



**Universidade Federal de Pernambuco  
Centro Acadêmico do Agreste  
Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

**FERNANDO HENRIQUE FERREIRA DE ALVES MELO**

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DO GERENCIAMENTO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM CONSÓRCIO MUNICIPAL  
DO ESTADO DE PERNAMBUCO.**

Caruaru

2015

FERNANDO HENRIQUE FERREIRA DE ALVES MELO

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DO GERENCIAMENTO DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM UM CONSÓRCIO MUNICIPAL  
DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para obtenção ao título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Maria Odete Holanda Mariano

Caruaru  
2015





UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DO GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS EM UM CONSÓRCIO MUNICIPAL DO ESTADO DE  
PERNAMBUCO.**

Defendida por:

Fernando Henrique Ferreira de Alves Melo

Considera o candidato: **APROVADO**

Caruaru, 15 de dezembro de 2015.

---

MARIA ODETE HOLANDA MARIANO – PPGECAM/UFPE  
Presidente da banca examinadora

---

SIMONE MACHADO SANTOS – PPGECAM/UFPE  
Examinador interno

---

ALESSANDRA LEE BARBOSA FIRMO – IFPE  
Examinador externo

Dedico aos meus pais, Ana e Fernando, com  
muita gratidão e amor.

## AGRADECIMENTOS

Deus todo poderoso, por ter me abençoado, pela inspiração, força de vontade e pela saúde, fundamentais nessa jornada.

Aos meus pais, Fernando Alves de melo e Ana Maria Ferreira de Alves Melo que sempre me ensinaram os princípios básicos de caráter, amor e respeito. E que por vezes, confiaram em minha capacidade, até mesmo quando a confiança me faltou. Meus eternos agradecimentos.

A professora Maria Odete Holanda Mariano, pela orientação, aprendizado, paciência, confiança e apoio incondicional, durante o desenvolvimento deste trabalho. Além de todo o conhecimento e experiências compartilhadas

A UFPE por meio da CAPES que disponibilizou a bolsa de estudos DS – demanda social, imprescindível para a conclusão das atividades de pesquisa.

A José Fernando Tomé Jucá, pela oportunidade, aprendizado, sobretudo em sua capacidade técnica e natural de coordenar a equipe. Além de todo o conhecimento e experiências compartilhados, agradeço pela disponibilidade de todos os recursos existentes no GRS Grupo de Resíduos Sólidos (GRS/UFPE), sem isso este trabalho não seria possível.

Aos professores da Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste pela atenção, ensinamentos e toda dedicação. E aos colaboradores, em especial ao servidor José Marcelo Lopes Vanderley pela prestatividade em todas as horas demandadas.

A todos os amigos do GRS pelas contribuições científicas momentos de descontração e motivação, em especial à Sávio Holanda, Daniela Santos, Hellis Montebelo, Derovil Santos, Edil Lins, Rodrigo Passos e ao Eng. Antônio Brito (pelo auxílio no nas coletas, caracterização, realização de análises físico-químicas e tratamento dos dados), Erika Patrícia (pela ajuda com o *software*). A Maria Rejane da Silva Barros pela ajuda com as correções.

Ao COMAGSUL – Consórcio dos Municípios do Agreste e da Mata Sul, em especial às prefeituras de Altinho, Agrestina, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos pelo apoio e acesso ao aterro sanitário.

Às catadoras de recicláveis Eliane da Silva, Josileide Ferreira da Silva, Airta de Oliveira e Maria Josenilda Torquato, pelo incondicional apoio na realização das coletas e ajuda na caracterização do material.

À todas as pessoas, que direta e indiretamente contribuíram fundamentalmente para a realização desta pesquisa. Muito obrigado!

“A força de vontade deve ser mais forte do que a habilidade”

Muhammad Ali

## RESUMO

O aumento na geração de resíduos resultantes do modo de vida fundamentado no consumo em massa e a aceleração do crescimento populacional têm causado diversos impactos negativos, degradando os bens e serviços ambientais. No Brasil, os problemas originados pela má gestão municipal dos resíduos sólidos urbanos qualificam os RSU como um dos mais difíceis e complexos problemas enfrentados pela sociedade moderna. Aliada a isso, a escassez de recursos de infraestrutura e de recursos de ordem técnico-científica, tornam os resíduos sólidos urbanos um desafio de alta magnitude, sobretudo para os municípios de pequeno porte. Buscando alternativas para a promoção correta da gestão dos resíduos, que caminhem sinergicamente com o ordenamento jurídico, prevendo o tratamento e destinação por parte do gerador em locais ambientalmente adequados. As tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos, fundamentadas em modelos de gestão, que adotem tecnologias contemporâneas, difundidas em países desenvolvidos são imprescindíveis no enfrentamento do problema. Ferramentas de apoio à decisão são fundamentais para auxiliar a escolha de métodos alternativos de tratamento e disposição final ambientalmente corretos, socialmente justos e economicamente viáveis. Essa realidade motivou a pesquisa que visa a utilização e estudo de uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida como resultado do projeto “Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão” para propor as melhores rotas tecnológicas de tratamento e disposição final nos municípios de Altinho, Agrestina, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos, que fazem parte do COMAGSUL - Consórcio dos Municípios do Agreste e Mata Sul. Nesse intuito, utilizou-se a ferramenta IST Versão 1.0 de 2014 para possibilitar a hierarquização de rotas tecnológicas de tratamento e destino final dos resíduos, além da análise comparativa com a gestão adotada no Brasil e para o estado de Pernambuco. A utilização da ferramenta produziu como resultado final a indicação de três rotas tecnológicas com elevado índice de sustentabilidade ambiental IST. Esses resultados apontam a adequação da ferramenta para proposição de rotas tecnológicas de tratamento e disposição final em consonância com a Política Nacional de Resíduos, podendo sua utilização ser altamente viável quanto a tomada de decisão em consórcios públicos.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos urbanos, ferramenta de apoio à decisão, gerenciamento de resíduos, consórcio público.



