



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**SYNTIA MENESES SILVA**

**ESTUDO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS E DA VIDA ÚTIL  
DO ATERRO SANITÁRIO COM A VALORIZAÇÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DE FEIRA DE  
SANTANA - BA**

Feira de Santana  
2017

**SYNTIA MENESES SILVA**

**ESTUDO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS E DA VIDA ÚTIL  
DO ATERRO SANITÁRIO COM A VALORIZAÇÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DE FEIRA DE  
SANTANA - BA**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental.

Profa. Orientadora: Dra. Sandra Maria Furiam Dias.

**SYNTIA MENESES SILVA**

**ESTUDO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS E DA VIDA ÚTIL  
DO ATERRO SANITÁRIO COM A VALORIZAÇÃO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DE FEIRA DE  
SANTANA - BA**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovada em:

05/09/2017

---

Profa. Sandra Maria Furiam Dias, D. Sc. (UEFS)  
(Orientadora)

---

Prof. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva, D. Sc. (UEFS)  
(Co-Orientador)

---

Profa. Maria do Socorro Costa São Mateus, D. Sc. (UEFS)  
(Membro)

---

Prof. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros, D. Sc. (UFMG)  
(Membro)

### Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado

S583e Silva, Syntia Meneses

Estudo dos impactos energéticos e da vida útil do aterro  
sanitário com a valorização dos resíduos sólidos urbanos : o  
caso de Feira de Santana - BA / Syntia Meneses Silva. - 2017.  
107 f.: il.

Orientadora: Sandra Maria Furiam Dias.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Feira de  
Santana, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e  
Ambiental,  
2017.

1. Gestão de resíduos sólidos urbanos. 2. Resíduos sólidos  
urbanos – Tratamento. 3. Aterro sanitário - Feira de Santana, BA.  
I. Dias, Sandra Maria Furiam, orient. II. Universidade Estadual de  
Feira de Santana.  
III. Título.

CDU: 628.4(814.22)

*À minha família, com muito amor.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus passos, capacitar-me e por ter colocado pessoas tão especiais ao meu lado, sem as quais certamente não teria dado conta!

À minha família, pelo apoio incondicional, e em especial, à minha mãe e irmã, pelas palavras sábias e por sempre acreditarem que eu conseguiria.

Ao meu querido esposo Cláudio, pelo carinho e companheirismo, por aguentar meus desabafos, minhas angústias, minhas ausências e pelo apoio de sempre. Obrigada por tudo, inclusive por ter sonhado junto comigo!

Ao professor Luciano Vaz (*in memoriam*), pela oportunidade, por todos os ensinamentos, por acreditar em mim, pelas palavras de conforto quando achava que eu não conseguiria, pela amizade e parceria que estabelecemos. Você me fez enxergar que existe mais do que pesquisadores e resultados por trás de uma dissertação, existem vidas humanas...

À professora Sandra, pela acolhida e paciência. A senhora esteve sempre presente e disposta nas correções e orientações, ensinando-me a ter a objetividade de uma engenheira.

À professora Socorro, por sua bondade inata, pelos ensinamentos, por ter me entendido diversas vezes e pelo apoio.

Ao professor Eduardo Cohim, por toda ajuda, incentivo e contribuições ao trabalho.

Aos meus parceiros de jornada Camila Vieira, Hamilton Neto, Marília Crusoé e Samuel Sipert, vocês foram os melhores que eu podia ter tido!

Aos amigos de sempre, para sempre, Aline, Maris, Dani, Pety, Hosana, Geu, Tamilla, Priscilla, Ton, Bruna, Érico, por toda a torcida!

Ao CPM – Diva Portela, em especial à direção pedagógica, vocês foram fundamentais para essa conquista!

À Universidade Estadual de Feira de Santana, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental e à Capes, pela oportunidade em realizar esta pesquisa!

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTUDO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS E DA VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO  
COM A VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O CASO DE FEIRA DE  
SANTANA - BA

Syntia Meneses Silva

Setembro/2017

Orientador 1: Sandra Maria Furiam Dias, D. Sc.

Orientador 2: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva, D. Sc.

Programa: Engenharia Civil e Ambiental

O aumento da população mundial, acrescida da atual forma de consumo, e, conseqüentemente, da geração de resíduos, implica o aumento do uso das reservas do planeta. Para se obter a matéria-prima bruta, em todos os passos até sua transformação em bens de consumo, são continuamente produzidos resíduos, inclusive após o consumo, uma vez que, os bens duráveis foram fabricados para serem usados e descartados, o que caracteriza, portanto, um impacto dobrado, observando-se ainda que, além do uso das reservas, são demandados locais para depositar esses materiais após utilização. Visando auxiliar no tocante à qualidade da gestão dos resíduos, no presente trabalho foram propostos os seguintes cenários metodológicos: i) Cenário 1, que considera a situação atual de Feira de Santana, sem emprego de taxas de reciclagem para resíduos secos e úmidos; ii) Cenário 2, onde se aplica a reciclagem de materiais com base no PLANARES; iii) Cenário 3, que adota as metas de reciclagem previstas no PMGIRS; iv) Cenário 4A, com metas de reciclagem propostas pelo PLANARES, aliadas à redução da geração *per capita* e aumento da taxa de coleta; v) Cenário 4B, com metas de reciclagem propostas pelo PMGIRS, aliadas à redução da geração *per capita* e aumento da taxa de coleta; e, vi) Cenário 5, que admite metas de reciclagem arrojadas, aliadas à diminuição da produção *per capita* e crescimento da taxa de coleta. A partir dessas simulações, foram avaliados os impactos de cada cenário no aumento de vida útil do aterro sanitário municipal, e também na economia e geração de energia por meio da reciclagem de materiais que deixam de ser encaminhados ao aterro. Os

resultados obtidos revelam: i) Aumento da vida útil do aterro sanitário de Feira de Santana por 11, 17, 18 e 26 anos, de acordo com os cenários 2, 3, 4A e 4B, respectivamente. Para o cenário 5, a vida útil do aterro municipal não se encerra até o ano final de análise (2075); ii) Os resultados obtidos também podem precisar a quantidade em massa de resíduos que deixará de ser encaminhada ao aterro sanitário ao longo dos anos simulados, a saber: 77 mil t, 119 mil t, 92 mil t, 136 mil t, 212 mil t de acordo com os cenários 2, 3, 4A, 4B e 5, respectivamente; iii) Podem ser poupados em Feira de Santana, em 2050, para o cenário 5, o mais expressivo, aproximadamente 1027 GWh, o suficiente para abastecer perto de 2,1 milhões de residências, considerando-se o consumo mensal de 163 KWh e uma média de 3 pessoas por residência; iv) Os resíduos secos possuem uma economia 98% maior em relação aos resíduos úmidos, já que o potencial poupado por ambos para o ano de 2050 é, respectivamente, 602 GWh e 10 GWh; v) O plástico destaca-se como o material seco de maior potencial de economia de energia. De acordo com o cenário 5, esse material poderia poupar cerca de 749 GWh, o suficiente para abastecer, aproximadamente, 1,5 milhão de residências; vi) As simulações apresentadas neste trabalho, relativas ao emprego de taxas de reciclagem de materiais e outras opções de gestão, mostraram-se mais eficientes em relação às metas estabelecidas pelo cenário 5 para todos os parâmetros de análise. Levando-se em consideração que as análises desenvolvidas neste trabalho se limitaram a dados secundários por falta de dados locais consistentes, pode-se inferir que houve redução dos impactos ambientais para Feira de Santana com a adoção de metas de reciclagem, uma vez que, por meio dessas metas será possível estender a vida útil do aterro sanitário, bem como proporcionar economias e ganhos energéticos para o município em questão.

**Palavras-chave:** Reciclagem. Gestão de RSU. Valorização de RSU. Vida útil do aterro sanitário. Impactos energéticos.

Abstract of Dissertation presented to PPGECEA/UEFS as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STUDY OF THE ENERGY IMPACTS AND OF THE USEFUL LIFE OF THE SANITARY  
LAND WITH THE VALORIZATION OF THE URBAN SOLID WASTE: THE CASE OF FEIRA  
DE SANTANA - BA

Syntia Meneses Silva

September/2017

Advisor 1: Sandra Maria Furiam Dias, D. Sc.

Advisor 2: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva, D. Sc.

Department: Civil and Environment Engineering

The increase in the world's population, the current rate of consumption and, consequently, generation of waste, implies an unsustainable use of the planet's resources for the production of goods. Solid waste is continuously generated in all steps of the production chain, and even after consumption, since their disposal requires the use of large areas, causing a double impact on the environment. Aiming to contribute for the quality of municipal solid waste management, the present study proposed the following scenarios to simulate waste generation: i) Scenario 1, which considers the current situation of Feira de Santana, without the use of recycling rates for dry and moist waste; ii) Scenario 2, where the recycling of materials based on PLANARES is applied; iii) Scenario 3, which adopts the recycling targets set forth in the PMGIRS; iv) Scenario 4A, with recycling targets proposed by PLANARES, together with the reduction of generation per capita and increase of the collection rate; v) Scenario 4B, with recycling targets proposed by the PMGIRS, combined with the reduction of generation per capita and increase of the collection rate; and, vi) Scenario 5, which allows for bold recycling targets, combined with the decrease in per capita production and growth of the collection rate. Based on these simulations, the impacts of each scenario were evaluated on increasing the life expectancy of the municipal landfill, and saving energy by recycling materials that are no longer being sent to the landfill. The results showed that: i) Increase in the useful life of the Feira de Santana landfill by 11, 17, 18 and 26 years, according to scenarios 2, 3, 4A and 4B, respectively. For scenario 5, the useful life of

the municipal landfill does not end until the final analysis year (2075); (ii) The results obtained may also specify the mass quantity of waste that will no longer be sent to the landfill over the simulated years, namely: 77,000 t, 119,000 t, 92,000 t, 136,000 t, 212,000 t according to scenarios 2, 3, 4A, 4B and 5, respectively; (iii) Can be saved in Feira de Santana in 2050 for scenario 5, the most expressive, approximately 1027 GWh, enough to supply close to 2.1 million households, considering the monthly consumption of 163 KWh and a average of 3 people per residence; (iv) Dry waste is 98% more economical than wet waste, since the potential of both was 202 GWh and 10 GWh respectively in 2050; v) Plastic stands out as the dry material with the greatest potential for energy savings. According to scenario 5, this material could save about 749 GWh, enough to supply approximately 1.5 million households; (vi) The simulations presented in this paper, related to the use of material recycling rates and other management options, have proved to be more efficient in relation to the goals established by scenario 5 for all analysis parameters. Taking into account that the assessment and simulation were limited to secondary data due to the lack of consistent local information, it can be inferred that there was a reduction of environmental impacts for Feira de Santana with the adoption of municipal recycling goals. Through their implementation, it will be possible to extend the life expectancy of the municipal landfill, as well as provide energy savings and gains for the municipality.

**Keywords:** Recycling. Management of RS. Valorization of RS. Landfill life. Energy impacts.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Fases da compostagem.....	32
<b>Figura 2</b> – Localização do município de Feira de Santana no mapa do estado da Bahia. ....	49
<b>Figura 3</b> – Taxas de reciclagem empregadas para o Cenário 1.. ..	61
<b>Figura 4</b> – Parâmetros de análise com base em cada cenário de reciclagem simulado.....	53
<b>Figura 5</b> – Fluxograma das rotas de destinação dos resíduos sólidos, onde percentuais de reciclagem são adotados para redução de encaminhamento de resíduos secos e úmidos ao terreno.....	54
<b>Figura 6</b> – Fluxograma das rotas de destinação dos resíduos sólidos urbanos de Feira de Santana, tendo em vista seu aproveitamento energético.....	57
<b>Figura 7</b> – Rotas tecnológicas de destinação final propostas pelo PMGIRS para gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Feira de Santana.....	59
<b>Figura 8</b> – Destinação final para resíduos secos e úmidos segundo PMGIRS.. ..	60
<b>Figura 9</b> – Estimativa do aumento da vida útil do aterro sanitário de Feira de Santana de acordo com os cenários estudados.....	64
<b>Figura 10</b> – Energia gasta para produção de plástico a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.....	65
<b>Figura 11</b> – Energia gasta para produção de papel a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.....	68
<b>Figura 12</b> – Energia gasta para produção de vidro a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.....	70
<b>Figura 13</b> – Energia gasta para produção de metal a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.....	72
<b>Figura 14</b> – Energia gasta para produção dos resíduos secos a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desses materiais com base no reciclado segundo cenários estudados.....	74
<b>Figura 15</b> – Energia economizada: (a) segundo as metas do cenário 3, em 2050; (b) segundo as metas arrojadas, adotadas no cenário 5, em 2050... ..	76
<b>Figura 16</b> – Energia gerada com o biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos, de acordo com as taxas de reciclagem para esse tipo de material. ....	77

<b>Figura 17</b> – Energia economizada com o uso de fertilizantes orgânicos em substituição aos inorgânicos, por meio do mecanismo de biodigestão dos resíduos orgânicos em Feira de Santana, que ocorre em decorrência da adoção de metas de reciclagem de resíduos úmidos, como propõem os cenários estudados.....	79
<b>Figura 18</b> – Projeção da população de Feira de Santana – BA.....	94

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Metas previstas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos para a região Nordeste.....	24
<b>Tabela 2</b> – Quantidade de municípios por tipo de destinação adotada.....	25
<b>Tabela 3</b> – Classificação do papel e suas aplicações.....	37
<b>Tabela 4</b> – Tipos de plástico e suas aplicações.....	38
<b>Tabela 5</b> – Algumas classes de vidro e suas principais aplicações.....	39
<b>Tabela 6</b> – Evolução dos mecanismos de tratamento dos RSU.....	45
<b>Tabela 7</b> – Destino do RSU em diversos países (valores arredondados).....	47
<b>Tabela 8</b> – Metas para reciclagem de resíduos segundo o PLANARES.....	53
<b>Tabela 9</b> – Metas para reciclagem de resíduos segundo o PMGIRS.....	53
<b>Tabela 10</b> – Dados do aterro sanitário de Feira de Santana.....	55
<b>Tabela 11</b> – Energia consumida na produção com recursos virgens e reciclados.....	55
<b>Tabela 12</b> – Teor de nutrientes para a parte orgânica de RSU.....	58
<b>Tabela 13</b> – Energia total para a produção de fertilizantes sintéticos.....	58
<b>Tabela 14</b> – Valores de energia poupada de acordo com os cenários propostos no período de simulação.....	75
<b>Tabela 15</b> – Economia e geração de energia a partir da reciclagem dos resíduos secos e resíduos úmidos, com base nos cenários mais significativos de análise.....	81

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Fatores que indicam a transformação de um composto sujeito à bioestabilização. ....	32
<b>Quadro 2</b> – Classificação dos principais metais e suas aplicações majoritárias. ....	34
<b>Quadro 3</b> – Definições segundo o PMGIRS de Feira de Santana. ....	59
<b>Quadro 4</b> – Energia economizada para o plástico com percentuais de reciclagem de 16%, 60% e 90%. ....	66
<b>Quadro 5</b> – Energia economizada para o papel com percentuais de reciclagem de 16%, 60% e 90%. ....	68
<b>Quadro 6</b> – Energia economizada para o vidro com percentuais de reciclagem de 16%, 60% e 90%. ....	70
<b>Quadro 7</b> – Energia economizada para o metal com percentuais de reciclagem de 16%, 60% e 90%. ....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARFES –	Agência Reguladora de Feira de Santana
ABRELPE –	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BD –	Biodigestão
BA –	Biogás de aterro
EPE –	Empresa de Pesquisa Energética
IPEA –	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MDL –	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PPP –	Parceria Público-Privada
PMGIRS –	Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos
PMSB –	Planos Municipais de Saneamento Básico
PNRS –	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PDV –	Ponto de Venda de produtores agrícolas
PEV –	Pontos de Entrega Voluntária
RSU –	Resíduo Sólido Urbano
SESP –	Secretaria Municipal de Serviços Públicos
SNIS –	Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>21</b>
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	21
3.2	TECNOLOGIAS EMPREGADAS PARA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	26
<b>3.2.1</b>	<b>Aterro sanitário</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Incineração</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Compostagem</b>	<b>29</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Reciclagem</b>	<b>33</b>
3.2.4.1	Metal	33
3.2.4.2	Papel/Papelão	33
3.2.4.3	Plásticos	33
3.2.4.4	Vidro	39
<b>3.2.5</b>	<b>Digestão anaeróbia ou biodigestão e tratamento mecânico biológico</b>	<b>41</b>
3.3	SITUAÇÃO MUNDIAL ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	44
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>48</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: FEIRA DE SANTANA – BA	48
4.2	BASE DE DADOS	49
4.3	CENÁRIOS DE ESTUDO	52
<b>4.3.1</b>	<b>Cenário 1 – Situação atual do município</b>	<b>52</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Cenário 2 – Aplicação das metas PLANARES no município de estudo</b>	<b>53</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Cenário 3 – Aplicação das metas do PMGIRS no município de estudo</b>	<b>53</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Cenário 4 – Aplicação de metas de reciclagem (cenários 2 e 3), aliada ao aumento da coleta e diminuição da geração <i>per capita</i></b>	<b>53</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Cenário 5 – Aplicação de metas de reciclagem arrojadas, aliadas ao aumento da coleta e diminuição da geração <i>per capita</i></b>	<b>532</b>

4.4 ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DO ATERRO.....	55
4.5 ANÁLISE DE ECONOMIA DE ENERGIA.....	57
<b>4.5.1 Economia de energia com a reciclagem dos resíduos secos .....</b>	<b>57</b>
<b>4.5.2 Energia gerada e economizada com a biodigestão/compostagem dos resíduos úmidos.....</b>	<b>58</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>58</b>
5.1 ASPECTOS DO PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE FEIRA DE SANTANA (PMGIRS).....	58
5.2 ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DO ATERRO.....	63
5.3 ANÁLISE DE ECONOMIA E GERAÇÃO DE ENERGIA.....	66
<b>5.3.1 Economia energética a partir da reciclagem dos resíduos secos.....</b>	<b>66</b>
5.3.1.1	
Plástico.....	64
5.3.1.2	
Papel/Papelão.....	67
5.3.1.3	
Vidro.....	69
5.3.1.1 Metal.....	71
<b>5.3.2 Energia economizada considerando a totalidade de resíduos secos.....</b>	<b>74</b>
<b>5.3.3 Geração energética a partir da biodigestão/compostagem dos resíduos úmidos.....</b>	<b>77</b>
<b>5.3.4 Economia energética a partir da biodigestão/compostagem dos resíduos úmidos.....</b>	<b>79</b>
<b>5.3.5 Resumo da economia e geração energética a partir dos resíduos úmidos.....</b>	<b>80</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE A – PROJEÇÃO POPULACIONAL.....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE B – QUANTIDADE DE RSU PRODUZIDO.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE C – VIDA ÚTIL DO ATERRO .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE D – ENERGIA DE PRODUÇÃO DOS RESÍDUOS SECOS.....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE E – ENERGIA ECONOMIZADA NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE F – ENERGIA PRODUZIDA A PARTIR DE BIOGÁS.....</b>	<b>104</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A atividade humana como um todo é a grande responsável pela geração de resíduos de diversas origens. Resíduos que, quando não dispostos corretamente, podem ocasionar impactos ambientais.

O aumento da população mundial, acrescida da atual forma de consumo, e, conseqüentemente, da geração de resíduos, implica o aumento do uso das reservas do planeta. Para se obter a matéria-prima bruta, em todos os passos do processo até sua transformação em bens de consumo, são, continuamente, produzidos resíduos, inclusive após o consumo, uma vez que, os bens duráveis foram fabricados para serem usados e descartados, o que caracteriza, portanto, um impacto duplo, observando-se que, além do uso das reservas, são demandadas áreas para dispor esses materiais após utilização.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são um dos principais problemas ambientais para o Brasil, já que o desenvolvimento socioeconômico do país não foi acompanhado pela implantação de mecanismos de tratamento e destinação final de resíduos em número e tecnologia adequados. A situação se caracterizava, até pouco tempo, pelo baixíssimo aproveitamento dos resíduos, tanto dos urbanos quanto dos industriais e outros, e pela destinação inadequada de sua maior parcela. O aproveitamento pela reciclagem ou reutilização focava-se basicamente em sucatas metálicas (ferro, aço, cobre e alumínio), papel e papelão, vidro e alguns plásticos, e ficava restrito aos segmentos de cadeias produtivas para as quais trazia resultado econômico.

A geração de resíduos sólidos no Brasil, entre 2009 e 2010, cresceu 6,8%, enquanto que entre 2014 e 2015 esse crescimento foi de 1,7%. Isto evidencia um decréscimo na geração de resíduos ao longo dos anos. Essa redução, porém, mesmo significativa, não coloca o país numa situação confortável em relação a uma boa gestão de seus RSU. Isso porque os dados da ABRELPE (2015) apontam uma geração aproximada de 80 milhões de t/ano de resíduos, ao passo que a disposição final adequada desses resíduos no país ainda não ultrapassa 60% das formas empregadas. O manejo inadequado de resíduos sólidos promove impactos sociais, ambientais e econômicos para o país. Gasta-se, por exemplo, para implantação e manutenção de locais inadequados de destinação de resíduos; gasta-se com a recuperação de áreas degradadas, contaminações de solos e água; além disso, tem-se um prejuízo oriundo da não valorização dos resíduos. Segundo o IPEA (2010), estima-se em R\$ 8 bilhões as perdas do país com o não reaproveitamento de resíduos sólidos.

Dentre os riscos e inconvenientes causados pela destinação inadequada dos resíduos sólidos, destacam-se: poluição dos solos, dos rios e aquíferos por lixiviação de substâncias tóxicas presentes nos resíduos; dispersão do resíduo devido às condições meteorológicas (clima, temperatura, chuvas etc.); dissipação de metano, que, ao escapar

para a atmosfera, contribui para o efeito estufa, e, ainda, ficando retido na massa de resíduo, pode dar origem a explosões e incêndios; presença de odores desagradáveis, bem como de vetores que podem causar doenças direta ou indiretamente à população; possibilidade de emissões de CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado, dioxinas e furanos, devido à incineração nas lixeiras; degradação da paisagem (SANTOS, 2004).

Aparentemente, pode parecer simples o equacionamento da diminuição da geração de resíduos sólidos, por um lado, com o arrefecimento da utilização desta matéria-prima, e; por outro, com a elevação da taxa de recuperação/reciclagem de produtos dos resíduos, porém, tais medidas são ainda pouco aplicadas em nossa sociedade (RUSSO, 2003).

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário do país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo impróprio dos resíduos sólidos.

A PNRS prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e também da destinação ambientalmente apropriada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado). A PNRS também institui a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos, cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e estabelece instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal, além de impor que as entidades particulares elaborem seus Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. A Política inova com a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis tanto na Logística Reversa quanto na Coleta Seletiva.

Um grande desafio para a maioria das cidades é a atual taxa de geração de resíduos domésticos, que muitas vezes ultrapassa os recursos financeiros e humanos das autoridades públicas, a capacidade instalada de aterros e a capacidade de assimilação dos ecossistemas para a gestão eficiente dos resíduos. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, os resíduos e a sua gestão estão entre os principais responsáveis pelas mudanças climáticas.

Segundo Schor (2010), já atingimos uma situação de superação ecológica, em que os seres humanos consomem muito mais do que a capacidade natural disponível para proporcionar um fornecimento contínuo de recursos e absorver os resíduos gerados.

É muito importante que se desenvolva um plano de gestão holística, integrado e pactuado com a sociedade, como prevê a PNRS, para que se estabeleçam estratégias que promovam a redução de resíduos nas fontes geradoras, por meio de educação ambiental

permanente e coleta seletiva com inclusão de catadores e metas de redução de disposição final de resíduos no solo, isto é, uma gestão compartilhada. Para isso, os Planos Municipais de gestão de resíduos sólidos devem conter metas de reciclagem em consonância com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES).

Nesse contexto, pergunta-se o quanto o cumprimento das metas de reciclagem contidas nos Planos Municipais e Nacional, juntamente com outras opções de gestão (diminuição da geração e aumento da coleta *per capita*), podem impactar positivamente o ambiente onde estes forem implantados?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar os impactos ambientais com adoção de metas de reciclagem para o município de Feira de Santana.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar possíveis opções de gestão de resíduos sólidos para o município em estudo.
- Avaliar o aumento da vida útil do aterro sanitário municipal.
- Considerar os impactos energéticos provenientes da energia poupada e da energia gerada com a reciclagem de materiais.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Problemas relativos à geração de resíduos são tão antigos quanto a própria humanidade. Nas sociedades nômades já havia, sem dúvida, um impacto negativo do homem sobre o meio ambiente. A geração de resíduos nesta época, porém, era mínima, tendo em vista o quantitativo demográfico e seu estilo de vida. Os resíduos sólidos gerados eram, em sua maioria, orgânicos, decompostos facilmente pelo solo, não chegando a representar, nesse contexto, problema algum aos ecossistemas. Entretanto, o desenvolvimento das sociedades e a fixação do homem em aldeias e cidades, dispendo de instrumentos que passaram a facilitar sua vida, provocou uma elevação da produção de resíduos nestas localidades, passando a configurar um fator impactante (GIOVANETTI, 2014).

Nos espaços urbanos atuais, a geração de resíduos sólidos urbanos é influenciada por vários fatores: tamanho da população, tipos de clima, aspectos comportamentais (hábitos, cultura, padrão de consumo, nível de cidadania), condições e cobertura dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos, poder aquisitivo, nível educacional, instrumentos econômicos, de controle, entre outros (ZANTA, 2015).

Devido a esses fatores, a composição do RSU no Brasil possui grande variabilidade. Contudo, de modo geral apresenta predominância de matéria orgânica, além de outros materiais como papel/papelão, metais, vidro e plásticos. Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o índice de geração *per capita* de RSU no Brasil atingiu o valor 1,062 kg/hab./dia para o ano de 2014, com uma taxa de geração de 215.297 t/dia. Em um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2012, dados gravimétricos estimam que do total de RSU coletado no país, 83,3% são resíduos potencialmente recicláveis, com 31,9% constituído por materiais recicláveis secos e 51,4% por material orgânico. Entretanto, a maior parte desses materiais são aterrados sem nenhum tipo de reaproveitamento, indicando a má gestão e um gerenciamento indevido dos resíduos sólidos (OLIVEIRA et al, 2015).

A taxa de geração de resíduos é um curioso indicador utilizado também para a avaliação do desenvolvimento de uma nação. Quanto mais pujante for a economia de um país, mais resíduos serão produzidos, tendo como princípio para tal que a população terá maior capacidade de consumo. A problemática é que as grandes cidades brasileiras não têm estrutura para encarar esse crescimento, e a exploração excessiva necessária para sustentar esses padrões de consumo ameaça a estabilidade dos sistemas ambientais,

gerando exaustão de recursos naturais renováveis e não renováveis, desfiguração do solo, perda de florestas, poluição da água e do ar, perda de biodiversidade, mudanças climáticas, entre outras consequências.

Além dos problemas provenientes da exploração excessiva dos recursos naturais, a desigualdade inter e intrageracional na distribuição dos benefícios oriundos dessa exploração conduziram a uma reflexão sobre a insustentabilidade ambiental e social dos atuais padrões de consumo e seus pressupostos éticos (UDAETA et al, 2002). O ambientalismo veio mostrar que o consumismo indica também uma desigualdade intergeracional, já que este estilo de vida ostentatório e desigual pode dificultar a garantia de serviços ambientais equivalentes para as futuras gerações (MMA, 2012).

Com o aumento da produção de resíduos sólidos, causado principalmente pelo crescimento urbano e industrial das sociedades modernas, torna-se cada vez mais necessária a busca tanto por novas formas de gestão quanto por locais para sua disposição. Pois mesmo que sofrendo transformações físicas e bioquímicas, os resíduos sólidos permanecem no local onde são depositados, ao contrário dos resíduos líquidos e dos gasosos, que se diluem no meio receptor (RUSSO, 2003).

Segundo a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), o gerenciamento e a gestão de resíduos podem ser definidos como:

O gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei. Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

O plano de resíduos, que é um instrumento de gestão baseado no princípio da sustentabilidade, deve começar, portanto, pela classificação e quantificação dos resíduos gerados, ou seja, é necessário, inicialmente, estimar a quantidade total e por habitante; realizar a análise da composição gravimétrica ou composição física (percentual de cada componente em relação ao peso total dos resíduos); e calcular o peso específico (peso dos resíduos em função do volume por eles ocupado, expresso em  $\text{kg.m}^{-3}$ ). Esta avaliação permite escolher a melhor destinação para cada tipo ou grupo de resíduos, possibilitando, desta forma, a segregação dos resíduos e rejeitos na fonte geradora (REZENDE et al, 2010).

O resíduo sólido urbano é definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos como:

Todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Existem diversos tipos de RSU, e cada um deles exige uma forma específica de destinação, seguindo uma metodologia devida de Gerenciamento Integrado de Resíduos que visa tratar da forma mais acertada esta questão (BRASIL, 2010).

Os aspectos relacionados aos marcos legais da limpeza urbana, em especial da gestão e manejo dos resíduos sólidos no Brasil, são definidos na Política Nacional de Saneamento Básico, Lei n. 11.445, de 2007, na qual o plano de resíduos sólidos deve integrar os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei n. 12.305, de 2010, regulamentada por meio do Decreto n. 7.404, de 2010.

A PNRS fortalece os princípios da gestão integrada e sustentável de resíduos, propondo medidas de incentivo à formação de consórcios públicos para uma gestão regionalizada com vistas à ampliação da capacidade de gestão das administrações municipais, por meio de ganhos de escala e redução de custos no caso de compartilhamento de sistemas de coleta, tratamento e destinação de resíduos sólidos. A PNRS, ainda, inova no país ao propor: a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa de retorno de produtos, prevenção, precaução, redução, reutilização e reciclagem; metas de redução de disposição final de resíduos em aterros sanitários; e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos em aterros sanitários. No aspecto de sustentabilidade socioambiental urbana, cria mecanismos de inserção de organizações de catadores nos sistemas municipais de coleta seletiva e possibilita o fortalecimento das redes de organizações de catadores e a criação de centrais de estocagem e comercialização regionais (BRASIL, 2010).

Existem metas que se esperam alcançar durante a implementação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. As metas foram projetadas tendo como base as disposições da Lei 12.305/10, as diretrizes e estratégias do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no Brasil e um cenário adotado como referência para a política de saneamento básico no país para o período de 2011-2030 – cenário este que também é tomado como referência no Plano Nacional de Resíduos Sólidos. A periodicidade de 4 anos entre as projeções se deve ao prazo para revisão do plano e coincide com os períodos do Plano PluriAnual da União. Cabe destacar que o alcance das metas não depende apenas de um cenário econômico favorável, estando atrelado também ao envolvimento e atuação dos três níveis de governo, da sociedade e da

iniciativa privada.

Neste sentido, a elaboração dos planos estaduais, intermunicipais e, até mesmo, municipais, faz-se indispensável para o alcance das metas previstas, uma vez que, em muitos casos, a implantação e implementação dos equipamentos, mecanismos e ferramentas necessárias serão de responsabilidade do poder público local. Ademais, tais planos permitirão ao gestor público local: realizar uma gestão dos resíduos sólidos de maneira sistêmica, nas variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; valorizar a cooperação entre o poder público, o setor empresarial e demais setores da sociedade; adotar a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e reconhecer o resíduo sólido como reutilizável e reciclável, bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (MMA, 2011).

As metas contidas na PNRS seguem descritas na Tabela 1, que segue abaixo, com destaque apenas para a região Nordeste.

Tabela 1 – Metas previstas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos para a região Nordeste.

METAS	PLANO DE METAS				
	2015	2019	2023	2027	2031
Áreas de lixões reabilitadas (queima pontual, captação de gases para geração de energia mediante estudo de viabilidade técnica e econômica, coleta do chorume, drenagem pluvial, compactação da massa, cobertura com solo e cobertura vegetal)	5%	20%	45%	65%	90%
Eliminação total dos lixões até 2014*	100%	100%	100%	100%	100%
Redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterro, com base na caracterização nacional em 2013	12%	16%	19%	22%	25%
Redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros, com base na caracterização nacional realizada em 2013	15%	20%	30%	40%	50%
Inclusão e fortalecimento da organização de 600.000 catadores	63.160	87.984	99.264	112.800	135.360

\* O Projeto de Lei 2289/2015, aprovado no Senado, que trata da eliminação dos lixões, dá prazo até 31 de julho de 2018 para capitais e regiões metropolitanas se adequarem; até 31 de julho de 2019, para municípios com população superior a 100 mil habitantes; até 31 de julho de 2020, para municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes; e até 31 de julho de 2021, para aqueles com população inferior a 50 mil habitantes.

