que consta no documento acima citado. Portanto, os fatores de emissão da PEGGEE são os mesmos fornecidos

pela EPA e estão disponíveis nos anexos A e B.¹³ Cabe ressaltar ainda que os valores associados à energia no WARM estão definidos na unidade MBTU e na PEGGEE os valores estão representados em Giga Joule (GJ).

Na FIGURA 6.5 pode ser observado nas linhas 4 a 6 e nas colunas D a K um quadro que resume as emissões referentes ao Cenário Referência (D4:K4), ao Cenário Alternativo (D5:K5) e ao Incremento das emissões de gases (D6:K6) comparando os dois cenários. Os resultados apresentados na coluna K são equivalentes aos somatórios dos quadros 2, 3 e 4 dessa planilha que serão explanados a seguir.

Logo abaixo do quadro resumo das emissões, encontra-se o Quadro 1, que também está representado na FIGURA 5.6. Esse quadro é composto pelos valores que correspondem aos fatores de emissão de gases do efeito estufa e consumo de energia elaborado e revisado pela EPA para cada tipo de material.¹⁴

A/B	D	E	F	G	H	I	J	K
1	PLANILHA 02 - ANÁLISE DOS RESULTADOS (Análise das Emissões de GEE)							
2								
3								
4	TOTAL DAS EMISSÕES DE GEE REFERENTES À GERAÇÃO E GESTÃO DE RSU - Quadro 02 (tCe):							0,00
5	TOTAL DAS EMISSÕES DE GEE REFERENTE AO CENÁRIO ALTERNATIVO DE GERAÇÃO E GESTÃO DE RSU - Quadro 03 (tCe):							0,00
6	Incremento nas Emissões de GEE - Quadro 4 (tCe):							0,00
7	tCe = toneladas métricas de carbono equivalente							
8								
9	Quadro 1 - Estimativa de emissões de GEE para os Cenários por tonelada de material							
10	MATERIAL	Emissões de GEE por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Reciclado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Aterrado (tCe) REFERENCIA	Emissões de GEE por tonelada de Material Aterrado (tCe) ALTERNATIVO	Emissões de GEE por tonelada de Material Queimado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Compostado (tCe)	
11	Latas de Alumínio	(4,29)	(3,72)	0,01	0,01	0,02	NA	
12	Latas de Aço	(1,01)	(0,49)	0,01	0,01	(0,42)	NA	
13	Fio de Cobre	(2,03)	(1,35)	0,01	0,01	0,01	NA	
14	Vidro	(0,16)	(0,08)	0,01	0,01	0,01	NA	
15	PEAD	(0,54)	(0,38)	0,01	0,01	0,28	NA	
16	PEBD	(0,65)	(0,47)	0,01	0,01	0,28	NA	
17	PET	(0,59)	(0,42)	0,01	0,01	0,31	NA	
18	Papel ondulado	(2,21)	(0,85)	0,41	0,41	(0,17)	NA	
19	Revistas	(2,44)	(0,84)	0,04	0,04	(0,12)	NA	
20	Jornal	(1,63)	(0,76)	(0,13)	(0,13)	(0,19)	NA	
21	Papel Ofício	(2,26)	(0,78)	1,01	1,01	(0,18)	NA	
22	Agenda Telefônica	(1,72)	(0,73)	(0,13)	(0,13)	(0,19)	NA	
23	Livros	(2,58)	(0,85)	1,01	1,01	(0,16)	NA	
24	Caco de madeira	(0,55)	(0,67)	0,02	0,02	(0,20)	NA	
25	Chapa de madeira	(0,61)	(0,67)	0,02	0,02	(0,20)	NA	
26	Resto de Alimentos	0,00	NA	0,39	0,39	(0,04)	(0,05)	
27	Poda	0,00	NA	0,05	0,05	(0,06)	(0,05)	
28	Grama	0,00	NA	0,14	0,14	(0,06)	(0,05)	
29	Folhas	0,00	NA	(0,08)	(0,08)	(0,06)	(0,05)	
30								

FIGURA 5.6 - Resumo das Emissões e Fatores de Emissão para os materiais

A FIGURA 5.7 mostra o Quadro 2 da planilha Análise dos Resultados. Nesse quadro são apresentadas as emissões decorrentes do Cenário Referência, que consiste nos valores de emissão para cada tipo de material, ou seja, esse quadro é formatado para

¹³ Os fatores de emissão atualizados podem ser encontrados também na seguinte página da internet: http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/calculators/Warm_Form.html.

¹⁴ Esses valores podem ser melhor observados nos anexos A e B.

efetuar a multiplicação da quantidade de materiais inserido (em toneladas) na planilha Entrada de Dados (Coluna F) pelo fator de emissão apresentado na FIGURA 6.5. Esse resultado será representado nas colunas G,I,K e M, variando de acordo com a prática de gestão do cenário referência. Na coluna N, será apresentado todo o somatório das emissões para o Cenário Referência, tendo na célula 83 a representação desse somatório.

	D	E	F	G	H	I	J
46	Quadro 02 - Emissões de GEE oriundas do Cenário Referência de Gestão de RSU						
47	Quadro 02 - Emissões de GEE oriundas do Cenário Referência de Gestão de RSU						
48	Material	Materiais Gerados de Acordo com Cenário Referência (Ton)	Reciclagem Estimada (Ton)	Emissões anual de GEE anuais à partir da Reciclagem (tCe)	Disposição em Aterro Estimada (Ton)	Emissões anual de GEE anuais à partir do Aterramento (tCe)	Queima Estir (Ton)
49	Latas de Alumínio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	Latas de Aço	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
51	Fio de Cobre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
52	Vidro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
53	PEAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54	PEBD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55	PET	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
56	Papel ondulado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	Revistas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
58	Jornal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59	Papel Ofício	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	Agenda Telefônica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
61	Livros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62	Caco de madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63	Chapa de madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
64	Resto de Alimentos	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00
65	Poda	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00
66	Gramma	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00
67	Folhas	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00
68	Ramos	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00
69	Papéis misturados (largo)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	Papéis misturados (resid)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
71	Papéis misturados (escritório)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
72	Metais misturados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
73	Plásticos misturados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
74	Recicláveis misturados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75	Orgânicos misturados	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00

FIGURA 5.7 - Emissões decorrentes do Cenário Referência

O quadro 3, representado na FIGURA 5.8, apresenta as mesmas características do quadro 2, porém nele está inserido valores para uma nova prática de gestão, a Redução na Fonte, que é uma das opções para o Cenário Alternativo de Gestão. Como pode ser observado as colunas G,I,K,M e O apresentam o total das emissões referente à prática de gestão adotada. A coluna P apresenta todo o somatório das emissões de gases ou consumo de energia para o Cenário Alternativo de Gestão. Cabe informar que a célula P121 demonstra o total das emissões de gases ou consumo de energia para todas as práticas de gestão adotadas.