## ABSTRACT

The increase in the generation of waste resulting from the reasoned way of life in mass consumption and the acceleration of population growth have caused several negative impacts, degrading environmental goods and services. In Brazil, the problems caused by poor municipal management of solid urban waste qualifies the MSW as one of the most difficult and complex problems faced by modern society. Allied to this, the scarcity of infrastructure resources and resources of technical-scientific, order make solid urban waste a challenge of high magnitude, especially for small towns. Seeking alternatives to the correct promotion of waste management that they may walk synergistically with the legal system, providing for the treatment and disposal by the generator in environmentally suitable locations. The technologies of treatment and final disposal of waste, founded in management models, that adopt contemporary technology, disseminated in developed countries are essential in tackling the problem. Decision support tools are fundamental to assist the choice of alternative methods of treatment and final disposal environmentally correct, socially fair and economically viable. This reality motivated research that seeks to use a decision support tool developed and study as a result of the project "Analysis of various technologies for treatment and final disposal of solid waste in Brazil, Europe, United States and Japan" to propose the best technological routes of treatment and final disposal in the municipalities of Altinho, Agrestina, Belem de Maria, Bonito and Lagoa dos Gatos, which are part of the COMAGSUL - Consortium of Municipalities of the Agreste and South Wood. For this reason, it used the IST Tool Version 1.0 2014 to enable the hierarchy of technological routes of treatment and final destination of the waste, in addition to the comparative analysis with the management adopted in Brazil and for the state of Pernambuco. The use of the tool has produced as a final result the indication of three technological routes with a high index of environmental sustainability IST. These results indicate the suitability of the tool to the proposition of technological routes of treatment and final disposal in line with the National Policy of waste, its use may be highly viable as decision making in public consortia.

**Keywords:** urban solid waste, decision support tool, waste management, public consortia.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: fluxograma da divisão dos resíduos gerados em uma cidade. ....	10
Figura 2: produção e consumo aparente de transformados plásticos no Brasil.....	19
Figura 3: destinação final dos RSU Coletados no Brasil. ....	21
Figura 4: esteira de separação mecanizada.....	24
Figura 5: unidade de triagem de RSU .....	25
Figura 6: esquema simplificado do processo de compostagem.....	26
Figura 7: esquema de uma unidade de compostagem de resíduos orgânicos.....	27
Figura 8: plantas de digestão anaeróbia no Reino Unido (A) e em Mafra (Portugal) (B).....	28
Figura 9: condições necessárias para incineração completa de resíduos. ....	30
Figura 10: incinerador de RSU.....	31
Figura 11: interações físicas químicas e biológicas em um aterro sanitário. ....	33
Figura 12: etapas principais de estudo de suporte à decisão. ....	37
Figura 13: representação do cenário atual para comunidades espanholas. ....	38
Figura 14: segundo cenário "recuperação de putrescíveis". ....	38
Figura 15: terceiro cenário "recuperação de todos os materiais" .....	39
Figura 16: localização dos municípios consorciados que depositam resíduos no aterro do COMAGSUL. .....	40
Figura 17: municípios da RD Agreste Central, destacados quatro municípios consorciados. ....	41
Figura 18: municípios da Região de Desenvolvimento Mata Sul - RD 10. ....	42
Figura 19: aterro sanitário de Altinho - Sítio Juá - Zona Rural de Altinho; 8°28'27.69"S; 36°00'26.67"O. (I) estação de tratamento de efluentes; (II) células de deposição dos RSU; (III) setor administrativo e balança.....	43
Figura 20: aferição da massa dos resíduos na balança do aterro.....	49
Figura 21: fluxograma da metodologia de caracterização dos resíduos por quarteamento. ....	49
Figura 22: homogeneização dos resíduos (A) quarteamento dos resíduos (B) segunda homogeneização dos resíduos (C) novo quarteamento dos resíduos e seleção de duas amostras (D). ....	50
Figura 23: esquema do quarteamento dos resíduos sólidos urbanos.....	50
Figura 24: aferição da massa das amostras (A) orientação quanto a segregação dos resíduos (B) segregação em baldes de 20 litros (C) segregação dos resíduos por categorias (D). ....	51
Figura 25: caracterização das categorias e subcategorias dos resíduos.....	53
Figura 26: aferição da massa dos resíduos (A). Resíduos dispostos na estufa a 65°C (B).....	54
Figura 27: moinho de facas utilizado para triturar os resíduos (A); resíduo triturado (B); aferição da massa em balança analítica (C). ....	55