Fonte: Brasil (2010).

A PNRS, sancionada em agosto de 2010, determina ações como a extinção dos lixões do país e substituição por aterros sanitários, além da implantação da reciclagem, reuso, compostagem, tratamento do lixo e coleta seletiva nos municípios. A lei dava prazo de quatro anos para que as cidades se adequassem à PNRS, ou seja, deveriam estar em prática já em 2014. Porém, foram conferidos prazos mais longos para alguns municípios, de

acordo com um perfil baseado no contingente populacional. Sendo assim, as capitais e municípios de região metropolitana obtiveram um prazo até 31 de julho de 2018 para acabar com os lixões. Os municípios de fronteira e os que contam com mais de 100 mil habitantes, com base no Censo de 2010, terão um ano a mais para implementar os aterros sanitários. As cidades que têm entre 50 e 100 mil habitantes terão prazo até 31 de julho de 2020. Já o prazo para os municípios com menos de 50 mil habitantes será até 31 de julho de 2021. A emenda também acrescenta a prorrogação de prazo para elaboração dos planos estaduais de resíduos sólidos e dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos.

Como a implantação das metas para a destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos e rejeitos no Brasil, estabelecida para ocorrer até agosto de 2014 pela Lei 12.305/2010, não foi cumprida, o percentual de resíduos encaminhados para aterros sanitários permaneceu praticamente inalterado nos últimos anos, com 57,6% em 2010 e 58,4% em 2014. Todavia, as quantidades destinadas inadequadamente aumentaram de cerca de 23 milhões de toneladas em 2010, para 30 milhões de toneladas em 2014 (ABRELPE, 2014). Nesse sentido, é importante ressaltar que os 41,6% restantes da quantidade expressa em 2014, representam 81 mil toneladas diárias que são encaminhadas para lixões ou aterros controlados. Aterros estes que pouco se diferenciam dos lixões, uma vez que ambos representam riscos de contaminação dos solos e lençóis freáticos.

Mesmo com uma legislação mais restritiva, e apesar dos esforços empreendidos em todas as esferas governamentais, a destinação inapropriada de RSU se faz presente em todas as regiões e estados brasileiros, em 3.334 municípios. Portanto, cerca de 59,8% do total de municípios brasileiros ainda fazem uso de locais indevidos para destinação final dos resíduos coletados, como ilustra a Tabela 2 (ABRELPE, 2014).

Tabela 2 – Quantidade de municípios por tipo de destinação adotada.

DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS COLETADOS	REGIÕES DO BRASIL					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasília
Aterro sanitário	93	455	164	820	704	2.236
Aterro controlado	112	505	147	644	367	1.775
Lixão	245	834	156	204	120	1.559
<b>TOTAL</b>	<b>450</b>	<b>1.794</b>	<b>467</b>	<b>1.668</b>	<b>1.191</b>	<b>5.570</b>

Fonte: adaptada de ABRELPE (2014).

A desatenção à infraestrutura ambiental, aliada a um alto crescimento das cidades, pode contribuir para aumentar os problemas ambientais, e muitos deles terão suas consequências sentidas somente a médio e longo prazo (SEIDEL, 2010). As diferentes formas de valorização e tratamento de resíduos conseguem reduzir a quantidade a ser encaminhada para disposição final, mas não são capazes de eliminar essa necessidade de

dispor. É importante, então, planejar todo o sistema de gestão de resíduos de forma que o local de destino final gere menos impactos ao ambiente, natural e urbano, onde ele está inserido (MANNARINO et al, 2016).

A gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos inclui a redução da produção nas fontes geradoras, o reaproveitamento, a coleta seletiva com inclusão de catadores de materiais recicláveis e a reciclagem e ainda a recuperação de energia.

## 3.2 TECNOLOGIAS EMPREGADAS PARA DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

### 3.2.1 Aterro sanitário

Os aterros sanitários ainda são maioria no Brasil devido à realidade atual do país, sendo viáveis tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista econômico. A sua priorização deve-se, especialmente, pelas suas características construtivas, que permitem minimizar os efeitos ambientais do gás natural produzido no processo, através da sua drenagem e queima, e da geração de lixiviado, por intermédio da sua coleta e tratamento.

O aterro sanitário, além de ser o local de disposição final dos resíduos, também pode ser considerado como uma tecnologia de tratamento, dada a ocorrência de um conjunto de processos físicos, químicos e microbiológicos sob a forma de um reator anaeróbio, que tem como resultado uma massa de resíduos química e biologicamente mais estável (GRS/UFPE, 2014). De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992), o aterro sanitário é uma técnica de disposição de RSU no solo que não causa danos à saúde pública e ao meio ambiente e minimiza os impactos ambientais. Este método utiliza fundamentos de engenharia para confinar o RSU à menor área possível e reduzi-lo ao menor volume tolerável, usando uma camada de terra para o cobrimento na conclusão de cada jornada de trabalho, ou em intervalos menores, se necessário (ABNT, 1992).

Os aterros sanitários devem conter unidades operacionais que viabilizem o seu funcionamento adequado, oferecendo elementos de proteção ambiental, a saber: sistema de impermeabilização de base e laterais; sistema de recobrimento diário e cobertura final; sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados; sistema de coleta e tratamento dos gases; sistema de drenagem superficial; sistema de tratamento de líquidos percolados; e sistema de monitoramento (ABNT, 1992).

Os lixiviados gerados pela degradação dos resíduos aterrados devem ser canalizados para fora do sistema de disposição a fim de receberem o tratamento adequado. A drenagem dos lixiviados pode ser projetada de forma a propiciar a percolação do lixiviado através dos resíduos sólidos. Isto acelera o processo de biodegradação dos resíduos, já que

os microrganismos degradadores estão presentes no lixiviado (GOMES; MARTINS, 2003).

Os principais gases gerados nos aterros, provenientes do processo de degradação dos resíduos aterrados, são o metano, o dióxido de carbono e o gás sulfídrico. O conjunto desses gases – denominado biogás – deve ser drenado para o exterior do maciço para evitar bolsões internos que possam gerar incêndios ou explosões, além de potencializar problemas de instabilidade (LIMA, 2012).

Segundo Jucá (2003), no Brasil o tratamento de gases em aterros sanitários resume-se praticamente à queima do metano ( $\text{CH}_4$ ), à liberação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e ao aproveitamento energético do biogás, com geração de energia. Em geral, o sistema de drenagem de gases é individual (tipo aberta), utilizando queimadores tipo "flare", havendo, contudo, exceções em sistemas conjugados de drenagem, com extração forçada de gás. Esta realidade evoluiu ao longo dos últimos dez anos, pois já existem vários aterros energéticos no Brasil, a exemplo dos aterros de Canabrava (BA), de Bandeirantes e de São João (SP).

Além da queima dos gases gerados pela degradação dos resíduos, e devido ao elevado poder calorífico do metano presente no biogás, diversos aterros sanitários ao redor do mundo estão implantando unidades de geração de energia elétrica. Segundo estudos do Banco Mundial (WB, 2004), para cada tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário, são gerados em média  $200 \text{ Nm}^3$  de biogás.

Assim, o aterro sanitário, cuja utilização vem se expandindo no Brasil, é a tecnologia universal de disposição final de resíduos sólidos urbanos, imprescindível, mesmo nos países onde existem outras tecnologias de tratamento como incineração, compostagem e reciclagem. Atualmente, para se cumprir o que determina a PNRS, antes de encaminhar os resíduos sólidos ao aterro sanitário, deve-se reciclá-los, tratá-los e/ou reutilizá-los, visando prolongar sua vida útil. Desse modo, devem ser enviados para o aterro sanitário apenas rejeitos, que são os resíduos que não podem ser mais recuperados sob nenhuma forma, ou, ainda, aqueles para os quais não existe mercado.

Os resíduos que podem ser dispostos nos aterros sanitários são os resíduos de Classe II, não podendo receber sob nenhuma hipótese resíduos de Classe I, classificados como perigosos. Os resíduos que podem ser recebidos são os de origem domiciliar e comercial; resíduos de serviços de capina, varrição, poda e raspagem; resíduos de gradeamento, desarenação e lodos desidratados das Estações de Tratamento de Esgoto; resíduos desidratados de veículos limpa fossas/resíduos desidratados de Estações de Tratamento de Água; e resíduos oriundos de indústrias, comércios ou outras origens que tenham sua classificação como Classe II comprovada por laudo técnico de análises laboratoriais, conforme normas específicas da ABNT (2004).

Essa tecnologia apresenta como principais vantagens: possibilidade de se utilizar

áreas já degradadas por outras atividades; possibilidade de receber e acomodar rapidamente quantidades variáveis de resíduos, sendo bastante flexível; recebimento de resíduos de diversas naturezas (classe IIA e IIB); adaptável a comunidades grandes ou pequenas; apresentação de menores custos de investimento e operação que outras tecnologias como incineração, por exemplo; uso de equipamentos e máquinas utilizadas em serviços de terraplanagem; simples operacionalização, não requerendo pessoal altamente especializado; possibilidade de aproveitamento energético do biogás; não causar danos ao meio ambiente se corretamente projetada e executada. As principais desvantagens seriam: necessidade de grandes áreas para aterro, muitas vezes longe das áreas urbanas, acarretando despesas adicionais com transporte; possibilidade de desenvolvimento de maus odores; possibilidade de deslocamento de poeiras; alteração da estética da paisagem; diminuição do valor comercial da terra; interferência da meteorologia na produção de lixiviados que requisitam tratamento adequado; período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos; controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo (GRS/UFPE, 2014).

### **3.2.2 Incineração**

A incineração tem sido utilizada como um método para processar resíduos desde o início do século XVIII, constituindo uma das tecnologias de tratamento mais antigas da Europa, EUA e Japão. No passado, o principal objetivo da tecnologia de incineração resumia-se à redução da massa e do volume (que podem chegar até 90%), e da periculosidade dos resíduos. Contemporaneamente, além destes objetivos, a tecnologia de incineração se apropria do poder calorífico dos resíduos de natureza combustível, aproveitando a energia térmica decorrente do próprio processo de combustão (MENEZES, 2000).

A incineração é um processo complementar ao aterramento e aos programas de minimização e reciclagem, na medida em que estes sejam economicamente viáveis localmente. O primeiro incinerador municipal no Brasil foi instalado em 1896 em Manaus (AM) para processar 60 toneladas de lixo doméstico por dia, sendo desativado em 1958 por problemas de manutenção. Um equipamento similar foi instalado em Belém (PA), desativado em 1978 pelos mesmos motivos (MENEZES, 2000; IPM, 2003). A partir de 1970 foi iniciada a fase de implantação de incineradores especificamente desenvolvidos para o tratamento de resíduos especiais, tais como os: aeroportuários, hospitalares, industriais e outros perigosos (GAIA, 2003).

Segundo o GRS/UFPE (2014), a incineração é um tratamento térmico aconselhável

para grandes quantidades de resíduos sólidos, valores maiores que 160.000 t/ano ou 240 t/dia, sempre se trabalhando com linhas médias de produção de 18 t/h.

A tecnologia de incineração hoje empregada no mundo incorpora, além dos mecanismos de aproveitamento da energia térmica, o desenvolvimento de sistemas de tratamento e depuração de gases, capazes de controlar significativamente a emissão de poluentes atmosféricos e satisfazer, em geral, os padrões ambientais de emissão vigentes (MACHADO, 2015). Porém, sua viabilidade depende da compreensão deste processo como uma opção para a solução de problemas ambientais associados ao destino final dos RSU, e não como fonte de geração para outros problemas ambientais. Além dos aspectos ambientais e econômicos, outras questões sociais, culturais e político-institucionais são também determinantes no processo de decisão pela adoção de um dado recurso tecnológico. No caso dos RSU, não poderia ser diferente (MAVROPOULOS, 2010).

A incineração é um tratamento térmico de resíduos que ocorre através de temperaturas superiores a 800 °C com mistura de ar adequada durante um determinado intervalo de tempo. Os resíduos incinerados são submetidos a um ambiente fortemente oxidante, onde são decompostos em três fases: uma sólida inerte (cinzas ou escórias), uma gasosa e uma quantidade mínima líquida. As cinzas e escórias, após comprovada sua inertização, podem ser dispostas em aterro sanitário. Os efluentes líquidos devem ser neutralizados na própria planta e direcionados para as estações de tratamento de efluentes características (GRS/UFPE, 2014).

As emissões atmosféricas provenientes da queima de RSU correspondem ao impacto ambiental mais importante da incineração. Essas são constituídas principalmente por gás carbônico (CO<sub>2</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e material particulado. Também podem ocorrer emissões, em menores concentrações, de ácidos clorídrico (HCl) e fluorídrico (HF). Associados à combustão incompleta, há ainda a produção de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, dioxinas e furanos; e associados ao material particulado, a emissão de metais pesados (CAIXETA, 2005).

No Brasil, usinas de incineração são sujeitas ao que estabelece a Resolução CONAMA n.º 316/2002, que disciplina os métodos de tratamento térmico de resíduos e estabelece procedimentos operacionais, limites de emissão, critérios de desempenho, controle, tratamento e disposição final de efluentes (MACHADO, 2015). A incineração pode ser uma opção ambientalmente correta, porém é necessário que essas usinas sejam operadas por equipes qualificadas, dotadas de equipamentos eficazes quanto ao controle de poluição, bem como de técnicas adequadas de disposição final dos resíduos gerados, sendo monitoradas pela comunidade e pelos agentes ambientais, públicos e privados (GAIA, 2011).

Um incinerador moderno pode apresentar uma taxa de recuperação energética a

partir dos RSU entre 50 e 70%, sendo que, dessa recuperação, 15 a 25% correspondem à energia elétrica e o restante à energia térmica. A eficiência de geração de energia elétrica dependerá, além do poder calorífico do resíduo tratado, do porte da usina, do vapor gerado e do nível de aproveitamento deste. Segundo Tolmasquim (2003), os valores médios de geração de energia elétrica por tonelada de resíduos encontrados nas atuais usinas de incineração variam entre 550 kWh/t e 769 kWh/t.

O dimensionamento de uma planta de tratamento deve levar em consideração fatores como a composição do RSU e seu poder calorífico, a segregação dos resíduos na fonte, o clima, a forma de coleta, entre outros.

O método normalmente aplicado para o tratamento de RSU via incineração é o do ciclo combinado, no qual se tem a geração de energia elétrica e térmica juntamente com a eliminação dos resíduos. A capacidade de geração depende da eficiência da transformação do calor em energia elétrica e do poder calorífico do material incinerado (EPE, 2008).

Atualmente, as técnicas de incineração mais utilizadas são o *Mass Burning* e o *Refuse-Derived Fuel*. Na modalidade *Mass Burning*, os resíduos são incinerados de forma bruta, sem qualquer pré-tratamento, excetuando-se a remoção de partes de grandes dimensões. Já na modalidade *Refuse-Derived Fuel*, os resíduos são previamente processados, de forma a remover materiais recicláveis e minimizar a heterogeneidade da massa a ser efetivamente incinerada. Por não requerer a etapa prévia de processamento, a técnica *Mass Burning* é a mais frequentemente utilizada (MACHADO, 2015).

Após a incineração, a parte sólida é tirada da grelha, com quantidades que variam de 12 a 30% em massa (de 4 a 10% em volume) do material original. Apresenta uma coloração cinza, sendo um material totalmente esterilizado e apto para ser usado na construção de aterros e até mesmo ser aplicado à construção civil na fabricação de tijolos, capeamento de estradas, entre outros usos, porém, comumente, este material é apenas levado para aterros sanitários para sua disposição final (GAIA, 2011).

De modo genérico, as vantagens destacadas na literatura para incineração são as seguintes: destruição da maior parte dos componentes do resíduo promovendo uma significativa redução de volume; potencial de recuperação de energia superior aos aterros; necessidade de menor área para instalação; redução na emissão de odores e ruídos. Entre as principais desvantagens, destacam-se: elevados custos de instalação, operação e manutenção do tratamento dos resíduos; inviabilidade de produção em caso de resíduos com umidade excessiva, pequeno poder calorífico ou clorados (GRS/UFPE, 2014).

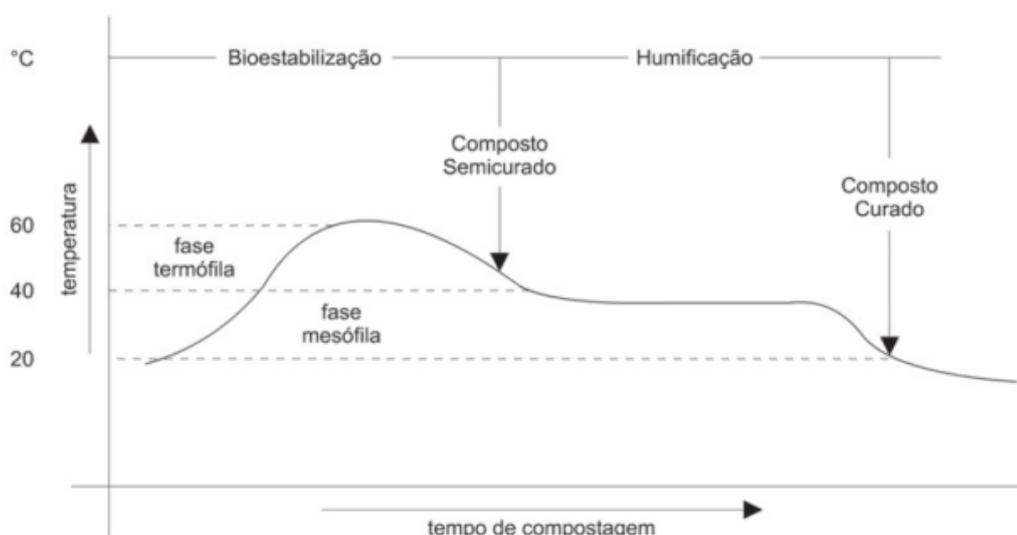
### 3.2.3 Compostagem

A compostagem não é uma prática recente. Um dos primeiros registros da aplicação desta técnica na agricultura data do período do Império de Akkad, na Mesopotâmia, há cerca de 4500 anos. Desde essa época, várias civilizações amontoavam o material vegetal, estrume, restos de comida e outros tipos de resíduos orgânicos em pilhas, deixando-as se decomporem e se estabilizarem até o material estar pronto para ser devolvido ao solo como fertilizante. No entanto, após a II Guerra Mundial, a utilização de fertilizantes químicos cresceu drasticamente, e os métodos tradicionais de fertilização caíram em desuso (ALMEIDA et al, 2005).

Já nos últimos anos, a prática referida tem aumentado muito em várias partes do mundo. Em países mais desenvolvidos, a compostagem é utilizada principalmente para reduzir os problemas ambientais causados por restos de produção agropecuária, resíduos industriais, resíduo urbano e lodo de esgoto. Em países menos desenvolvidos, a compostagem é usada sobretudo para a obtenção de fertilizantes orgânicos, utilizados como condicionadores de solo e como fonte de N e de outros nutrientes (LEAL, 2006).

A compostagem pode ser definida como um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, passando pelas seguintes fases: uma inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, seguida da fase de semicura ou bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a cura, maturação ou, mais tecnicamente, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, quando se pode dar por encerrada a compostagem, conforme ilustra a Figura 1. Durante todo o processo ocorre produção de calor e desprendimento, principalmente, de gás carbônico e de vapor d'água (KIEHL, 1998).

Figura 1 – Fases da compostagem.



Fonte: D'Almeida e Vilhena (2000).

Compostagem, portanto, é o processo de conversão de material orgânico em solo, ou, mais precisamente, húmus. Húmus é uma substância marrom ou preta, resultado da degradação de material orgânico ou de restos vegetais. É um material estável que não atrai insetos nem incomoda animais. Ele pode ser manuseado e armazenado sem problemas, e é benéfico para o crescimento de plantas. Húmus retém umidade e aumenta a capacidade do solo de absorver e reter água. Afirma-se que o composto contém nove vezes o seu peso em água (900%), enquanto a areia contém apenas 2%, e a argila 20% (JENKIS, 2005).

Os principais fatores a serem observados durante a compostagem são a natureza do substrato, a aeração, a umidade e a relação C/N. A aeração, função da granulometria e da umidade dos solos, é necessária para a atividade biológica e, em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem odores ruins. Já o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação (LIMA, 2012). O tempo necessário para transformar em composto uma biomassa sujeita a uma bioestabilização aeróbia depende de muitos fatores – alguns deles aparecem representados no Quadro 1.

Quadro 1 – Fatores que indicam a transformação de um composto sujeito à bioestabilização.

FATORES	INÍCIO DO PROCESSO	FINAL DO PROCESSO	INDICAÇÃO DE PROBLEMAS
Cheiro	Semelhante ao dos resíduos presentes na mistura	Odor à terra húmida, turfa ou húmus	- Odores pútridos; - Sulfídricos ou acéticos (condições de anaerobiose – necessidade de arejamento)
Cor	Cores características dos resíduos	Cor homogênea em tons castanho-escuros	Se alguns resíduos mantiverem a sua cor original – foram pouco degradados ou as condições não foram adequadas
Textura ou granulometria	-	Aspecto homogêneo, terroso e de elevada porosidade	Tendência para formação de agregados estáveis de grandes dimensões – elevada porosidade Tendência para apresentar um aspecto pastoso de difícil revolvimento – baixa porosidade.

Fonte: adaptada de Santos (2007).

Segundo Pereira Neto (1996), a compostagem, apesar de ser uma técnica de reciclagem de resíduos antiga, é um dos processos cuja filosofia e princípios estão entre os mais atualizados e em acordo com as exigências modernas, sendo que não está comprometido apenas com os aspectos ambientais, uma vez que confere o devido tratamento aos resíduos, ao controle da poluição e à reciclagem de materiais; mas também

com aspectos de saúde pública, por quebrar os ciclos evolutivos de várias doenças e eliminação de vetores; e ainda com o resgate da cidadania, promovendo oportunidades de empregos e incentivando práticas agrícolas.

A compostagem pode constituir um processo de tratamento dos resíduos sólidos integrado num sistema de reciclagem de materiais ou como único sistema de tratamento da fração orgânica dos resíduos. Entre os principais benefícios dos sistemas de compostagem, segundo Russo (2003), podemos citar: rápida decomposição microbiana e oxidação da matéria orgânica, tornando-a estável e com mínima produção de odores; higienização do material devido às reações exotérmicas de decomposição; a maior parte dos sistemas em pauta usa pouca quantidade de energia externa para funcionar, quando comparado a outros sistemas de tratamento; produção de fertilizantes naturais não contaminantes das águas subterrâneas ou superficiais, como acontece com os fertilizantes minerais (químicos, que lixiviam); grande flexibilidade em escala de operação; tratamento menos caro que os outros tipos de tratamento, quando se leva em consideração com os ganhos ambientais resultantes.

### **3.2.4 Reciclagem**

A reciclagem, conforme definida na PNRS, é o processo de transformação dos resíduos sólidos envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. No Brasil, a utilização destes produtos deve observar as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), e, caso seja pertinente, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema de Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA).

A reciclagem é uma das alternativas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, contribuindo diretamente para a conservação do meio ambiente. A reciclagem trata os resíduos como matéria-prima que é reaproveitada para fazer novos produtos, trazendo diversos benefícios, como a diminuição da quantidade de rejeitos enviada para aterros sanitários, redução da extração de recursos naturais, melhoria da limpeza das cidades e aumento da conscientização dos cidadãos a respeito do destino dos resíduos (LIMA, 2012).

O emprego da reciclagem como forma de tratar o RSU tem apresentado uma evolução gradativa no país. Considerando-se o total de resíduos urbanos gerados, 13% são reciclados no Brasil, segundo dados do CEMPRE (2010). Na década de 1980, a taxa de reciclagem no país não superava 1% do total gerado, apresentando uma evolução crescente a partir de então. Esse crescimento pode ser creditado, em parte: ao aumento de programas

de coleta seletiva, ampliados em 229% entre os anos de 2008 e 2014 (CEMPRE, 2015); ao crescimento do número de municípios que adotaram a atividade, embora com abrangência limitada; e ao fortalecimento de indústrias recicladoras (GRS/UFPE, 2014).

Quando se efetua a reciclagem de materiais, estes são novamente transformados em produtos comercializáveis no mercado de consumo. Isso se traduz em um ganho de eficiência, seja pela redução de consumo de recursos naturais pelas indústrias, seja pela otimização das áreas destinadas como depósito de resíduos, ou, ainda, pela conservação de energia. De modo geral, deve-se considerar que os materiais encontrados nos resíduos passíveis de reaproveitamento são aqueles que demandam, na sua produção, muitos recursos naturais minerais ou florestais, ou, ainda, grande quantidade de energia (HENRIQUES et al, 2003).

Quando materiais descartados são reciclados, abastecem a indústria com uma fonte alternativa de matérias-primas, das quais se fazem novos produtos. Isso resulta em menor demanda por materiais virgens, cuja extração, transporte e processamento são grandes fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Assim, a reciclagem reduz as emissões em praticamente todas as indústrias extrativas: mineração, silvicultura, agricultura e extração de petróleo (TANGRI, 2010).

Para Tangri (2010), a reciclagem de papel e produtos de madeira tem um impacto duplo notável. Não apenas diminui a procura por fibra de madeira virgem, reduzindo as emissões provenientes do desmatamento, mas também preserva a capacidade das florestas em continuar realizando o sequestro de carbono (remoção de carbono da atmosfera). Isto porque, a redução de emissões provenientes da reciclagem está espalhada por toda a economia, em setores como a extração de recursos, fabricação, geração de energia e a agricultura. Nos EUA, o fornecimento de bens e produtos é responsável por 38% das emissões de GEE; alimentos adicionam outros 12%. Outros 9 a 14% de emissões são associadas a mercadorias produzidas no exterior, mas consumidas nos EUA.

A reciclagem, no entanto, não pode ser vista como a principal solução para a demanda dos resíduos sólidos urbanos, sendo uma atividade econômica que deve ser encarada como um elemento dentro de um conjunto de soluções (MONTEIRO, 2001).

A reciclagem traz como benefícios: diminuição da quantidade de resíduos a ser aterrada (o que conseqüentemente dilata a vida útil dos aterros sanitários); preservação de recursos naturais; economia de energia na produção de novos produtos; diminuição dos impactos ambientais; novos negócios e geração de empregos diretos e indiretos através da criação de indústrias recicladoras; além da mitigação da mudança climática, evitando a emissão de gases de efeito estufa relevantes para o clima, especialmente o metano, o dióxido de carbono e o óxido nítrico (CALABRÒ, 2009; CHRISTENSEN; Aoustin, 2009; DONOVAN et al, 2011; GENTIL; CHRISTENSEN; Aoustin, 2009; MONTEIRO, 2001;

MACHADO et al, 2009 *apud* KING; GUTBERLET, 2013).

As principais características dos materiais recicláveis seguem descritas no item a seguir.

### 3.2.4.1 Metal

A matéria-prima virgem para a produção dos metais é o minério bruto. As etapas do processo de produção consistem nas seguintes: 1) beneficiamento do minério, no qual ocorre a fragmentação, a separação de fases e a concentração do minério; 2) pré-extração e extração, onde ocorrem transformações físicas e químicas; 3) elaboração e refino (retirada das impurezas); e, por fim, 4) fusão e solidificação. Os materiais metálicos classificam-se em dois grupos: ferrosos e não-ferrosos, cujos representantes mais comuns podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 – Classificação dos principais metais e suas aplicações majoritárias.

TIPOS		APLICAÇÕES
Metais ferrosos	Aço	Utensílios domésticos, ferramentas, peças de automóveis, construção civil, latas de alimento e bebidas.
	Ferro Fundido	Ferramentas, bases de máquina, peças de automóveis etc.
Metais não-ferrosos	Alumínio	Latas de bebidas, esquadrias (utilizadas em portas e janelas).
	Cobre	Cabos telefônicos e enrolamentos elétricos.
	Metais Pesados	Chumbo, níquel, zinco e mercúrio. Geralmente utilizados em baterias.

Fonte: Cardoso et al (2013).

O metal oferece propriedades de proteção física e de barreira, formabilidade, reciclagem e é também muito aceito pelos consumidores devido à sua versatilidade. As latas de metal fechadas hermeticamente suportam altas e baixas temperaturas de processamento, são impermeáveis à luz, umidade, odor e microrganismos, o que confere proteção ao seu conteúdo. Os metais mais utilizados para a formação de embalagens são o aço e o alumínio (LANDIM et al., 2016).

- **Aço**

As embalagens de aço possuem como matéria-prima o óxido de ferro, que quando aquecido dá origem ao aço que é utilizado como embalagem para alimentos, dentre outros tipos de utilidade. Para não oxidar quando em contato com o ar, as latas de aço são tratadas

com revestimentos de cromo ou estanho. As latas são fabricadas a partir de chapas metálicas, conhecidas como folhas de flandres. Esse tipo de embalagem permite a integridade do produto no transporte e comercialização, possui alta resistência mecânica, propicia maior segurança aos produtos, pois possibilita o processo de esterilização, e, além disso, é reciclável e degradável. Entretanto, sofre amassamento durante o transporte e a comercialização, e por ser um material não inerte, pode sofrer corrosão, além de permanecer por mais de cem anos no ambiente quando descartado.

- **Alumínio**

O alumínio não é encontrado em estado metálico na natureza, mas é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre, sendo obtido a partir da bauxita submetida às etapas de refino e redução. O Brasil está entre as maiores reservas de bauxita do mundo, sendo o sexto maior produtor mundial de alumínio e o nono maior consumidor mundial. Este metal é comumente usado para a fabricação de latas, papel alumínio, papéis e plásticos laminados ou como filmes metalizados, de modo a melhorar as propriedades de barreira. O alumínio tem como grandes vantagens as de ser um material leve, impermeável à luz, umidade e odores, ser maleável, apresentar alta relação resistência/peso e resistência à corrosão. Pode ser utilizado para embalar produtos ácidos, como os refrigerantes, desde que seja empregado um verniz adequado. No entanto, não é recomendado para embalar alimentos com alto teor salino, não tolera altas pressões nas autoclaves, possui um alto custo na produção quando comparado a outros metais e não suporta agrafagem, sendo mais aplicado em recipientes sem costura. Sua degradação na natureza pode demorar de 100 a 500 anos, por isso a importância de ser reciclado.

#### 3.2.4.2 Papel/papelão

A matéria-prima basilar utilizada na produção do papel é a celulose, originada de árvores. Após a obtenção da madeira, ela é misturada com água a fim de se obter uma massa à qual são acrescentados vários produtos. Essa massa passa por dois processos: um úmido e um seco. O primeiro é onde a folha de papel é formada, separando as fibras de celulose da água sobre uma tela. No segundo, a folha passa por cilindros altamente aquecidos por vapor onde ocorre uma secagem complementar. Na Tabela 3, que segue abaixo, estão apresentados os tipos de papel e suas principais aplicações (CARDOSO et al, 2013).

Tabela 3 – Classificação do papel e suas aplicações.

<b>TIPO</b>	<b>APLICAÇÕES</b>
Papel escritório	Incluem-se papéis de carta, blocos de anotação, de copiadoras, de impressoras, revistas e folhetos.
Papel ondulado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Também conhecido como corrugado e popularmente chamado de papelão.</li> <li>- Empregado basicamente em caixas para transporte de produtos.</li> <li>- Este material possui uma camada intermediária de papel entre suas partes exteriores disposta em ondulações.</li> <li>- As fibras de celulose do papelão são geralmente maiores que as do papel comum.</li> </ul>
Embalagem Longa Vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Também chamada de cartonada ou multicamadas.</li> <li>- Serve para preservação dos alimentos e é composta de várias camadas de papel, polietileno de baixa densidade (plástico) e alumínio.</li> </ul>

Fonte: Cardoso et al (2013).

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), o Brasil é um grande produtor mundial de papel, ficando em décimo lugar no ano de 2010, e com uma produção de 10,3 milhões de toneladas em 2012. Caso essa produção não seja realizada de forma sustentável, pode representar um grave problema ambiental, uma vez que demanda alto gasto de energia, grande consumo de água e um volume elevado de florestas cortadas para a produção de papel.