Quadro 03 - Emissões de GEE projetadas para Cenários Alternativos de Gestão de RSU							
Material	Material Gerados de Acordo com Cenário Alternativo (Ton)	Redução na Fonte Projetada (Ton)	Emissões anual referentes a Redução na Fonte (tCe)	Reciclagem projetada (Ton)	Emissões anual de GEE referentes a Reciclagem (tCe)	Disposição em Aterros Projetada (Ton)	
Latas de Alumínio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Latas de Aço	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Fio de Cobre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Vidro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PEAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PEBD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PET	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Papel ondulado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Revistas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Jornal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Papel Ofício	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Agenda Telefônica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Livros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Caco de madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Chapa de madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Resto de Alimentos	0,00	0,00	0,00	N	N	0,00	
Poda	0,00	0,00	0,00	N	N	0,00	
Gramma	0,00	0,00	0,00	N	N	0,00	
Folhas	0,00	0,00	0,00	N	N	0,00	
Ramos	0,00	0,00	0,00	N	N	0,00	
Papéis misturados (largo)	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00	
Papéis misturados (resid)	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00	
Papéis misturados (escritório)	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00	
Metais misturados	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00	
Plásticos misturados	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00	
Recicláveis misturados	0,00	N	N	0,00	0,00	0,00	
Orgânicos misturados	0,00	N	N	N	N	0,00	
RSU misturados	0,00	N	N	N	N	0,00	

FIGURA 5.8 - Emissões decorrentes do Cenário Alternativo

A última etapa da planilha Análise dos Resultados é o Quadro 4, que ilustra o incremento das emissões de gases ou consumo de energia para o cenário alternativo de Gestão de RSU.

Esse incremento é baseado na comparação entre o Cenário Referência e o Cenário Alternativo de Gestão. A FIGURA 5.9 apresenta o Quadro 4, onde pode ser observado que na coluna O está a soma das emissões de gases ou consumo de energia para cada prática de gestão de RSU adotada para cada tipo de material. A célula O159 sintetiza as emissões de gases ou consumo de energia comparando-se os cenários propostos pelo usuário.

Quadro 04 - Incremento das Emissões de GEE para o Cenário Alternativo de Gerenciamento de RSU						
Material	Redução na Fonte (Ton)	Incremento das Emissões de GEE à partir da Redução na Fonte (tCe)	Incremento na Reciclagem (Ton)	Incremento das Emissões de GEE à partir da Reciclagem (tCe)	Incremento no Aterramento (Ton)	Incremento das Emissões de GEE a partir do Aterramento (t)
Latas de Alumínio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Latas de Aço	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fio de Cobre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vidro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PEAD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PEBD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PET	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel ondulado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Revistas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jornal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Papel Ofício	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agenda Telefônica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Livros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Caco de madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chapa de madeira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resto de Alimentos	0,00	0,00	N	N	0,00	0,00
Poda	0,00	0,00	N	N	0,00	0,00
Gramma	0,00	0,00	N	N	0,00	0,00
Folhas	0,00	0,00	N	N	0,00	0,00
Ramos	0,00	0,00	N	N	0,00	0,00
Papéis misturados (largo)	N	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Papéis misturados (resid)	N	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Papéis misturados (escritório)	N	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Metais misturados	N	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Plásticos misturados	N	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Recicláveis misturados	N	N	0,00	0,00	0,00	0,00
Orgânicos misturados	N	N	N	N	0,00	0,00
RSU misturados	N	N	N	N	0,00	0,00

FIGURA 5.9 - Quadro 4 da planilha Análises dos Resultados

5.1.3 A Planilha Relatório de Síntese

A planilha Relatório de Síntese é a última planilha da PEGGEE a ser exibida. Nessa planilha estão representados todos os dados já demonstrados na planilha Análise de Resultados, porém de uma forma mais simplificada. Além de demonstrar resultados de forma sintetizada, essa planilha deixa evidente as emissões de gases ou o consumo de energia para os cenários criados. Além disso, nela é possível observar o potencial de aquecimento global referente aos cenários propostos pelos usuários.

No Relatório de Síntese é apresentado também o trabalho de forma personalizada, onde a identificação pode ser verificada nas colunas A:G e nas linhas 5:7.

As FIGURAS 5.10 e 5.11 apresentam os quadros que ilustram as emissões de GEE referente ao Cenário Referência e o Cenário Alternativo de Gestão de RSU. Cabe ressaltar que na coluna B, será apresentado apenas o material a ser avaliado pelo usuário, ou seja, se o usuário não inseriu valores para o alumínio na planilha Entrada de Dados, esse material não será exibido nessa planilha.

Observa-se também nessa planilha, os resultados apresentados para as emissões de gases ou consumo de energia referente aos materiais aterrados, ao transporte dos materiais e o potencial de aquecimento global avaliados no Cenário Referência e no

Finalizando o trabalho na PEGGEE, para facilitar a compreensão, é permitido ao usuário avaliar as emissões de GEE ou consumo de energia efetuando um comparativo com outras fontes emissoras de gases ou consumidoras de energia.

Caso o usuário defina apresentar os dados em emissões de dióxido de carbono equivalente ou de carbono equivalente, as comparações serão apresentadas nas células B:89 e B90 à F89 e F90 com os seguintes dizeres:

Essa remoção é equivalente a:

Emissões de N cidadãos brasileiros

Emissões de N cidadãos norte americanos, onde N representa o número de cidadãos.

De outra forma, caso o usuário queira analisar os resultados em termos energéticos, será exibido nas células equivalentes o seguinte conteúdo:

Essa Remoção é Equivalente a:

0,00 Litros de Gasolina

0,00 MWh (megawatt hora)

0,00 Litros de Petróleo

0,00 % do total de Energia elétrica consumida pelo setor de transportes no Brasil

0,000 % do total de Energia Elétrica consumida pelo agropecuário no Brasil

A FIGURA 5.12, apresenta também que na planilha Relatório de Síntese será exibida no quadro à direita, a variação (redução ou aumento) do potencial de aquecimento global em comparação aos cenários. Cabe ressaltar que o potencial de aquecimento global só será apresentado nas unidades toneladas de carbono equivalente e dióxido de carbono equivalente.

A metodologia empregada para apresentar os fatores de conversão referentes ao potencial de aquecimento global e à comparação às remoções de gases emitidas e consumo de energia dos cenários estão descritas nas seções 4.4 e 4.3 respectivamente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
76			-					-						
77			-					-						
78			-					-						
79								-						
80								-						
81								-						
82			-					-						
83			-					-						
84			-					-						
85								-						
86														
87														
88														
89														
90														
91														
92														
93														
94														
95														

»» TOTAL DAS VARIAÇÕES NAS EMISSÕES DE GEE: 0,00

Essa Remoção é Equivalente a:

Emissões de	0	Cidadãos Brasileiros no ano de 1994 (tCe)
Emissões de	0	Cidadãos Mineiros no ano de 2005 (tCe)
Emissões de	0,0	Cidadãos Norte Americano-EUA no ano de 2003(tCe)

Os cenários criados promoveram uma
0,00 vezes o Potencial de Aquecin

Nota: um valor negativo (isto é, um valor entre parentese) indica uma redução nas emissões; um valor positivo indica aumento das emissões.

FIGURA 5.12 - Potencial de Aquecimento Global

5.1.4 Quantidade de Carbono Emitido na Atmosfera

O memorial de cálculo aqui descrito está representado na planilha Emissões por Transporte da PEGGEE e é demonstrado pela FIGURA 5.13. Esses cálculos são efetuados tanto para o cenário referência quanto para o cenário alternativo e assim apresentados na planilha Relatório de Síntese, que será exibida de acordo com a unidade que se queira demonstrar (C, CO₂ e GJ). Os valores relacionados à diferença entre o Cenário de Referência e o Cenário Alternativo são apresentados no final da planilha Relatório de Síntese juntamente com a diferença entre os fatores de emissão para os materiais na célula identificada como TOTAL DAS VARIAÇÕES NAS EMISSÕES DE GEE ou TOTAL DAS VARIAÇÕES NO CONSUMO DE ENERGIA.

A seguir será descrito os valores de conversão para as possíveis opções no item 4, que também são efetuados para o Cenário de Referência e para os Cenários Alternativos. Os dados serão apresentados de acordo com a unidade selecionada (CO₂e, Ce e GJ).