Figura 28: mufla utilizada para ensaio de sólidos voláteis (A); aferição da massa pós calcinação (C); dessecador a vácuo (B).....	56
Figura 29: pHmetro utilizado (A) ensaio de condutividade elétrica (B). .....	57
Figura 30: parte 1 do algoritmo preliminar da ferramenta de apoio a decisão.....	61
Figura 31: parte 2 do algoritmo preliminar da ferramenta de apoio à decisão.....	62
Figura 32: quantidade de RSU dispostos no aterro sanitário do COMAGSUL entre 2012, 2013, 2014 e janeiro/ fevereiro de 2015. ....	63
Figura 33: indicadores socioeconômicos IDH e PIB per capita e geração per capita de resíduos sólidos para os municípios do COMAGSUL. ....	65
Figura 34: composição gravimétrica dos resíduos do aterro sanitário do COMAGSUL. ....	68
Figura 35: subcategorias de resíduos de plásticos dos municípios que depositam no aterro sanitário do COMAGSUL. ....	70
Figura 36: percentual das subcategorias de plásticos.....	70
Figura 37: precipitação pluviométrica dos municípios entre 2014 e junho de 2015.....	71
Figura 38: precipitação entre os meses de novembro de 2014 e fevereiro de 2015 (A). Precipitação média dos municípios em (mm) (B).....	72
Figura 39: teor de umidade dos resíduos sólidos urbanos e seus componentes recém coletados ao Aterro sanitário do COMAGSUL.....	73
Figura 40: teor de sólidos voláteis nos materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos. ....	74
Figura 41: modulo de inicialização da ferramenta. ....	77
Figura 42: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características dos resíduos de Agrestina (A) e Altinho (B), distância do centro de geração à planta de tratamento (km) e quantidade de resíduos processados por dia (t/dia).....	78
Figura 43: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características dos resíduos de Belém de Maria (C) e Bonito (D), distância do centro de geração à planta de tratamento (km) e quantidade de resíduos processados por dia (t/dia). ....	79
Figura 44: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características dos resíduos de Lagoa dos Gatos (E). ....	80
Figura 45: sub-índices calculados. ....	82
Figura 46: sub-índice das tecnologias para o consórcio COMAGSUL. ....	83
Figura 47: classificação do IST por tecnologia.....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: destino final dos resíduos sólidos, por unidade de destino no Brasil -1989 à 2008. ....	5
Tabela 2: diâmetro de partículas de material encontrado em RSU .....	14
Tabela 3: composição de resíduos sólidos em alguns países e cidades do mundo.....	19
Tabela 4: custos da reciclagem de RSU. ....	23
Tabela 5: custos com a tecnologia compostagem. ....	27
Tabela 6: custos da tecnologia Digestão anaeróbia de RSU. ....	29
Tabela 7: custos da tecnologia aterro sanitário sem geração de energia (A). Custos da tecnologia aterro sanitário com geração de energia (B).....	34
Tabela 8: indicadores socioeconômicos de Altinho. ....	44
Tabela 9: indicadores socioeconômicos de Agrestina.....	44
Tabela 10: indicadores socioeconômicos de Belém de Maria. ....	45
Tabela 11: indicadores socioeconômicos de Bonito. ....	46
Tabela 12: indicadores socioeconômicos de Lagoa dos Gatos. ....	46
Tabela 13: indicadores sociais, econômicos e ambientais dos municípios que depositam resíduos sólidos no aterro do COMAGSUL. ....	47
Tabela 14: dias de coleta e municípios avaliados na caracterização dos RSU do COMAGSUL. ....	48
Tabela 15: faixas de Classificação do IST. ....	59
Tabela 16: quantidade de RSU dispostas no aterro do COMAGSUL em 2014 e geração per capita... 64	
Tabela 17: comparação entre a geração per capita de RSU encontrada <i>in loco</i> , e a quantidade informada pelo (PERS, 2012) e (GRS, 2001).....	66
Tabela 18: comparação das percentagens de resíduos orgânicos, descritos em GRS 2001, SEMAS 2012 e obtidos .....	67
Tabela 19: composição gravimétrica dos RSU dos municípios do COMAGSUL.....	69
Tabela 20: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características gerais dos resíduos dos municípios do COMACGUL (distância do centro de geração à planta de tratamento (km), quantidade de resíduos processados por dia (t/dia) e composição gravimétrica (%)).....	78
Tabela 21: resultado da ferramenta para a necessidade de uma estação de transbordo. ....	82
Tabela 22: sub-índices calculados.....	83
Tabela 23: Faixa de classificação dos sub-índices por tecnologia baseada na faixa de classificação do IST.....	83
Tabela 24: verificação da adequação da tecnologia em função das características dos resíduos.....	85
Tabela 25: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia digestão anaeróbia com aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST.....	85
Tabela 26: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia aterro sanitário sem aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST.....	85

Tabela 27: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Aterro sanitário com aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST.....	86
Tabela 28: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Incineração com aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST.....	86
Tabela 29: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Central de Triagem baseada na faixa de classificação do IST.....	87
Tabela 30: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Central de Triagem baseada na faixa de classificação do IST.....	87
Tabela 31: Sub-índice e índice de sustentabilidade tecnológica (IST) das tecnologias adequadas.....	88
Tabela 32: verificação da adequação da tecnologia em função das características dos resíduos.....	90
Tabela 33: Rotas sugeridas pela ferramenta com o benchmark preliminar.....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria de Plástico.
AM	Ambiental
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
BDE	Base de Dados do Estado
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento.
CEE	Comunidade Econômica Europeia
C:N	Relação carbono/nitrogênio
COMAGSUL	Consórcio dos Municípios do Agreste e Mata Sul
D.A	Digestores anaeróbios
EC	Econômico.
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FADE	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE
GRS	Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE.
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
IST	Índice de sustentabilidade tecnológica.
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Técnica Brasileira
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PEV	Postos de Entrega Voluntária
PET	Polietileno Tereftalato
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PL	Processo licitatório
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RD	Região de Desenvolvimento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAE	Secretaria de Assuntos Estratégicos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SO	Social
TMB	Tratamento mecânico-biológico
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i>
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNEP	<i>United Nations Environment Program.</i>
WTE	Waste To Energy
WEF	<i>Water Environment Federation</i>