Os proveitos da utilização do papel como embalagem de alimentos são variados. Diversos tipos e formas podem ser produzidas, são recicláveis e por conta do tipo de matéria-prima que as constitui são biodegradáveis, levando cerca de 6 meses para serem degradadas na natureza (LANDIM et al, 2016). Porém, ao contrário de outros materiais recicláveis, as fibras de papel não são infinitamente recicláveis. O limite da reciclagem está entre 4 e 6 ciclos de processamento, e durante o processo de reciclagem parte das fibras tem seu comprimento diminuído, com a outra parte sendo extraída.

As embalagens formadas por celulose são altamente suscetíveis a danos ocasionados pela água e umidade, devido à sua natureza hidrofílica. Em virtude disso, são exigidas a impermeabilidade e outras características para contato direto com os alimentos, sendo atingidas através de processos empregados nas indústrias, onde combina-se papel com outros materiais, como os plásticos e os metais. No entanto, essas embalagens se tornam mais caras e mais difíceis de serem recicladas (BRACELPA, 2014). Existem também algumas características que podem inviabilizar tecnicamente sua reciclagem, como as tintas usadas na fabricação do papelão, tratamentos anti-umidificação, nos quais resinas insolúveis em água são adicionadas, e umidade em excesso (CEMPRE, 2013).

Em 2010 o Brasil reciclou 45,5% de papel, com uma taxa de recuperação para papéis ondulados e kraft de 71,1%, a maior entre todos os tipos de papel (BRACELPA, 2009). Como a qualidade das fibras é prejudicada no processo de reciclagem, esses materiais são geralmente utilizados para fabricação de papelão, papéis de fins sanitários ou papel pardo e jornal, que não demandam a mesma qualidade de textura para imprimir e escrever (BRACELPA, 2014).

### 3.2.4.3 Plásticos

Os plásticos são polímeros (moléculas muito grandes) formados principalmente por átomos de carbono e podem ser obtidos a partir de recursos naturais renováveis como cana-de-açúcar, óleo de mamona, óleo de soja e celulose, assim como recursos naturais não renováveis como amônia e carvão mineral. Porém, a grande fonte de matéria-prima para este material é o petróleo, igualmente um recurso não renovável. Os plásticos são divididos em dois grupos, os termoplásticos e os termofixos. No primeiro grupo estão os plásticos que amolecem ao serem aquecidos, sendo possível moldá-los, e quando resfriados tornam-se outra vez sólidos. Os termoplásticos são: PET (politereftalato de etila), PEAD (polietileno de alta densidade), PVC (policloreto de vinila), PEBD (polietileno de baixa densidade), PP (polipropileno) e PS (poliestireno). No segundo grupo estão os que não derretem, nem quando submetidos a altas temperaturas, apenas se degradam (queimam), o que torna sua reciclagem mais difícil (CEMPRE, 2013). Os tipos de plásticos e suas aplicações seguem descritas na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Tipos de plástico e suas aplicações.

<b>TIPO</b>	<b>APLICAÇÕES</b>
PET (Politereftalato de etileno)	Embalagens de refrigerante, água, suco, cosméticos e outros.
PEAD (Polietileno de Alta Densidade)	Embalagens de bebidas, baldes, sacolas plásticas, entre outros. Geralmente opacos ou translúcidos.
PVC (Policloreto de vinila)	Comum em tubulações e chinelos.
PEBD (Polietileno de Alta Densidade)	Embalagens de alimentos como arroz, feijão, açúcar, sal, entre outros. Geralmente são plásticos mais grossos e transparentes.
PP (Polipropeno)	Embalagens de salgadinhos, biscoitos, potes, tampas de embalagens, entre outros.
PS (Poliestireno)	Copos descartáveis, carcaças de aparelhos eletrônicos, isopor, entre outros.
OUTROS	Embalagens mistas ou feitas de outros termoplásticos.

Fonte: Cardoso et al (2013).

Segundo a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE, 2014), materiais plásticos vêm substituindo diversos tipos de materiais como aço, vidro e madeira. Eles têm como vantagens o seu baixo peso, baixo custo, elevada resistência mecânica e química, flexibilidade, possibilidade de aditivação e reciclabilidade. A principal desvantagem é a sua variável permeabilidade à luz, gases, vapores e moléculas de baixo peso molecular. Outra desvantagem é serem, em sua maioria, não biodegradáveis e levarem mais de 100 anos para serem completamente degradados pela natureza. Além disso, sua produção geralmente emite gases poluentes ao meio ambiente e é dependente do petróleo, um recurso natural não renovável do planeta.

A grande produção e uso de plásticos leva ao seu volumoso descarte, que na maioria das vezes é desordenado, contribuindo para o impacto negativo ao meio ambiente. É visível atualmente, sobretudo nas grandes cidades, problemas com inundações decorrentes do descarte incorreto desses materiais, devido à ausência de consciência da própria população e das indústrias, além dos sistemas ineficientes de coleta de lixo.

A reciclagem de embalagens plásticas é bastante complexa, devido à diversidade de polímeros existentes, cada um com usos peculiares e importância diferenciada nos resíduos sólidos. Esta complexidade se torna um dos principais desafios para a recuperação do plástico, e a reciclagem desses resíduos misturados é usada somente para a fabricação de produtos de menor valor (IPEA, 2012).

A recuperação ou reciclagem dos resíduos sólidos plásticos pode ser realizada por diferentes técnicas, como re-extrusão, reciclagem mecânica ou química e recuperação energética. A reciclagem feita pelo processo de re-extrusão (reciclagem primária) faz-se pela reintrodução de sucatas e fragmentos de polímeros no ciclo para a fabricação de produtos de materiais similares; neste processo são utilizados plásticos com características semelhantes aos produtos originais (ROLIM, 2000).

A reciclagem mecânica (reciclagem secundária) consiste na conversão dos descartes plásticos em grânulos usados na elaboração de outros produtos plásticos, com exceção de embalagens alimentícias. É o método mais usado, porém só pode ser realizado em produtos com apenas um tipo de resina plástica (AL-SALEM et al, 2010). A maioria dos plásticos pode ser submetida à reciclagem mecânica, mas os que de fato são reciclados variam dependendo da área de utilização. A seleção dos materiais está relacionada com seu valor econômico e volume de material disponível para reciclagem (COLTRO; DUARTE, 2013).

Já a reciclagem química (reciclagem terciária) consiste num reprocesso dos plásticos, transformando-os em petroquímicos básicos que servem como matéria-prima, em

refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade (SILVA et al, 2014).

Na reciclagem por recuperação energética (reciclagem quaternária) faz-se a queima dos resíduos gerando calor, vapor ou energia. Neste processo há destruição de espumas, grânulos, clorofluorcarbonetos (CFCs) e outros agentes nocivos (AL-SALEM et al, 2010). Embora a reciclagem energética ainda não exista no Brasil, é uma alternativa ambientalmente correta, economicamente viável e socialmente recomendável, o que a torna uma técnica sustentável (SILVA et al., 2011).

#### 3.2.4.4 Vidro

Em geral, os vidros são fabricados por um processo no qual as matérias-primas (areia, barrilha, calcário e cacos de vidro), em proporções variadas, são misturadas e fundidas a uma temperatura elevada entre 1350 °C e 1600 °C, possibilitando a moldagem em diferentes formas e tamanhos. A alumina ( $Al_2O_3$ ) pode ser incorporada para melhorar a durabilidade química do vidro e agentes refinadores agem reduzindo a temperatura e o tempo para o processo de fusão, auxiliando na remoção de bolhas de ar do vidro e economizando energia durante o processo de produção (FELLOWS, 2006). Os tipos de vidro e suas aplicações seguem descritos na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Algumas classes de vidro e suas principais aplicações.

TIPO	APLICAÇÕES
Vidro para embalagem	Entre as diversas aplicações estão: potes para alimentos, garrafas de bebidas, produtos farmacêuticos, higiene pessoal, entre outros.
Vidro doméstico	Usados em utensílios como copos, xícaras, pratos, entre outros.
Vidros planos	São fabricados em chapas e os principais mercados são os da construção civil, indústria automobilística e outras aplicações em menores quantidades.

Fonte: Cardoso et al (2013).

Como embalagem, é um material inerte, garantindo, assim, a segurança do consumidor quanto à possibilidade de contaminação do alimento. Possui características desejáveis: como impermeabilidade a gases e vapor; praticidade; versatilidade; transparência, podendo apresentar variações de cor, o que possibilita proteção aos produtos sensíveis à luz. No entanto, são pesados e frágeis, acarretando maior custo no transporte e, conseqüentemente, ao produto final, além de ser necessária a utilização de outros tipos de

materiais para o fechamento hermético das embalagens (GAVA, 2009). O vidro é o material de embalagem mais antigo e corresponde a 4,86% no valor de produção de embalagens no Brasil. Apesar do seu tempo de degradação total ser indeterminado, seu impacto no ambiente se torna menor por ser completamente reciclável e reutilizável (ABIVIDRO, 2012).

As embalagens, principalmente de alimentos, têm um papel importante para as fábricas de vidro, uma vez que são responsáveis por cerca de 40% do consumo deste material. Segundo Cardoso et al (2013), o Brasil produz, em média, 980 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, utilizando cerca de 45% de matéria-prima na forma de cacos.

### **3.2.5 Digestão anaeróbia ou biodigestão e tratamento mecânico biológico**

A biodigestão de resíduos ou digestão anaeróbia é um processo fermentativo parecido com a compostagem, mas totalmente anaeróbio e que tem como subprodutos o biogás e o biofertilizante, que podem ser aproveitados. A biodigestão estabiliza os resíduos sólidos transformando-os em compostos simples. Assim, uma das alternativas possíveis de tratamento de resíduos orgânicos pode processar-se pela fermentação anaeróbia, que, além da capacidade de reduzir concentração de matéria orgânica carbonácea, permite valorizar um produto energético, o biogás, e obter um fertilizante cuja disponibilidade contribui para a rápida amortização dos custos de tecnologia instalada (PIRES, 1996). O processo de fermentação anaeróbia é comumente encontrado na natureza, mas pode ser realizado em grandes volumes e controlado por meio de um equipamento conhecido como biodigestor ou reator anaeróbio.

O processo de conversão de matéria orgânica, da digestão anaeróbia (DA) ou biodigestão, acontece em dois estágios: primeiro ocorre a conversão de orgânicos complexos em materiais como ácidos voláteis; e depois a conversão destes ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico (CHERNICHARO, 1997).

A DA ou biodigestão pode ser entendida como um processo de transformação de resíduos orgânicos, também conhecida como biogaseificação ou metanização, em que se processa a sua decomposição na ausência do oxigênio (digestão anaeróbia), gerando o biogás, que é formado por cerca de 45% a 60% de CH<sub>4</sub> (metano) e de 40% a 50% de CO<sub>2</sub> (dióxido e carbono), que pode ser queimado ou utilizado como combustível. A decomposição realizada por bactérias anaeróbias ocorre em várias etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (LIMA, 2012).

Esse processo pode ser descrito tecnicamente em (04) quatro estágios: primeiro, o pré-tratamento; depois a digestão dos resíduos; em seguida, a recuperação do biogás; e por último o tratamento dos resíduos. A maioria dos sistemas requer pré-tratamento dos resíduos para que se possa obter uma massa homogênea. Este pré-processamento envolve a separação ou triagem dos materiais não biodegradáveis seguida por uma trituração. A triagem tem por objetivo a remoção de materiais reaproveitáveis, como vidros, metais ou plásticos, ou não desejáveis, considerados rejeitos, como pedras, madeira etc. (BRABER, 1995; DE BAERE, 2003).

Dentro do digestor, a massa é diluída para obtenção do conteúdo desejado de sólidos, e permanece na parte interna do reator por um determinado tempo de retenção. Para a diluição, podem ser utilizados água da torneira, lodo de esgoto, esgoto doméstico ou a recirculação do líquido efluente do reator. Dependendo da temperatura ambiente, um trocador de calor é usualmente requerido para manter a temperatura desejada. O biogás obtido com a DA é purificado e armazenado em gasômetros. No caso do efluente do digestor estar com umidade muito elevada, faz-se necessário um processo de secagem do mesmo, e o efluente líquido é utilizado para recirculação ou enviado para tratamento. Resultando o biossólido, este deve ser tratado aerobiamente para obtenção de um composto de qualidade (LIMA, 2012).

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), o biofertilizante, que, se aplicado ao solo, melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas deste. A principal razão para a grande capacidade de fertilização do biofertilizante se encontra no fato de a digestão da biomassa (no interior do biodigestor) diminuir drasticamente o teor de carbono presente na mesma. Isso ocorre porque, na biodigestão, a matéria orgânica perde exclusivamente carbono, sob a forma de  $\text{CH}_4$  (Metano) e de  $\text{CO}_2$  (Gás Carbônico). Ademais, devido à perda do carbono, ocorre a diminuição na relação C/N da matéria orgânica, melhorando o índice de fixação do nitrogênio pelos microrganismos do solo (bactérias nitrogenadoras), além do fato do próprio biofertilizante conter alguns nutrientes já solubilizados. Com seu nível de pH (em torno de 7,5), o biofertilizante funciona como corretor de acidez, eliminando o alumínio e liberando o fósforo dos sais insolúveis do alumínio de ferro, e também dificultando a multiplicação de fungos patogênicos através da elevação do pH (DOTTO; WOLFF, 2012).

Com relação às vantagens apresentadas por esta tecnologia, destacam-se: aumento da vida útil dos aterros sanitários; redução da fração orgânica dos RSU, responsável pelos odores desagradáveis e pela geração de lixiviados de alta carga poluidora nos aterros sanitários; maior geração de biogás e metano, devido às condições controladas de umidade e temperatura dos digestores; propiciação da coleta de todo o biogás gerado (em aterros o índice de recuperação pode variar de 20 a 40 %), reduzindo assim as emissões de gases de

efeito estufa; em seu processamento tem-se a geração de produtos valorizáveis: biogás (energia e calor) e composto orgânico. As principais desvantagens dessa tecnologia são: a composição dos resíduos pode variar, dependendo da localização e da estação do ano, podendo comprometer o processo de biodigestão anaeróbia e, por conseguinte, a qualidade do biogás e do material digerido gerado; necessidade de etapa posterior (como compostagem) para bioestabilização dos resíduos digeridos; dificuldade na operação do sistema, principalmente em termos de obstruções de canalização, em sistemas contínuos; necessidade de mão de obra qualificada para o processo de operação e monitoramento da planta (GRS/UFPE, 2014).

O processo, em geral, é parecido com o de uma composteira, mas sem a liberação de gás algum para a atmosfera e com o benefício de aceitar qualquer resíduo orgânico, inclusive dejetos de animais e humanos. No entanto, a biodigestão isolada não soluciona o problema do lixo nas cidades. É necessária uma coleta seletiva eficiente, já que apenas os resíduos orgânicos devem ter como destino os biodigestores.

O Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) é uma tecnologia que tem atraído bastante interesse nos últimos anos, uma vez que pode reduzir a dependência do uso do aterro e ao mesmo tempo evitar a necessidade de incineração. Consiste no processamento de resíduos indiferenciados, utilizando uma combinação de processos mecânicos e biológicos de forma a satisfazer uma série de objetivos. Nesse segmento, os sistemas de Tratamento Mecânico-Biológicos variam na sua complexidade e funcionalidade (LIMA, 2014).

A etapa mecânica visa: i. Reduzir o tamanho e homogeneizar o material a ser tratado, de forma a otimizar o tratamento biológico; ii. Recuperar materiais recicláveis (metais, plásticos, vidros) e remover materiais que possam prejudicar o processo biológico; iii. Aumentar a concentração do material orgânico biodegradável (PRATES et al, 2016).

O grau de complexidade e extensão do tratamento mecânico depende das características do resíduo a ser tratado (umidade, tamanho, composição etc.); da quantidade e qualidade de materiais recicláveis presente na massa de resíduos; do tratamento biológico a ser usado; da qualidade do produto final a ser alcançada e também da meta de reciclagem estipulada pela legislação e/ou operador da planta (FISCHER, 2012). A etapa de tratamento mecânico pode incluir os seguintes equipamentos: peneiramento (tambor, estático ou vibratório); separação magnética; separação manual; classificação aerada; classificação por correntes de Foucault; classificação por sistema de detecção infravermelho próximo; separador balístico. É importante ficar claro, que nem todos os elementos devem estar presentes simultaneamente na etapa de pré-tratamento mecânico.

O tratamento biológico é considerado a parte central do TMB, tendo como principal objetivo acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica. Os tratamentos disponíveis são subdivididos em processos aeróbios (com presença de oxigênio), processos

anaeróbios (ausência de oxigênio) e processos combinados. As alternativas de sistemas para o tratamento biológico são: compostagem em leiras, compostagem em túneis, compostagem em *containers*; digestão anaeróbica; percolação; e secagem biológica (FISCHER, 2012).

Resíduos derivados de indústrias, serviços de saúde e de construção civil, por suas características de alta periculosidade e baixa biodegradabilidade, não são passíveis de tratamento por sistemas de TMB (PRATES et al, 2016).

Os objetivos do tratamento mecânico-biológico antecedente à disposição final em aterro sanitário incluem: inativar processos biológicos e químicos nos resíduos de forma a diminuir a formação de biogás e chorume; minimizar o volume e massa de resíduos, sendo dispostos no aterro de modo a aumentar a vida útil do mesmo; imobilizar poluentes presentes na massa de resíduos visando reduzir a carga contaminante do chorume; aumentar a densidade do resíduo disposto em aterro e, conseqüentemente, reduzir os processos de assentamento no aterro; atenuar a quantidade de chorume gerado e diminuir o tempo de cuidado após fechamento do aterro (MÜNNICH et al, 2006).

Segundo Lima (2014), os benefícios desse processo são: tratamento adequado para grandes volumes de resíduos; encaminhamento de resíduos de embalagem para reciclagem; o fato de proporcionar fonte de recuperação de metais para reciclagem; encaminhamento de rejeitos para aterro sanitário e valorização energética; diminuição da deposição de resíduos em aterro, contribuindo para cumprimento de metas de deposição; redução do lixiviado devido a uma maior densidade do composto produzido; aproveitamento do biogás, cooperando para produção de eletricidade; criação de postos de trabalho; tecnologia fiável; e menor risco econômico.

### 3.3 SITUAÇÃO MUNDIAL ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

No Brasil, os principais marcos legais da política pública nacional, na área de RSU, são a Lei de Consórcios Públicos, a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Essas legislações são integradas e complementares para a gestão dos RSU.

Os EUA, União Europeia e Japão se utilizam de arranjos institucionais, modelos de gestão e sistemas de incentivos próprios para atenderem às questões referentes aos resíduos sólidos urbanos. De modo geral, nos Estados Unidos, a agência reguladora (EPA) tem a sua atuação mais estruturada, com poder de regulamentação e fiscalização previsto constitucionalmente. Quanto à União Europeia, o bloco delibera sobre os mais variados assuntos de uma maneira mais flexível (se comparado às legislações interestatais), e os

Estados-membros devem cumprir as orientações, mas dentro de uma estratégia de adaptação (não de imposição) à legislação da União Europeia. Já no caso do Japão, o emprego da legislação é fortemente municipal e a questão territorial está diretamente ligada à necessidade de diminuição do volume de resíduos e à utilização de soluções tecnológicas como a reciclagem e a incineração (GRS/UFPE, 2014).

Atualmente existem diversos tipos de tratamentos que podem ser empregados aos diferentes resíduos; estes tratamentos podem ser compreendidos como uma série de procedimentos físicos, químicos e biológicos que têm por objetivo diminuir a carga poluidora no meio ambiente, reduzir os impactos sanitários danosos e aplicar o beneficiamento econômico do resíduo.

No Brasil, por exemplo, a prática amplamente aceita para tratamento dos RSU é a disposição final em aterros sanitários, embora ainda exista no país uma enorme quantidade de aterros controlados e lixões. Os países desenvolvidos, por sua vez, apresentam inovações tecnológicas bastante significativas que vêm acompanhando as necessidades energéticas, materiais e ambientais em resposta às demandas da população, seu crescimento, sua cultura e economia, tendo como base legislações claras e objetivas, implantadas progressivamente ao avanço das tecnologias, sensibilização social e educação de suas sociedades. Esses países possuem estratégias para melhor gerir questões relativas aos resíduos sólidos urbanos e se baseiam num sistema hierárquico de etapas que segue a subsequente ordem: minimização, reutilização, reciclagem, recuperação de energia da incineração e disposição final em aterros sanitários. O resultado decorrente de um longo período de investimento em vários setores da sociedade acabou também, por consequência, colaborando para uma boa gestão de resíduos sólidos (ANDRADE; FERREIRA, 2011).

A Tabela 6 apresenta as formas de tratamento mais relevantes dos RSU, com seus processos e evoluções, além dos principais produtos – matérias-primas e suas inovações tecnológicas.

Tabela 6 – Evolução dos mecanismos de tratamento dos RSU.

<b>SISTEMAS BÁSICOS</b>	<b>TIPO DE PROCESSO</b>	<b>EVOLUÇÃO</b>	<b>PRODUTOS</b>	<b>INOVAÇÃO</b>
Triagem	Físico	Coleta Seletiva, Tratamento Mecânico-Biológico (TMB).	Matéria-Prima para Reciclagem e Energia.	Recuperação dos resíduos; Energia derivada dos resíduos.
Tratamento biológico	Biológico	Biodigestores Anaeróbios, Compostagem.	Composto Orgânico e Energia.	Agricultura e Energia derivada dos resíduos.
Incineração	Físico-químico	Tratamento Térmico.	Vapor e Energia Elétrica.	Energia derivada dos resíduos.

Aterros sanitários	Físico, químico e biológico	Reator Anaeróbio, Tratamento da Matéria Orgânica.	Biogás (Energia) e Lixiviado.	Energia derivada dos resíduos; Fertilizante.
--------------------	-----------------------------	---	-------------------------------	--

Fonte: Jucá (2012).

Ao longo do tempo, no entanto, foi possível notar que ocorreram evoluções nesses processos, como por exemplo:

- As unidades de triagem evoluíram para tecnologias mais recentes, como os tratamentos mecânico-biológicos (TMB), cujos produtos são matéria-prima para reciclagem de inorgânicos e compostos orgânicos para a compostagem ou a digestão anaeróbia.
- O tratamento biológico evoluiu com técnicas de compostagem mais eficientes, além dos biodigestores anaeróbios que produzem compostos orgânicos e até adubos, quando são introduzidos componentes químicos. Ademais, os biodigestores anaeróbios podem produzir energia através do metano gerado no processo de decomposição dos resíduos orgânicos.
- As unidades de incineração evoluíram para tecnologias que permitem o tratamento térmico dos resíduos, com geração de energia elétrica, calor ou ciclos combinados. Neste setor, evoluíram as técnicas de co-processamento e os combustíveis derivados dos resíduos.
- Os aterros sanitários sem geração de energia evoluíram tecnologicamente e podem ser considerados biodigestores anaeróbios com captação do biogás e geração de energia.

O tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil sempre teve uma grande influência das tecnologias desenvolvidas em outros países, embora não se possa afirmar que houve uma adoção completa de qualquer modelo internacional. No Brasil, mesmo com a ampla utilização de aterros sanitários, aproximadamente 42% de resíduos não são tratados e são descartados inadequadamente em aterros controlados e lixões, conforme dados da ABRELPE (2014).

Com a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei N° 12.305, de 2010, regulamentada pelo Decreto 7.404, de 2010), espera-se que nos próximos anos exista uma mudança no panorama da gestão dos RSU, passando da condição de uso de práticas inadequadas de aterramento (como os lixões e aterros controlados) para o uso de tecnologias, tratamento e disposição final, a exemplo de aterros sanitários, triagem, reciclagem, compostagem e incineração, apropriadas à realidade de cada local.

As principais tecnologias de tratamento e disposição de resíduos existentes na

Europa são a reciclagem, a compostagem, a digestão anaeróbia, o tratamento mecânico-biológico, a incineração com geração de energia, a incineração com ciclo combinado (geração de energia e calor) e o aterro sanitário.

Os métodos de tratamento existentes na Europa diferem substancialmente entre os Estados-membros. Durante o período de 1995 a 2010, o aterro foi o tratamento mais comum, com uma participação de 62% na quantidade de resíduos tratados; em 2005 esta participação caiu para 50% e em 2010 havia caído para 38%. Em 1995, cerca de 13% dos resíduos eram incinerados, participação que aumentou para 22% em 2010. A participação da reciclagem e compostagem em 1995 era de 10 e 5%, aumentando para 25 e 15%, respectivamente, indicando a evolução do tratamento de resíduos neste período (LIMA, 2012).

A instituição de uma legislação comunitária (CEE) e nacional de cada Estado-membro, que estabelece metas e instrumentos para redução na fonte, triagem, reciclagem, aproveitamento dos resíduos, eliminação de lixões e aterros não-sanitários, além de restrições sobre resíduos permitidos em aterros sanitários, é reconhecida como um dos fatores modificadores do modelo vigente até então. Se, por um lado, os incentivos gerados a partir da legislação implementada resultaram em um aumento dos preços das matérias-primas, materiais reciclados e combustíveis, por outro se reconhece o aproveitamento dos resíduos sólidos como aspecto dominante. Na Europa, em 2010, foram recuperados 40% dos resíduos descartados pela sociedade na forma de reciclagem e compostagem, 22% foram incinerados e 38% dispostos em aterros sanitários (EUROESTAT, 2012; GRS/UFPE, 2014).

Nos Estados Unidos, os aterros sanitários permanecem como a tecnologia dominante para a destinação de RSU, com 54,3% do total dos resíduos (25,2% reciclagem, 8,6% compostagem e 11,9% incineração com aproveitamento de energia). As unidades de triagem e reciclagem são fundamentais para a gestão dos resíduos sólidos. Para uma visão global da situação dos EUA, a reciclagem é uma tendência de crescimento. A recuperação de matérias aumentou significativamente desde 1990 até o presente, ao passo que as quantidades descartadas mantiveram-se estáveis (LIMA, 2012).

De 1990 a 2010, a quantidade de material compostado nos Estados Unidos teve um aumento de aproximadamente 492%. De 2000 a 2010, a quantidade de material compostado nos Estados Unidos aumentou em 26%. Nos EUA o emprego de sistemas de tratamento de RSU utilizando digestores anaeróbios ainda é incipiente quando comparado a outras tecnologias mais consolidadas como aterros, compostagem e incineração. As plantas existentes funcionam praticamente em caráter e escala experimental (GRS/UFPE, 2012).

Em 2000, nos Estados Unidos, havia 102 incineradores em funcionamento com capacidade de queimar quase 96.000 toneladas de RSU por dia. Atualmente, o número de

plantas em operação é de 86, porém a quantidade de resíduos tratados via incineração continua a mesma. O crescimento futuro de instalações de incineração nos EUA é considerado muito baixo, até mesmo porque não há novas plantas deste tipo licenciadas nos últimos 20 anos, e apenas uma pequena quantidade (cinco ou mais) estão nas fases de projeto para permitir sua regulamentação. As razões para isso provavelmente incluem os altos custos iniciais, o baixo valor atual de energia elétrica, não aceitação da população e a incerteza do fluxo contínuo de resíduos que chegam ao estabelecimento (LIMA, 2012; GRS/UFPE, 2014).

No Japão, a produção de resíduos urbanos aumentou entre 1985 e 2000, com uma ligeira diminuição entre 2000 e 2007, e apresentou um decréscimo acentuado entre 2007 e 2009. Avalia-se que esta redução da geração de resíduos é resultado da execução bem-sucedida de uma série de leis que associam as estratégias nacionais com a filosofia dos 3Rs (reduzir, reutilizar, reciclar) e estabelecem o “ciclo de materiais” (GRS/UFPE, 2014).

No Japão se produz, por pessoa, cerca da metade de resíduos produzida nos Estados Unidos, algo em torno de 1 Kg por dia (MILLER JR., 2007). A composição média de seus resíduos sólidos urbanos gira em torno de: 40% de papel, 20% de plásticos, 17% de orgânicos, 10% de vidro, 6% de metais e 7% de outros (MENDES; IMURA, 2004).

Segundo o Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal do Pernambuco (2012), o tamanho da população japonesa e seu intenso uso do solo são fatores determinantes nas políticas e diretrizes relativas à gestão de resíduos sólidos. Dos mecanismos usados para tratamento de RSU, nenhum outro país apresenta índices tão altos de reciclagem, com números que chegam a cerca de 50%. A incineração também é utilizada como forma expressiva de tratamento pela redução de volume de resíduos, uma vez que, há baixa disponibilidade de espaço territorial no país e são cada vez mais escassas as áreas apropriadas para instalação de aterros sanitários para confinamento tanto dos rejeitos da incineração quanto de outros processos de tratamento.

A Tabela 7, localizada abaixo, apresenta os valores médios percentuais em que os tipos de tratamento/destinação final são aplicados em alguns países.

Tabela 7 – Destino do RSU em diversos países (valores arredondados).

PAÍS	RECICLAGEM	COMPOSTAGEM	RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA <sup>(1)</sup>	ATERRO SANITÁRIO
Holanda	39%	7%	42%	12%
Suíça	31%	11%	45%	13%
Dinamarca	29%	2%	58%	11%
EUA	24%	8%	13%	55%
Austrália	20%	<<1%	<1%	80%
Alemanha	15%	5%	30%	50%

Japão	15%	----	78%	7%
Israel	13%	----	----	87%
França	12% <sup>(2)</sup>	n.i	40%	48%
Brasil	< 8%	2%	----	> 90%
Reino Unido	8%	1%	8%	83%
Grécia	5%	----	----	95%
Itália	3%	10%	7%	80%
Suécia	3%	5%	52%	40%
México	2%	----	----	98% <sup>(3)</sup>

(1) Basicamente incineração

(2) As estatísticas incluem compostagem

(3) Incluem aterros controlados e lixões

(4) n.i. – Não informado

Fonte: EPE (2014).

## 4 METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos estabelecidos neste trabalho, uma simulação da gestão de resíduos sólidos foi desenvolvida para a cidade de Feira de Santana – BA, para cinco cenários-base: situação atual do município, com todo o RSU sendo encaminhado para aterro; com metas de reciclagem propostas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) (MMA, 2011); com metas de reciclagem propostas pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de Feira de Santana – BA (ENVEX, 2016); com metas de reciclagem propostas pelo PLANARES e PMGIRS, aliadas à redução da geração *per capita* e aumento da taxa de coleta; e, por fim, metas de reciclagem arrojadas aliadas à diminuição da produção *per capita* e crescimento da taxa de coleta. Utilizou-se a unidade temporal “ano” para um horizonte de estudo entre 2016 e 2050.

A partir desta simulação, os resultados foram avaliados tanto sob a ótica da vida útil do aterro municipal quanto das questões energéticas, por meio das políticas de reciclagem adotadas. As discussões dos resultados foram possíveis graças a um prévio levantamento bibliográfico.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO: FEIRA DE SANTANA – BA

A cidade de Feira de Santana (Figura 2), localizada no estado da Bahia, é um dos municípios que compõe a mesorregião denominada Centro Norte Baiano. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possuía uma população estimada para 2016 de 622.639 habitantes, a segunda maior do estado, atrás apenas da capital Salvador, de onde dista 109 quilômetros. Três rodovias federais e três estaduais passam pela cidade, todas elas fundamentais para a ligação do sul-sudeste com o norte-nordeste brasileiro. Esse eixo rodoviário foi decisivo no seu crescimento urbano e econômico.

Figura 2 – Localização do município de Feira de Santana no mapa do estado da Bahia.



Fonte: <http://cidades.ibge.gov.br>.

O crescimento da população feirense e sua concentração espacial, na sede do município, têm demandado a ampliação da infraestrutura de saneamento básico, incluindo nesse quesito formas adequadas de gestão de resíduos sólidos. A atual gestão de resíduos sólidos, abarcando coleta e destinação, limpeza pública, varrição e podas, ocorre sob responsabilidade da Secretaria Municipal de Serviços Públicos (SESP). Já a regulação, controle e fiscalização destes serviços é realizada pela Agência Reguladora de Feira de Santana (ARFES).

#### 4.2 BASE DE DADOS

A quantidade de RSU produzida para o horizonte de tempo simulado foi calculada através da Equação 1.

$$RSU_{TOTAL\ X} = (Pop_X * TG_X * PC_X * 365)/1000 \quad (1)$$

Onde:

$RSU_{TOTAL\ X}$  = a quantidade de RSU produzida para um ano x qualquer, em t/ano;

$Pop_X$  = população estimada para o ano x;

$TG_X$  = taxa de geração de RSU para o ano x, em kg/hab/dia;

$PC_X$  = porcentagem de RSU que é devidamente coletada pelo município para o ano x.