A FIGURA 5.14 apresenta a planilha Emissões em Aterros, onde está formatado todo o memorial de cálculo acima representado pelas equações de (5.1) a (5.7). Nela é possível observar as células F3 e F4, que apresentam a quantidade de resíduos enviados para os aterros, que por sua vez está associada ao total de resíduos aterrados inseridos na planilha Entrada de Dados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2			Memorial de Cálculo para emissões de C e CO2														
3			Cenário Referência	Vai aterrar	0	Toneladas	1 tonelada gera em torno de	180	m ³ de CH ₄ =	0	m ³ de CH ₄						
4			Cenário Alternativo	Vai aterrar	0	Toneladas	1 tonelada gera em torno de	180	m ³ de CH ₄ =	0	m ³ de CH ₄						
5			Equivalência em CO2														
6			Cenário Referência	CH4	50%	0	m ³	CH4	0,00	t CH4	0,00	t CO2E					
7				CO2	50%	0	m ³	CO2	0,00	t CO2	0,00	t CO2					
8								Total	0,00	t CH4	0,00	t CO2E			0,00	tC	
9																	
10			Cenário Alternativo	CH4	50%	0	m ³	CH4	0	t CH4	0	t CO2E					
11				CO2	50%	0	m ³	CO2	0	t CO2	0	t CO2					
12								Total	0	t CH4	0,00	t CO2E			0,00	tC	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	

Memorial de Cálculo para Energia			
Cenário Referência	0	kWh	
	0	BTU	
	0,00	GJ	gerados
Cenário Alternativo	0	kWh	
	0	BTU	
	0,00	GJ	gerados

Se o aterro não tem Rec. energética e nem Queima			
Cenário Referência	0,00	GJ deixados de gerar	
	0,00	tCE gerados	
	0,00	tCO2E gerados	
Cenário Alternativo	0,00	GJ deixados de gerar	
	0,00	tCE gerados	
	0,00	tCO2E gerados	

Para Cálculo de Eficiência Energética			
Cenário Referência	0,000	GJ gerados	
	0,00	tCE gerados	
	0,00	tCO2E gerados	
Cenário Alternativo	0,000	GJ gerados	
	0,00	tCE gerados	
	0,00	tCO2E gerados	

Emissoes de CH4 (m3)	
Cenário Referência	0
Cenário Alternativo	0

As 3 tabelas em AZUL indicam os valores finais para emissões

FIGURA 5.14 - Planilha Emissões em Aterros

5.1.5 Potencial de Aquecimento Global

A Planilha PAG (Potencial de Aquecimento Global), exibida na FIGURA 5.15, que contém o memorial de cálculo para o potencial de aquecimento global estará oculta durante a operação da PEGGEE, servindo como base para o funcionamento do modelo.

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL									
Sem Recuperação			Com Recuperação para Energia			Queima			
Total	0,00		Total	0,00		Total	0,00		
onde	0	CH4	onde	0	CH4	onde	0	CH4	
	0	CO2		0	CO2		0	CO2	
então	0,00	PAG	então	0,00	PAG	então	0,00	PAG	
Total	0,00		Total	0,00		Total	0,00		
onde	0	CH4	onde	0	CH4	onde	0	CH4	
	0	CO2		0	CO2		0	CO2	
então	0,00	PAG	então	0,00	PAG	então	0,00	PAG	

FIGURA 5.15 - Planilha Potencial de Aquecimento Global

Para os casos que a diferença entre a quantidade de CH₄ mitigada pelo cenário alternativo (ER_{CA}) e a quantidade de CH₄ mitigada no Cenário Referência (ER_{CR}), for positiva, ou seja, a quantidade de CH₄ gerada no Cenário Referência for superior à quantidade gerada no Cenário Alternativo, tem-se uma redução no Potencial de Aquecimento Global. Por outro lado, para os casos em que o Cenário Referência emita mais CH₄ do que o Cenário Alternativo, tem-se um aumento do Potencial de Aquecimento Global, como mostra a FIGURA 5.12.

5.1.6 Equivalências energéticas

A FIGURA 5.16 apresenta a planilha de equivalências que permanece oculta durante a operação do modelo e serve como base para que as conversões possam ser executadas.

Emissões de CO ₂							
					Brasil (1944)	MG (2005)	EUA (2003)
Emissões de CO ₂ por habitante no (tCO ₂ E/hab)							
					9,4	6,4	23,4

Fonte: Inventário das Em

Fatores de Conversão Energética							
	gíga-caloria	tep	bep	tec	gíga-joule	milhões BTU	megawatt-hora
Petróleo (m ³)	8,9	0,89	6,27	1,271	37,25	35,3	10,35
Óleo diesel (m ³)	8,48	0,848	5,97	1,212	35,52	33,66	9,87
Óleo combustível (m ³)	9,59	0,959	6,75	1,37	40,15	38,05	11,15
Gasolina automotiva (m ³)	7,7	0,77	5,42	1,099	32,22	30,54	8,95

BEN, 2009

Conversão Entre Unidades				
	J	BTU	cal	kWh
BTU	1,055 × 10 ²	1	252	293,07 × 10 ⁻⁶
tep	41,87 × 10 ³	39,68 × 10 ³	10,0 × 10 ³	11,63 × 10 ³

Consumo	
Setor	
Transportes	
Agropecuário	
Residencial	

Conversões para as planilhas		
Para GJ Mix	0,00	0,000
Para GJ Virgem	0,000	0,0000

FIGURA 5.16 - Planilha Equivalências

Ao final da planilha Relatório de Síntese são exibidos os fatores de comparação equivalentes ao total das variações no consumo de energia para os cenários analisados, conforme ilustra a FIGURA 5.17.

77			-	-			
78			-	-			
79							
80							
81							
82							
83							
84							
85							
86			»» TOTAL DAS VARIAÇÕES NO CONSUMO DE ENERGIA:				0,07
87			Essa Remoção é Equivalente a:				
89			2,21 Litros de Gasolina				
90			0,02 MWh (megawatt hora)				
91			2,01 Litros de Diesel				
92			0,20 Litros de Petróleo				
93			0,0000 % do total de Energia elétrica consumida pelo setor de transportes no Brasil				
94			0,000000 % do total de Energia Elétrica consumida pelo agropecuário no Brasil				
95							
96							
97							
98			Nota: um valor negativo (isto é, um valor entre parentese) indica uma redução nas emissões; um valor positivo indica aumento das emissões.				
99							
100							

FIGURA 5.17 - Comparações equivalentes às variações do consumo de energia

A FIGURA 5.18 mostra que quando o usuário desejar avaliar as remoções de GEE, aparecerá ao final da Planilha Relatório de Síntese os valores dessa remoção, comparando-se com outras fontes emissoras.

	A	B	C	D	E	F	G
79							-
80							-
81				-		-	-
82			-			-	-
83			-			-	-
84							-
85							
86							
87							
88							
89							
90							
91							
92							
93							
94							
95							
96							

»» TOTAL DAS VARIAÇÕES NAS EMISSÕES DE GEE:

Essa Remoção é Equivalente a:

Emissões de	0,0076	Cidadãos Brasileiros no ano de 1994 (tCe)
Emissões de	0,0111	Cidadãos Mineiros no ano de 2005 (tCe)
Emissões de	0,00304	Cidadãos Norte Americano-EUA no ano de 2003 (tCe)

Nota: um valor negativo (isto é, um valor entre parentese) indica uma redução nas emissões; um valor positivo indica aumento das emissões.

FIGURA 5.18 - Comparações das emissões equivalentes às remoções de gases

5.1.7 Cenários

Os cenários criados e apresentados na seção 4.6 foram tabulados na PEGGEE e no WARM (USEPA). A comparação foi feita da seguinte forma: Cenário Referência x Cenário Pessimista; Cenário Referência x Cenário Pouco Otimista e Cenário Referência x Cenário Otimista.