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>4</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) .....	4
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	7
2.2.1 Quanto à periculosidade .....	7
2.2.2 Quanto à origem .....	8
2.3 ORIGEM E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	11
2.3.1 Características físicas dos RSU .....	12
2.3.2 Características químicas dos RSU .....	14
2.3.3 Características biológicas dos RSU .....	14
2.4 TEOR DE UMIDADE DE RSU .....	15
2.5 GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	16
2.6 GERAÇÃO PERCAPITA E GERAÇÃO ANUAL DE RESÍDUOS.....	18
2.7 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	20
2.7.1 Reciclagem de RSU.....	23
2.7.2 Triagem de RSU .....	24
2.7.3 Compostagem de resíduos sólidos urbanos .....	26
2.7.4 Digestão anaeróbia de RSU.....	28
2.7.5 Incineração de RSU .....	29
2.7.6 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos.....	32
2.8 PROCESSO DE APOIO A DECISÃO PARA A GESTÃO DE RSU .....	34
2.8.1 Construção de cenários.....	36
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>40</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
3.1 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA.....	40
3.2 ANÁLISES DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MUNICÍPIOS .....	40
3.2.1 Indicadores sócio ambientais de Altinho.....	43
3.2.2 Indicadores sócio ambientais de Agrestina .....	44
3.2.3 Indicadores sócio ambientais de Belém de Maria .....	45
3.2.4 Indicadores sócio ambientais de Bonito .....	45
3.2.5 Indicadores sócio ambientais de Lagoa dos Gatos .....	46
3.3 AMOSTRAGEM E COLETA DOS RESÍDUOS.....	48
3.4 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	51
3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	53
3.5.1 Teor de umidade .....	53
3.5.2 Teor de sólidos voláteis .....	54
3.5.3 pH e condutividade elétrica .....	57
3.6 DEFINIÇÕES DAS ROTAS TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL .....	57

3.7 FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE TECNOLÓGICA (IST).....	57
3.7.1 Descrição da ferramenta e algoritmo.....	58
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>63</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
4.1 GERAÇÃO PERCAPITA E GERAÇÃO ANUAL DE RESÍDUOS.....	63
4.2 COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS .....	67
4.3 PRECIPITAÇÃO .....	71
4.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS RESÍDUOS .....	72
4.4.1 Teor de umidade .....	72
4.4.2 Teor de sólidos voláteis .....	74
4.4.3 pH e condutividade elétrica .....	75
4.5 FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO .....	76
4.5.1 Modo do usuário para a ferramenta de apoio à decisão.....	76
4.5.2 Cenários obtidos com a utilização da ferramenta de apoio à decisão.....	81
4.5.2.1 Estação de Transbordo .....	81
4.5.2.2 Análises das Tecnologias .....	82
4.5.2.2.1 Compostagem.....	84
4.5.2.2.2 Digestão anaeróbia com aproveitamento energético .....	85
4.5.2.2.3 Aterro sanitário sem aproveitamento energético .....	85
4.5.2.2.4 Aterro sanitário com aproveitamento energético.....	85
4.5.2.2.5 Incineração com aproveitamento energético .....	86
4.5.2.2.6 Central de Triagem .....	86
4.5.2.2.7 Estação de transbordo.....	87
4.5.2.3 Índice de Sustentabilidade (IST) .....	87
4.5.2.4 Adequação das tecnologias para utilização nas rotas tecnológicas .....	90
4.5.2.5 Rotas tecnológicas .....	91
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>93</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO I – DADOS DE ENTRADA.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO 2 - TABELA INDICADORES NORMALIZADOS.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 3- SUB-ÍNDICES CALCULADOS. ....</b>	<b>107</b>



## CAPÍTULO 1

### 1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A geração de resíduos sólidos está diretamente correlacionada ao modo de vida, crescimento populacional e padrões de consumo. Sua capacidade de transformação em larga escala, devido ao alto poder de contaminação, faz desse material um dos potenciais problemas da sociedade moderna (PHILIPPI JR., 2004). Fatores como: o aumento da expectativa de vida da população, a intensa urbanização, surgimento de novas tecnologias, viabilizando a produção exponencial de bens de consumo, sobretudo os não duráveis, propiciam o aporte na produção de imensas quantidades de resíduos, desafiando o poder público em sua capacidade de resolução do problema (NETO, 2013).

Segundo FADE/BNDES (2014), dentre outros fatores, a geração de resíduos está atrelada à renda da população e ao seu crescimento populacional. No Brasil entre o período de 2001 à 2010, a taxa média de crescimento foi de 1,17% ao ano, alcançando 12,3% na década. O PIB teve um crescimento de 3,6% ao ano e o PIB per capita médio foi de 2,4% para o período (IBGE, 2010). A capacidade financeira do brasileiro vem aumentando, entre 2003 e 2013, 44,7 milhões de brasileiros ingressaram na classe média, segundo os mais recentes dados da secretaria de assuntos estratégicos da presidência da república. Mais de 12,5 milhões de pessoas ascenderam nesse período à classe média tradicional, que cresceu proporcionalmente. Essa nova parcela da população saiu de classes economicamente inferiores, tornando-se em uma nova classe C ou originando, o que considera a Secretaria de Assuntos Estratégicos do Governo Federal, uma classe econômica nova AB. Facilidades ao crédito, inserção da parcela mais pobre em programas sociais de auxílio financeiro, viabilizaram o acesso a bens de consumo e a modificação do ordenamento econômico e social (SAE, 2014), promovendo diretamente um aumento na geração de resíduos (GOULART *et. al*, 2013).

O tema dos resíduos sólidos, especialmente os urbanos, vem sendo discutido pela sociedade nacional e internacional há décadas. Por se tratar de um dos seus maiores desafios, devido ao equacionamento entre a geração excessiva e a disposição final ambientalmente segura. Estima-se que sejam gerados no planeta cerca de 1,3 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por ano, volume que pode dobrar até 2025 se os padrões de consumo não forem drasticamente modificados. Esse é um grande desafio para os gestores públicos contemporâneos, preocupados com as consequências à saúde pública e ambiental nas cidades (GARDNER, 2012). Em escala global, os resíduos sólidos apresentam destaque e entraram nas agendas de discussão graças aos problemas relacionados à sua disposição inadequada, alta capacidade na degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água, proliferação de vetores, além de contribuir direta ou indiretamente com o aquecimento global e as mudanças do clima (BESEN, 2010).