A projeção populacional para o horizonte de estudo foi realizada através do método da curva logística, disposta no APÊNDICE A. A taxa de geração foi considerada constante,

a princípio, para todo o período de estudo, igual a 1,066 kg/hab/dia, com base em dados da ABRELPE (2015), para região nordeste, e Ministério das Cidades (2010), para municípios com população superior a 500 mil habitantes.

Segundo a ENVEX (2016), o valor que corresponde à taxa de coleta municipal é 0,714 kg/hab/dia, porém, como os dados de geração *per capita* representam uma média geral entre dados da Bahia e de cidades com mais de 500 mil habitantes, por falta de dados locais, foram adotadas para este estudo taxas de coleta referentes à média da Bahia, 0,795 kg/hab/dia, que é cerca de 10% superior à taxa de coleta encontrada no município.

Para o cálculo das quantidades dos materiais recicláveis e orgânicos, foram utilizados dados da composição gravimétrica do RSU em Feira de Santana disponibilizados pela Envex Engenharia (2016), com as seguintes porcentagens: matéria orgânica (49%), papel (20%), plástico (19%), vidro (1%), metal (1%) e outros (10%), sendo estes: compostos de borracha (2%); cerâmica (1%); madeira (4%); e têxtil (3%). Essas porcentagens foram usadas para calcular a quantidade de cada tipo de material nos anos estudados, a partir do RSU total gerado. As quantidades encontradas para cada ano estão dispostas no APÊNDICE B.

Todos os cenários estudados empregam a mesma base para o cálculo da quantidade de RSU produzida no município, com variações apenas nas taxas de reciclagem aplicadas para resíduos secos e úmidos, reduções na geração *per capita* e taxas crescentes de coleta.

### 4.3 CENÁRIOS DE ESTUDO

#### 4.3.1 Cenário 1 – Situação atual do município

A Figura 3 esboça um panorama que representa a situação atual do município. No presente estudo não se considerou taxas de reciclagem, devido à ausência de dados consistentes para essa abordagem, embora a ENVEX (2016), responsável pela elaboração do plano municipal, estime que dos resíduos sólidos domiciliares gerados em Feira de Santana, em média, 26% são reciclados, 67% são destinados ao aterro sanitário e os 7% restantes recebem métodos de destinação irregulares.

Figura 3 – Taxas de reciclagem empregadas para o Cenário 1.



Fonte: a autora (2017).

#### 4.3.2 Cenário 2 – Aplicação das metas PLANARES no município de estudo

O cenário com metas do PLANARES considerou as porcentagens de reciclagem conforme mostradas na Tabela 8, com os resíduos secos sendo reaproveitados como matéria-prima, e os resíduos úmidos sendo utilizados para compostagem e produção de biogás. Para fins de simulação foram admitidas taxas de crescimento lineares entre os anos dispostos nas metas.

Tabela 8 – Metas para reciclagem de resíduos segundo o PLANARES.

ANO	RESÍDUOS SECOS	RESÍDUOS ÚMIDOS
2019	16%	20%
2023	19%	30%
2027	22%	40%
2031	25%	50%

Fonte: MMA (2011).

#### 4.3.3 Cenário 3 – Aplicação das metas do PMGIRS no município de estudo

O cenário com metas do PMGIRS de Feira de Santana considerou as porcentagens de reciclagem conforme dispostas na Tabela 9.

Tabela 9 – Metas para reciclagem de resíduos segundo o PMGIRS.

ANO	RESÍDUOS SECOS	RESÍDUOS ÚMIDOS
2019	22%	7%
2024	35%	15%
2029	46%	25%
2036	60%	50%

Fonte: ENVEX Engenharia (2016).

#### 4.3.4 Cenário 4 – Aplicação de metas de reciclagem (cenários 2 e 3), aliada ao aumento da coleta e diminuição da geração *per capita*

Esse cenário de estudo foi dividido em cenários 4A e 4B. Cenário 4A: aborda as metas de reciclagem propostas pelo PLANARES aliadas ao aumento da coleta e diminuição da geração *per capita*; enquanto que cenário 4B tem os mesmos parâmetros de análise, substituindo apenas as metas PLANARES por metas do PMGIRS.

Com base na ordem de prioridade descrita no PNRS, foi considerada uma redução *per capita* de geração de resíduos ao longo do horizonte de estudo. Foram adotados valores de redução de produção de resíduos graduais de 1,066 kg/hab/dia em 2016 até 0,82 kg/hab/dia em 2050, valor que, segundo Santiago e Dias (2012), foi definido como sustentável por ser o menor encontrado entre as regiões brasileiras.

De modo semelhante, a porcentagem de RSU coletado em Feira de Santana, com base nos dados da ABRELPE (2015) para o Estado da Bahia, é de 0,795 kg/hab/dia em 2016, ou 67,00% da taxa de geração considerada neste estudo. Para fins de simulação, foi adotado um crescimento linear até atingir 90,00% para o ano de 2050, já que, de acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), em 2014 as taxas de cobertura do serviço de coleta de resíduos nas regiões Sul e Sudeste atingiram mais de 90% do volume gerado.

#### **4.3.5 Cenário 5 – Aplicação de metas de reciclagem arrojadas, aliadas ao aumento da coleta e diminuição da geração *per capita***

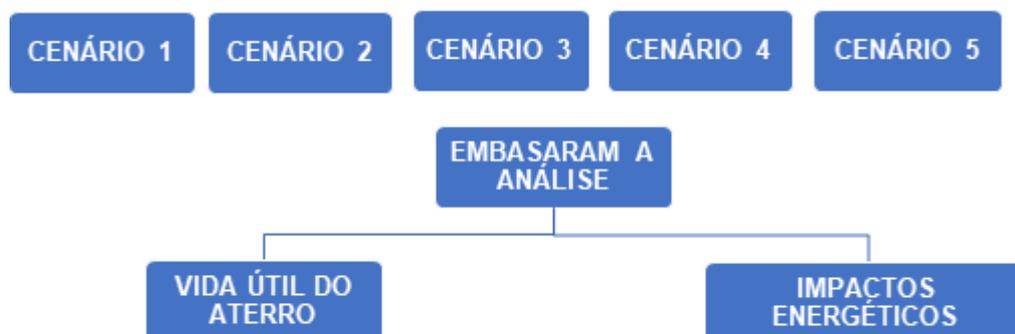
Para esse cenário foram considerados percentuais crescentes de reciclagem de 16% em 2016, menor percentual previsto segundo PLANARES, até percentuais de 90% em 2050, valor que corresponde a uma média dos percentuais de reintrodução de materiais à cadeia produtiva aplicada no Japão, que são: 90% para plástico, 93% para papel, 84,1% para vidro (JCPRA Statistics, 2011) e 93,4% para metal (CEMPRE, 2010). Em relação aos resíduos úmidos, foram considerados também percentuais crescentes de 7% (menor percentual considerado para esse resíduo, como sugere o PMGIRS) até 90%, que serão empregados a esses materiais em 2050.

O valor empregado para plástico corresponde no Japão apenas à reintrodução de PET; para o metal, apenas o alumínio; porém, esses valores foram empregados neste estudo a todo plástico, bem como a todo metal. Embora o Japão apresente percentuais altos de retorno de materiais às suas respectivas cadeias produtivas, segundo MOEJ (2011) o gerenciamento de resíduos vigente em 2008 era basicamente composto por: 79% de incineração, 19% de reciclagem, 2% de aterro sanitário.

A partir dessas simulações, foram avaliados os impactos de cada cenário no aumento de vida útil do aterro sanitário de Feira de Santana, e na economia e geração de energia por meio da reciclagem de materiais que deixam de ser encaminhados ao aterro,

conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Parâmetros de análise com base em cada cenário de reciclagem simulado.



Fonte: a autora (2017).

#### 4.4 ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DO ATERRO

Este estudo foi conduzido para estimar, em média, por quantos anos pode-se estender a vida útil do aterro sanitário de Feira de Santana, a partir das adequações que o município deve ponderar com a implantação dos cenários propostos. Considerou-se um aterro sanitário com um volume inicial disponível máximo, de acordo com os dados dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados do aterro sanitário de Feira de Santana.

<b>DADOS UTILIZADOS PARA O ATERRO SANITÁRIO</b>	
Capacidade diária (t/dia)	1000
Vida útil estimada (anos)	20

Fonte: INEMA (2016).

A capacidade disponível do aterro foi calculada segundo a Equação 2:

$$C = (Cap_{dia} * VU * 365) / Densidade_{RSU} \quad (2)$$

Onde:

C = capacidade disponível, em m<sup>3</sup>;

Cap<sub>dia</sub> = capacidade diária do aterro, em t/dia;

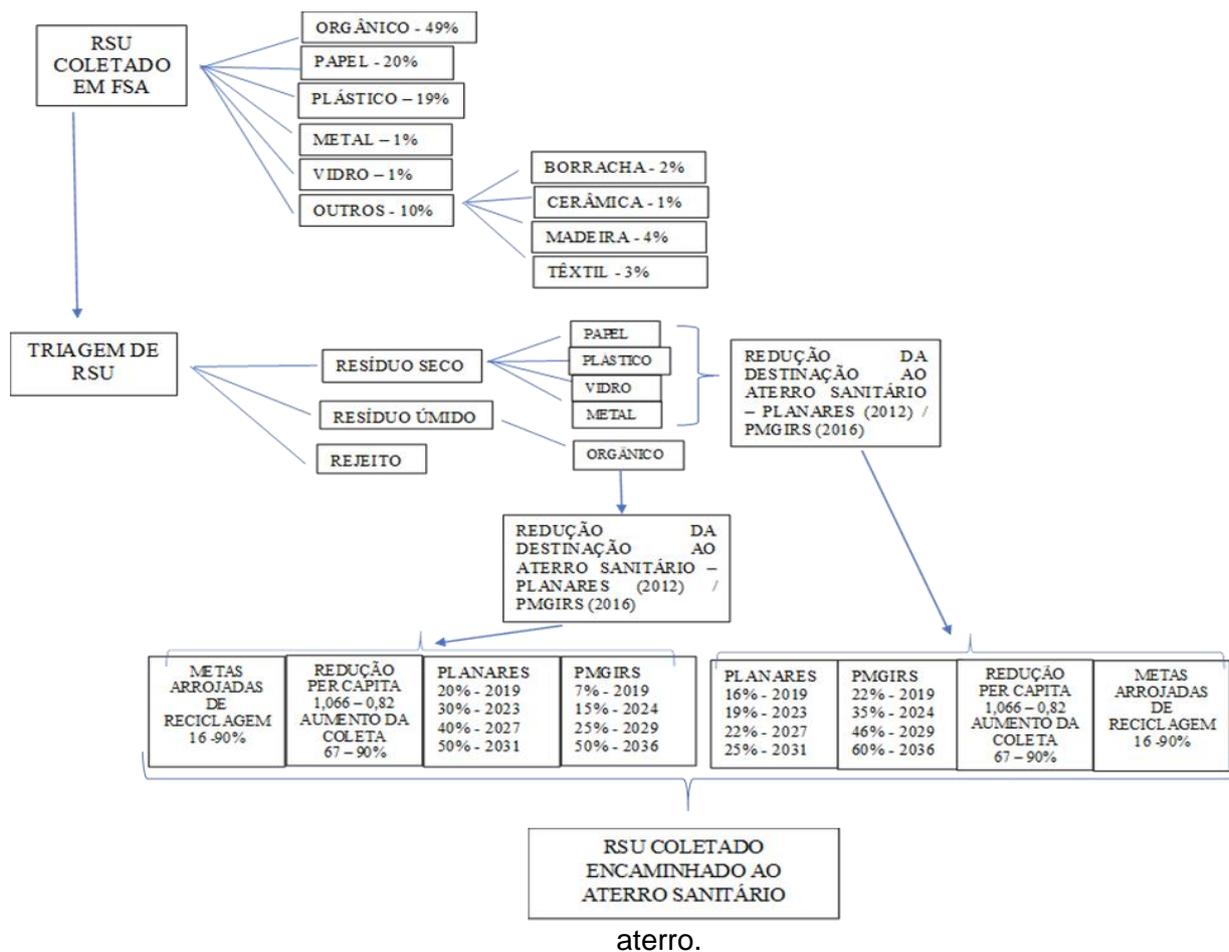
VU = vida útil estimada do aterro, em anos;

Densidade<sub>RSU</sub> = densidade do RSU compactado em aterro, em t/m<sup>3</sup>.

O valor de densidade do RSU compactado no aterro utilizado foi extraído de Piveli e Filho (2011), e é de 0,7 t/m<sup>3</sup>: portanto, o volume inicial do aterro calculado foi de 10,4 milhões m<sup>3</sup>.

A 5 apresenta um fluxograma das rotas percorridas pelo RSU antes do encaminhamento ao aterro, bem como as porcentagens de reciclagem que foram aplicadas. De acordo com os cenários propostos, o RSU coletado passará por um processo de triagem na qual será feita uma separação entre os resíduos secos, úmidos e rejeitos. Após este processo, os resíduos que não foram reciclados, bem como os rejeitos, serão encaminhados ao aterro sanitário municipal.

Figura 5 – Fluxograma das rotas de destinação dos resíduos sólidos, onde percentuais de reciclagem são adotados para redução de encaminhamento de resíduos secos e úmidos ao



Fonte: a autora (2017).

## 4.5 ANÁLISE DE ECONOMIA DE ENERGIA

### 4.5.1 Economia de energia com a reciclagem dos resíduos secos

A primeira abordagem utilizada para o panorama energético foi relativa à reciclagem efetiva, segundo as metas PLANARES, PMGIRS, metas arrojadas, cujas aliadas são a redução *per capita* e o aumento de taxas de coleta para resíduos secos (plástico, papel, vidro e metal). Partindo do princípio de que essas taxas de reciclagem serão executadas em Feira de Santana, buscou-se estimar a energia que pode ser poupada com a reinserção do produto reciclado à cadeia produtiva, em substituição às matérias-primas virgens.

Os dados de energia consumida na produção, tanto para o uso de recursos virgens quanto para o de recursos reciclados, foram extraídos do estudo realizado por King e Gutberlet (2013) e estão dispostos na Tabela 11. Esses dados se constituem de dados secundários e dados provenientes das metodologias propostas pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

No estudo desenvolvido por King e Gutberlet (2013), os valores de consumo específico de energia para produção a partir de recursos reciclados foram adquiridos por meio dos trabalhos de Pimenteira et al (2004), Gomes e Nóbrega (2005), Lino e Ismail (2011), Merrild, Damgaard e Christensen (2009) e Damgaard, Larsen e Christensen (2009), para papel e papelão, vidro e metais. Para todos os tipos de plástico foram utilizados os valores padrão da metodologia do MDL (Recuperação e reciclagem de materiais de resíduos sólidos). Dada a elevada dependência do Brasil de energia hidrelétrica, King e Gutberlet (2013) admitiu, em seu estudo, que a matriz hidrelétrica fornece energia para todos os processos de reciclagem dentro do limite do sistema do projeto.

Tabela 11 – Energia consumida na produção com recursos virgens e reciclados.

<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>ENERGIA CONSUMIDA NA PRODUÇÃO DE RECURSOS VIRGENS</b> MWh/t	<b>ENERGIA CONSUMIDA NA PRODUÇÃO COM RECURSOS RECICLADOS</b> MWh/t
Plástico	16,12	2,49
Papel	4,98	1,47
Vidro	4,83	4,19
Aço	6,84	1,78
Alumínio	17,6	0,7

Fonte: extraído de King e Gutberlet (2013).

O MDL é um mecanismo que incentivou efetivamente a formulação e o desenvolvimento de projetos de mitigação de emissões em aterros sanitários no país.

Mostra-se também uma ferramenta eficaz na implementação de programas econômicos, sociais e ambientais para o desenvolvimento sustentável, definido pelos critérios estabelecidos pela Comissão Interministerial do Brasil sobre Mudanças Climáticas Globais (BRASIL, 2008). Esse mecanismo deve implicar reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima (ABRELPE, 2013).

De posse desses dados, foi possível fazer simulações para os cenários de reciclagem e avaliar a economia e geração de energia considerando-se as diferentes metas no horizonte de estudo.

#### 4.5.2 Energia gerada e economizada com a biodigestão/compostagem dos resíduos úmidos

O processo de biodigestão tem como subprodutos o biogás e o composto orgânico, enquanto que numa compostagem o material resultante será apenas o composto orgânico. Neste contexto, foram calculados os valores de produção de energia através do biogás, caso a porcentagem de resíduo úmido fosse destinada ao processo de biodigestão, e os valores de economia de energia, caso os subprodutos da compostagem fossem utilizados como fertilizantes naturais (nitrogênio, fósforo e potássio), evitando a produção dos fertilizantes sintéticos.

Os valores para teores de nutrientes nos resíduos orgânicos municipais, bem como o consumo energético necessário para a produção de fertilizantes sintéticos, utilizados para esta análise, estão dispostos nas Tabela 12 e Tabela 13. O valor usado para a energia total produzida por meio do resíduo orgânico (obtenção de biogás) foi de 0,224 MWh/t de resíduo orgânico no decorrer de um ano (GALVÃO et al, 2002; EPE, 2008; HENRIQUES, 2004).

Tabela 12 – Teor de nutrientes para a parte orgânica de RSU.

<b>NUTRIENTE</b>	<b>TEOR NO RESÍDUO ORGÂNICO</b> g/kg de lixo orgânico
N	5,3
P	0,53
K	1,8

Fonte: extraído de Wendland et al (2009).

Tabela 13 – Energia total para a produção de fertilizantes sintéticos.

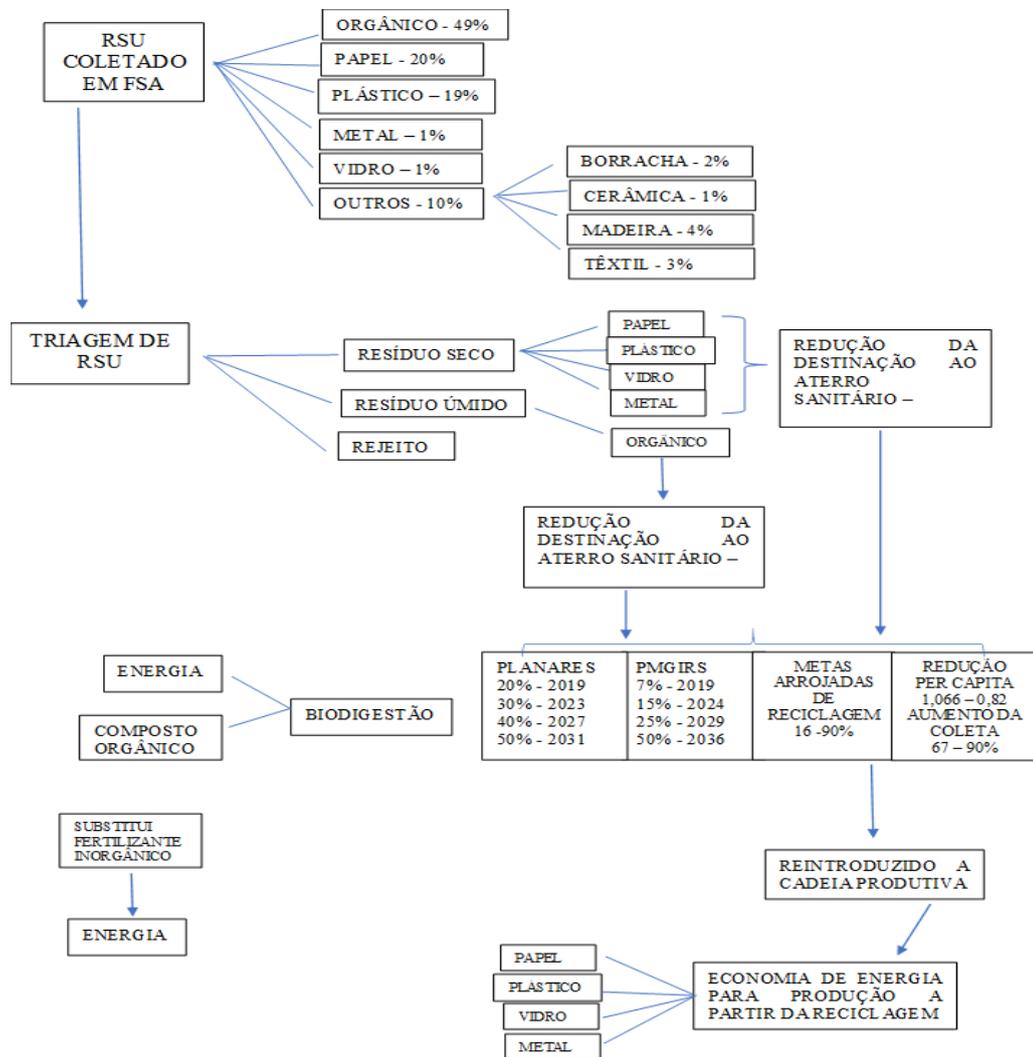
<b>NUTRIENTE</b>	<b>ENERGIA TOTAL PARA PRODUÇÃO</b> MWh/t
N	23,03

P	10,68
K	2,45

Fonte: extraído de Harvey (2010).

A figura 6 esboça as formas previstas de obtenção de energia por meio da reciclagem de materiais secos e úmidos no município de Feira de Santana, levando em consideração os cenários de estudo.

Figura 6 – Fluxograma das rotas de destinação dos RSU de Feira de Santana, tendo em vista seu aproveitamento energético.



Fonte: a autora (2017).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico encontram-se primeiramente, aspectos relativos ao PMGIRS de Feira de Santana, e na sequência, as análises desenvolvidas a partir das metas de reciclagem e outras opções de gestão adotadas nos cenários de estudo.

### 5.1 ASPECTOS DO PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE FEIRA DE SANTANA (PMGIRS)

O Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS) é considerado um dos mais importantes instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, levando em conceito as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social de cada município, sob premissa do desenvolvimento sustentável. O PMGIRS tem como finalidade a elaboração de proposições de ações de melhoria dos serviços de manejo de resíduos sólidos e de limpeza urbana da cidade, de métodos de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e elaboração da minuta de Projeto de Lei específica para a gestão de resíduos sólidos, estabelecendo a Política Municipal de Resíduos Sólidos (ENVEX, 2016).

Em Feira de Santana, o PMGIRS foi desenvolvido pela empresa Envex Engenharia e Consultoria, após vencer licitação pública em 2016. O plano terá validade de duas décadas (20 anos), sendo prevista sua atualização a cada quatro anos. Já foram concluídas as etapas de elaboração de diagnóstico, proposições de melhoria, sugestões de programas, elaboração do Projeto de Minuta de Lei Municipal de Resíduos Sólidos e, atualmente, aguarda uma Audiência Pública para a sua validação. Seu desenvolvimento foi realizado com o acompanhamento da Agência Reguladora de Feira de Santana e da Secretaria de Serviços Públicos, através de audiências públicas nas quais se buscou ouvir a opinião das partes interessadas de diversas áreas (comercial, social, governamental e sindical) e suas peculiaridades.

A coleta dos resíduos domiciliares, bem como serviços de manutenção, conservação e limpeza urbana da cidade são realizadas através de contrato de concessão pública junto à empresa Sustentare Ambiental. O tratamento e a disposição final de resíduos domiciliares públicos, resíduos de saúde e entulho misto também ocorrem por meio de concessão pública, mas junto à outra empresa, a Viva Ambiental. Além da atuação via concessões públicas, a SESP executa pontuais serviços de gestão de resíduos e limpeza pública (FEIRA DE SANTANA, 2014).

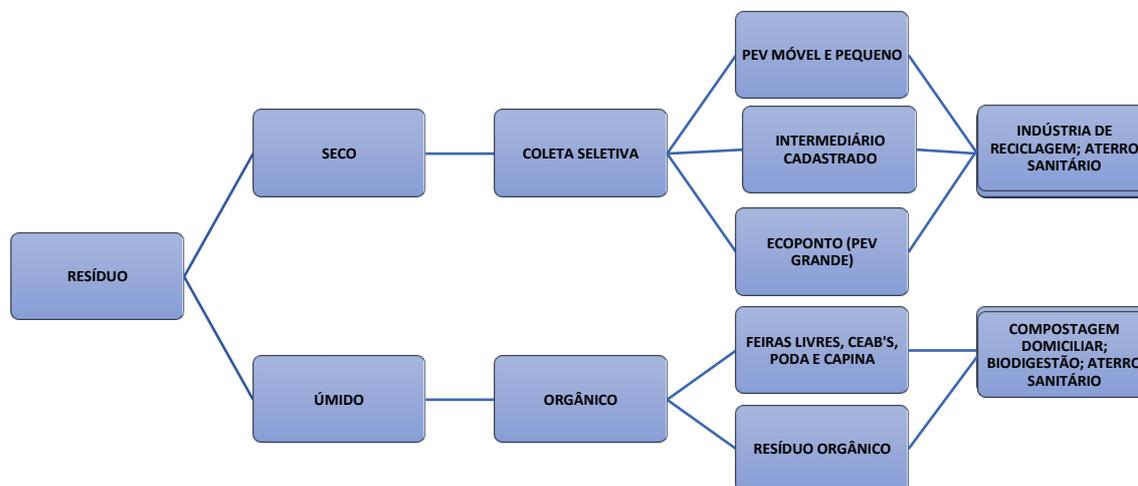
Segundo a ENVEX Engenharia e Consultoria (2016), em Feira de Santana são

gerados aproximadamente 658t de resíduos sólidos domiciliares por dia. Desta quantia, 441t são coletadas pelos serviços públicos, 10t são coletadas de forma privada pelos grandes geradores e, em média, 207t não são coletadas pela Prefeitura. Do volume não coletado de forma oficial, a empresa estima que 41t sejam dispostas irregularmente e/ou queimadas por dia. As 166t restantes são coletadas por catadores organizados e pela coleta autônoma, para fins de aproveitamento dos materiais recicláveis.

A composição média dos resíduos que chegam ao aterro é de 67,87% de resíduos oriundos da coleta domiciliar porta a porta; 21,39% de entulhos; 4,05% oriundos da Central de Abastecimento de Feira de Santana (CEAB) e de Feiras Livres que ocorrem na cidade; 4,23% exclusivos dos Distritos; e 2,47% dividido entre resíduos da saúde, varrição, podas e animais (ENVEX, 2016).

As rotas de destinação final dos resíduos sólidos propostas no PMGIRS para Feira de Santana, seguem dispostas na Figura 7. O fluxograma demonstra como deve ser a gestão integrada dos RSU, propondo implementar um tratamento para cada parcela de resíduo e condução ao aterro sanitário da menor parte possível.

Figura 7 – Rotas tecnológicas de destinação final propostas pelo PMGIRS para



gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Feira de Santana.

Fonte: ENVEX (2016).

O PMGIRS sugere que os resíduos sólidos produzidos no município em estudo sejam separados na fonte geradora para posterior coleta seletiva, sendo coletados pela prefeitura por meio dos pontos de entrega voluntária (PEV móvel e pequeno), Intermediários Cadastrados e Ecopontos. A definição de cada ponto está disposta no Quadro 3.

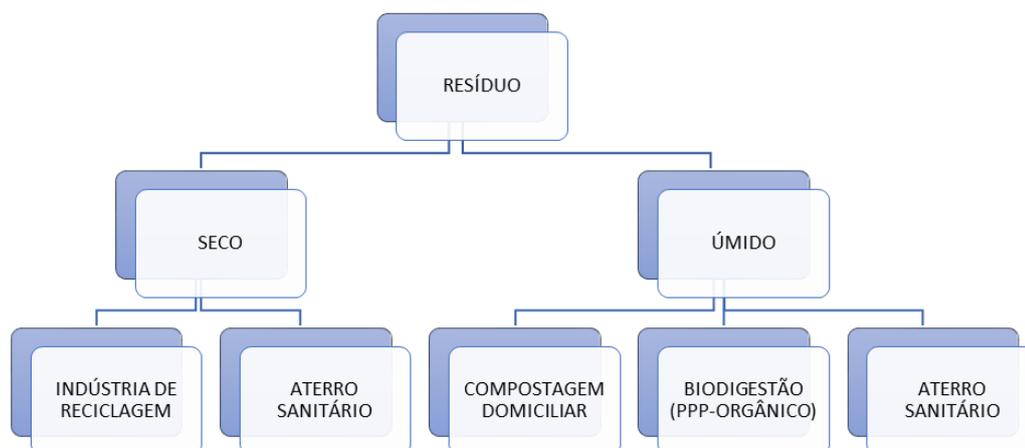
Quadro 3 – Definições segundo o PMGIRS de Feira de Santana.

NOME	DEFINIÇÃO
Coleta Seletiva PEV - Pequeno	Pontos de Entrega Voluntária (PEV) de porte pequeno (capacidade de até 1,5 m <sup>3</sup> ). Dado o seu porte, podem e devem estar localizados em diversos locais, como transbordos de ônibus, escolas, postos de saúde e em locais privados, como comércios e serviços parceiros.
Coleta Seletiva PEV - Móvel	PEV móvel é um modelo sobre rodas, em caminhão baú, que realizará a coleta em bairros mais afastados de Feira de Santana (a serem definidos). Realizará a coleta de material reciclável e também poderá coletar resíduos especiais ("não domiciliares") como pilhas, baterias, lâmpadas e eletrônicos para encaminhamento aos fluxos respectivos de logística reversa.
Coleta Seletiva PEV - Grande	PEV Grande, também denominados de ECOPONTOS, são construções bem dimensionadas para o recebimento e acondicionamento temporário de resíduos recicláveis, da construção civil (entulho), volumosos, podas e com logística reversa. Os locais serão cercados, possuirão guarita e um funcionário que fará o controle do recebimento e expedição dos resíduos. Ao se atingir a capacidade limite de acondicionamento de um determinado resíduo, este funcionário ativará – via APP/Portal (banco de dados) – os responsáveis pela coleta: PPP de Entulho, cooperativas, associações, indústria de reciclagem (através de fluxos de logística reversa). Dessa forma, além de se controlar a correta disposição dos resíduos, o funcionário garantirá a correta destinação, alimentando o banco de dados sobre resíduos da Prefeitura.
Intermediário Cadastrado	Intermediário cadastrado é aquele que pode receber o material reciclável diretamente da população ou até mesmo de catadores autônomos, geralmente pela compra do material. Este intermediário poderá comercializar este material para as cooperativas, diretamente para a indústria de reciclagem, ou ainda através do Programa "Juntos Vendemos Melhor" da Prefeitura. Neste último caso, deverá estar devidamente cadastrado na Prefeitura, garantindo-se a regularização de sua situação.

Fonte: ENVEX (2016).

Quanto à disposição final de diferentes tipos de resíduos, a Figura 8 ilustra a destinação dos resíduos secos e úmidos no município de Feira de Santana segundo a PMGIRS.

Figura 8 – Destinação final para resíduos secos e úmidos.



Fonte: ENVEX (2016).

Segundo o plano, os materiais recicláveis serão entregues às cooperativas e associações locais, que comercializarão os materiais nas indústrias de reciclagem; entulhos serão encaminhados às empresas que realizarão com o município a parceria público-

privada (PPP-Entulho); e o material orgânico, por sua vez, irá compor o processo de compostagem domiciliar, ou será encaminhado à PPP-Orgânico, onde participará do processo de biodigestão.

Os materiais recicláveis que são resíduos sólidos secos, são os que podem ser aproveitados como matéria-prima para produção de um novo material e até mesmo de outros materiais que voltam para o consumidor como produto. Esse tipo de resíduo sólido não pode estar contaminado ou sujo para ser aproveitado. Quanto melhor for a separação dos diferentes tipos de materiais recicláveis, maior será a qualidade para reciclagem desses resíduos sólidos e maior o preço de revenda. Após a separação, os materiais podem ser vendidos para indústrias que utilizam sucatas como matéria-prima para fabricar seus produtos, diminuindo custos com a aquisição da matéria-prima virgem, bem como a quantidade de energia gasta para fabricação de um produto novo. Os materiais que não podem ser reciclados e nem aproveitados para qualquer tipo de atividade são denominados rejeitos e devem ser destinados ao aterro sanitário.

Os materiais orgânicos que são os resíduos sólidos considerados úmidos, livres de contaminação, que incluem resíduos produzidos em residências, bares, restaurantes, lanchonetes, lojas, centros comerciais, feiras livres, podas de jardim, varrição e outros, serão encaminhados para compostagem domiciliar ou PPP-Orgânico. O material orgânico a ser compostado sofre decomposição microbológica, transformando-se em composto orgânico que poderá ser consumido em jardinagens, hortas, lavouras agrícolas e correção dos solos.