Os resultados obtidos na PEGGEE podem ser comparados com aqueles obtidos no WARM, ou seja, os resultados do WARM são úteis para que a PEGGEE possa ser aferida e legitimada. Cabe ressaltar que os valores representados entre parênteses referem-se a números negativos, o que indica uma redução da variável analisada comparando os cenários. A seguir, segue representada a discussão sobre os resultados obtidos nas planilhas, que podem ser analisados através da TABELA 5.1.

TABELA 5.1 Resultados dos Cenários Aplicados na PEGGEE e no WARM

		Comparação entre cenários					
		Referência	Pessimista	Referência	Pouco Otimista	Referência	Otimista
Descrição							
PEGGEE (GJ)	Deixa de Gerar	134.265,50	-	134.265,50	-	134.265,50	-
	Queima Cerca de	-	1.385,30	-	-	-	-
	Tem Potencial para Gerar	-	-	-	3.350,70	-	(5.752,48)
	Consumo de Energia	11.769,35	11.754,20	11.769,35	(57.498,02)	11.769,35	(81.236,60)
	Varição Total		(15,09)		(62.268,56)		(93.008,94)
WARM (MBTU)	Consumo de Energia	11.072,00	11.072,00	438,00	(54.505,00)	438,00	(76.998,00)
	Varição Total		0,00		(54.943,00)		(77.436,00)
Emissões de GEE (tCO ₂ e)	Materiais aterrados	6.752,04	393,17	7.121,33	658,82	8.395,61	1.283,08
	Transporte de materiais	1,07	0,07	1,07	0,21	1,07	0,21
	Varição Total		(16.597,30)		(22.869,93)		(26.675,70)
PAG	Potencial de Aquecimento Global	2.994,37	56,67	5.814,38	407,67	15.545,20	1.871,20

✓ Referência x Cenário Pessimista

Ambos cenários apresentam características conservadoras de gestão de RSU. Com os resultados, pode-se observar que o cenário Referência deixa de gerar cerca de 134.265,5 GJ de energia, enquanto o Cenário Pessimista queima, por apresentar um flare, cerca de 1.385,3 GJ.

Os valores obtidos com o WARM corroboram com os valores obtidos na PEGGEE, quando apresenta que o consumo de energia para ambos cenários é de 11.072 MBTU, enquanto na PEGGEE o consumo de energia para o cenário Referência é de 11.769 GJ e para o Cenário Pessimista de 11.754,26 GJ. Diante desses resultados, constata-se que o WARM não permite a criação de cenários com características operacionais distintas, ou seja, caso o usuário, utilizando o WARM, escolha definir um

aterro sem recuperação de energia, por exemplo, essa característica será adotada para os dois cenários. Já na PEGGEE é permitido ao usuário criar situações para cada um dos cenários passíveis de avaliação. Essa afirmação pode ser confirmada pelo fato da PEGGEE apresentar uma variação de 15,09 GJ entre os cenários propostos, o que significa que a prática de gestão adotada economiza energia na destinação final dos materiais e o WARM apresentar uma variação de 0,00 GJ.

Quanto as emissões de GEE, a comparação entre esses cenários apresenta uma variação de 16.597,28 tCO₂e, que retrata que a adoção do cenário pessimista como prática de gestão de RSU pode reduzir o potencial de aquecimento global em 2.937,70 vezes. Tal fato comprova que é mais viável queimar o biogás em flare em vez de não adotar nenhum sistema de recuperação de gases, pois o metano gerado (potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO₂) é convertido em dióxido de carbono na queima e emitido na atmosfera.

✓ Referência x Cenário Pouco Otimista

O Cenário Pouco Otimista buscar viabilizar a implantação de um sistema de recuperação de gases para geração energia em detrimento de um cenário que não apresenta recuperação de gases (Referência).

O Cenário Pouco Otimista, que propõe uma eficiência na recuperação de gases de 75%, tem potencial para gerar cerca de 3.350, 7 GJ o que equivale a 93.250 kWh (quilowatt hora). Esse potencial de geração de energia, após uma avaliação da viabilidade econômica e social, pode conduzir a implantação de uma usina termelétrica fazendo com que seja atendida, ainda que parcialmente a demanda energética do aterro.

A comparação entre esses cenários proporciona uma variação de 62.268,6 GJ, mostrando que as práticas de gestão adotada economizam energia no ciclo de vida dos produtos. Merece destaque também o valor de 22.869,9 tCO₂e, que representa as variações nas emissões de GEE para os cenários propostos que evidencia a viabilidade ambiental de se realizar o aproveitamento energético do biogás.

Caso o Cenário Pouco Otimista seja colocado em prática irá ocorrer a diminuição do potencial de aquecimento global em 5.406,7 vezes, que pode viabilizar a comercialização de créditos de carbono através do mecanismo de desenvolvimento limpo proposto pelo Protocolo de Kyoto.

✓ Referência x Cenário Otimista

A comparação entre esses cenários objetiva avaliar a implantação de um programa de educação ambiental pautado na política dos e R's, objetivando a redução de 3% ao ano.

Os resultados mostram que o cenário otimista tem potencial para gerar cerca de 5.752,5 GJ de energia, além de promover uma variação entre o cenário Referência e o Otimista na casa de 93.008,9 GJ. No WARM, essa variação é representada pelo valor de 77.436 MBTU, certamente pelo fato desse aplicativo não proporcionar a comparação diferenciada para os dois cenários.

O resultado mais relevante dessa comparação é a redução do potencial de aquecimento global de 13.674 vezes em relação ao cenário Referência. Por isso, assim como a comparação anterior, deve-se buscar a comercialização de créditos de carbono, pois o aproveitamento do biogás para geração de energia diminui a emissão de metano na atmosfera.

6. CONCLUSÕES

A ausência de áreas adequadas para a disposição final dos resíduos e a escassez de energia elétrica constituem-se dois dos problemas graves enfrentados pelo Brasil. Esses dois problemas podem ser significativamente minimizados por meio da geração de energia a partir dos resíduos sólidos e de outras fontes ecologicamente mais adequadas.

A inauguração do novo aterro sanitário municipal irá possibilitar ao município de Itajubá-MG a geração de energia através da captação e recuperação dos gases gerados a partir da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Em função disto, devem ser adotados programas voltados para a gestão adequada do aterro sanitário. Estes programas devem ser apoiados em políticas públicas desenvolvidas nos municípios.

Em Itajubá-MG nota-se que existem programas voltados para coleta seletiva e o respectivo encaminhamento para a reciclagem que é executada pela prefeitura municipal em parceria com a ACIMAR. Estes programas podem ser fortalecidos e apoiados a partir do instante em que exista um panorama tangível de ser alcançado, que pode ser representado pela criação de cenários de práticas de manejo de RSU.

Diante disso, tem-se que, para os cenários de gestão apresentados no presente trabalho, propostos para o município de Itajubá – MG, verificou-se que o cenário otimista apresenta maior viabilidade ambiental em relação ao cenário referência por permitir a diminuição da quantidade de materiais a ser aterrados além de apresentar viabilidade de compostagem de 75% dos resíduos orgânicos alimentares. Ressalta-se ainda, que a adoção do cenário otimista poderá reduzir em aproximadamente 15 vezes o potencial de aquecimento global frente ao cenário referencia.

Porém, recomenda-se que para estudos futuros sejam avaliados os aspectos econômicos para atestar a viabilidade da instalação do sistema de recuperação de gases no aterro.