Considerando o alto impacto causado pelos resíduos, torna-se imprescindível a discussão ampla na sociedade sobre seu tratamento e destinação final, abordando os aspectos tecnológicos, econômicos, sociais, políticos e ambientais, levando em consideração as diversas alternativas tecnológicas existentes e considerando sobretudo as regionalidades de cada local, a valorização econômica dos materiais e sua valorização energética quando viável (FADE/BNDES, 2014) (SANTIAGO, 2012) (LINS, 2011).

No Brasil, a preocupação do poder público com os resíduos sólidos só se deu efetivamente em meados dos anos 1990. Anteriormente, os municípios limitavam-se em promover a varrição, a coleta, o transporte e a disposição final dos resíduos. Aspectos referentes à remuneração dos serviços, aplicação de indicadores de eficiência e a integração dos serviços eram temas secundários. A modificação efetiva dessa conjuntura surge com a Lei nº 11.445/2007, estabelecendo a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Além de traçar diretrizes, a lei incluiu os resíduos sólidos nos planos municipais de saneamento, incorporando a legislação: a drenagem urbana de águas pluviais, abastecimento de água potável e o esgotamento sanitário. Contudo, o marco regulatório nacional de maior importância sobre os resíduos foi disposto na Lei nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). Depois de tramitar por 20 anos no congresso nacional, a lei foi aprovada em 02 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto 7.404/2010.

Apesar do ordenamento jurídico propor desafios como a responsabilidade compartilhada, o ciclo de vida dos produtos e a logística reversa, a perspectiva inovadora da política, instituindo metas de redução e disposição final ambientalmente adequadas, baseadas sob o arcabouço da sustentabilidade, observando os aspectos sociais, ambientais e econômicos, traz desequilíbrios em larga escala ou localizados, advindos da disposição inadequada, atrelados a gestão ineficaz, sobretudo nos municípios de pequeno porte, pondo em cheque o futuro da política (JARDIM, 2012). Isso fica claro quando observa-se que, no Brasil, foram produzidos, em 2014 cerca de 78,6 milhões de toneladas, representando um aumento de 2,9% em relação ao ano anterior, índice superior à taxa de crescimento populacional para o período, que foi de 0,9%, com uma geração per capita de 387,63 kg/hab/ano. Já a taxa de cobertura dos serviços de coleta contemplou apenas 90,6%. Levando à constatação de que pouco mais de 7 milhões de toneladas deixaram de ser coletadas no país neste ano e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio. (ABRELPE, 2014).

No Brasil, 70% dos municípios possuem contingentes populacionais inferiores a 20.000 habitantes. Nesses locais a ausência de legislações atualizadas e marcos de referência institucional e política, bem como instrumentos de financiamento, compõe o retrato do gerenciamento dos resíduos. Destaca-se a inclusão informal de parcela considerável da população, marginalizada do processo econômico e produtivo, realizando o processo de catação dos resíduos sólidos, não sendo rara a presença de crianças e adultos em lixões, sem qualquer respaldo do poder público constituído (JARDIM, 2012).

Os problemas dos municípios de pequeno porte são estruturais. Arrecadação insuficiente, restrições orçamentárias capazes de viabilizar a coleta, tratamento e a disposição final, e a estrutura administrativa reduzida, por vezes incapazes tecnicamente, compõem uma situação comum e grave na

promoção do gerenciamento apropriado dos resíduos (FIALHO, 2011). O mecanismo utilizado mundialmente para mitigar os impactos causados pelos resíduos é o gerenciamento integrado. Essa estrutura operacional de gestão adota diversas técnicas para o manejo dos distintos elementos no fluxo de materiais. Os elementos fundamentais são avaliados e utilizados, e todas as suas interfaces e conexões são consideradas para se conseguir a solução mais eficaz e econômica (TCHOBANOGLIOUS, 2002).

Contudo, ainda existem pontos a serem esclarecidos sobre o melhor modo de gerenciamento municipal. Sistemas hierarquizados e predefinidos, como regra adequada para todas as situações, baseados na redução na origem; reaproveitamento e reciclagem; tratamento e disposição final, por exemplo, não são necessariamente suficientes ou adequados por si só, já que existe a possibilidade de não contemplarem todo o fluxo em uma determinada cidade ou região. A utilização somente da hierarquização nesses moldes, não permite o estabelecimento de um sistema otimizado capaz de ser replicado, pois não está claro ainda, como um sistema municipal de gerenciamento de resíduos sólidos pode ser desenvolvido de modo que seja integrado e sustentável. Nesse contexto, observam-se as ferramentas adequadas e eficazes para tomada de decisão, na adoção de soluções de gerenciamento junto aos decisores municipais, uma vez que o despreparo técnico e gerencial dos administradores e a falta de metodologia que possibilite o auxílio à tomada de decisão são regras. (REICHERT, 2013).

Os cinco municípios depositavam seus resíduos de forma irregular, em Altinho, onde posteriormente seria instalado o aterro sanitário que atende o consórcio público. Os municípios coletam seus resíduos de forma indiferenciada destinando ao aterro, que tem seus recursos financeiros e procedimentos administrativos geridos mediante intervenção judicial instaurada pelo ministério público de Altinho em 2010.

Nesse cenário, propõe-se estudar o modelo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e a utilização de uma ferramenta de apoio à decisão aplicada para os municípios de Agrestina, Altinho, Bonito, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos.

Para tanto, os seguintes objetivos específicos serão abordados:

1. Caracterizar os resíduos sólidos de Agrestina, Altinho, Bonito, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos
2. Identificar as melhores rotas tecnológicas para os resíduos municipais de Agrestina, Altinho, Bonito, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos;
3. Avaliar a sensibilidade da ferramenta no processo de tomada de decisão através da composição gravimétrica dos resíduos;
4. Comparar as rotas tecnológicas aplicadas aos municípios consorciados considerando também as exigências do Plano Estadual de Resíduos Sólidos e do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

## CAPÍTULO 2

### 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU)

A degradação dos bens e serviços ambientais estão inter-relacionados com a própria existência humana, não sendo exclusivos da vida contemporânea. Contudo, nos últimos anos, os índices de degradação ambiental vêm crescendo vertiginosamente, muitas vezes, ultrapassando a capacidade de suporte do planeta, gerando inúmeros desequilíbrios, dificultando a implantação de medidas preventivas em diferentes setores da sociedade. A sociedade em nível global, nacional e local, independente do poder aquisitivo, é afetada pela degradação ambiental, sobretudo as populações mais carentes, que sofrem inúmeros impactos à saúde e bem estar (VEIGA, 2014).