## 5.2 ANÁLISE DE VIDA ÚTIL DO ATERRO

Os resultados encontrados, oriundos das simulações relativas à vida útil do aterro com base nos cenários estudados, que propõem, além de metas de reciclagem, outras opções de gestão de resíduos para Feira de Santana, encontram-se na Figura 9. Os valores tabelados para cada ano estão dispostos no APÊNDICE C.

Figura 9 – Estimativa do aumento da vida útil do aterro sanitário de Feira de Santana de acordo com os cenários estudados.



Tomando como base o volume vazio do aterro sanitário de Feira de Santana, a partir de 2016, e comparando os cenários (2, 3, 4A e 4B) em relação ao cenário 1 (sem metas de reciclagem), foi possível notar que o cumprimento das metas de reciclagem aliadas a outras opções de gestão, poderá estender a vida útil do aterro sanitário municipal por:

- 11 anos, com base no cenário 2 (metas PLANARES);
- 17 anos, com base no cenário 3 (metas do PMGIRS);
- 18 anos, com base no cenário 4A (metas PLANARES aliadas ao aumento da cobertura de coleta e redução da geração *per capita*);
- 26 anos, com base no cenário 4B (metas PMGIRS aliadas ao aumento da cobertura de coleta e redução da geração *per capita*);
- De acordo com o cenário 5 (metas arrojadas de reciclagem aliadas ao aumento da cobertura de coleta e redução da geração *per capita*), a vida útil do aterro municipal não se encerra até o ano final de análise (2075). Segundo esse cenário, após 59 anos de análise ainda há disponível cerca de 15% da capacidade do aterro.

Os diferentes comportamentos observados são explicados pelas particularidades de cada cenário. Os cenários 2 e 4A (PLANARES), por exemplo, traçam metas de reciclagem

para os resíduos até 2031; os cenários 3 e 4B (PMGIRS) até 2036; o cenário 5 (metas arrojadas), por sua vez, emprega metas expressivas até 2050. Nos anos posteriores ao estabelecimento das metas apontadas para cada cenário, os percentuais de reciclagem se mantêm constantes até o final da simulação.

O paralelo entre os cenários torna evidente a necessidade de metas ainda mais expressivas após o ano de 2031, para o PLANARES, e 2036, para o PMGIRS, bem como revela a importância do consumo cada vez mais consciente e da necessidade do estabelecimento de parâmetros de redução para questões relativas à geração de RSU, da mesma forma que a abrangência e a cobertura do sistema de coleta de resíduos precisam ser mais expressivas ao longo dos anos.

Observadas as metas de reciclagem e opções de gestão de cada cenário (2, 3, 4A e 4B), em comparação com o cenário 1, pode-se estimar que a quantidade em massa de resíduos que deixará de ser encaminhada ao aterro sanitário ao longo dos anos simulados é:

- Cenário 2 – cerca de 77 mil t até 2031;
- Cenário 3 – cerca de 119 mil t até 2036;
- Cenário 4A – cerca de 92 mil t até 2031;
- Cenário 4B – cerca de 136 mil t até 2036;
- Cenário 5 – cerca de 212 mil t até 2050.

O aumento da coleta e redução da geração de resíduos, aliados às taxas de reciclagem adotadas em cada cenário, corresponderão a um decréscimo de cerca de 15 mil toneladas resíduos até 2031, tomando como base para análise os cenários 2 e 4A, e, aproximadamente, 17 mil toneladas resíduos a menos até 2036, desta vez avaliando os cenários 3 e 4B.

O modelo utilizado neste estudo permite experimentar e testar mudanças nas estratégias para os resíduos, visto que o aterro sanitário não é o único mecanismo que pode ser usado para a sua destinação final. Na verdade, a apreensão inicial e os maiores esforços deveriam concentrar-se na não geração de resíduos, aliada à preocupação com a sua correta destinação e o seu desejável reaproveitamento via reuso, reciclagem, compostagem e recuperação energética (GODECHE et al, 2012).

É importante enfatizar o aspecto de vida útil do aterro, uma vez que é grande a dificuldade de se encontrar novos locais, próximos às áreas de coleta, para receber o volume de lixo urbano gerado no Município, em face da rejeição natural que a população tem de morar perto de um local de disposição de lixo. Existem critérios técnicos, econômicos e político-sociais a serem seguidos para a escolha de uma área apropriada para

implantação de um aterro sanitário.

Segundo Godeche et al (2012), além de a atual forma predominante de consumo ser insustentável sob a ótica ambiental, ela vem numa perspectiva contrária ao consumo verde e ao consumo sustentável. Embora haja um processo de conscientização coletiva sobre a necessidade de uma mudança significativa nos hábitos de consumo, a velocidade da mudança nas atitudes na esfera governamental, empresarial e social está muito aquém da necessária. Apesar da consciência para a questão, poucos a efetivam em suas ações, menos ainda com a profundidade pertinente. Como não há disposição para mudanças voluntárias, as instituições precisariam estar dispostas a agir coercitivamente, através da combinação de instrumentos legais com outros de natureza econômica e de comunicação.

É fundamental a participação da sociedade nas questões relacionadas à disposição final dos resíduos sólidos. Esta ação pode ser construída a partir de um processo de educação ambiental com campanhas de esclarecimento, visto que estas podem proporcionar uma revisão de valores e hábitos de consumo; formação de massa crítica sobre as questões ambientais; e a responsabilidade de cada cidadão na busca de melhores condições de vida para todos.

As dificuldades relativas à implementação cada vez mais relevante de um sistema de reciclagem de materiais no Brasil estão relacionadas à limitada adesão da população à coleta seletiva; ausência ou limitação de investimentos governamentais; descontinuidade na gestão municipal; escassez de pontos de entrega dos materiais; pouca participação do setor industrial no desenvolvimento de um sistema de logística reversa; inexistência ou insuficiência de locais adequados para separação dos resíduos por tipo de material; além de, em muitos casos, longas distâncias entre os centros geradores de resíduos e as indústrias de processamento e reciclagem de materiais, concentradas, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste do país.

## 5.3 ANÁLISE DE ECONOMIA E GERAÇÃO DE ENERGIA

### 5.3.1 Economia energética a partir da reciclagem dos resíduos secos

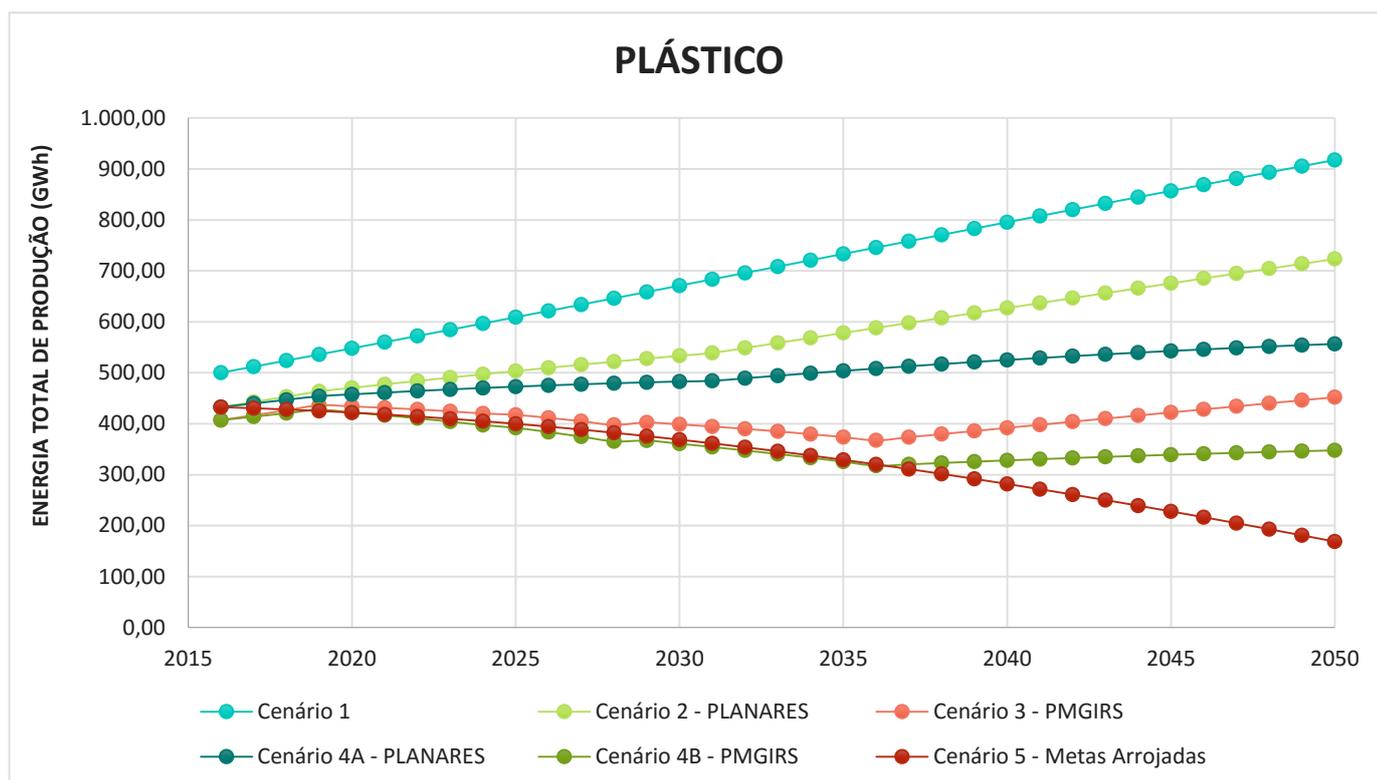
Abaixo, seguem os resultados para o consumo energético dos resíduos secos, de acordo com as metas de reciclagem estabelecidas. Os valores utilizados basearam-se nas quantidades de cada material (plástico, papel, vidro e metais) que são aterrados e reciclados anualmente para o horizonte de simulação em Feira de Santana (APÊNDICE D).

### 5.3.1.1 Plástico

Os resultados apresentados na Figura 10 de consumo de energia para produção de plástico embasaram as seguintes análises:

- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES);
- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%);
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista por toda a simulação para esse material (90%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta.

Figura 10 – Energia gasta para produção de plástico a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.



Fonte: a autora (2017).

Os valores de energia economizada com base na reciclagem de 16, 60 e 90% de plástico encontram-se dispostos no Quadro 4.

Quadro 4 – Energia economizada para o plástico de acordo com percentuais de reciclagem.

ASPECTO ANALISADO	*ENERGIA (GWh)
Com reciclagem de 16% em 2019	72 GWh
Com reciclagem de 16%, aliada a outras opções de gestão em 2019	82 GWh
Com reciclagem de 60% em 2036	378 GWh
Com reciclagem de 60%, aliada a outras opções de gestão em 2036	428 GWh
Com reciclagem de 90%, aliada a outras opções de gestão em 2050	749 GWh

\* Os cálculos utilizados para obtenção de energia foram encontrados efetuando-se uma diferença entre a energia de cada cenário, no ano analisado, e o cenário 1 (cenário sem metas), conforme APÊNDICE D.

Nos cenários onde, além das taxas de reciclagem, encontram-se outras opções de gestão, nota-se que há um acréscimo de energia economizada, já que, embora a geração de resíduos tenha taxas decrescentes, existem, em contrapartida, mais resíduos sendo coletados. Essa economia é oriunda da reinserção dos plásticos reciclados à cadeia produtiva, ao invés de se produzir todo esse material por meio da matéria-prima virgem.

Esses resultados revelaram, ao longo do período de simulação proposto (2016 a 2050), que caso os plásticos descartados na cidade não sejam reciclados, o gasto energético será em torno de 417GWh<sup>a</sup> para produção desse material a partir da matéria-prima virgem. Efetuando a reciclagem com o PLANARES e PMGIRS esse gasto teria valores aproximados de 291GWh<sup>b</sup> e 45 GWh<sup>c</sup>, respectivamente. Sendo assim, o Plano Nacional promoveria uma economia energética de cerca de 30%, enquanto que o Plano Municipal 89% – tomando-se como base o cumprimento de suas respectivas metas de reciclagem em Feira de Santana, com uma conseqüente reinserção desse material na cadeia produtiva, em detrimento apenas da utilização dos recursos primários.

Segundo o Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos, a reciclagem plástica no Brasil, em 2010, foi de 953 mil toneladas, apresentando um crescimento de 2,5% em relação a 2009 (PLASTIVIDA, 2010). Apesar desse crescimento, o plástico como um todo ainda é o material com menor taxa de reciclagem, sendo um alvo potencial para políticas específicas de estímulo à reciclagem. Seu índice pequeno de reciclagem pode ser explicado pelo baixo

<sup>a</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 1, conforme APÊNDICE D.

<sup>b</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 2, conforme APÊNDICE D.

<sup>c</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 3, conforme APÊNDICE D.

custo de produção, não sendo interessante para a indústria tanto o gasto nesse sentido quanto a utilização desses materiais reciclados, uma vez que a qualidade é reduzida a cada ciclo de reciclagem. Entretanto, o fator fundamental de recusa é a complexidade desse processo.

O PET (POLIETILENO TEREFTALATO) é o polímero que vem obtendo melhor resultado, com taxas de reciclagem pós-consumo próximas à de 60%. As aplicações do PET reciclado com melhores perspectivas de crescimento são bottle-to-bottle (recipiente) (46%), têxtil (25%), automotivo (11%) e outras áreas (18%) (IPEA, 2012; ABIPET, 2010).

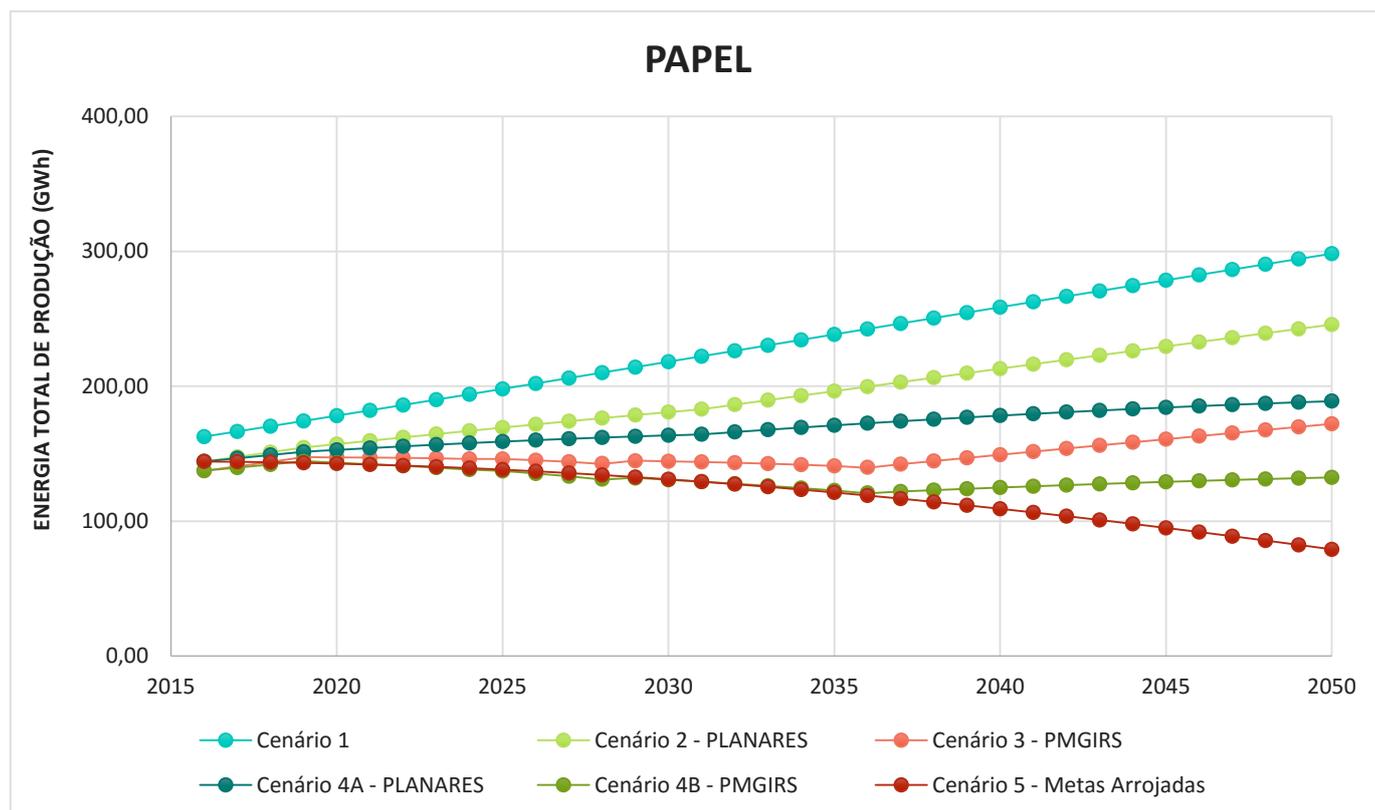
Além da economia de energia, os materiais plásticos geralmente ocupam muito espaço nos aterros pela dificuldade de compactação e sua baixa degradabilidade. O descarte indevido deste material pode colaborar para sérios problemas ambientais, como enchentes, e também afetar a vida aquática, já que muitas vezes os animais ficam presos nos materiais e podem até comê-los (CARDOSO et al, 2013).

### 5.3.1.2 Papel/Papelão

Os resultados apresentados na Figura 11, relacionados ao consumo de energia para produção de papel, embasaram as seguintes análises:

- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES);
- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%);
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista por toda a simulação para esse material (90%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta.

Figura 3 – Energia gasta para produção de papel a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.



Fonte: a autora (2017).

Os valores de energia economizada com base na reciclagem de 16, 60 e 90% de papel encontram-se dispostos no Quadro 5.

Quadro 5 – Energia economizada para o papel de acordo com percentuais de reciclagem.

ASPECTO ANALISADO	*ENERGIA (GWh)
Com reciclagem de 16% em 2019	20 GWh
Com reciclagem de 16%, aliada a outras opções de gestão em 2019	23 GWh
Com reciclagem de 60% em 2036	102 GWh
Com reciclagem de 60%, aliada a outras opções de gestão em 2036	121 GWh
Com reciclagem de 90%, aliada a outras opções de gestão em 2050	219 GWh

\*Os cálculos utilizados para obtenção de energia foram encontrados efetuando-se uma diferença entre a energia de cada cenário, no ano analisado, e o cenário 1 (cenário sem metas), conforme APÊNDICE D.

Os resultados apresentados ao longo do período proposto pelo estudo, demonstraram que caso os papéis descartados na cidade não sejam reciclados, o gasto energético para a produção desse material a partir da matéria-prima virgem será em torno

de 136 GWh<sup>d</sup>. Efetuando-se a reciclagem com o PLANARES e PMGIRS, esse gasto teria um valor aproximado de 101 GWh<sup>e</sup> e 35 GWh<sup>f</sup>, respectivamente. Sendo assim, o Plano Nacional promoveria uma economia energética de cerca de 26%, enquanto que o Plano Municipal, 74% – tomando-se como base o cumprimento de suas respectivas metas de reciclagem em Feira de Santana e consequente reinserção desse material na cadeia produtiva, em detrimento apenas da utilização dos recursos primários.

De acordo com a BRACELPA (2014), o Brasil é um grande produtor de papel, e 100% desse produto é proveniente de florestas plantadas. Essa crescente produção de papel aumenta a demanda por fontes de energia, levando a maiores emissões de gases que causam o efeito estufa. Para reduzir esse impacto, efetua-se a produção de papel a partir de fibras recicladas; tal produção, além de consumir menos energia, economiza recursos naturais e diminui a poluição ambiental (BAJPAI, 2014). Para cada tonelada de papel reciclado, vinte e duas árvores deixam de ser cortadas (BEDANTE, 2004). Uma das vantagens do papel é exatamente sua capacidade de reciclabilidade; a produção e utilização de papel reciclado estão bem estabelecidas e amplamente aceitas (BAJPAI, 2014).

### 5.3.1.3 Vidro

Os resultados apresentados na Figura 12, de consumo de energia para produção de vidro, embasaram as seguintes análises:

- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES);
- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%);
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista por toda a simulação para esse material (90%), aliada a outras opções de gestão, como

---

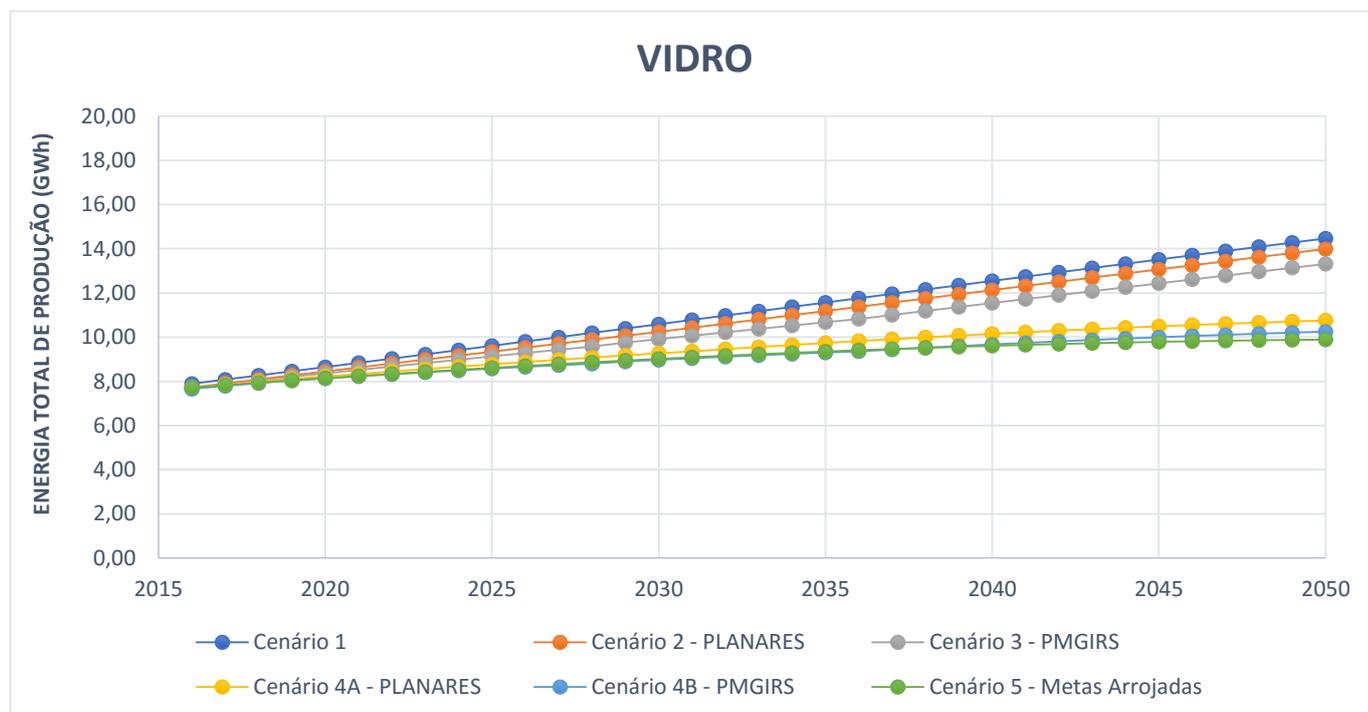
<sup>d</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 1, conforme APÊNDICE D.

<sup>e</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 2, conforme APÊNDICE D.

<sup>f</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 3, conforme APÊNDICE D.

redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta.

Figura 12 – Energia gasta para produção de vidro a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.



Os valores de energia economizada com base na reciclagem de 16, 60 e 90% de vidro encontram-se dispostos no Quadro 6.

Quadro 6 – Energia economizada para o vidro de acordo com percentuais de reciclagem.

ASPECTO ANALISADO	*ENERGIA (GWh)
Com reciclagem de 16% em 2019	0,2 GWh
Com reciclagem de 16%, aliada a outras opções de gestão em 2019	0,4 GWh
Com reciclagem de 60% em 2036	0,9 GWh
Com reciclagem de 60%, aliada a outras opções de gestão em 2036	2,4 GWh
Com reciclagem de 90%, aliada a outras opções de gestão em 2050	4,6 GWh

\*Os cálculos utilizados para obtenção de energia foram encontrados efetuando-se uma diferença entre a energia de cada cenário, no ano analisado, e o cenário 1 (cenário sem metas), conforme APÊNDICE D.

Os resultados também revelaram que, ao longo do período proposto pelo estudo, caso os vidros descartados na cidade não sejam reciclados, o gasto energético será em torno de 6,4 GWh<sup>g</sup> para produção desse material a partir da matéria-prima virgem. Efetuando a reciclagem com o PLANARES e PMGIRS, esse gasto seria, em valores aproximados, de 6,3 GWh<sup>h</sup> e 5,7 GWh<sup>i</sup>, respectivamente. Sendo assim, o Plano Nacional promoveria uma economia energética de cerca de 5%, enquanto que o Plano Municipal 14% – tomando-se como base o cumprimento de suas respectivas metas de reciclagem em Feira de Santana, e conseqüente reinserção desse material na cadeia produtiva, em detrimento apenas da utilização dos recursos primários.

Apesar de a matéria-prima virgem ser abundante na natureza, a inclusão de caco de vidro no processo de fabricação reduz a quantidade de água e de energia gasta no processo (ABIVIDRO, 2017). Para fundir cacos de vidro são necessários cerca de 1200 °C, e para a matéria-prima virgem a temperatura de fusão chega a 1400 °C. Portanto, a cada 10% de caco de vidro na mistura são economizados 4% da energia necessária para a fusão e 9,5% do consumo de água (ABIVIDRO, 2017).

#### 5.3.1.4 Metal

Os resultados apresentados na Figura 13, de consumo de energia para produção de metal, embasaram as seguintes análises:

- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES);
- Energia economizada quando se efetua a menor taxa de reciclagem prevista para esse material (16% - segundo PLANARES), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%);
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista para esse material segundo o PMGIRS (60%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta;
- Energia economizada quando se efetua a maior taxa de reciclagem prevista por toda

---

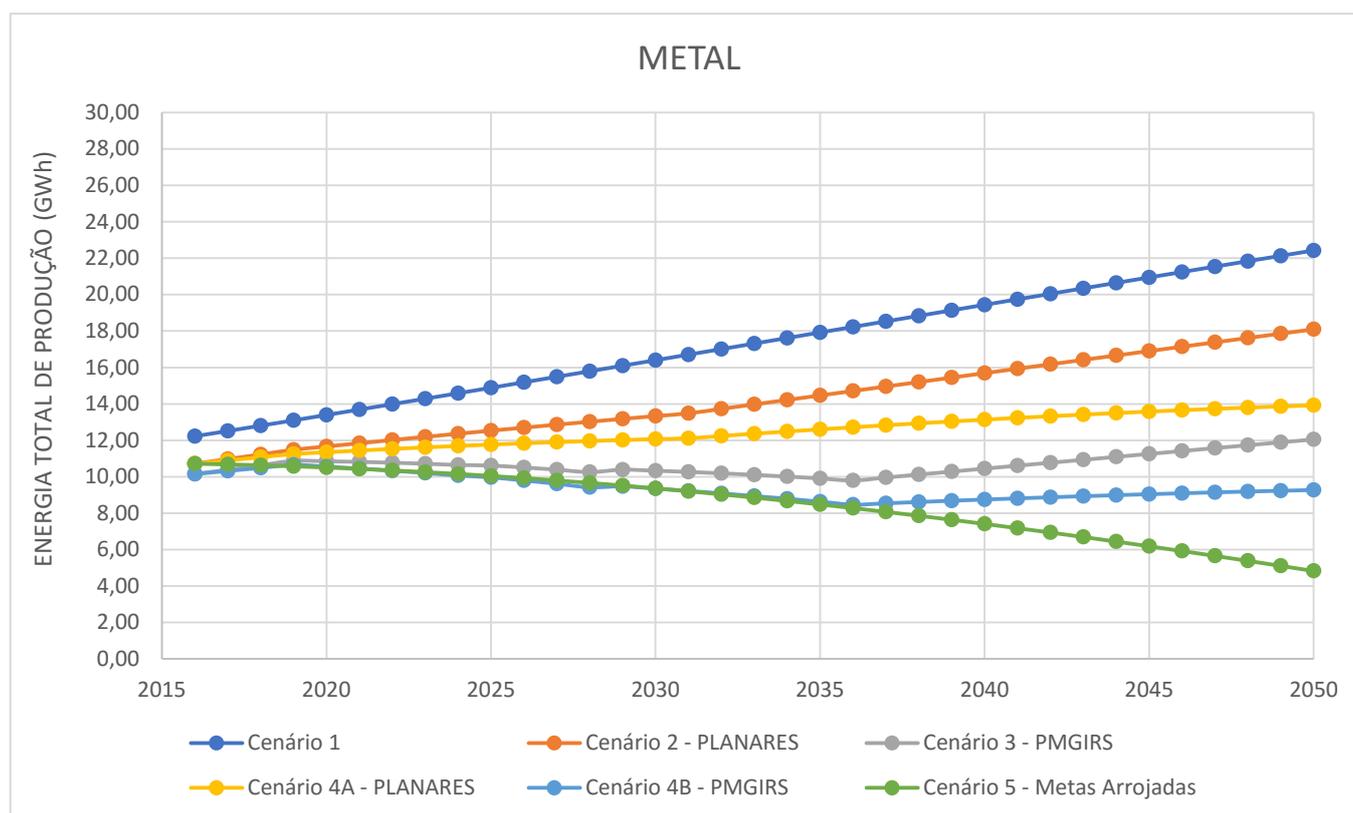
<sup>g</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 1, conforme APÊNDICE D.

<sup>h</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 2, conforme APÊNDICE D.

<sup>i</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 3, conforme APÊNDICE D.

a simulação para esse material (90%), aliada a outras opções de gestão, como redução da geração *per capita* e aumento da cobertura de coleta.

Figura 13 – Energia gasta para produção de metal a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desse material com base no reciclado segundo cenários estudados.



Fonte: a autora (2017).

Os valores de energia economizada com base na reciclagem de 16, 60 e 90% de metal encontram-se dispostos no Quadro 7.

Quadro 7 – Energia economizada para o metal de acordo com percentuais de reciclagem.

ASPECTO ANALISADO	*ENERGIA (GWh)
Com reciclagem de 16% em 2019	1,6 GWh
Com reciclagem de 16%, aliada a outras opções de gestão em 2019	1,8 GWh
Com reciclagem de 60% em 2036	8,4 GWh
Com reciclagem de 60%, aliada a outras opções de gestão em 2036	9,8 GWh
Com reciclagem de 90%, aliada a outras opções de gestão em 2050	18 GWh

\* Os cálculos utilizados para obtenção de energia foram encontrados efetuando-se uma diferença entre a energia de cada cenário, no ano analisado, e o cenário 1 (cenário sem metas), conforme APÊNDICE D.

Os resultados esboçados na Figura 13, apontam valores expressivos de economia energética pela reinserção de materiais metálicos à cadeia produtiva, em detrimento da produção via matéria-prima virgem. De acordo com King e Gutberlet (2013), o alumínio pode gerar uma economia mais significativa que o aço. Segundo dados da composição gravimétrica de Feira de Santana, apenas 1% de todo material coletado corresponde à metal; destes, foram considerados pelo presente estudo, assim como no estudo de King e Gutberlet (2013), que 0,94 corresponde ao aço e 0,06 corresponde ao alumínio.

Os resultados mostraram que, ao longo do período proposto pelo estudo, caso os metais descartados na cidade não sejam reciclados, o gasto energético terá um valor em torno de 10,2 GWh<sup>j</sup> para produção desse material a partir da matéria-prima virgem. Efetuando-se a reciclagem com o PLANARES e PMGIRS esse gasto seria, em valores aproximados, de 7,4 GWh<sup>k</sup> e 1,9 GWh<sup>l</sup>, respectivamente. Sendo assim, o Plano Nacional promoveria uma economia energética de cerca de 27%, enquanto que o Plano Municipal 81% – tomando-se como base o cumprimento de suas respectivas metas de reciclagem em Feira de Santana, e conseqüente reinserção desse material na cadeia produtiva, em detrimento apenas da utilização dos recursos primários.