A viabilidade econômica pode ser obtida calculando a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL) para os cenários propostos, para que os usuários tenham uma estimativa de investimento, variável em função da energia mensal, da tarifa de energia, do fator de capacidade e do custo de instalação, obtendo, portanto, o total do investimento e a receita mensal.

Ao aplicar os cenários na PEGGEE, tem-se que apesar de não apresentar grandes vantagens, as comparações com os outros cenários (pessimista e pouco otimista) já apresentam uma grande evolução no contexto da gestão de RSU por ter tido como referência um cenário (referência) que representa poucas práticas viáveis do ponto de vista ambiental.

A PEGGEE demonstra que é possível criar hipóteses de gerenciamento integrado de RSU, porém, nunca se deve abrir mão de dados coletados na prática, pois os valores apresentados na literatura para o potencial de geração de gases (L_0) e a taxa de produção do mesmo (k), apesar de serem bastante utilizados, não substituem os valores evidenciados em medições realizados “in loco”. O processo de avaliação da geração do biogás não deve se apoiar apenas nas quantidades de metano gerada, mas sim, nos diversos fatores existentes, o que faz com que estudos futuros possam indicar as características peculiares dos municípios brasileiros e assim serem inseridas na PEGGEE como forma de contextualizar melhor a situação.

A PEGGEE torna-se então um útil aplicativo para o gerenciamento integrado dos RSU, por ser um software livre que poderá, após futuros trabalhos, se tornar mais estável, com mais recursos e mais abrangente, atendendo as necessidades dos usuários. Para isso, assim como ocorre com o WARM[®], a PEGGEE deverá contar com um sistema de registro de atualizações, onde cada programador que realizar a alteração deverá registrar a modificação de modo a deixar explícito todo o processo de construção do aplicativo.

A calibração da PEGGEE, que deverá contar com o suporte técnico da Companhia Ambiental Paulista (CETESB), da Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM-MG) e de outras entidades que atuam na gestão de RSU, deverá ser feita através de novos estudos, onde poderá ser utilizado dados de aterros em operação, como por exemplo, o Aterro Bandeirantes, que representa atualmente o melhor modelo de recuperação de gases gerados a partir dos RSU no Brasil.

A PEGGEE deverá ser registrada junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual) objetivando a expedição do Certificado de Registro, que tornará este aplicativo ainda mais seguro e útil para que gestores públicos municipais, empresários e demais interessados nas tomadas de decisões, no que se refere ao gerenciamento adequado dos RSU, possam utilizá-los e decidir a prática a ser adotada.

Para que qualquer programa de gerenciamento integrado de resíduos possa ser bem sucedido, é necessário que o sistema de coleta, logística e destinação final dos RSU estejam contemplados como práticas corretas de gestão e manejo, para que à partir dessas práticas, surjam novos programas voltados para a educação ambiental, coleta seletiva, reciclagem e finalmente a compostagem.

Finalmente, diante do cenário de preocupação ambiental que a humanidade está inserida, nunca é demais apoiar iniciativas que contribuam para o desenvolvimento sustentável, sempre pautado na gestão ambiental, onde todos os atores envolvidos, dentre eles, comunidades, administradores, empresas públicas e privadas, entre outros, assumam o papel de responsabilidade na geração e na destinação final dos resíduos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIMAR. Associação dos Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis. Material coletado no Município no ano de 2010. Arquivo próprio. 2010.

ADHIKARI, Bijaya K.; BARRINGTON, Suzelle; MARTINEZ, José. Predicted growth of world urban food waste and methane production. **Waste Management & Research**, [s. L.], n. , p.421-433, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

ANEJA, Jonathan. **Visual Basic 2010: What's New in Visual Basic 2010**. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/EN-US/LIBRARY/EE336123.ASPX>>. Acesso em: 06 jun. 2010.

BANCO MUNDIAL. **Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe Banco Mundial: Compreendendo o Recurso do Gás de Aterro Sanitário e as Aplicações Potenciais**. Disponível em: <<http://www.bancomundial.org.ar/lfg/Archivos/Brasil/section2.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

BARROS, Regina Mambeli; OLIVEIRA, Mirian Ribeiro; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Avaliação da Redução na Produção de Gases no Aterro Sanitário Municipal de Itajubá-MG, em decorrência do Tratamento dos Resíduos Sólidos Orgânicos Retidos nas Grades da Tomada D'água da Pch Luiz Dias. **Cerpch**, Itajubá, p.18-23, 2008.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr (1999). **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos, EESC/USP.

CASSINI, S. T. (coord.). **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro : RiMa, ABES, 2003. 196p. Projeto PROSAB.

CETESB. Manual do Usuário do Programa Biogás: geração e uso energético – aterros. Versão 1.0. Secretaria do Meio Ambiente e Ministério de Ciência e Tecnologia. São Paulo: SMA:CETESB:MCT. 2006. 65 p.

DUARTE, Carlos Roberto. **Gasto Energético, Ingestão Calórica e Condições Gerais de Saúde de Coletores de Lixo de Florianópolis**. 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro, 2008.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais / Fundação Estadual do Meio Ambiente; Centro Clima. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2008.

GODINHO FILHO, Moacir; JUNQUEIRA, Rogério de Ávila Ribeiro. Problema do Carteiro Chinês: escolha de métodos de solução e análise de tempos computacionais. **Revista Produção**, São Paulo, v. 16, p.538-551, dez. 2006.

GOMES, Francis Soares; LIMA, Ligia Maria Pereira; LINS, Liana de Melo e Silva Sampaio; NAPOLEÃO, Thiago Henrique, SANTOS Nataly Diniz de Lima; VASCONCELOS, Simão Dias. Geração, Coleta e Impacto dos Resíduos Sólidos Produzidos no Carnaval de Recife. **Holos Environment**, v. 7, n. 2, p.191-201, 1 jan. 2007.

GONÇALVES, Andriani Tavares Tenório. **Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos Domiciliares e Comerciais do Município de Itajubá - MG**. 2007. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

GONÇALVES, José Aparecido; OLIVEIRA, Fabiana G. de; SILVA, Diogo T. A. da. Dezoito anos catando papel em Belo Horizonte. **Estudos Avançados**. v. 63, n. 22, p.231-238, 2008.

HENRIQUE, Alfredo. **Maratonistas do dia-a-dia:** Alguns profissionais percorrem mais de 30 quilômetros durante a jornada de trabalho. Disponível em: <<http://www.diariodeguarulhos.com.br/jornal/dgnews/jornal/materia.jsp?id=6897&ca=13>>. Acesso em: 07 jun. 2010.

HENRIQUES, Rachel Martins. **Aproveitamento Energético dos Resíduos. Sólidos Urbanos: uma Abordagem. Tecnológica.** 2004. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/previdencia/noticias/27032002pnsb.shtm>. Acessado em: 03/03/2010.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: Volume 1, Aterros Sanitários. Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009. Disponível em http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/biogas_vol1.pdf. Acessado em 10 de janeiro de 2010.

IWASAKI, Luis Fernando Lopes; ANDRADE, Josué Cordeiro De; PONTES, Otávio Busatto; DOMINQUINI, Rafael Baboni. Aproveitamento do Metano do Lixo para Produção de Energia Elétrica e Cota de Carbono. **Revista Ciências do Ambiente Online**, Campinas, v. 5, n. 2, p.1-4, dez. 2009. Disponível em: <<http://143.106.62.15/be310/include/getdoc.php?id=660&article=208&mode=pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2010.

LA ROVERE, Emilio Lèbre; COSTA, Claudia do Valle; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt. **Aterros Sanitários no Brasil e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL):** Oportunidades de promoção de desenvolvimento sócio-ambiental. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/dubeux_costa_rovere.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2010.