O atendimento à demanda da sociedade moderna, em sua expectativa relativa ao consumo, é responsável por diversas alterações no meio ambiente. O resultado desse processo observa-se através de mudanças climáticas, da poluição atmosférica e do aumento da concentração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. A acumulação de bens imposta pelo próprio modo de produção, exige a aquisição cada vez maior de produtos de consumo, com intervalo entre a troca por novos bens, cada vez menor. Esse mecanismo econômico, potencialmente agressivo ao meio natural, garante a auto reprodução e continuidade dos sistemas econômicos vigentes, encurtando o tempo de vida dos produtos, possibilitando e facilitando sua compra e acesso (QUEIROZ, 2010).

A progressiva degradação do meio natural, oriunda do uso excessivo dos bens e serviços ambientais, afeta significativamente, a qualidade de vida. Colocando substancialmente as presentes e futuras gerações em risco exigindo, por parte do poder público, a tutela dos recursos naturais (AMADO, 2012). O uso e ocupação do solo de forma desordenada e alterações das condições naturais, a nível global com influência direta ou indireta do homem. São capazes de alterar as condições originais do meio ambiente gerando, dentre outros subprodutos, os resíduos sólidos, atualmente objeto de muitos estudos, merecendo destaque e compreensão sobre as alterações que provocam no ambiente, principalmente o urbano (PHILIPPI JR, 2014).

Os resíduos sólidos trazem problemas à sociedade desde o Império Romano, a situação era desfavorável ao meio ambiente já naquela época, devido à precária separação, acondicionamento, armazenamento e deposição de resíduos orgânicos, das inúmeras feiras existentes, as margens do rio Tibre e do mercado de peixes no entorno do fórum romano (MILARÉ, 2014).

A situação sanitária, melhor detalhada por Lewis Mumford ilustrando as cidades do começo da era industrial, em sua obra: “A Cidade na História” onde em meados do século XIX, já se observava montes de lixo acumulados nas vielas dos centros comerciais e urbanos Milaré (2014, *apud* MUNFORD, 1965).

A questão da gestão dos resíduos sólidos apresenta-se atualmente cada vez mais complexa, pois reflete o atual estágio da civilização: descontrolado aumento populacional, concentrações urbanas cada vez mais numerosas, variedades de atividades comerciais e industriais, demanda por insumos e principalmente o modo de consumo incompatível com a recuperação natural e reposição dos bens e serviços ambientais (MILARÉ, 2014).

No Brasil entre as décadas de 1940 e 1970, os resíduos sólidos passaram a incorporar as discussões das pastas governamentais. Esse período foi marcado por altas taxas de crescimento populacional e massivas migrações para os centros urbanos, sobretudo nas capitais estaduais e regiões metropolitanas, à época, desprovidas de infraestrutura e adequado serviço público voltado aos resíduos (NETO, 2013). A temática seguiu em discussão sendo debatida na Conferência das Nações Unidas no Rio de Janeiro em 1992, por contribuir diretamente com o aquecimento global e as mudanças do clima (JACOBI, 2011).

Contudo, um dos maiores danos causados pelos resíduos sólidos se deve à sua disposição de forma inadequada. Dados da Pesquisa Nacional Saneamento Básico – PNSB – apontavam um crescimento entre os anos de 1989 e 2008 de 1,1%, para 27,7% dos municípios que destinam seus resíduos em aterros sanitários. Entretanto, o problema perdura, nos municípios de menor porte, apenas 58,3% dos resíduos têm tratamento adequado em aterros sanitário, 18% têm algum programa de coleta seletiva e o índice de compostagem é na ordem de 1% do total. A geração per capita, avaliado no PNSB àquela época, apresentava uma perspectiva importante à medida que sofreu um aporte considerável de produção. Atualmente, verifica-se a produção de 0,9 kg/hab.d, chegando a 1,5 kg/hab.d em algumas capitais brasileiras. Há alguns anos, esta geração per capita era de apenas 0,5 kg/hab.d na média nacional (REICHERT, 2013). Apesar de ainda serem destinados em grande parte de forma inadequada, entre aos anos de 1989 e 2008 houve uma melhoria significativa, em relação a destinação (Tabela 1).

Tabela 1: destino final dos resíduos sólidos, por unidade de destino no Brasil -1989 à 2008.

Ano	Destinação final dos resíduos sólidos, por unidade de destino dos resíduos (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: IBGE (2010); Barros (2012).

Os resíduos sólidos são definidos no Brasil de acordo com a ABNT 10004 de 2004 e na Lei nº 12305 de 2010.

A norma ABNT NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação: define os resíduos sólidos como sendo:

*“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).*

Já a Lei nº 12.305/2010, traz em seu Art. 3º inciso XVI

*“Resíduos sólidos: 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.” (BRASIL, 2010).*

A referida legislação define o termo “rejeito” como aquele resíduo sólido que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresenta outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

Várias definições no decorrer dos tempos têm sido adotadas para os “resíduos sólidos” sobretudo os urbanos. Os resíduos sólidos podem ser definidos como materiais para os quais não há uso econômico corrente ou em um futuro próximo e para os quais tratamento e/ou destino final são requeridos (MCDOUGALL *et al.*, 2001).