A cada tonelada de alumínio produzida a partir da bauxita, são necessários 15,613 MWh de energia, em contraste com a produção de alumínio através de sucata, que utiliza apenas 0,7069 MWh de energia por tonelada (IPEA, 2010; CNI; ABAL, 2012; GETRA AMBIENTAL, 2014). Desta forma, é possível que se reduza o custo energético na produção de alumínio em cerca de 95,5% por tonelada de sucata de alumínio; isso ocorre porque não é preciso realizar o processo de extração e beneficiamento do minério. Além dessas vantagens, o metal pode ser reciclado inúmeras vezes sem que ocorra perda de nenhuma de suas propriedades. Considerando o custo da energia e outros insumos, podem-se reduzir os custos econômicos da reciclagem até 44,0% em relação aos custos da produção a partir da bauxita (CARDOSO et al, 2013). Além deste indicador, podem-se mencionar outros ganhos, como a redução de emissões de gases de efeito estufa e poluentes lançados nos rios, assim como a quantidade de resíduos sólidos gerados (IPEA, 2010).

Segundo Cardoso et al (2013), em 2010 havia no Brasil 190.732.694 milhões de habitantes, que geraram 60,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Os dados da CNI e ABAL (2012) indicam que foram recicladas 488 mil toneladas de alumínio, que representaram 35,2% do total de sucata de alumínio gerada em 2010. Com esse montante reciclado e atendendo aos coeficientes técnicos de produção, atingiu-se uma poupança de 7.274.176,800 MWh (7,274 TWh), visto que seriam necessários 7.619.144,000 MWh ou

---

<sup>j</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 1, conforme APÊNDICE D.

<sup>k</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 2, conforme APÊNDICE D.

<sup>l</sup> Obtido pela diferença da energia em 2050 e 2016 para o cenário 3, conforme APÊNDICE D.

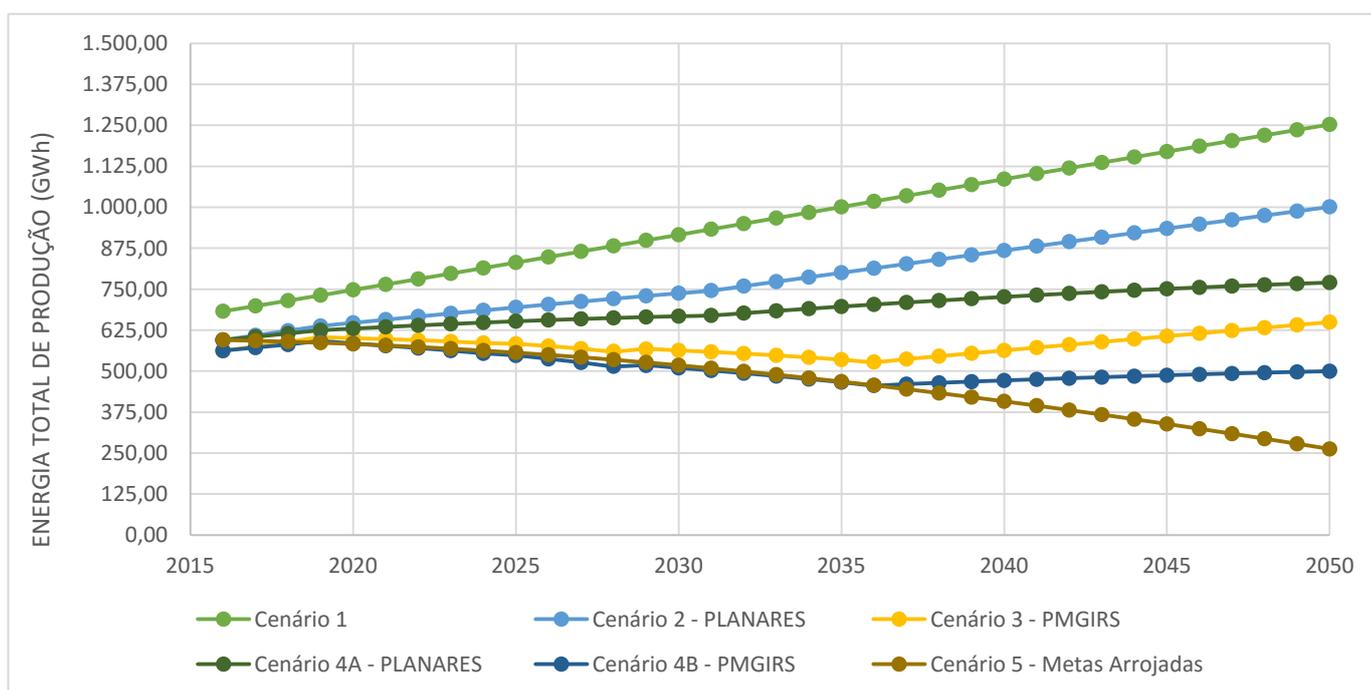
7,619 TWh para produzir o total de alumínio que foi reaproveitado; frente ao que realmente foi consumido para reciclar essa quantidade de sucata, sendo 344.967,200 MWh ou 0,344 TWh. Segundo o estudo feito por Cardoso et al (2013), o potencial energético poupado no horário de verão de 2010 no Brasil foi de 7,443 GWh; somente a reciclagem de alumínio poderia ter contribuído com cerca de 98% daquele efeito, ou seja, funcionando praticamente como um duplicador dos resultados de economia de energia pelo horário de verão.

Em termos de consumo de energia, a reciclagem de produtos e de embalagens de metal (mais especificamente do alumínio), por exemplo, destaca-se por ter associada a capacidade única de não sofrer perdas na sua composição material quando passa por processos de reciclagem, podendo inclusive ser transformada em produtos diversos. Por isso, ficam evidentes os benefícios para os ecossistemas naturais e econômicos em termos de poupança de energia resultante da reciclagem de alumínio com relação aos custos a partir da produção primária.

### 5.3.2 Energia economizada considerando a totalidade de resíduos secos

A figura 14 apresenta um resumo dos valores de energia economizados pelos resíduos secos (plásticos, papéis, vidros e metais) no município estudado.

Figura 14 – Energia gasta para produção dos resíduos secos a partir da matéria-prima virgem, acrescida da energia gasta para produção desses materiais com base no reciclado segundo os cenários de estudo.



Fonte: a autora (2017).

A reciclagem se destaca como um mecanismo cada vez mais importante tanto na redução de resíduos quanto na economia energética. E sob essa perspectiva é que o panorama proposto revela que o município de Feira de Santana pode, entre as menores e maiores metas de reciclagem (16, 60 e 90%), obter uma economia energética em relação aos resíduos secos de aproximadamente 94 GWh, 489 GWh e 991GWh, suficientes para abastecer cerca de 180 mil, 1 milhão e 2 milhões de residências, respectivamente – considerando-se uma média de 3 habitantes por residência com consumo energético mensal de 163 KWh por consumidor (IBGE, 2010; EBC AGÊNCIA BRASIL, 2014).

Os valores para a economia energética resultante da reciclagem dos resíduos secos de acordo com as metas do PLANARES e PMGIRS encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores de energia poupada de acordo com os cenários propostos no período de simulação.

<b>ECONOMIA ENERGÉTICA (2016-2050)</b>	<b>PLANARES</b>	<b>PMGIRS</b>
PLÁSTICO	35%	89%
PAPEL	29%	74%
VIDRO	5%	14%
METAL	31%	81%

Fonte: a autora (2017).

Lino (2014), calcula em seu trabalho a energia poupada, utilizando um fator de energia evitada multiplicada pela massa de reciclável. Como resultado o autor mostra em seu trabalho que o reaproveitamento de 10% dos recicláveis gerados no município de São Luís (MA) – que alcançam uma média de 13.000 t/ano – apresentou como energia evitada, ou que deixou de ser gasta no processo produtivo devido à substituição da matéria-prima por matéria reciclada, corresponde a quase 410.000 GJ/ano ou 34GJ/mês. Para Feira de Santana, o resultado de economia energética para 16% dos recicláveis foi de 316.800 GJ/ano (88 GWh), levando em consideração que a quantidade de reciclado em Feira de Santana em 2016 foi em média 18% menor (10.708 t/ano).

De acordo com Kanayama (1999), os índices de rendimento energético são calculados por meio da massa de cada material contida no resíduo, como se esses materiais fossem reciclados ao invés de dispostos em lixões ou aterros; trata-se de uma economia de energia devido à reciclagem.

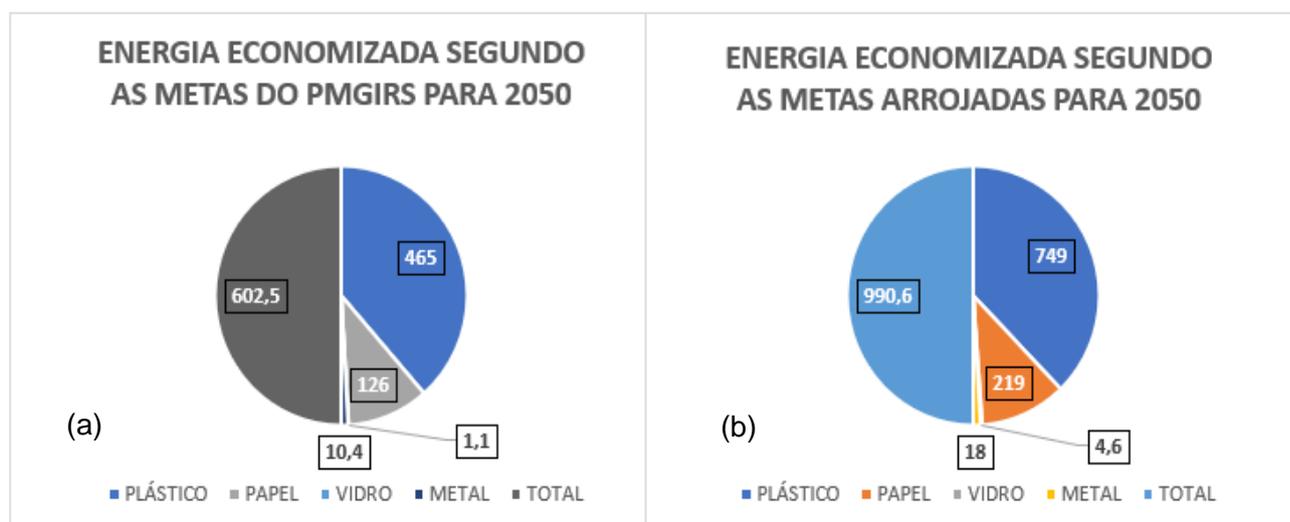
Segundo Kanayama (1999), a produção de 1 tonelada de alumínio a partir da bauxita consome cerca de 16 MWh de energia, enquanto que, se for produzido através de alumínio reciclado, seriam necessários apenas 0,8 MWh de energia. Assim, a produção de uma lata de alumínio nova a partir de uma recuperada economiza 95% de energia, por exemplo. Na

produção de 1 tonelada de barras de aço, a utilização de sucata consome cerca de 1,8 MWh de energia, enquanto que a produção a partir de minério de ferro consome cerca de 6,8 MWh, ou seja, por meio de sucata consumiu-se 74% menos energia. Para o papel, a economia de energia é de 71%, e, no caso do vidro, a economia de energia é de cerca de 13%, pois o ponto de fusão do vidro reutilizado acontece a uma temperatura de 1.000 a 1.200 °C, sendo que o ponto de fusão do vidro com matérias virgens realiza-se com temperaturas entre 1.500 e 1.600 °C. Quanto ao vidro, pode-se afirmar que cada tonelada de vidro reutilizado economiza 290 Kg de petróleo gastos na fundição. Para o plástico, o autor considera a produção a partir de matérias-primas como petróleo, gás natural, carvão mineral e vegetal; apresentando, deste modo, uma economia em torno de 90% com a reciclagem, sendo que, vale frisar, alguns destes energéticos são não renováveis, além de o plástico ser um dos piores resíduos para os aterros devido ao tempo longo de degradação.

Segundo Galvão et al (2002), a economia de energia resultante da reciclagem de resíduos para o Brasil poderia ser cerca de 37 TWh anualmente, cerca de 14% do consumo de energia elétrica no Brasil em 1995, que era em média 270 TWh.

As Figuras 15 (a) e (b) esboçam aproximadamente os valores de energia poupada pelos cenários 3 e 5, os quais obtiveram valores mais relevantes em 2050.

Figura 15: Energia economizada: (a) segundo as metas do cenário 3, em 2050; (b) segundo as metas arrojadas, adotadas no cenário 5, em 2050.



Fonte: a autora (2017).

Uma vez que 2050 compreende o ano em que são empregados os maiores percentuais de reciclagem, realizando uma avaliação entre os resultados apresentados para esse ano, nota-se que, para as metas objetivadas no plano municipal, a economia energética seria de 602,5 GWh; enquanto que se adequando às taxas arrojadas (Cenário 5),

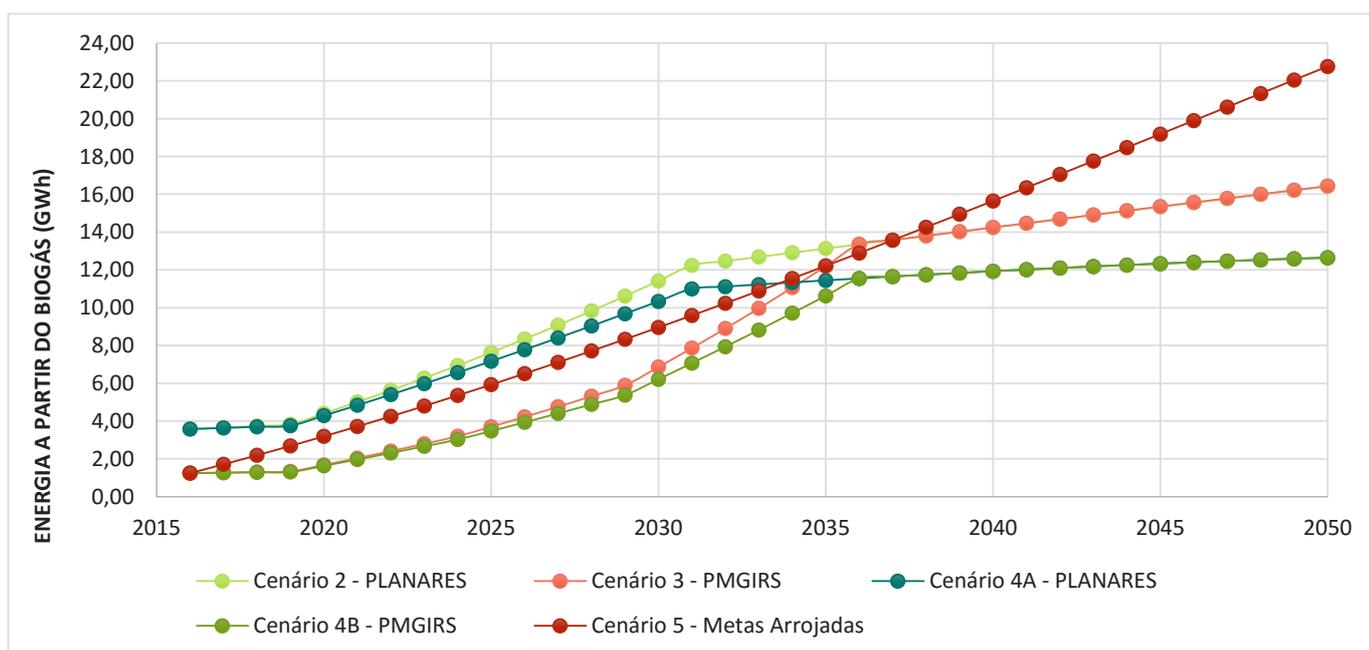
o município teria um saldo energético de aproximadamente 990,6 GWh, o que, por sua vez, corresponde a um potencial energético 40% maior.

Os resultados deixam evidente que os materiais com maiores ganhos formam a seguinte sequência: plástico, papel, metal e vidro; isso devido aos valores de economia energética oriunda da reinserção desses materiais às suas respectivas cadeias produtivas, segundo King e Gutberlet (2013), e também por causa da composição gravimétrica desses materiais para Feira de Santana.

### 5.3.3 Geração energética a partir da biodigestão/compostagem dos resíduos úmidos

A Figura ilustra a energia gerada através de biogás e é referente ao panorama proposto no qual todo resíduo úmido coletado é encaminhado ao processo de biodigestão. As metas percentuais de reciclagem para esse material variam conforme indicação dos cenários propostos (APÊNDICE E e APÊNDICE F). Segundo Galvão et al (2002), a energia produzida por intermédio do biogás em MWh por tonelada de resíduo orgânico é 0,192; para a EPE (2008), esse valor é em média 0,205 MWh/t; e de acordo com Henriques (2004), esse valor corresponde a 0,274 MWh/t. O dado de referência adotado para o desenvolvimento desse cenário foi uma média dos valores apresentados pelos referenciais mencionados, e equivale a 0,224 MWh/t de resíduo.

Figura 16 – Energia gerada com o biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos, de acordo com as taxas de reciclagem para esse tipo de material.



Fonte: a autora (2017).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2014), a quantidade de biogás produzida depende, entre outros fatores, da tecnologia empregada na digestão – considerando-se experiências obtidas, como por exemplo: i) a usina de Tilburg, na Holanda, que pode alcançar 106 m<sup>3</sup>/t de resíduos (75% de restos de alimentos e de jardim e 25% de papel não reutilizável), com um teor de 56% de metano; ii) a KOMPOGAS, fabricante de biodigestores, sugere, como média, o valor de 120 m<sup>3</sup> por tonelada de material orgânico, e a proporção de matéria orgânica na quantidade de RSU gerado por uma comunidade, pode-se afirmar que entre 60 a 75 m<sup>3</sup> de biogás são produzidos por tonelada de RSU em um processo de biodigestão. Considerando-se uma eficiência de 35% na conversão de energia térmica para energia elétrica, podem ser obtidos entre 120 e 290 kWh por tonelada de RSU, dependendo do conteúdo energético do resíduo (proporção de metano no gás produzido pela biodigestão, que pode variar de 55 a 70%).

Para Henriques (2004), o potencial de aproveitamento energético do biogás pode ser calculado multiplicando: a quantidade de resíduo, fator de produção de metano, densidade, fator de conversão, fator de capacidade da planta e eficiência da planta de ciclo aberto ou combinado.

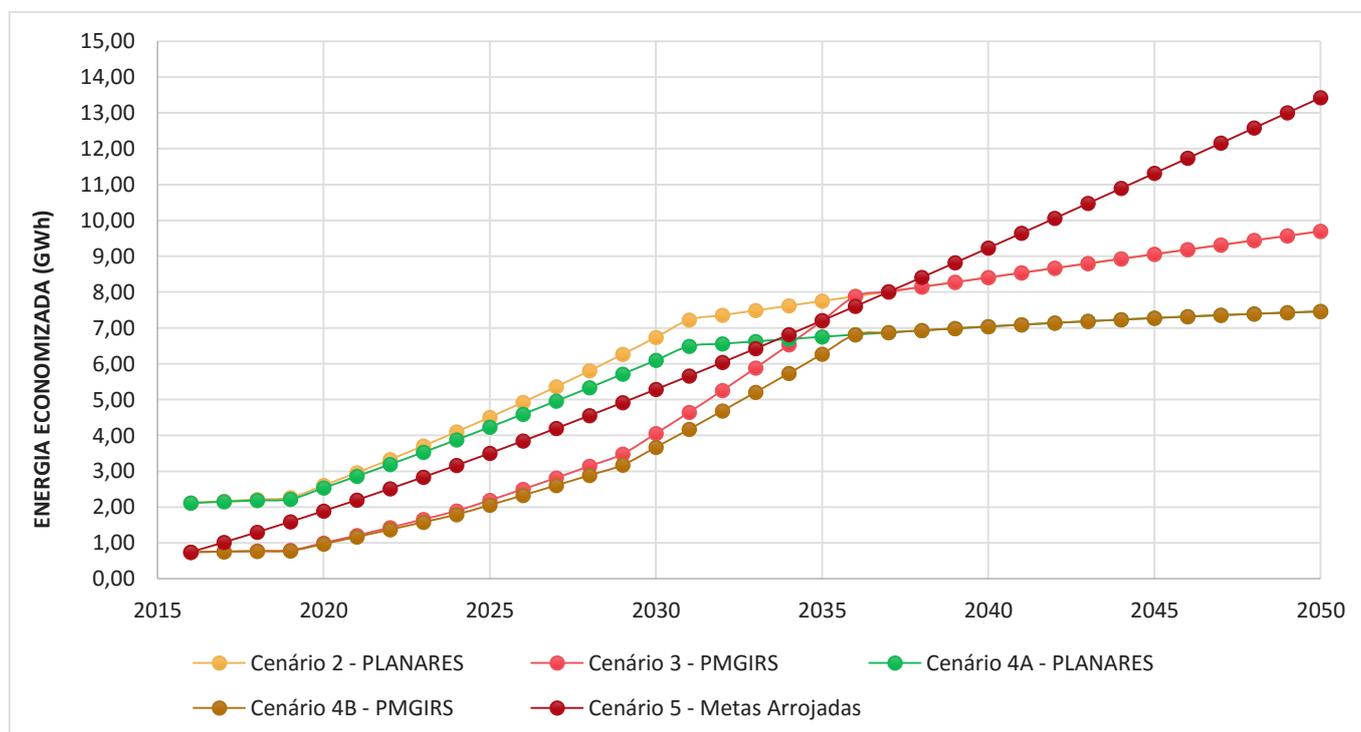
Os resultados apresentados na Figura 16, indicam que os valores mais significativos de produção de biogás foram obtidos no momento em que as maiores taxas de reciclagem de resíduos úmidos foram efetivadas, isto é, a partir de 2031, momento em que foram obtidos mais de 12 GWh. Em 2050, quando se consegue os melhores resultados, os valores de energia oriundos da produção de biogás podem chegar a 16,4 GWh para os cenários 2 e 3 e 22,7 GWh para o cenário 5. Os cenários 4A e 4B são menos expressivos que os cenários 2 e 3 por apresentarem menores percentuais de geração de resíduos, mesmo dispondo de uma coleta maior. O processo de biodigestão mostra-se muito relevante se comparado ao aproveitamento do gás em aterro, segundo Santos e Lima (2016), em virtude de, além de diminuir a massa aterrada, aumentando a vida útil do aterro, garante a oferta de biogás.

Santos e Lima (2016) comprovaram que o biogás gerado através do processo de biodigestão (BD) apresenta um valor energético 70% maior que o biogás de aterro (BA), o que lhe confere maior rendimento. Do ponto de vista ambiental, foi detectado em seu estudo que o BA, em sua queima, é mais agressivo do que o BD, que, por sua vez, apresenta apenas os poluentes óxido de nitrogênio (NOx) e óxido de Enxofre (SOx), como indicadores negativos. Desta forma, de acordo com Santos e Lima (2016), o BD apresenta-se, do ponto de vista energético e ambiental, mais atrativo e recomendado para o uso.

### 5.3.4 Economia energética a partir da biodigestão/compostagem dos resíduos úmidos

A Figura 17 representa a energia gasta com a produção de fertilizantes sintéticos que pode ser evitada através de sua substituição pelo uso de fertilizantes orgânicos, oriundos do processo de biodigestão ou compostagem. Os resultados obtidos se basearam nos ganhos energéticos relativos aos potenciais de nitrogênio, fósforo e potássio dos fertilizantes orgânicos, em substituição aos gastos referentes à produção desses materiais caso fossem usados os fertilizantes inorgânicos. A análise da Figura 17 permite identificar uma economia energética de mais de 7 GWh a partir de 2031, ano com base no qual se efetuam maiores taxas de reciclagem de resíduos úmidos.

Figura 17 – Energia economizada com o uso de fertilizantes orgânicos em substituição aos inorgânicos, por meio do mecanismo de biodigestão dos resíduos orgânicos em Feira de Santana, que ocorre em decorrência da adoção de metas de reciclagem de



resíduos úmidos, como propõem os cenários estudados.

Fonte: a autora (2017).

Segundo Harvey (2010), a princípio, fertilizantes orgânicos seriam suficientes se houvesse um reaproveitamento de 100% dos nutrientes que foram retirados do solo (através do retorno de todos os dejetos humanos e animais, restos de processamento de alimentos e

resíduos agrícolas de volta ao solo). Porém, na prática, a reciclagem de 100% não é atingida, e uma parte do fertilizante orgânico é perdida em vez de ser incorporada à biomassa das plantas. A taxa de liberação de novos nutrientes, por meio do intemperismo químico de materiais originários do solo, é muito lenta para compensar as perdas geradas pela presente escala global de produção de alimentos. Portanto, uma produção de fertilizantes inorgânicos seria necessária para sustentar as taxas de produção de alimentos, mesmo em um mundo ideal onde houvesse o máximo de reciclagem de nutrientes.

Tanto a compostagem quanto a biodigestão podem ser utilizadas, sobretudo para a obtenção de fertilizantes orgânicos, usados como condicionadores de solo e como fonte de N e de outros nutrientes. Desse modo, a necessidade de adição de agentes químicos poderia ser substituída ou diminuída.

Uma das maiores vantagens do biofertilizante é a recuperação do solo desgastado, visto que possui pH em torno de 7,5, que funciona como corretor de acidez; dificulta a multiplicação de fungos maléficos; e intensifica a atividade das bactérias que conseguem fixar o nitrogênio atmosférico – essencial para o desenvolvimento e manutenção das atividades das plantas (ICLEI, 2009). O solo biofertilizado (fertilizante orgânico) facilita a penetração das raízes e a absorção da água da chuva, impede a erosão e torna o solo mais úmido e mais poroso, possibilitando uma maior penetração de ar, o que proporciona melhores condições para o desenvolvimento das plantas.

Segundo Costa (2015), em seu estudo realizado sobre demanda e preço de fertilizantes orgânicos e inorgânicos nas cidades de Feira de Santana e Sapeaçu, foi possível notar que os orgânicos também são, mesmo que em menor escala, demandados e comercializados. Para Costa (2015), uma das vantagens identificadas quanto aos fertilizantes orgânicos frente aos químicos, junto aos PDV's (Pontos de venda de produtores agrícolas), foi o menor preço. Entretanto, por vezes, isso é superado pelo consumidor no momento da escolha do produto, especialmente pelos rápidos resultados nas atividades agrícolas proporcionados pelos fertilizantes químicos. De acordo com Costa (2015), em Feira de Santana, dada a variedade encontrada dos fertilizantes químicos, os preços são mais altos. Contudo, os preços dos orgânicos acompanham aqueles praticados nos PDV's de Sapeaçu. Percebeu-se, ainda, que na maioria dos PDV's há uma supremacia na venda dos fertilizantes químicos, dada a demanda existente.

### **5.3.5 Resumo da economia e geração energética a partir dos resíduos úmidos**

A Tabela 15 resume os valores mais significativos de energia gerada e poupada segundo as análises realizadas pelo estudo mencionado.

Tabela 15 – Economia e geração de energia a partir da reciclagem dos resíduos secos e resíduos úmidos, com base nos cenários mais significativos de análise.

<b>ECONOMIA E GERAÇÃO DE ENERGIA</b>		
	<b>EM 2050 SEGUNDO CENÁRIO 3</b>	<b>EM 2050 SEGUNDO CENÁRIO 5</b>
ECONOMIA DE ENERGIA PARA RESÍDUOS SECOS	602,5 GWh	990,6 GWh
ECONOMIA DE ENERGIA PARA RESÍDUOS ÚMIDOS	9,7 GWh	13,4 GWh
ENERGIA GERADA EM DECORRÊNCIA DOS RESÍDUOS ÚMIDOS (BIOGÁS)	16,4 GWh	22,7 GWh

A análise do cenário de aproveitamento energético sob o panorama da reciclagem de resíduos secos e úmidos, permite considerar para Feira de Santana, em 2050, para o cenário 5, o mais expressivo em todas as simulações, uma economia de energia de aproximadamente 1027 GWh, o suficiente para abastecer perto de 2,1 milhões de residências, considerando-se o consumo mensal de 163 KWh e uma média de 3 pessoas por residência.

## 6 CONCLUSÃO

Levando-se em consideração que as análises desenvolvidas neste trabalho se limitaram a dados secundários por falta de dados locais consistentes, pode-se inferir que houve redução dos impactos ambientais para Feira de Santana com adoção de metas de reciclagem, uma vez que, por meio das metas em questão, será possível estender a vida útil do aterro sanitário, bem como proporcionar economias e ganhos energéticos para o município.

Nesse sentido, os resultados obtidos revelam:

- Aumento da vida útil do aterro sanitário de Feira de Santana por 11, 17, 18 e 26 anos, de acordo com os cenários 2, 3, 4A e 4B, respectivamente. Para o cenário 5, a vida útil do aterro municipal não se encerra até o ano final de análise (2075). Segundo esse cenário, após 59 anos de utilização, ainda haverá disponível cerca de 15% da capacidade do aterro.
- Os resultados obtidos também podem precisar a quantidade em massa de resíduos que deixará de ser encaminhada ao aterro sanitário ao longo dos anos simulados, a saber: 77 mil t, 119 mil t, 92 mil t, 136 mil t, 212 mil t de acordo com os cenários 2, 3, 4A, 4B e 5, respectivamente.
- Os resíduos secos (plásticos, papéis, vidros e metais) apresentam um potencial de economia energética bastante significativo, desde que estes resíduos sejam reintroduzidos à cadeia produtiva; o potencial pode ser maior quanto maiores as taxas de reciclagem empregadas a esses materiais. Conforme exemplificado alhures neste trabalho, a adoção das taxas utilizadas no Japão, em média 90%, apresentaram como resultado uma economia de energia cerca de 40% maior em relação à maior taxa adotada anteriormente para este estudo, isto é, de 60%.
- O plástico destaca-se como o material seco de maior potencial de economia de energia. De acordo com o cenário 5 (metas arrojadas), esse material poderia poupar cerca de 749 GWh, o suficiente para abastecer mensalmente, aproximadamente, 1,5 milhão de residências.
- Os resíduos úmidos, por sua vez, podem gerar energia a partir da formação de biogás em processos de biodigestão, bem como podem economizar energia por meio da substituição de fertilizantes inorgânicos por orgânicos.
- Estabelecendo um comparativo do potencial de economia energética de resíduos secos (reinserção dos materiais à cadeia produtiva) e úmidos (substituição de fertilizantes orgânicos por inorgânicos), nota-se que os primeiros resíduos possuem

uma economia 98% maior em relação aos outros, já que o potencial poupado por ambos para o ano de 2050, com base no cenário 3, por exemplo, é, respectivamente, 602,5 GWh e 9,7 GWh.

- Podem ser poupados em Feira de Santana, em 2050, para o cenário 5, o mais expressivo, aproximadamente 1027 GWh, o suficiente para abastecer perto de 2,1 milhões de residências, considerando-se o consumo mensal de 163 KWh e uma média de 3 pessoas por residência.
- As simulações apresentadas neste trabalho, relativas ao emprego de taxas de reciclagem de materiais e outras opções de gestão, mostraram-se mais eficientes em relação às metas estabelecidas pelo cenário 5 para todos os parâmetros de análise.
- Esses resultados evidenciam a importância do cumprimento dos princípios, objetivos e metas do PNRS para a gestão de resíduos de um município, e podem ser utilizados pelos gestores da área de RSU para o estabelecimento de programas de apoio à redução da geração de resíduos, programas de incentivo à segregação de resíduos na origem, bem como de incentivo à reciclagem e reutilização.

Não existe um modelo único de gestão de resíduos que atenda todo o país. Cada região deve considerar suas particularidades sociais, econômicas, geográficas e de infraestrutura, e, individualmente ou por meio de parcerias com municipalidades próximas, contando com o apoio da indústria e da sociedade, estabelecer as diretrizes para o gerenciamento dos seus resíduos sólidos urbanos. Incentivos governamentais e de organizações, como a promulgação de leis e a adoção de medidas regulatórias, além da instituição de projetos que destaquem a importância da gestão e disposição de resíduos, são essenciais para que práticas ambientalmente corretas de tratamentos, como a reciclagem de resíduos, sejam implementadas de forma cada vez mais efetiva.

Desta maneira, todas as informações geradas pelo presente estudo poderão ser utilizadas de base para modelagem de outros sistemas de gerenciamento de resíduos que tenham características similares, e também para a realização de projeção de cenários a fim de se comparar alternativas para a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos. Além disso, pode embasar programas de educação ambiental, nos quais todos possam aprender e entender a importância de iniciativas de redução de geração de resíduos, bem como da separação prévia de resíduos na fonte geradora para facilitar e incentivar a execução de taxas cada vez maiores de reciclagem, mecanismos estes que irão promover uma preservação do meio ambiente.