LEITE, Luiz Edmundo H. B. da Costa; MAHLER, Cláudio Fernando; BRITTO FILHO, Luiz Fernando. Avaliação do Potencial de Receitas derivadas do Biogás de Aterros. In: 23 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. **Anais**. Abes - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-204.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2009.

MACÊDO, Rafael Freire de. Inventário de Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) Geradas por Fontes Móveis no Estado do Rio Grande do Norte – Período de Janeiro de 2003 a Junho de 2004. **Holos**, Natal, n. , p.1-10, 01 out. 2004.

MASSUKADO, Luciana Miyoko; SCHALCH, Valdir. Simulação no Ensino de Engenharia: Avaliando a Aplicação do Software Simgere sob o Paradigma do “Aprender A Aprender. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 26, n. 2, p.40-46, 2007.

MASSUKADO, Luciana Miyoko; ZANTA, Viviana Maria. Aplicação do Software Simgere para Avaliação da Gestão dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de São Carlos/SP. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. 2005, Campo Grande. **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Campo Grande: Abes, 2005.

MASSUKADO, Luciana Miyoko.; ZANTA, Viviana Maria. SIMGERE – Software para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2006. Vol.11 - nº 2, pp. 133-142.

MELO, Lucas Araújo de; SAUTTER, Klaus Dieter; JANISSEK, Paulo Roberto. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 4, p.551-558, 2009.

MENDES, Luiz Gustavo Galhardo; MAGALHÃES SOBRINHO , Pedro. Comparação entre métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. **Revista Biociência**, Taubaté, v. 13, n. 3-4, p.134-142, Julho-Dezembro. 2007.

MUYLAERT, Maria Silvia, coord. **Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL – do Protocolo de Quioto** – Estudos de Caso. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2000. 247 p.

NASCIMENTO NETO, Paulo; MOREIRA, Tomás Antonio. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana de Curitiba: Política Regional de Compostagem. **Revista Geografar**, Curitiba, v. 4, n. 2, p.72-96. 2009.

PECORA, Vanessa; FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Vérdi de; COELHO, Suani Teixeira; VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González. **Biogás e o Mercado de Crédito de Carbono**. São Paulo: Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO. Universidade de São Paulo – USP. 2008.

PIERONI, Marcela Fernandes; BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. Avaliação da produção de biogás proveniente do aterro sanitário do município de Itajubá – MG, por meio do programa “Biogás: geração e uso energético – aterro. In: **SEMINÁRIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIAS RENOVÁVEIS**. 2010, Itajubá/MG.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAJUBÁ – PMI. Localização. Disponível em <http://www.itajuba.mg.gov.br/localizacao.php>. Acessado em 23 de maio de 2010.

REMEDIO, Marcus Vinicius P.; MANCINI, Sandro D.; ZANIN, Maria. Potencial de Reciclagem de Resíduos em um Sistema com Coleta de Lixo Comum. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 1, p.58-69, jan-abr. 2002.

RIBEIRO, Helena; BESEN, Gina Rizpah. Panorama da Coleta Seletiva no Brasil: Desafios e Perspectivas A Partir de Três Estudos de Caso. **Interfacehs**, São Paulo, v. 2, n. 4, p.1-18, ago. 2007.

SANTOS, André Feijó da Silva. Estudo de Viabilidade de Aplicação do Biogás no Ambiente Urbano. Ribeirão Preto: Faculdade de Economia e Administração. Ribeirão Preto - SP, 2009. 15 p. Disponível em:

<<http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/publicacoes.asp>>. Acesso em: 05 fev. 2010.

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná. Inventário de Emissão de CO₂ da SEMA-PR visando sua redução e neutralização . Curitiba. 2009. Disponível em: <www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Inventario2009.doc>. Acesso: 03 maio 2010.

SEGALA, Karin (coord) (2000a). **Gestão integrada de resíduos sólidos**. Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM. 40 p.

SEGALA, Karin (coord) (2000b). **Redução de emissões na disposição final**. Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM. 40 p.

SEGRETI, João Bosco; BITO, Nelson Satio. Crédito de Carbono: um estudo de caso da empresa NovaGerar. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**. São Paulo. v. 8, n. 21, p.82-91, mai-ago. 2006.

SILVA, C.L., RABELO, J.M., RAMAZZOTTE, V., ROSSI, L.F. & BOLLAMAN, H.A.. A cadeia de biogás e a sustentabilidade local: uma análise socioeconômica ambiental da energia de resíduos sólidos urbanos do aterro da Caximba em Curitiba. **Revista Innovar**, Bogotá, v. 19, n. 34, p.83-98, mai-ago. 2009

SOUZA, Artur Faccin de; D'OLIVEIRA, Pécio Sandir. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE CASTELO BRANCO - PR. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 2, n. 2, p.93-100, 2009.

TEIXEIRA, Cláudia Echevengúá; TORVES, Jaqueline Corrêa; FINOTTI, Alexandra Rodrigues; FEDRIZZI, Franciele; MARINHO, Fernando Antônio Medeiros; TEIXEIRA, Paula Fernanda. Estudos sobre a oxidação aeróbia do metano na cobertura

de três aterros sanitários no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 1, p.99-108, jan-mar. 2009.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Solid Waste Management and Greenhouse Gases A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks**. 3 ed. 2006. 140 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Manual do Usuário do Programa Landfill Gas Emissions Modelo – LandGEM. Versão 3.02**. Washington, DC. 2005. 48 p.

VANZIN, E. et al. Uso do Biogás em Aterro Sanitário como Fonte de Energia Alternativa: Aplicação de Procedimento para Análise da Viabilidade Econômica no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla. In: II SEMINÁRIO SOBRE SUSTENTABILIDADE., 2007, Curitiba. **Anais**. [s. L.]: Fae, 2007. p. 1 - 13.

VELLOSO, Thiago. Meu lixo é minha vida: **Pesquisa da Comlurb mostra hábitos cariocas**. Disponível em <http://www.riotemporada.com.br/2008/meu-lixo-e-minha-vida-pesquisa-da-comlurb-mostra-habitos-cariocas/>. Acessado em 05/03/2010.

VILHENA, A (coord.) **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 3 ed. São Paulo: CEMPRE. 2010

WILSON, E. J.. Life cycle inventory for Municipal Solid Waste management: Part 2: MSW management scenarios and modeling. **Waste Management & Research**. p.23-36, out. 2001.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio De Janeiro, 2009.

ANEXO A. Emissão de GEE e Consumo de Energia. Materiais 100% Virgens

Fatores de Emissão em Toneladas de Carbono Equivalente (tCe)