No Brasil esta questão é discutida sob muitas perspectivas, permeando diversas áreas do conhecimento: saneamento básico, meio ambiente, inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem dos materiais e, mais recentemente, ainda de forma insipiente, o aproveitamento energético dos gases provenientes dos aterros. A busca de soluções para a destinação final dos resíduos tem se constituído um grande desafio que minimize a poluição dos solos, do ar e dos recursos hídricos. (ALCÂNTARA, 2007).

Os serviços de manejo dos resíduos sólidos compreendem a coleta, a limpeza pública bem como a destinação final desses materiais, e exercem um forte impacto no orçamento das administrações municipais, podendo atingir de 5 a 15 % dos gastos da municipalidade. Essa fatia do orçamento é mais comprometida quanto menor for o município (CEPIS, 2005).

Quanto à disposição final, foram destinados inadequadamente, em 2014, cerca de 7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, seguindo conseqüentemente, para lixões ou aterros controlados,

que do ponto de vista ambiental pouco se diferenciam dos lixões, pois não possuem o conjunto de sistemas necessários para a proteção do meio ambiente e da saúde pública (ABRELPE, 2014). Segundo Junior (2003), nos municípios com população inferior a 20.000 habitantes, 73,1% do total, em quase sua totalidade destinavam os resíduos de forma inapropriada.

É possível constatar essa incapacidade, dada a ineficiência administrativa, falta de recursos humanos especializados, critérios técnicos, econômicos e sociais. Originando uma série de problemas ambientais e de saúde pública já precária. Além disso a grande quantidade de resíduos gerados no Brasil não é compatível com as políticas públicas e não acompanha o desenvolvimento tecnológico devido à escassez de investimentos para o setor (JUNIOR, 2003), tornando, em linhas gerais, os lixões as formas usuais de destinação e deposição de resíduos sólidos (MILARÉ, 2014).

## 2.2 Classificação dos resíduos sólidos urbanos

Os resíduos podem ser classificados de acordo com a origem, as características físicas, a composição química, a patogenicidade, a toxidez e a periculosidade (QUEIROZ, 2010). São variadas as formas de classificação dos resíduos sólidos. Contudo, a norma 10004/2004 da ABNT classifica os resíduos em perigosos e não perigosos.

### 2.2.1 Quanto à periculosidade

A periculosidade de um resíduo pode ser entendida como sua característica em decorrência de das propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, capazes de apresentar risco à saúde pública. A toxicidade é entendida, pela ABNT NBR 1004/2004, como a propriedade potencial que o agente tóxico tem de provocar, em menor ou maior grau, um efeito adverso em função da interação com o organismo. As propriedades físicas traduzem o risco de provocar mortalidade, incidência de doenças ou acentuação dos seus índices Barros (2012).

Para efeitos de classificação a ABNT NBR 10004/2004 classifica os resíduos da seguinte forma: mesma norma classifica os resíduos conforme o grau de periculosidade, e subdivide-os da seguinte forma:

- Resíduos Classe I - Resíduos Perigosos:

São aqueles que apresentam características: de inflamabilidade, corrosividade, patogenicidade, toxicidade ou reatividade. E que suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas possam acarretar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, Para que um resíduo seja apontado como classe I, ele deve estar contido nos anexos A ou B da NBR 10004 (ABNT/NBR, 2004).

- Resíduos Classe II – não perigosos, Não inertes:

Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou resíduos classe II B - Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- Os Resíduos Classe II B– não perigosos, Inertes:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007 (1990) e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizadas, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, da NBR 10004 (ABNT, 2004).

### 2.2.2 Quanto à origem

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 inadequado dos resíduos sólidos. O artigo 13º promoveu a classificação dos resíduos sólidos de acordo com sua origem ou sua periculosidade (AMADO, 2012).

#### 2.2.2.1 Resíduos domiciliares

São produzidos em menor escala que os industriais, esse material é originário das atividades domésticas em residências urbanas. E tem uma composição extremamente diversificada. Contendo em sua composição: plásticos em geral (embalagens, recipientes, etc.), sobra de alimentação e materiais deteriorados, vidro, papel, materiais de origem sanitária (papel higiênico, fraldas etc.). Esses resíduos são de competência municipal, que tem a responsabilidade de coletar uma quantidade inferior a 50 kg/dia (PHILIPPI JR, 2014).

#### 2.2.2.2 Resíduos de limpeza urbana

São os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana. Compõem esses resíduos: folhas, solo da varrição, galhos de árvores, dentre outros. Podem ser encontrados ainda na coleta desses resíduos, materiais inapropriados à classificação desse material como: pneus, entulho, etc.

#### 2.2.2.3 Resíduos sólidos urbanos

Constituem a junção dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana.

#### 2.2.2.4 Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços

Compõem esses resíduos aqueles resultantes das atividades comerciais, dentre outros: restaurantes, e lanchonetes, etc. Esses resíduos possuem uma grande quantidade de material de escritório, papel, papelão, plástico, embalagens em geral, etc. Não estão incluídos nessa categoria os resíduos oriundos: da limpeza urbana, serviço de saneamento básico, de serviços de saúde, da construção civil e serviços de transporte.



#### 2.2.2.5 Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico

Estão incluídos como geradores dessa categoria as ETE – estação de tratamento de esgoto e ETA – estação de tratamento de água. Que produzem lodo, sendo necessário sua desidratação e tratamento. Segundo Barros (2012) existem dois processos de tratamento na ETE, um aeróbio (com presença de oxigênio) e um processo anaeróbio (sem a presença de oxigênio). No primeiro, a produção de lodo é maior, pois existe mais energia nas reações bioquímicas, conseqüentemente maior produção de biomassa. Já nos processos anaeróbios, como os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*).