Pelos dados apresentados neste estudo, torna-se visível que a questão do tratamento de resíduo, de sua coleta até a reciclagem e seu reaproveitamento, é muito importante, pois está vinculada ao alcance de uma maneira de manter o meio ambiente

saudável. Iniciativas como coleta seletiva e triagem, além do fortalecimento da atuação dos catadores, podem otimizar as práticas de reciclagem e promover ganhos ambientais para o município, como a reinserção de matérias recicláveis às respectivas cadeias produtivas e o prolongamento da vida útil do aterro.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. et al. **Guia da Reciclagem Orgânica**. Resíduos Orgânicos, compostagem e digestão anaeróbica. Cidade: Gabinete de Estudos Ambientais Universidade Católica Portuguesa, 2005. 74 p.
- AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: from re-use to energy and chemicals. **Progress in Energy and Combustion Science**, v.36, n.1, p. 103-129, 2010.
- ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. A. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 6, n. 1, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PET (ABIPET). **Reciclagem: benefício da reciclagem do PET**. São Paulo: 2010.
- Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA. **Conjuntura BRACELPA**. 2014. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-064.pdf>>.
- \_\_\_\_\_. **Conjuntura BRACELPA**. 2009. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/com>>. Acesso em: 28 ago. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS (ABRE). **Estudo macroeconômico da embalagem**. São Paulo: 2014. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/>>. Acesso em: 28 ago. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Atlas Brasileiro de Emissões de GGE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos**. São Paulo: 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Estimativa dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira do Alumínio (ABAL). **Relatório de Sustentabilidade 2012**. São Paulo: 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Latas de Alumínio**: índice de reciclagem de latas de alumínio. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/latas-de-aluminio/>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO (ABIVIDRO). **Manual de Reciclagem**. Disponível em: <[http://abividro.org.br/manual\\_abividro.pdf](http://abividro.org.br/manual_abividro.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2017.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DE VIDRO (ABIVIDRO). **Vidro no Brasil e sua indústria**. São Paulo: 2012. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/abividro/vidro-no-brasil-e-sua-industria>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

BAHIA (Estado). **Lei Estadual nº 12.932, de 07 de janeiro de 2014**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=264190>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

BAHIA (Estado). **Lei nº 11.172, de 01 de dezembro de 2008**. Institui princípios e diretrizes da Política Estadual de Saneamento Básico, disciplina o convênio de cooperação entre entes federados para autorizar a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.legislabahia.ba.gov.br/verdoc.php?arquivo=LO200811172.xml>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

BAJPAI, P. **Recycling and deinking of recovered paper**. London: Elsevier, 2014.

BEDANTE, G. N. **A influência da consciência ambiental e das atitudes em relação ao consumo sustentável na intenção de compra de produtos ecologicamente embalados**. 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BORGES, M. E.; GUEDES, R. M. **Aterro Sanitário – Planejamento e Operação**. Viçosa: CPT, 2008. 274 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 3 ago. 2010.

BRABER K. Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough. **Biomass and Bioenergy**, v. 9, n. 1–5, p. 365–376, 1995.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Designated National Authority – Interministerial Commission on Global Climate Change: general information on the Commission**. Brasília: MCTI, 2008. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14666.html#ancora>>.

BRASIL. **Resolução Conama nº 316, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

CAIXETA, D. M. **Geração de Energia Elétrica a Partir da Incineração de Lixo Urbano: O**

Caso de Campo Grande/MS. 2005. Trabalho de conclusão de curso (Especialização) – Pós-graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

CALABRÒ, P. S. Greenhouse gases emission from municipal waste management: the role of separate collection. **Waste Management**, v. 29, n. 7, p. 2178-2187, 2009.

CARDOSO, M. M. et al. **Materiais recicláveis**. Sorocaba: Unesp, 2013. 48 p. Disponível em: <<http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Extensao/residuossolidos/catalogoebook.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **CICLOSOFT 2010**. Cidade: 2010. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ciclossoft\\_2010.php](http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php)>. Acesso em: 07 nov. 2016.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **CEMPRE review**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://cempre.org.br>>. Acesso em: 28 ago. 2014.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **CEMPRE Review**. 2015. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1997.

COELHO; S. T. et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6, 2016, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, USP, 2016.

COLTRO, L.; DUARTE, L. C. Reciclagem de embalagens plásticas flexíveis: contribuição da identificação correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 23(1), p. 128-134, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282013005000008>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI); ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio**. Brasília: Editora CNI, 2012. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/downloads/abal-rio20.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

COSTA, I. das M. **Subsídios para a construção de um plano de manejo sustentável dos resíduos orgânicos: O caso do município de Sapeaçu-BA**. 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2015.

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

DAMGAARD, A.; LARSEN, A. W.; CHRISTENSEN, T. H. Recycling of metals: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 8, p. 773-780, 2009.

DE BAERE, L. **State-of-the-art of anaerobic digestion of municipal solid waste**. In: NINTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 2003, Cagliari, Italy. Proceedings. CISA p. 1-9, 2003.

DONOVAN, S. M. et al. Gas emissions from biodegradable waste in United Kingdom landfills. **Waste Management & Research**: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association (ISWA), v. 29, n. 1, p. 69-76, 2011.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Disciplinarum Scientia Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

EBC AGÊNCIA BRASIL. “**Consumo de energia elétrica cresceu 3,5% em 2013**”. 2014. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-01/consumo-de-energia-eletrica-cresceu-35-em-2013>>. Acesso em: 27 jan. 2016.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). **Balço Energético Nacional 2008**: Ano base 2007 - Resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2008.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, 2014.

ENVEX ENGENHARIA E CONSULTORIA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Feira de Santana - BA**, agosto 2016.

Eurostat (2012) Municipal Waste Statistics. In: Eurostat – **European Commission. Available**

at:<[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistica](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Municipal_waste_statistica)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

FEIRA DE SANTANA (município). **Lei Complementar nº 1.612, de 12 de dezembro de 1992**. Institui o Código do Meio Ambiente e dispõe sobre o sistema municipal do meio ambiente para a administração da qualidade ambiental, proteção, controle e desenvolvimento do meio ambiente e uso adequado dos recursos naturais no município de Feira de Santana. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/ba/f/feira-de-santana/lei-ordinaria/1992/161/1612/lei-ordinaria-n-1612-1992-conteudo-intrinseco-a-lei-complementar-n-16121992>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

FEIRA DE SANTANA (município). **Lei Ordinária nº 1614, de 11 de novembro de 1992**. Dispõe sobre o plano diretor de desenvolvimento do município de Feira de Santana, e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-feira-de-santana-ba>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**: princípio e prática. São Paulo: Artmed, 2006.

FISCHER, K. Notas de aula - Solid Waste Treatment. University of Stuttgart. Stuttgart, Alemanha, 2012.

GALVÃO, L. C. R. et al. **Energia de resíduos sólidos como mecanismo de desenvolvimento limpo**. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

GAVA, A. J. **Tecnologia de alimentos**: princípio e aplicações. Rio de Janeiro: Nobel, 2009.

GENTIL, E; CHRISTENSEN, T. H.; AUSTIN, E. Greenhouse gas accounting and waste management. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 8, p. 696-706, 2009.

GETRA AMBIENTAL. **Especificação da Reciclagem**. Disponível em: <<http://www.getraambiental.com.br/especificacao.php>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

GIOVANETTI, S. D. **Resíduos sólidos: perspectivas e desafios para a gestão integrada**. Recife: EDUFRPE, 2014.

GLOBAL ANTI-INCINERATOR ALLIANCE (GAIA). **A incineração de resíduos: uma tecnologia a desaparecer**. 2003. Disponível em: <[http://www.ecolnews.com.br/PDF/incineracao\\_residuos\\_solidos.pdf](http://www.ecolnews.com.br/PDF/incineracao_residuos_solidos.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2016.

GLOBAL ANTI-INCINERATOR ALLIANCE (GAIA). **Incineraton**. 2011. Disponível em <<http://www.no-burn.org/incineration/>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Electronic Journal of Management**, Education and Environmental Technology (REGET), v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2013.

GOMES, L. P.; MARTINS, F. B. Projeto, Implantação e Operação de Aterros Sustentáveis de Resíduos Sólidos Urbanos para Municípios de Pequeno Porte. In: CASTILHOS JR., A. B. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Rio de Janeiro: Rima ABES, 2003. 294 p.

GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (GRS/UFPE). **Relatório de Pesquisa: Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. PRODUTO 4: Relatório final do perfil institucional, quadro legal e políticas públicas relacionadas a resíduos sólidos urbanos no exterior e no Brasil. Julho, 2012.

GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (GRS/UFPE). **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Pesquisa Científica, BNDES FEP n. 02/2010. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014. 184 p.

HARVEY, L. D. D. **Energy Efficiency and the Demand for Energy Services**, Energy and the New Reality 1. Earthscan, London, 2010.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Abordagem Tecnológica**. 2004. 204 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Ciências de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

HENRIQUES, R. M.; OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. **Geração de energia com resíduos sólidos urbanos: análise custo benefício**. In: V Encontro Nacional da ECOECO, Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Caxias do Sul, 2003.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe. **Manual para aproveitamento do biogás: aterros sanitários**. São Paulo, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do censo demográfico 2010**. 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse>>. Acesso em: 27 jan. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Brasília: IPEA, 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Pesquisa sobre Pagamento**

por **Serviços Ambientais Urbanos para Gestão dos Resíduos Sólidos**. Brasília: IPEA, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS MUNICIPAIS (IPM). **Histórico da Incineração no Brasil**. Divisão de Sistemas e Métodos. São Paulo: Sextante, 2003. p. 171-182.

INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS (PLASTIVIDA). **Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP)**. São Paulo, 2010.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

JARDIM, C. A. M. **Valorização Econômica do Biogás: Geração Elétrica vs. Produção de Biometano para Injeção na Rede**. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Instituto Politécnico Setubal, Portugal, 2015.

JENKIS, J. **The humanure Handbook: a guide to composting human manure**. EUA, Grove City: Chelsea Green Publishing, 2005. 255 p.

JUCÁ, J. F. T. Destino Final de los Residuos Sólidos en Brasil: Situación Actual e Perspectivas. **Revista Resíduos**, v. 72, p. 58-66, 2003.

JUCÁ, J. F. T. **Alternativas Tecnológicas para Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. Palestra ministrada na Rio+20 - Conferência das Nações Unidas. Rio de Janeiro, 2012.

KANAYAMA, P. H. **Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos e Conservação de Energia**. 1999. 131 f. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: Editora Degaspari, 1998, p. 171.

KING, M. F.; GUTBERLET, J. Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: a case study of Ribeirão Pires, Brazil. **Waste Management**, v. 33, n. 12, p. 2771-2780, 2013.

LANDIM, A. P. M. et al. Sustainability concerning food packaging in Brazil. **Polímeros**, 26(SPE), p. 82-92, 2016.

LEAL, M. A. A. **Produção e Eficiência Agronômica de Compostos Obtidos com Palhada de Gramínea e Leguminosa para o Cultivo de Hortaliças Orgânicas**. 2006. 143 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

LIMA, J. D. **Modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2012. 435 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

LIMA, N. S. **Estudo do tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos urbanos**. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2014.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 6, p. 3496-3502, 2011.

LINO, F. A. de M. **Proposta de aproveitamento do potencial energético do resíduo sólido urbano e do esgoto doméstico com minimização dos impactos ambientais**. 2014. 206 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2014.

MACHADO, C. F. **Incineração**: Uma análise do tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos de Bauru/SP. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MACHADO, S. L. et al. Methane generation in tropical landfills: simplified methods and field results. **Waste Management**, v. 29, p. 153-161, 2009.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Europeia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, 2016.

MANRICH, S.; FRATTINI, G.; ROSALINI, A. C.; **Identificação de Plásticos** – uma ferramenta para reciclagem. São Carlos: Editora UFSCar, 1997.

MAVROPOULOS, A. **Thermal treatment in transition countries. Is there any future and how?** Seminário Internacional de Tecnologias e Gestão de Resíduos Sólidos, 1, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

MENDES, M. R.; IMURA, H. Eastern prospect: municipal solid waste management in Asian cities. **Waste Management World**, p. 145-154, 2004.

MENEZES, R.; MENEZES, M.; GERLACH R.J. **Estágio Atual da Incineração no Brasil**. Grupo Kompac Energia e Meio Ambiente. Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, VII, ABLP - Associação Brasileira de Limpeza Pública, São Paulo, 2000.

MERRILD, H.; DAMGAARD, A.; CHRISTENSEN, T. H. Resources, conservation and recycling life cycle assessment of waste paper management: the importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 12, p. 1391-1398, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**: versão preliminar para consulta pública. 2011. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf)> Acesso em: 14 out. 2016.

MOEJ. Heisei. **Current situation of waste management of Japan**. Tokyo: MOEJ, 2011.

MONTAGNA, T. B. **Biogás produzido em aterro sanitário como fonte de energia** – uma revisão bibliográfica. 2013. 53 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – União de Ensino do Sudoeste do Paraná, Dois Vizinhos, 2013.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MÜNNICH, K.; MAHLER, C.F.; FRICKE, K. Pilot project of mechanical-biological treatment of waste in Brazil. **Waste Management**, 26 (2), p. 150-157. DOI:

10.1016/j.wasman.2005.07.022. 2006.

OLIVEIRA, F. D. A. Proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares no bairro Pici, Fortaleza-CE. **Revista DAE**, v. 64, n. 201, p. 45-64, 2015.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem Processo de Baixo Custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

PIMENTEIRA, C. A. P. et al. Energy conservation and CO<sub>2</sub> emission reductions due to recycling in Brazil. **Waste Management**, v. 24, n. 9, p. 889-897, 2004.

PIRES, N. J. R. M. T. T. E. – final project: biogás. 1996. Disponível em: <<http://morango.esb.esb.uep.pt>>. Acesso em: 05 jan. 2016.

PIVELI, R. P.; FERREIRA FILHO, S. S. **Resíduos Sólidos Urbanos**. 2011. 109 slides.

PRATES, L. F. S. et al. **Experiência alemã com tratamento mecânico biológico de resíduos sólidos urbanos**. 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. p. 1-10, 2016.

REZENDE, J. H.; et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, 2013.

ROLIM, M. A. **A reciclagem de resíduos sólidos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul**. 2000. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Coimbra: Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 2003. Disponível em: <[http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes\\_antigas/Tratamentos\\_Residuos\\_Solidos.pdf](http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2016.

SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 203-212, 2012.

SANTOS, R. B.; LIMA, A. K. de C. Análise comparativa do biogás: processo em biodigestores e de aterro sanitário. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 6, n. 1, 2016.

SCHOR, J. B. **Plenitude: the new economics of true wealth**. New York: Penguin Press, 2010.

SEIDEL, J. M. **Um Problema Urbano – Gerenciamento de Resíduos Sólidos e as Mudanças Ambientais Globais**. V Encontro Nacional da Anppas, v. 4, 2010.

SILVA, J. C., et al. Reciclagem energética: uma solução inovadora para o plástico não reciclável. **e-Xacta**, 4(2), p. 87-96, 2011., Disponível em: <[www.unibh.br/revistas/exacta/](http://www.unibh.br/revistas/exacta/)>.

Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

TANGRI, N. **Respeto a los recicladores: Protegiendo el clima a través de basura cero**. Alianza Global para Alternativas a la Incineración, Buenos Aires, Argentina, 2010.

UDAETA, M. E. M. et al. **Brazil natural gas market as a factor for energy integration in Latin América**. In: International Word Energy System Conference – WESC: proceedings.

Tokyo, 2002.

WENDLAND, C. **Anaerobic digestion of blackwater from vacuum toilets and kitchen refuse in a continuous stirred tank reactor (CSTR)** Proceedings of the 7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems in Mexico, March 7-10, 2009.

ZANTA, V. M. Gestão de Resíduos Sólidos nas capitais brasileiras: um olhar sob a ótica da governança e sustentabilidade. **Cadernos Adenauer**, v. XV, n. 2, p. 69-79, 2015.

## APÊNDICE A – PROJEÇÃO POPULACIONAL

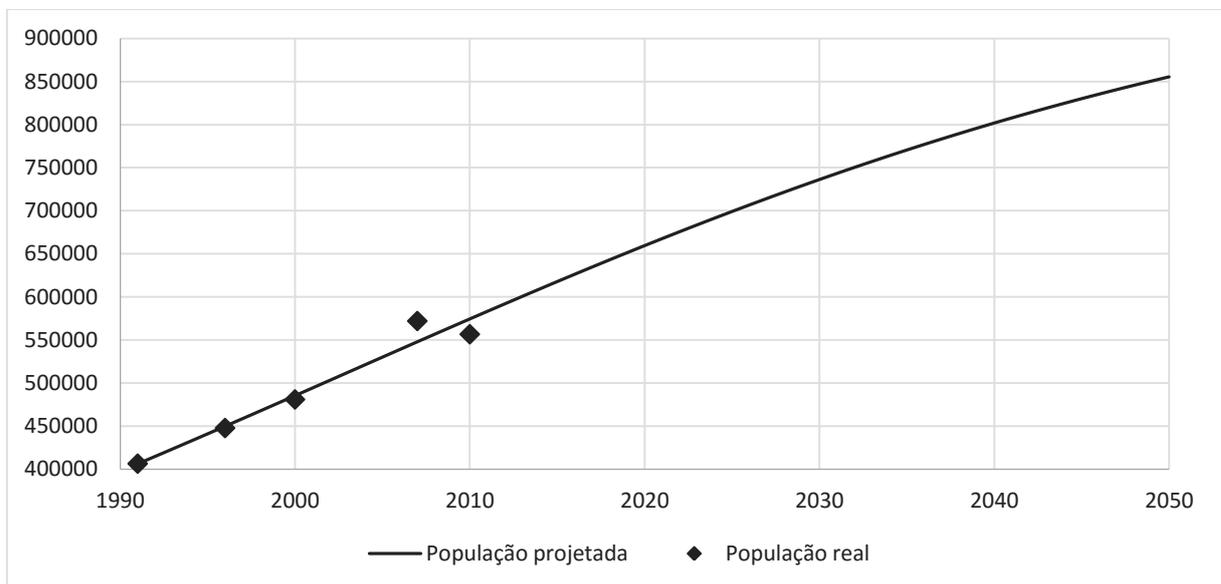
A projeção populacional da cidade de Feira de Santana – BA foi realizada através dos dados extraídos dos Censos do IBGE para os anos de 1991, 2000 e 2010. Por meio destes dados, foram testados vários métodos de previsão populacional, a saber: crescimento aritmético, crescimento geométrico, curva logística e regressão multiplicativa, com o objetivo de encontrar aquele que melhor se ajustasse aos dados reais.

O melhor ajuste foi o do método curva logística, com um valor de  $R^2$  de 0,954 considerando-se a Equação 1. O gráfico da projeção populacional pode ser visto na Figura 18.

$$P = \frac{1.016,274}{1+e^{0,41+0,035T}} \quad (1)$$

Onde P é a população no ano T (tempo decorrido a partir de 1991, ano de início da projeção populacional).

Figura 18 – Projeção da população de Feira de Santana – BA.



Fonte: a autora (2017).

## APÊNDICE B – QUANTIDADE DE RSU PRODUZIDO

- Metas propostas nos cenários 1, 2 e 3.

Ano #	População #	Geração de RSU per capita kg/hab/dia	RSU Coletado* -	RSU Total Coletado t/ano	Composição do RSU (ENVEX, 2016)					
					19,00%	20,00%	1,00%	1,00%	49,00%	10,00%
					Plástico t/ano	Papel t/ano	Vidro t/ano	Metal t/ano	Orgânico t/ano	Outros t/ano
2016	626.265	1,066	67,00%	163.261,21	31.019,63	32.652,24	1.632,61	1.632,61	79.997,99	16.326,12
2017	634.687	1,066	67,68%	167.127,29	31.754,19	33.425,46	1.671,27	1.671,27	81.892,37	16.712,73
2018	643.036	1,066	68,35%	171.018,29	32.493,48	34.203,66	1.710,18	1.710,18	83.798,96	17.101,83
2019	651.308	1,066	69,03%	174.932,56	33.237,19	34.986,51	1.749,33	1.749,33	85.716,95	17.493,26
2020	659.498	1,066	69,71%	178.868,14	33.984,95	35.773,63	1.788,68	1.788,68	87.645,39	17.886,81
2021	667.602	1,066	70,38%	182.823,27	34.736,42	36.564,65	1.828,23	1.828,23	89.583,40	18.282,33
2022	675.618	1,066	71,06%	186.796,74	35.491,38	37.359,35	1.867,97	1.867,97	91.530,40	18.679,67
2023	683.541	1,066	71,74%	190.786,45	36.249,43	38.157,29	1.907,86	1.907,86	93.485,36	19.078,64
2024	691.368	1,066	72,41%	194.790,82	37.010,25	38.958,16	1.947,91	1.947,91	95.447,50	19.479,08
2025	699.097	1,066	73,09%	198.808,52	37.773,62	39.761,70	1.988,09	1.988,09	97.416,17	19.880,85
2026	706.724	1,066	73,76%	202.837,63	38.539,15	40.567,53	2.028,38	2.028,38	99.390,44	20.283,76
2027	714.247	1,066	74,44%	206.876,77	39.306,59	41.375,35	2.068,77	2.068,77	101.369,62	20.687,68
2028	721.663	1,066	75,12%	210.924,24	40.075,60	42.184,85	2.109,24	2.109,24	103.352,88	21.092,42
2029	728.971	1,066	75,79%	214.978,89	40.845,99	42.995,78	2.149,79	2.149,79	105.339,66	21.497,89
2030	736.167	1,066	76,47%	219.038,70	41.617,35	43.807,74	2.190,39	2.190,39	107.328,96	21.903,87
2031	743.251	1,066	77,15%	223.102,76	42.389,52	44.620,55	2.231,03	2.231,03	109.320,35	22.310,28
2032	750.221	1,066	77,82%	227.169,60	43.162,22	45.433,92	2.271,70	2.271,70	111.313,10	22.716,96
2033	757.074	1,066	78,50%	231.237,39	43.935,10	46.247,48	2.312,37	2.312,37	113.306,32	23.123,74
2034	763.811	1,066	79,18%	235.305,52	44.708,05	47.061,10	2.353,06	2.353,06	115.299,71	23.530,55
2035	770.429	1,066	79,85%	239.372,14	45.480,71	47.874,43	2.393,72	2.393,72	117.292,35	23.937,21
2036	776.928	1,066	80,53%	243.436,32	46.252,90	48.687,26	2.434,36	2.434,36	119.283,80	24.343,63
2037	783.307	1,066	81,21%	247.496,79	47.024,39	49.499,36	2.474,97	2.474,97	121.273,43	24.749,68
2038	789.566	1,066	81,88%	251.552,61	47.795,00	50.310,52	2.515,53	2.515,53	123.260,78	25.155,26
2039	795.704	1,066	82,56%	255.602,51	48.564,48	51.120,50	2.556,03	2.556,03	125.245,23	25.560,25
2040	801.721	1,066	83,24%	259.645,53	49.332,65	51.929,11	2.596,46	2.596,46	127.226,31	25.964,55
2041	807.617	1,066	83,91%	263.680,72	50.099,34	52.736,14	2.636,81	2.636,81	129.203,55	26.368,07
2042	813.392	1,066	84,59%	267.707,13	50.864,35	53.541,43	2.677,07	2.677,07	131.176,49	26.770,71
2043	819.046	1,066	85,26%	271.723,79	51.627,52	54.344,76	2.717,24	2.717,24	133.144,66	27.172,38
2044	824.580	1,066	85,94%	275.730,09	52.388,72	55.146,02	2.757,30	2.757,30	135.107,74	27.573,01
2045	829.993	1,066	86,62%	279.724,74	53.147,70	55.944,95	2.797,25	2.797,25	137.065,12	27.972,47
2046	835.288	1,066	87,29%	283.707,81	53.904,48	56.741,56	2.837,08	2.837,08	139.016,83	28.370,78
2047	840.463	1,066	87,97%	287.677,68	54.658,76	57.535,54	2.876,78	2.876,78	140.962,06	28.767,77
2048	845.521	1,066	88,65%	291.634,43	55.410,54	58.326,89	2.916,34	2.916,34	142.900,87	29.163,44
2049	850.463	1,066	89,32%	295.577,50	56.159,72	59.115,50	2.955,77	2.955,77	144.832,97	29.557,75
2050	855.288	1,066	90,00%	299.505,61	56.906,07	59.901,12	2.995,06	2.995,06	146.757,75	29.950,56

- Metas propostas nos cenários 4A, 4B e 5.

<b>Composição do RSU (ENVEX, 2016)</b>										
19,00%    20,00%    1,00%    1,00%    49,00%    10,00%										
<b>Ano</b>	<b>População</b>	<b>Geração de RSU per capita kg/hab/dia</b>	<b>RSU Coletado*</b>	<b>RSU Total Coletado</b>	<b>Plástico</b>	<b>Papel</b>	<b>Vidro</b>	<b>Metal</b>	<b>Orgânico</b>	<b>Outros</b>
<b>#</b>	<b>#</b>		<b>-</b>	<b>t/ano</b>	<b>t/ano</b>	<b>t/ano</b>	<b>t/ano</b>	<b>t/ano</b>	<b>t/ano</b>	<b>t/ano</b>
2016	626.265	1,066	67,00%	163.261,21	31.019,63	32.652,24	1.632,61	1.632,61	79.997,99	16.326,12
2017	634.687	1,059	67,68%	165.992,94	31.538,66	33.198,59	1.659,93	1.659,93	81.336,54	16.599,29
2018	643.036	1,052	68,35%	168.696,78	32.052,39	33.739,36	1.686,97	1.686,97	82.661,42	16.869,68
2019	651.308	1,044	69,03%	171.370,59	32.560,41	34.274,12	1.713,71	1.713,71	83.971,59	17.137,06
2020	659.498	1,037	69,71%	174.011,99	33.062,28	34.802,40	1.740,12	1.740,12	85.265,87	17.401,20
2021	667.602	1,030	70,38%	176.618,86	33.557,58	35.323,77	1.766,19	1.766,19	86.543,24	17.661,89
2022	675.618	1,023	71,06%	179.189,63	34.046,03	35.837,93	1.791,90	1.791,90	87.802,92	17.918,96
2023	683.541	1,015	71,74%	181.721,93	34.527,17	36.344,39	1.817,22	1.817,22	89.043,75	18.172,19
2024	691.368	1,008	72,41%	184.213,94	35.000,65	36.842,79	1.842,14	1.842,14	90.264,83	18.421,39
2025	699.097	1,001	73,09%	186.664,10	35.466,18	37.332,82	1.866,64	1.866,64	91.465,41	18.666,41
2026	706.724	0,994	73,76%	189.070,37	35.923,37	37.814,07	1.890,70	1.890,70	92.644,48	18.907,04
2027	714.247	0,986	74,44%	191.431,22	36.371,93	38.286,24	1.914,31	1.914,31	93.801,30	19.143,12
2028	721.663	0,979	75,12%	193.744,89	36.811,53	38.748,98	1.937,45	1.937,45	94.934,99	19.374,49
2029	728.971	0,972	75,79%	196.010,17	37.241,93	39.202,03	1.960,10	1.960,10	96.044,98	19.601,02
2030	736.167	0,965	76,47%	198.225,06	37.662,76	39.645,01	1.982,25	1.982,25	97.130,28	19.822,51
2031	743.251	0,957	77,15%	200.388,68	38.073,85	40.077,74	2.003,89	2.003,89	98.190,45	20.038,87
2032	750.221	0,950	77,82%	202.499,60	38.474,92	40.499,92	2.025,00	2.025,00	99.224,80	20.249,96
2033	757.074	0,943	78,50%	204.556,15	38.865,67	40.911,23	2.045,56	2.045,56	100.232,51	20.455,62
2034	763.811	0,936	79,18%	206.557,79	39.245,98	41.311,56	2.065,58	2.065,58	101.213,32	20.655,78
2035	770.429	0,929	79,85%	208.502,88	39.615,55	41.700,58	2.085,03	2.085,03	102.166,41	20.850,29
2036	776.928	0,921	80,53%	210.390,66	39.974,23	42.078,13	2.103,91	2.103,91	103.091,43	21.039,07
2037	783.307	0,914	81,21%	212.220,10	40.321,82	42.444,02	2.122,20	2.122,20	103.987,85	21.222,01
2038	789.566	0,907	81,88%	213.990,45	40.658,19	42.798,09	2.139,90	2.139,90	104.855,32	21.399,05
2039	795.704	0,900	82,56%	215.700,76	40.983,14	43.140,15	2.157,01	2.157,01	105.693,37	21.570,08
2040	801.721	0,892	83,24%	217.350,33	41.296,56	43.470,07	2.173,50	2.173,50	106.501,66	21.735,03
2041	807.617	0,885	83,91%	218.938,52	41.598,32	43.787,70	2.189,39	2.189,39	107.279,87	21.893,85
2042	813.392	0,878	84,59%	220.464,69	41.888,29	44.092,94	2.204,65	2.204,65	108.027,70	22.046,47
2043	819.046	0,871	85,26%	221.928,25	42.166,37	44.385,65	2.219,28	2.219,28	108.744,84	22.192,83
2044	824.580	0,863	85,94%	223.328,90	42.432,49	44.665,78	2.233,29	2.233,29	109.431,16	22.332,89
2045	829.993	0,856	86,62%	224.665,80	42.686,50	44.933,16	2.246,66	2.246,66	110.086,24	22.466,58
2046	835.288	0,849	87,29%	225.939,25	42.928,46	45.187,85	2.259,39	2.259,39	110.710,23	22.593,93
2047	840.463	0,842	87,97%	227.148,21	43.158,16	45.429,64	2.271,48	2.271,48	111.302,62	22.714,82
2048	845.521	0,834	88,65%	228.293,02	43.375,67	45.658,60	2.282,93	2.282,93	111.863,58	22.829,30
2049	850.463	0,827	89,32%	229.373,49	43.580,96	45.874,70	2.293,73	2.293,73	112.393,01	22.937,35
2050	855.288	0,820	90,00%	230.388,93	43.773,90	46.077,79	2.303,89	2.303,89	112.890,57	23.038,89

## APÊNDICE C – VIDA ÚTIL DO ATERRO

- Metas propostas nos cenários 1, 2 e 3.