MATERIAL	Emissões de GEE por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Reciclado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Aterrado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Queimado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Compostado (tCe)
Latas de Alumínio	(4,29)	(3,72)	0,01	0,02	N
Latas de Aço	(1,01)	(0,49)	0,01	(0,42)	N
Fio de Cobre	(2,03)	(1,35)	0,01	0,01	N
Vidro	(0,16)	(0,08)	0,01	0,01	N
PEAD	(0,54)	(0,38)	0,01	0,28	N
PEBD	(0,65)	(0,47)	0,01	0,28	N
PET	(0,59)	(0,42)	0,01	0,31	N
Papel ondulado	(2,21)	(0,85)	0,10	(0,17)	N
Revistas	(2,44)	(0,84)	(0,08)	(0,12)	N
Jornal	(1,63)	(0,76)	(0,24)	(0,19)	N
Papel Oficio	(2,26)	(0,78)	0,51	(0,16)	N
Agenda Telefônica	(1,72)	(0,73)	(0,24)	(0,19)	N
Livros	(2,58)	(0,85)	0,51	(0,16)	N
Caco de madeira	(0,55)	(0,67)	(0,14)	(0,20)	N
Chapa de madeira	(0,61)	(0,67)	(0,14)	(0,20)	N
Resto de Alimentos	0,00	N	0,19	(0,04)	(0,05)
Poda	0,00	N	(0,05)	(0,06)	(0,05)
Gramma	0,00	N	0,05	(0,06)	(0,05)
Folhas	0,00	N	(0,16)	(0,06)	(0,05)
Ramos	0,00	N	(0,14)	(0,06)	(0,05)
Papéis misturados (largo)	N	(0,96)	0,09	(0,17)	N
Papéis misturados (resid)	N	(0,96)	0,06	(0,17)	N
Papéis misturados (escritório)	N	(0,93)	0,12	(0,15)	N
Metais misturados	N	(1,48)	0,01	(0,29)	N
Plásticos misturados	N	(0,42)	0,01	0,30	N
Recicláveis misturados	N	(0,78)	0,05	(0,15)	N
Orgânicos misturados	N	N	0,07	(0,05)	(0,05)
RSU misturados	N	N	0,41	(0,04)	N
Tapete	(1,10)	(1,97)	0,01	0,13	N
Computadores pessoais	(15,21)	(0,62)	0,01	(0,05)	N
Tijolo de barro	(0,08)	N	0,01	N	N
Concreto	N	0,00	0,01	N	N
Cinza	N	(0,24)	0,01	N	N
Pneus	(1,09)	(0,50)	0,01	0,02	N

Valores representados entre parênteses referem-se a números negativos.

N – não aplicável

Fatores de Emissão em Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO₂e)

MATERIAL	Emissões de GEE por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Reciclado (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Aterrado (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Queimado (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Compostado (tCO ₂ e)
Latas de Alumínio	(15,71)	(13,63)	0,04	0,06	N
Latas de Aço	(3,70)	(1,80)	0,04	(1,54)	N
Fio de Cobre	(7,46)	(4,96)	0,04	0,05	N
Vidro	(0,60)	(0,28)	0,04	0,05	N
PEAD	(1,99)	(1,40)	0,04	1,04	N
PEBD	(2,38)	(1,71)	0,04	1,04	N
PET	(2,18)	(1,55)	0,04	1,14	N
Papel ondulado	(8,10)	(3,10)	0,38	(0,61)	N
Revistas	(8,96)	(3,07)	(0,31)	(0,44)	N
Jornal	(5,97)	(2,80)	(0,87)	(0,69)	N
Papel Ofício	(8,29)	(2,85)	1,85	(0,58)	N
Agenda Telefônica	(6,30)	(2,66)	(0,87)	(0,69)	N
Livros	(9,45)	(3,11)	1,85	(0,58)	N
Caco de madeira	(2,02)	(2,46)	(0,50)	(0,73)	N
Chapa de madeira	(2,23)	(2,47)	(0,50)	(0,73)	N
Resto de Alimentos	0,00	N	0,71	(0,16)	(0,20)
Poda	0,00	N	(0,18)	(0,20)	(0,20)
Gramma	0,00	N	0,17	(0,20)	(0,20)
Folhas	0,00	N	(0,57)	(0,20)	(0,20)
Ramos	0,00	N	(0,50)	(0,20)	(0,20)
Papéis misturados (largo)	N	(3,51)	0,32	(0,61)	N
Papéis misturados (resid)	N	(3,51)	0,23	(0,61)	N
Papéis misturados (escritório)	N	(3,42)	0,43	(0,55)	N
Metais misturados	N	(5,41)	0,04	(1,05)	N
Plásticos misturados	N	(1,53)	0,04	1,09	N
Recicláveis misturados	N	(2,87)	0,18	(0,53)	N
Orgânicos misturados	N	N	0,26	(0,18)	(0,20)
RSU misturados	N	N	1,51	(0,14)	N
Tapete	(4,02)	(7,22)	0,04	0,47	N
Computadores pessoais	(55,76)	(2,27)	0,04	(0,19)	N
Tijolo de barro	(0,29)	N	0,04	N	N
Concreto	N	(0,01)	0,04	N	N
Cinza	N	(0,87)	0,04	N	N
Pneus	(4,01)	(1,84)	0,04	0,09	N

Valores representados entre parênteses referem-se a números negativos.

N – não aplicável

Consumo de Energia Referente ao Ciclo de Vida dos Materiais

MATERIAL	Energia poupada por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Reciclado (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Aterrado (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Queimado (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Compostado (GJ)
Latas de Alumínio	(252,06)	(217,77)	0,56	0,69	N
Latas de Aço	(38,54)	(21,07)	0,56	(18,03)	N
Fio de Cobre	(130,11)	(87,13)	0,56	0,62	N
Vidro	(7,90)	(2,25)	0,56	0,58	N
PEAD	(74,18)	(53,70)	0,56	(20,69)	N
PEBD	(81,11)	(59,09)	0,56	(20,69)	N
PET	(76,79)	(55,74)	0,56	(10,59)	N
Papel ondulado	(28,34)	(15,88)	0,56	(7,61)	N
Revistas	(35,09)	(0,73)	0,56	(5,60)	N
Jornal	(42,93)	(17,40)	0,56	(8,62)	N
Papel Ofício	(39,33)	(10,63)	0,56	(7,33)	N
Agenda Telefônica	(42,06)	(12,36)	0,56	(8,62)	N
Livros	(37,28)	(0,87)	0,56	(7,33)	N
Caco de madeira	(3,72)	0,62	0,56	(9,02)	N
Chapa de madeira	(12,25)	0,91	0,56	(9,02)	N
Resto de Alimentos	0	N	0,56	(2,35)	0,61
Poda	0	N	0,56	(2,84)	0,61
Gramma	0	N	0,56	(2,84)	0,61
Folhas	0	N	0,56	(2,84)	0,61
Ramos	0	N	0,56	(2,84)	0,61
Papéis misturados (largo)	N	(22,61)	0,56	(7,64)	N
Papéis misturados (resid)	N	(22,61)	0,56	(7,60)	N
Papéis misturados (escritório)	N	(14,72)	0,56	(6,99)	N
Metais misturados	N	(81,12)	0,56	0,59	N
Plásticos misturados	N	(55,66)	0,56	(16,29)	N
Recicláveis misturados	N	(17,48)	0,56	(7,62)	N
Orgânicos misturados	N	N	0,56	(2,45)	0,61
RSU misturados	N	N	0,56	(10,23)	N
Tapete	(96,07)	(111,39)	0,56	(15,07)	N
Computadores pessoais	(1.009,36)	(45,83)	0,56	(6,10)	N
Tijolo de barro	(5,41)	N	0,56	N	N
Concreto	N	(0,12)	0,56	N	N
Cinza	N	(5,03)	0,56	N	N
Pneus	(93,02)	(54,82)	0,56	(13,85)	N

Valores representados entre parênteses referem-se a números negativos.