### DADOS:

Capacidade diária (t/dia):	1000
Vida útil estimada (anos):	20
Volume inicial disponível no aterro (m <sup>3</sup> ):	10.428.571,43
Densidade do lixo compactado (t/m <sup>3</sup> ) - Varia de 700 a 900 kg/m <sup>2</sup> (Gomes et al, 1997):	0,7

Ano	CENÁRIO 1 - Sem Metas			CENÁRIO 2 - PLANARES			CENÁRIO 3 - PMGIRS		
	Massa RSU t	Volume RSU m <sup>3</sup>	Volume disponível m <sup>3</sup>	Massa RSU t	Volume RSU m <sup>3</sup>	Volume disponível m <sup>3</sup>	Massa RSU t	Volume RSU m <sup>3</sup>	Volume disponível m <sup>3</sup>
2016	163.261,21	233.230,30	10.195.341,13	136.551,68	195.073,82	10.233.497,60	142.935,19	204.193,13	10.224.378,30
2017	167.127,29	238.753,27	9.956.587,85	139.785,27	199.693,24	10.033.804,37	146.319,94	209.028,49	10.015.349,81
2018	171.018,29	244.311,84	9.712.276,01	143.039,70	204.342,43	9.829.461,94	149.726,51	213.895,02	9.801.454,79
2019	174.932,56	249.903,66	9.462.372,35	146.313,59	209.019,42	9.620.442,52	153.153,46	218.790,65	9.582.664,14
2020	178.868,14	255.525,91	9.206.846,44	146.864,15	209.805,94	9.410.636,58	153.289,99	218.985,70	9.363.678,43
2021	182.823,27	261.176,10	8.945.670,34	147.309,85	210.442,65	9.200.193,94	153.297,31	218.996,16	9.144.682,27
2022	186.796,74	266.852,49	8.678.817,85	147.648,81	210.926,88	8.989.267,06	153.173,33	218.819,04	8.925.863,23
2023	190.786,45	272.552,07	8.406.265,78	147.878,58	211.255,11	8.778.011,95	152.915,34	218.450,48	8.707.412,75
2024	194.790,82	278.272,59	8.127.993,19	147.997,19	211.424,56	8.566.587,39	152.521,21	217.887,44	8.489.525,31
2025	198.808,52	284.012,17	7.843.981,02	148.003,00	211.432,86	8.355.154,54	151.925,49	217.036,42	8.272.488,89
2026	202.837,63	289.768,04	7.554.212,98	147.893,99	211.277,12	8.143.877,42	150.729,66	215.328,08	8.057.160,81
2027	206.876,77	295.538,24	7.258.674,74	147.668,64	210.955,20	7.932.922,22	149.371,23	213.387,48	7.843.773,34
2028	210.924,24	301.320,34	6.957.354,41	147.325,31	210.464,72	7.722.457,50	147.848,40	211.212,00	7.632.561,34
2029	214.978,89	307.112,70	6.650.241,70	146.862,83	209.804,04	7.512.653,45	148.098,96	211.569,94	7.420.991,40
2030	219.038,70	312.912,42	6.337.329,28	146.279,52	208.970,74	7.303.682,71	145.266,49	207.523,56	7.213.467,83
2031	223.102,76	318.718,23	6.018.611,05	145.574,55	207.963,65	7.095.719,07	142.228,07	203.182,96	7.010.284,87
2032	227.169,60	324.528,00	5.694.083,05	148.228,16	211.754,52	6.883.964,55	138.982,46	198.546,36	6.811.738,51
2033	231.237,39	330.339,13	5.363.743,93	150.882,40	215.546,28	6.668.418,27	135.528,36	193.611,95	6.618.126,56
2034	235.305,52	336.150,74	5.027.593,18	153.536,85	219.338,36	6.449.079,91	131.865,38	188.379,11	6.429.747,45
2035	239.372,14	341.960,20	4.685.632,98	156.190,32	223.129,03	6.225.950,88	127.992,49	182.846,41	6.246.901,04
2036	243.436,32	347.766,17	4.337.866,81	158.842,20	226.917,42	5.999.033,45	123.909,09	177.012,98	6.069.888,06
2037	247.496,79	353.566,84	3.984.299,97	161.491,65	230.702,36	5.768.331,09	125.975,86	179.965,52	5.889.922,54
2038	251.552,61	359.360,87	3.624.939,11	164.138,08	234.482,97	5.533.848,13	128.040,28	182.914,68	5.707.007,86
2039	255.602,51	365.146,44	3.259.792,67	166.780,63	238.258,05	5.295.590,08	130.101,68	185.859,54	5.521.148,32
2040	259.645,53	370.922,18	2.888.870,49	169.418,71	242.026,72	5.053.563,35	132.159,57	188.799,39	5.332.348,93

2041	263.680,72	376.686,74	2.512.183,74	172.051,67	245.788,10	4.807.775,25	134.213,49	191.733,55	5.140.615,38
2042	267.707,13	382.438,75	2.129.744,99	174.678,90	249.541,28	4.558.233,97	136.262,93	194.661,32	4.945.954,06
2043	271.723,79	388.176,84	1.741.568,15	177.299,77	253.285,39	4.304.948,58	138.307,41	197.582,01	4.748.372,04
2044	275.730,09	393.900,13	1.347.668,03	179.913,88	257.019,83	4.047.928,75	140.346,62	200.495,16	4.547.876,88
2045	279.724,74	399.606,77	948.061,25	182.520,39	260.743,42	3.787.185,33	142.379,89	203.399,85	4.344.477,03
2046	283.707,81	405.296,87	542.764,38	185.119,35	264.456,21	3.522.729,12	144.407,28	206.296,11	4.138.180,92
2047	287.677,68	410.968,11	131.796,27	187.709,68	268.156,69	3.254.572,43	146.427,94	209.182,77	3.928.998,16
2048	291.634,43	416.620,62	0,00	190.291,47	271.844,95	2.982.727,47	148.441,93	212.059,89	3.716.938,26
2049	295.577,50	422.253,57	0,00	192.864,32	275.520,45	2.707.207,02	150.448,95	214.927,07	3.502.011,20
2050	299.505,61	427.865,15	0,00	195.427,41	279.182,01	2.428.025,01	152.448,35	217.783,36	3.284.227,83
2051	301.155,31	430.221,87	0,00	196.503,84	280.719,77	2.147.305,24	153.288,05	218.982,93	3.065.244,90
2052	302.765,09	432.521,56	0,00	197.554,22	282.220,32	1.865.084,92	154.107,43	220.153,47	2.845.091,43
2053	304.336,00	434.765,72	0,00	198.579,24	283.684,63	1.581.400,29	154.907,03	221.295,75	2.623.795,67
2054	305.867,70	436.953,85	0,00	199.578,67	285.112,39	1.296.287,90	155.686,66	222.409,51	2.401.386,16
2055	307.361,57	439.087,95	0,00	200.553,42	286.504,89	1.009.783,01	156.447,04	223.495,77	2.177.890,40
2056	308.817,27	441.167,53	0,00	201.503,27	287.861,81	721.921,20	157.187,99	224.554,27	1.953.336,12
2057	310.235,85	443.194,08	0,00	202.428,89	289.184,13	432.737,06	157.910,05	225.585,78	1.727.750,34
2058	311.618,02	445.168,60	0,00	203.330,76	290.472,51	142.264,55	158.613,57	226.590,82	1.501.159,52
2059	312.964,11	447.091,59	0,00	204.209,08	291.727,26	0,00	159.298,73	227.569,62	1.273.589,90
2060	314.274,49	448.963,56	0,00	205.064,11	292.948,72	0,00	159.965,72	228.522,45	1.045.067,45
2061	315.550,20	450.786,00	0,00	205.896,51	294.137,87	0,00	160.615,05	229.450,07	815.617,38
2062	316.791,59	452.559,42	0,00	206.706,51	295.295,02	0,00	161.246,92	230.352,74	585.264,64
2063	317.999,37	454.284,81	0,00	207.494,59	296.420,84	0,00	161.861,68	231.230,97	354.033,67
2064	319.174,22	455.963,18	0,00	208.261,18	297.515,97	0,00	162.459,68	232.085,26	121.948,41
2065	320.316,51	457.595,02	0,00	209.006,53	298.580,75	0,00	163.041,11	232.915,87	0,00

- Metas propostas nos cenários 4A, 4B e 5.

Ano	CENÁRIO 4A - PLANARES			CENÁRIO 4B - PMGIRS			CENÁRIO 5 - METAS ARROJADAS		
	Massa RSU t	Volume RSU m³	Volume disponível m³	Massa RSU t	Volume RSU m³	Volume disponível m³	Massa RSU t	Volume RSU m³	Volume disponível m³
2016	136.551,68	195.073,82	10.233.497,60	142.935,19	204.193,13	10.224.378,30	146.951,42	209.930,59	10.218.640,83
2017	138.836,50	198.337,85	10.035.159,75	145.326,82	207.609,75	10.016.768,56	145.915,36	208.450,52	10.010.190,31
2018	141.097,98	201.568,55	9.833.591,20	147.694,03	210.991,47	9.805.777,09	144.740,35	206.771,92	9.803.418,39
2019	143.334,36	204.763,37	9.628.827,83	150.034,95	214.335,64	9.591.441,45	143.426,34	204.894,78	9.598.523,62
2020	142.876,89	204.109,85	9.424.717,99	149.128,27	213.040,39	9.378.401,06	141.973,31	202.819,01	9.395.704,60
2021	142.310,65	203.300,93	9.221.417,06	148.094,92	211.564,17	9.166.836,89	140.381,61	200.545,15	9.195.159,45
2022	141.635,97	202.337,09	9.019.079,97	146.935,50	209.907,86	8.956.929,03	138.652,20	198.074,56	8.997.084,88
2023	140.852,67	201.218,10	8.817.861,87	145.650,13	208.071,61	8.748.857,42	136.785,57	195.407,96	8.801.676,92
2024	139.961,14	199.944,49	8.617.917,37	144.239,51	206.056,45	8.542.800,97	134.782,84	192.546,91	8.609.130,01
2025	138.962,09	198.517,28	8.419.400,10	142.644,98	203.778,54	8.339.022,44	132.645,43	189.493,48	8.419.636,53
2026	137.855,93	196.937,05	8.222.463,05	140.499,14	200.713,05	8.138.309,38	130.374,58	186.249,41	8.233.387,13
2027	136.643,60	195.205,15	8.027.257,90	138.219,08	197.455,83	7.940.853,55	127.972,05	182.817,21	8.050.569,91
2028	135.325,96	193.322,80	7.833.935,11	135.806,45	194.009,21	7.746.844,34	125.439,56	179.199,37	7.871.370,55
2029	133.904,35	191.291,92	7.642.643,18	135.031,40	192.902,01	7.553.942,34	122.779,33	175.399,04	7.695.971,51
2030	132.379,65	189.113,79	7.453.529,39	131.462,89	187.804,13	7.366.138,21	119.993,21	171.418,87	7.524.552,63
2031	130.753,61	186.790,88	7.266.738,52	127.747,84	182.496,91	7.183.641,30	117.083,86	167.262,66	7.357.289,97
2032	132.130,99	188.758,55	7.077.979,96	123.889,34	176.984,77	7.006.656,53	114.053,73	162.933,90	7.194.356,07
2033	133.472,89	190.675,56	6.887.304,41	119.890,48	171.272,11	6.835.384,42	110.905,23	158.436,05	7.035.920,03
2034	134.778,96	192.541,37	6.694.763,04	115.755,13	165.364,47	6.670.019,95	107.641,52	153.773,59	6.882.146,44
2035	136.048,13	194.354,47	6.500.408,57	111.486,67	159.266,67	6.510.753,28	104.265,24	148.950,34	6.733.196,09
2036	137.279,91	196.114,15	6.304.294,41	107.088,85	152.984,07	6.357.769,21	100.779,60	143.970,86	6.589.225,23
2037	138.473,61	197.819,45	6.106.474,97	108.020,03	154.314,33	6.203.454,89	97.187,75	138.839,65	6.450.385,58
2038	139.628,77	199.469,67	5.907.005,30	108.921,14	155.601,63	6.047.853,26	93.493,06	133.561,51	6.316.824,07
2039	140.744,74	201.063,92	5.705.941,38	109.791,69	156.845,26	5.891.007,99	89.698,84	128.141,20	6.188.682,87
2040	141.821,09	202.601,56	5.503.339,82	110.631,32	158.044,74	5.732.963,25	85.808,63	122.583,76	6.066.099,11
2041	142.857,38	204.081,97	5.299.257,84	111.439,70	159.199,58	5.573.763,68	81.826,02	116.894,31	5.949.204,80
2042	143.853,21	205.504,59	5.093.753,26	112.216,53	160.309,33	5.413.454,35	77.754,65	111.078,08	5.838.126,72
2043	144.808,18	206.868,84	4.886.884,42	112.961,48	161.373,54	5.252.080,81	73.598,26	105.140,37	5.732.986,35
2044	145.722,10	208.174,43	4.678.709,99	113.674,41	162.392,01	5.089.688,80	69.360,70	99.086,71	5.633.899,63
2045	146.594,43	209.420,62	4.469.289,37	114.354,89	163.364,13	4.926.324,66	65.045,70	92.922,44	5.540.977,20
2046	147.425,36	210.607,66	4.258.681,71	115.003,08	164.290,11	4.762.034,55	60.657,38	86.653,40	5.454.323,80
2047	148.214,21	211.734,58	4.046.947,13	115.618,44	165.169,20	4.596.865,35	56.199,47	80.284,96	5.374.038,84
2048	148.961,19	212.801,71	3.834.145,42	116.201,15	166.001,64	4.430.863,72	51.676,14	73.823,06	5.300.215,78

2049	149.666,20	213.808,86	3.620.336,56	116.751,11	166.787,29	4.264.076,42	47.091,39	67.273,41	5.232.942,37
2050	150.328,78	214.755,39	3.405.581,17	117.267,96	167.525,66	4.096.550,76	42.449,16	60.641,66	5.172.300,71
2051	151.156,80	215.938,29	3.189.642,88	117.913,89	168.448,41	3.928.102,35	42.682,97	60.975,68	5.111.325,03
2052	151.964,79	217.092,55	2.972.550,33	118.544,18	169.348,83	3.758.753,52	42.911,13	61.301,61	5.050.023,42
2053	152.753,26	218.218,95	2.754.331,38	119.159,25	170.227,50	3.588.526,02	43.133,78	61.619,68	4.988.403,74
2054	153.522,05	219.317,22	2.535.014,16	119.758,97	171.084,24	3.417.441,78	43.350,86	61.929,81	4.926.473,93
2055	154.271,86	220.388,38	2.314.625,78	120.343,88	171.919,82	3.245.521,96	43.562,59	62.232,27	4.864.241,66
2056	155.002,51	221.432,16	2.093.193,62	120.913,84	172.734,06	3.072.787,91	43.768,91	62.527,01	4.801.714,65
2057	155.714,53	222.449,33	1.870.744,29	121.469,27	173.527,53	2.899.260,38	43.969,97	62.814,24	4.738.900,41
2058	156.408,27	223.440,39	1.647.303,89	122.010,44	174.300,63	2.724.959,75	44.165,86	63.094,09	4.675.806,32
2059	157.083,91	224.405,59	1.422.898,31	122.537,49	175.053,55	2.549.906,20	44.356,64	63.366,64	4.612.439,69
2060	157.741,62	225.345,17	1.197.553,14	123.050,55	175.786,50	2.374.119,70	44.542,37	63.631,95	4.548.807,74
2061	158.381,93	226.259,90	971.293,24	123.550,04	176.500,06	2.197.619,64	44.723,17	63.890,25	4.484.917,49
2062	159.005,01	227.150,02	744.143,23	124.036,09	177.194,42	2.020.425,22	44.899,12	64.141,59	4.420.775,90
2063	159.611,22	228.016,03	516.127,20	124.508,98	177.869,98	1.842.555,25	45.070,29	64.386,14	4.356.389,76
2064	160.200,91	228.858,44	287.268,76	124.968,98	178.527,12	1.664.028,13	45.236,81	64.624,01	4.291.765,75
2065	160.774,25	229.677,50	57.591,26	125.416,24	179.166,05	1.484.862,08	45.398,71	64.855,29	4.226.910,46
2066	161.331,77	230.473,96	0,00	125.851,15	179.787,35	1.305.074,73	45.556,14	65.080,20	4.161.830,26
2067	161.873,65	231.248,08	0,00	126.273,85	180.391,22	1.124.683,51	45.709,15	65.298,79	4.096.531,47
2068	162.400,24	232.000,35	0,00	126.684,63	180.978,05	943.705,46	45.857,85	65.511,21	4.031.020,27
2069	162.911,89	232.731,27	0,00	127.083,76	181.548,23	762.157,23	46.002,32	65.717,60	3.965.302,66
2070	163.408,95	233.441,36	0,00	127.471,50	182.102,15	580.055,08	46.142,68	65.918,12	3.899.384,54
2071	163.891,77	234.131,11	0,00	127.848,14	182.640,20	397.414,88	46.279,02	66.112,88	3.833.271,66
2072	164.360,54	234.800,77	0,00	128.213,81	183.162,59	214.252,29	46.411,39	66.301,98	3.766.969,68
2073	164.815,59	235.450,84	0,00	128.568,79	183.669,70	30.582,59	46.539,88	66.485,54	3.700.484,14
2074	165.257,46	236.082,09	0,00	128.913,48	184.162,12	0,00	46.664,65	66.663,79	3.633.820,35
2075	165.686,15	236.694,50	0,00	129.247,89	184.639,85	0,00	46.785,71	66.836,72	3.566.983,62

### APÊNDICE D – ENERGIA DE PRODUÇÃO DOS RESÍDUOS SECOS

Ano	CENÁRIO 1 - Sem Metas GWh				CENÁRIO 2 - PLANARES GWh				CENÁRIO 3 - PMGIRS GWh			
	Plástico	Papel	Vidro	Metal	Plástico	Papel	Vidro	Metal	Plástico	Papel	Vidro	Metal
2016	500,04	162,61	7,89	12,22	432,39	144,27	7,72	10,71	407,02	137,39	7,66	10,15
2017	511,88	166,46	8,07	12,51	442,63	147,69	7,90	10,97	416,66	140,65	7,84	10,39
2018	523,79	170,33	8,26	12,80	452,93	151,13	8,09	11,22	426,36	143,92	8,02	10,63
2019	535,78	174,23	8,45	13,09	463,30	154,58	8,27	11,48	436,12	147,22	8,20	10,87
2020	547,84	178,15	8,64	13,39	470,25	157,12	8,45	11,66	433,89	147,26	8,36	10,85
2021	559,95	182,09	8,83	13,69	477,10	159,63	8,63	11,84	431,17	147,18	8,51	10,82
2022	572,12	186,05	9,02	13,98	483,84	162,12	8,80	12,02	427,96	146,97	8,67	10,77
2023	584,34	190,02	9,21	14,28	490,47	164,58	8,98	12,19	424,26	146,63	8,82	10,71
2024	596,61	194,01	9,41	14,58	496,98	167,00	9,16	12,36	420,05	146,15	8,97	10,65
2025	608,91	198,01	9,60	14,88	503,37	169,40	9,34	12,53	417,38	146,10	9,13	10,61
2026	621,25	202,03	9,80	15,18	509,63	171,77	9,52	12,70	411,40	145,14	9,28	10,51
2027	633,62	206,05	9,99	15,49	515,76	174,10	9,70	12,86	404,86	144,04	9,43	10,39
2028	646,02	210,08	10,19	15,79	521,75	176,39	9,88	13,02	397,76	142,78	9,57	10,26
2029	658,44	214,12	10,38	16,09	527,61	178,65	10,06	13,18	402,34	144,70	9,75	10,39
2030	670,87	218,16	10,58	16,40	533,31	180,87	10,24	13,33	398,59	144,36	9,91	10,33
2031	683,32	222,21	10,78	16,70	538,88	183,06	10,42	13,48	394,43	143,90	10,06	10,26
2032	695,78	226,26	10,97	17,01	548,70	186,39	10,61	13,73	389,86	143,33	10,22	10,19
2033	708,23	230,31	11,17	17,31	558,53	189,73	10,80	13,97	384,86	142,65	10,37	10,10
2034	720,69	234,36	11,37	17,61	568,35	193,07	10,99	14,22	379,45	141,86	10,52	10,01
2035	733,15	238,41	11,56	17,92	578,17	196,40	11,18	14,47	373,61	140,95	10,67	9,91
2036	745,60	242,46	11,76	18,22	587,99	199,74	11,37	14,71	367,34	139,93	10,82	9,79
2037	758,03	246,51	11,95	18,53	597,80	203,07	11,56	14,96	373,47	142,26	11,00	9,96
2038	770,46	250,55	12,15	18,83	607,59	206,40	11,75	15,20	379,59	144,59	11,18	10,12
2039	782,86	254,58	12,35	19,13	617,38	209,72	11,94	15,45	385,70	146,92	11,36	10,28
2040	795,24	258,61	12,54	19,44	627,14	213,04	12,13	15,69	391,80	149,24	11,54	10,45
2041	807,60	262,63	12,74	19,74	636,89	216,35	12,31	15,93	397,89	151,56	11,72	10,61
2042	819,93	266,64	12,93	20,04	646,61	219,65	12,50	16,18	403,96	153,88	11,90	10,77
2043	832,24	270,64	13,12	20,34	656,31	222,95	12,69	16,42	410,03	156,19	12,08	10,93
2044	844,51	274,63	13,32	20,64	665,99	226,24	12,88	16,66	416,07	158,49	12,26	11,09
2045	856,74	278,61	13,51	20,94	675,64	229,51	13,06	16,90	422,10	160,79	12,44	11,25
2046	868,94	282,57	13,70	21,24	685,26	232,78	13,25	17,14	428,11	163,08	12,61	11,41
2047	881,10	286,53	13,89	21,53	694,85	236,04	13,43	17,38	434,10	165,36	12,79	11,57
2048	893,22	290,47	14,09	21,83	704,41	239,29	13,62	17,62	440,07	167,63	12,97	11,73
2049	905,29	294,40	14,28	22,13	713,93	242,52	13,80	17,86	446,02	169,90	13,14	11,89
2050	917,33	298,31	14,47	22,42	723,42	245,74	13,99	18,10	451,95	172,16	13,32	12,05

Ano	CENÁRIO 4A - PLANARES GWh				CENÁRIO 4B - PMGIRS GWh				CENÁRIO 5 - METAS ARROJADAS GWh			
	Plástico	Papel	Vidro	Metal	Plástico	Papel	Vidro	Metal	Plástico	Papel	Vidro	Metal
2016	432,39	144,27	7,72	10,71	407,02	137,39	7,66	10,15	432,39	144,27	7,72	10,71
2017	439,62	146,68	7,85	10,89	413,83	139,69	7,78	10,32	430,27	144,05	7,83	10,67
2018	446,78	149,07	7,98	11,07	420,57	141,97	7,91	10,49	427,77	143,71	7,93	10,63
2019	453,87	151,44	8,10	11,25	427,24	144,22	8,04	10,65	424,89	143,26	8,04	10,57
2020	457,48	152,85	8,22	11,34	422,11	143,27	8,13	10,56	421,63	142,70	8,14	10,50
2021	460,91	154,21	8,33	11,44	416,54	142,19	8,22	10,45	417,99	142,03	8,24	10,43
2022	464,13	155,52	8,45	11,53	410,54	140,99	8,31	10,33	413,98	141,25	8,33	10,35
2023	467,16	156,76	8,56	11,61	404,10	139,66	8,40	10,21	409,58	140,36	8,43	10,25
2024	469,99	157,94	8,66	11,69	397,24	138,22	8,48	10,07	404,82	139,36	8,52	10,15
2025	472,62	159,05	8,77	11,76	391,89	137,17	8,57	9,97	399,68	138,24	8,61	10,04
2026	475,04	160,11	8,87	11,83	383,48	135,29	8,65	9,79	394,18	137,02	8,70	9,92
2027	477,25	161,10	8,98	11,90	374,63	133,28	8,72	9,61	388,31	135,69	8,78	9,80
2028	479,26	162,03	9,08	11,96	365,36	131,15	8,79	9,42	382,08	134,25	8,86	9,66
2029	481,05	162,89	9,17	12,01	366,84	131,93	8,89	9,47	375,50	132,70	8,94	9,52
2030	482,64	163,69	9,27	12,06	360,72	130,64	8,97	9,35	368,57	131,05	9,02	9,36
2031	484,01	164,42	9,36	12,11	354,28	129,25	9,04	9,22	361,30	129,29	9,09	9,20
2032	489,11	166,15	9,46	12,24	347,52	127,77	9,11	9,08	353,69	127,43	9,16	9,03
2033	494,08	167,84	9,55	12,36	340,46	126,19	9,17	8,94	345,75	125,48	9,22	8,86
2034	498,91	169,48	9,65	12,48	333,09	124,53	9,24	8,79	337,49	123,42	9,29	8,67
2035	503,61	171,08	9,74	12,60	325,43	122,77	9,30	8,63	328,92	121,27	9,35	8,48
2036	508,17	172,63	9,83	12,71	317,48	120,93	9,35	8,46	320,04	119,02	9,41	8,28
2037	512,59	174,13	9,91	12,82	320,24	121,98	9,44	8,54	310,86	116,68	9,46	8,07
2038	516,87	175,58	9,99	12,93	322,91	123,00	9,51	8,61	301,39	114,25	9,51	7,86
2039	521,00	176,98	10,07	13,03	325,49	123,98	9,59	8,68	291,64	111,74	9,56	7,64
2040	524,98	178,34	10,15	13,13	327,98	124,93	9,66	8,74	281,62	109,14	9,61	7,41
2041	528,82	179,64	10,22	13,23	330,37	125,85	9,73	8,81	271,34	106,45	9,65	7,18
2042	532,50	180,89	10,30	13,32	332,68	126,72	9,80	8,87	260,81	103,69	9,69	6,94
2043	536,04	182,09	10,36	13,41	334,89	127,56	9,87	8,93	250,03	100,85	9,72	6,69
2044	539,42	183,24	10,43	13,50	337,00	128,37	9,93	8,99	239,02	97,94	9,76	6,44
2045	542,65	184,34	10,49	13,58	339,02	129,14	9,99	9,04	227,79	94,95	9,79	6,18
2046	545,73	185,38	10,55	13,65	340,94	129,87	10,05	9,09	216,34	91,90	9,81	5,92
2047	548,65	186,38	10,61	13,73	342,76	130,56	10,10	9,14	204,70	88,78	9,84	5,66
2048	551,41	187,31	10,66	13,80	344,49	131,22	10,15	9,19	192,86	85,60	9,86	5,38
2049	554,02	188,20	10,71	13,86	346,12	131,84	10,20	9,23	180,85	82,35	9,87	5,11
2050	556,48	189,03	10,76	13,92	347,65	132,43	10,24	9,27	168,66	79,06	9,89	4,83

### APÊNDICE E – ENERGIA ECONOMIZADA NA PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES

Ano	CENÁRIO 2 - PLANARES			CENÁRIO 3 - PMGIRS			CENÁRIO 4A - PLANARES			CENÁRIO 4B - PMGIRS			CENÁRIO 5 - METAS ARROJADAS		
	t			t			t			t			t		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
2016	84,80	8,48	28,80	29,68	2,97	10,08	84,80	8,48	28,80	29,68	2,97	10,08	29,68	2,97	10,08
2017	86,81	8,68	29,48	30,38	3,04	10,32	86,22	8,62	29,28	30,18	3,02	10,25	40,70	4,07	13,82
2018	88,83	8,88	30,17	31,09	3,11	10,56	87,62	8,76	29,76	30,67	3,07	10,42	52,06	5,21	17,68
2019	90,86	9,09	30,86	31,80	3,18	10,80	89,01	8,90	30,23	31,15	3,12	10,58	63,75	6,37	21,65
2020	104,52	10,45	35,50	39,95	3,99	13,57	101,68	10,17	34,53	38,86	3,89	13,20	75,76	7,58	25,73
2021	118,70	11,87	40,31	48,43	4,84	16,45	114,67	11,47	38,94	46,79	4,68	15,89	88,09	8,81	29,92
2022	133,41	13,34	45,31	57,24	5,72	19,44	127,97	12,80	43,46	54,91	5,49	18,65	100,74	10,07	34,21
2023	148,64	14,86	50,48	66,39	6,64	22,55	141,58	14,16	48,08	63,24	6,32	21,48	113,68	11,37	38,61
2024	164,41	16,44	55,84	75,88	7,59	25,77	155,48	15,55	52,80	71,76	7,18	24,37	126,92	12,69	43,10
2025	180,71	18,07	61,37	87,77	8,78	29,81	169,67	16,97	57,62	82,41	8,24	27,99	140,44	14,04	47,70
2026	197,54	19,75	67,09	100,09	10,01	33,99	184,13	18,41	62,54	93,29	9,33	31,68	154,24	15,42	52,38
2027	214,90	21,49	72,99	112,82	11,28	38,32	198,86	19,89	67,54	104,40	10,44	35,46	168,30	16,83	57,16
2028	232,80	23,28	79,06	125,99	12,60	42,79	213,84	21,38	72,63	115,73	11,57	39,30	182,62	18,26	62,02
2029	251,24	25,12	85,33	139,58	13,96	47,40	229,07	22,91	77,80	127,26	12,73	43,22	197,18	19,72	66,97
2030	270,20	27,02	91,77	162,53	16,25	55,20	244,53	24,45	83,05	147,08	14,71	49,95	211,97	21,20	71,99
2031	289,70	28,97	98,39	186,23	18,62	63,25	260,20	26,02	88,37	167,27	16,73	56,81	226,99	22,70	77,09
2032	294,98	29,50	100,18	210,70	21,07	71,56	262,95	26,29	89,30	187,82	18,78	63,79	242,22	24,22	82,26
2033	300,26	30,03	101,98	235,92	23,59	80,12	265,62	26,56	90,21	208,70	20,87	70,88	257,65	25,76	87,50
2034	305,54	30,55	103,77	261,89	26,19	88,95	268,22	26,82	91,09	229,90	22,99	78,08	273,26	27,33	92,81
2035	310,82	31,08	105,56	288,62	28,86	98,02	270,74	27,07	91,95	251,40	25,14	85,38	289,06	28,91	98,17
2036	316,10	31,61	107,36	316,10	31,61	107,36	273,19	27,32	92,78	273,19	27,32	92,78	305,01	30,50	103,59
2037	321,37	32,14	109,15	321,37	32,14	109,15	275,57	27,56	93,59	275,57	27,56	93,59	321,12	32,11	109,06
2038	326,64	32,66	110,93	326,64	32,66	110,93	277,87	27,79	94,37	277,87	27,79	94,37	337,36	33,74	114,58
2039	331,90	33,19	112,72	331,90	33,19	112,72	280,09	28,01	95,12	280,09	28,01	95,12	353,73	35,37	120,14
2040	337,15	33,71	114,50	337,15	33,71	114,50	282,23	28,22	95,85	282,23	28,22	95,85	370,22	37,02	125,73
2041	342,39	34,24	116,28	342,39	34,24	116,28	284,29	28,43	96,55	284,29	28,43	96,55	386,80	38,68	131,37
2042	347,62	34,76	118,06	347,62	34,76	118,06	286,27	28,63	97,22	286,27	28,63	97,22	403,48	40,35	137,03
2043	352,83	35,28	119,83	352,83	35,28	119,83	288,17	28,82	97,87	288,17	28,82	97,87	420,23	42,02	142,72
2044	358,04	35,80	121,60	358,04	35,80	121,60	289,99	29,00	98,49	289,99	29,00	98,49	437,04	43,70	148,43
2045	363,22	36,32	123,36	363,22	36,32	123,36	291,73	29,17	99,08	291,73	29,17	99,08	453,90	45,39	154,15
2046	368,39	36,84	125,12	368,39	36,84	125,12	293,38	29,34	99,64	293,38	29,34	99,64	470,79	47,08	159,89
2047	373,55	37,35	126,87	373,55	37,35	126,87	294,95	29,50	100,17	294,95	29,50	100,17	487,71	48,77	165,64
2048	378,69	37,87	128,61	378,69	37,87	128,61	296,44	29,64	100,68	296,44	29,64	100,68	504,64	50,46	171,39
2049	383,81	38,38	130,35	383,81	38,38	130,35	297,84	29,78	101,15	297,84	29,78	101,15	521,57	52,16	177,14
2050	388,91	38,89	132,08	388,91	38,89	132,08	299,16	29,92	101,60	299,16	29,92	101,60	538,49	53,85	182,88

## APÊNDICE F – ENERGIA PRODUZIDA A PARTIR DE BIOGÁS

DADOS:

Energia produzida (MWh/t de lixo/ano)

0,224

Ano	<b>CENÁRIO 2 - PLANARES</b> GWh	<b>CENÁRIO 3 - PMGIRS</b> GWh	<b>CENÁRIO 4A - PLANARES</b> GWh	<b>CENÁRIO 4B - PMGIRS</b> GWh
2016	3,58	1,25	3,58	1,25
2017	3,67	1,28	3,64	1,28
2018	3,75	1,31	3,70	1,30
2019	3,84	1,34	3,76	1,32
2020	4,42	1,69	4,30	1,64
2021	5,02	2,05	4,85	1,98
2022	5,64	2,42	5,41	2,32
2023	6,28	2,81	5,98	2,67
2024	6,95	3,21	6,57	3,03
2025	7,64	3,71	7,17	3,48
2026	8,35	4,23	7,78	3,94
2027	9,08	4,77	8,40	4,41
2028	9,84	5,32	9,04	4,89
2029	10,62	5,90	9,68	5,38
2030	11,42	6,87	10,33	6,22
2031	12,24	7,87	11,00	7,07
2032	12,47	8,91	11,11	7,94
2033	12,69	9,97	11,23	8,82
2034	12,91	11,07	11,34	9,72
2035	13,14	12,20	11,44	10,63
2036	13,36	13,36	11,55	11,55
2037	13,58	13,58	11,65	11,65
2038	13,81	13,81	11,74	11,74
2039	14,03	14,03	11,84	11,84
2040	14,25	14,25	11,93	11,93
2041	14,47	14,47	12,02	12,02
2042	14,69	14,69	12,10	12,10
2043	14,91	14,91	12,18	12,18
2044	15,13	15,13	12,26	12,26
2045	15,35	15,35	12,33	12,33
2046	15,57	15,57	12,40	12,40
2047	15,79	15,79	12,47	12,47
2048	16,00	16,00	12,53	12,53
2049	16,22	16,22	12,59	12,59
2050	16,44	16,44	12,64	12,64