N – não aplicável

ANEXO B. Emissão de GEE e Consumo de Energia. Materiais NÃO Virgens

Fatores de Emissão em Toneladas de Carbono Equivalente (tCe)

MATERIAL	Emissões de GEE por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Reciclado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Aterrado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Queimado (tCe)	Emissões de GEE por tonelada de Material Compostado (tCe)
Latas de Alumínio	(2,26)	(3,72)	0,01	0,02	N
Latas de Aço	(0,87)	(0,49)	0,01	(0,42)	N
Fio de Cobre	(2,02)	(1,35)	0,01	0,01	N
Vidro	(0,14)	(0,08)	0,01	0,01	N
PEAD	(0,49)	(0,38)	0,01	0,28	N
PEBD	(0,62)	(0,47)	0,01	0,28	N
PET	(0,58)	(0,42)	0,01	0,31	N
Papel ondulado	(1,53)	(0,85)	0,10	(0,17)	N
Revistas	(2,36)	(0,84)	(0,08)	(0,12)	N
Jornal	(1,33)	(0,76)	(0,24)	(0,19)	N
Papel Oficio	(2,18)	(0,78)	0,51	(0,16)	N
Agenda Telefônica	(1,72)	(0,73)	(0,24)	(0,19)	N
Livros	(2,49)	(0,85)	0,51	(0,16)	N
Caco de madeira	(0,55)	(0,67)	(0,14)	(0,20)	N
Chapa de madeira	(0,61)	(0,67)	(0,14)	(0,20)	N
Resto de Alimentos	0,00	N	0,19	(0,04)	(0,05)
Poda	0,00	N	(0,05)	(0,06)	(0,05)
Gramma	0,00	N	0,05	(0,06)	(0,05)
Folhas	0,00	N	(0,16)	(0,06)	(0,05)
Ramos	0,00	N	(0,14)	(0,06)	(0,05)
Papéis misturados (largo)	N	(0,96)	0,09	(0,17)	N
Papéis misturados (resid)	N	(0,96)	0,06	(0,17)	N
Papéis misturados (escritório)	N	(0,93)	0,12	(0,15)	N
Metais misturados	N	(1,48)	0,01	(0,29)	N
Plásticos misturados	N	(0,42)	0,01	0,30	N
Recicláveis misturados	N	(0,78)	0,05	(0,15)	N
Orgânicos misturados	N	N	0,07	(0,05)	(0,05)
RSU misturados	N	N	0,41	(0,04)	N
Tapete	(1,10)	(1,97)	0,01	0,13	N
Computadores pessoais	(15,21)	(0,62)	0,01	(0,05)	N
Tijolo de barro	(0,08)	N	0,01	N	N
Concreto	N	0,00	0,01	N	N
Cinza	N	(0,24)	0,01	N	N
Pneus	(1,09)	(0,50)	0,01	0,02	N

Valores representados entre parênteses referem-se a números negativos.

N – não aplicável

Fatores de Emissão em Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO₂e)

MATERIAL	Emissões de GEE por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Reciclado (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Aterrado (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Queimado (tCO ₂ e)	Emissões de GEE por tonelada de Material Compostado (tCO ₂ e)
Latas de Alumínio	(8,27)	(13,63)	0,04	0,06	N
Latas de Aço	(3,19)	(1,80)	0,04	(1,54)	N
Fio de Cobre	(7,39)	(4,96)	0,04	0,05	N
Vidro	(0,53)	(0,28)	0,04	0,05	N
PEAD	(1,81)	(1,40)	0,04	1,04	N
PEBD	(2,29)	(1,71)	0,04	1,04	N
PET	(2,12)	(1,55)	0,04	1,14	N
Papel ondulado	(5,60)	(3,10)	0,38	(0,61)	N
Revistas	(8,66)	(3,07)	(0,31)	(0,44)	N
Jornal	(4,89)	(2,80)	(0,87)	(0,69)	N
Papel Ofício	(8,00)	(2,85)	1,85	(0,58)	N
Agenda Telefônica	(6,30)	(2,66)	(0,87)	(0,69)	N
Livros	(9,15)	(3,11)	1,85	(0,58)	N
Caco de madeira	(2,02)	(2,46)	(0,50)	(0,73)	N
Chapa de madeira	(2,23)	(2,47)	(0,50)	(0,73)	N
Resto de Alimentos	0,00	N	0,71	(0,16)	(0,20)
Poda	0,00	N	(0,18)	(0,20)	(0,20)
Gramma	0,00	N	0,17	(0,20)	(0,20)
Folhas	0,00	N	(0,57)	(0,20)	(0,20)
Ramos	0,00	N	(0,50)	(0,20)	(0,20)
Papéis misturados (largo)	N	(3,51)	0,32	(0,61)	N
Papéis misturados (resid)	N	(3,51)	0,23	(0,61)	N
Papéis misturados (escritório)	N	(3,42)	0,43	(0,55)	N
Metais misturados	N	(5,41)	0,04	(1,05)	N
Plásticos misturados	N	(1,53)	0,04	1,09	N
Recicláveis misturados	N	(2,87)	0,18	(0,53)	N
Orgânicos misturados	N	N	0,26	(0,18)	(0,20)
RSU misturados	N	N	1,51	(0,14)	N
Tapete	(4,02)	(7,22)	0,04	0,47	N
Computadores pessoais	(55,76)	(2,27)	0,04	(0,19)	N
Tijolo de barro	(0,29)	N	0,04	N	N
Concreto	N	(0,01)	0,04	N	N
Cinza	N	(0,87)	0,04	N	N
Pneus	(4,01)	(1,84)	0,04	0,09	N

Valores representados entre parênteses referem-se a números negativos.

N – não aplicável

Consumo de Energia Referente ao Ciclo de Vida dos Materiais

MATERIAL	Energia poupada por Tonelada de Material Reduzido na Fonte (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Reciclado (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Aterrado (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Queimado (GJ)	Energia poupada por tonelada de Material Compostado (GJ)
Latas de Alumínio	(133,16)	(217,77)	0,56	0,69	N
Latas de Aço	(32,52)	(21,07)	0,56	(18,03)	N
Fio de Cobre	(129,07)	(87,13)	0,56	0,62	N
Vidro	(7,31)	(2,25)	0,56	0,58	N
PEAD	(67,27)	(53,70)	0,56	(20,69)	N
PEBD	(78,07)	(59,09)	0,56	(20,69)	N
PET	(74,64)	(55,74)	0,56	(10,59)	N
Papel ondulado	(23,22)	(15,88)	0,56	(7,61)	N
Revistas	(35,05)	(0,73)	0,56	(5,60)	N
Jornal	(38,45)	(17,40)	0,56	(8,62)	N
Papel Ofício	(38,60)	(10,63)	0,56	(7,33)	N
Agenda Telefônica	(42,06)	(12,36)	0,56	(8,62)	N
Livros	(37,23)	(0,87)	0,56	(7,33)	N
Caco de madeira	(3,72)	0,62	0,56	(9,02)	N
Chapa de madeira	(12,25)	0,91	0,56	(9,02)	N
Resto de Alimentos	0,00	N	0,56	(2,35)	0,61
Poda	0,00	N	0,56	(2,84)	0,61
Gramma	0,00	N	0,56	(2,84)	0,61
Folhas	0,00	N	0,56	(2,84)	0,61
Ramos	0,00	N	0,56	(2,84)	0,61
Papéis misturados (largo)	N	(22,61)	0,56	(7,64)	N
Papéis misturados (resid)	N	(22,61)	0,56	(7,60)	N
Papéis misturados (escritório)	N	(14,72)	0,56	(6,99)	N
Metais misturados	N	(81,12)	0,56	0,59	N
Plásticos misturados	N	(55,66)	0,56	(16,29)	N
Recicláveis misturados	N	(17,48)	0,56	(7,62)	N
Orgânicos misturados	N	N	0,56	(2,45)	0,61
RSU misturados	N	N	0,56	(10,23)	N
Tapete	(96,07)	(111,39)	0,56	(15,07)	N
Computadores pessoais	(1.009,36)	(45,83)	0,56	(6,10)	N
Tijolo de barro	(5,41)	N	0,56	N	N
Concreto	N	(0,12)	0,56	N	N
Cinza	N	(5,03)	0,56	N	N
Pneus	(93,02)	(54,82)	0,56	(13,85)	N

Valores representados entre parênteses referem-se a números negativos.

N – não aplicável