#### 2.2.2.6 Resíduos industriais

São produzidos no processo produtivo de instalações industriais. Esses resíduos não são função da atividade fim das indústrias, esse material é gerado como subproduto nas atividades de transformação de cada indústria, sendo primordial a classificação conforme a ABNT NBR 10004/2004 para o devido acondicionamento e destino final. Segundo Philippi Jr (2014) os resíduos industriais correspondem a cerca de 65 a 75% do total de resíduos gerados nas regiões mais industrializadas.

#### 2.2.2.7 Resíduos de serviços de saúde

Esses materiais são gerados nos serviços em atenção à saúde e similares, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS. Podem ser enquadrados como resíduos de serviço de saúde os resíduos relacionados com o atendimento à saúde humana ou animal, inclusive serviços de assistência domiciliar, e de trabalho de campo; laboratórios analíticos de produtos para a saúde, necrotérios, funerárias, drogarias, dentre outros. (CONAMA, 2005).

Segundo Philippi Jr (2014) os resíduos de serviço de saúde podem ser agrupados em dois níveis distintos:

- Resíduos comuns:
- Resíduos sépticos: constituído de restos de materiais cirúrgicos e de tratamento médico.

#### 2.2.2.8 Resíduos da construção civil

Os resíduos da construção civil são aqueles provenientes da construção, reformas, demolição e reparos de obras da construção civil. Além desses consideram-se também aqueles resultantes da preparação de escavação de terrenos tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais dentre outros. Esses materiais são gerados por pessoas físicas ou jurídicas de direito público ou privado, no decorrer de suas atividades (CONAMA, 2002).

### 2.2.2.9 Resíduos agrossilvopastoris

Os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades. Embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita e esterco animal são exemplos desses materiais. Vale salientar que as embalagens com alto poder de toxicidade são alvo de legislação específica em relação ao seu gerenciamento (PHILIPPI JR, 2014).

### 2.2.2.10 Resíduos de serviços de transportes

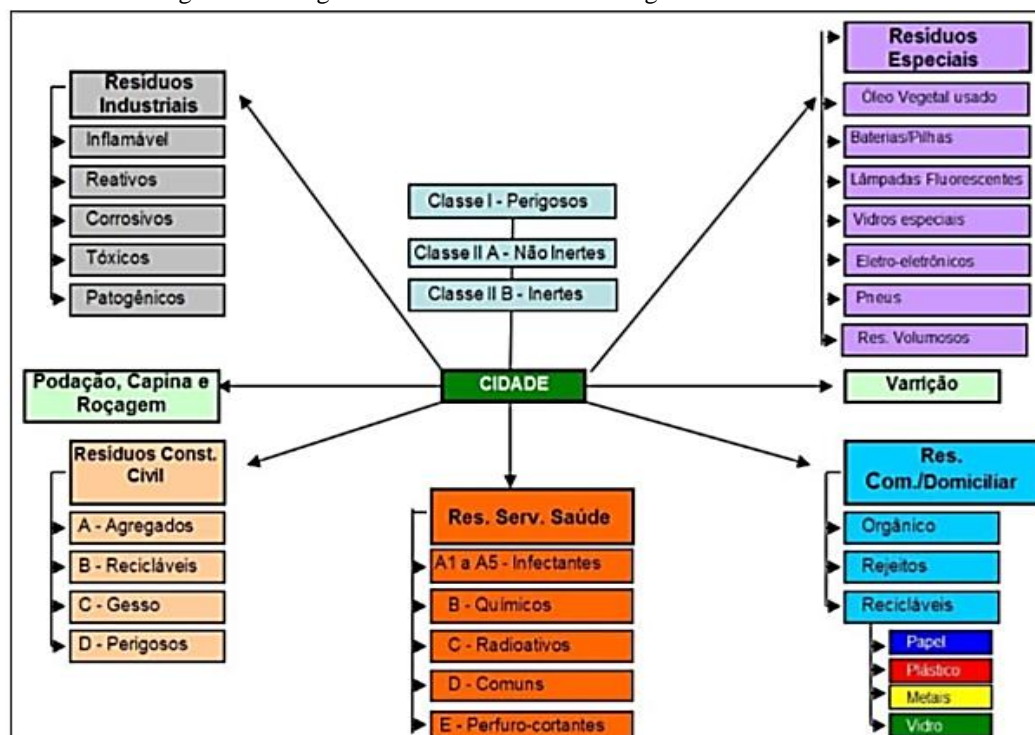
São os resíduos originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira. Esses resíduos recebem atenção especial em decorrência do fato de que o tráfego de cargas e pessoas representa o risco de transmissão de doenças e disseminação de pragas agrícolas (BARROS, 2012)

### 2.2.2.11 Resíduos de mineração

Os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

A síntese dos resíduos gerados no município e suas subdivisões estão dispostos na Figura 1.

Figura 1: fluxograma da divisão dos resíduos gerados em uma cidade.



Fonte: Pereira (2013).

### 2.3 Origem e composição dos resíduos sólidos urbanos

As características que compõem os resíduos sólidos urbanos são extremamente diversas, complexas e heterogêneas, sofrendo influência do município gerador. A origem dos RSU auxilia na atribuição de responsabilidades, bem como na escolha da tomada de decisão das etapas mais apropriadas do gerenciamento dos resíduos nas esferas federal, estadual e municipal de regulamentação do setor (BARROS, 2012).

Fatores econômicos, sociais, geográficos, educacionais, culturais, tecnológicos, e legais afetam o processo de geração dos resíduos em relação à quantidade e composição. Essas características podem ser identificadas em qualquer etapa do gerenciamento, desde a geração até a disposição final. Dependendo do momento que é realizada a amostragem, as características podem variar de acordo com o processo de geração, manejo, ou técnica de tratamento e disposição final adotadas.

Além disso ele estará sujeito à ação de microorganismos decompositores e às condições ambientais que promoverão a transformação de seus constituintes liberando emissões gasosas e líquidas (JUNIOR, 2006). A massa de resíduos apresenta uma elevada heterogeneidade de materiais. Segundo Tchobanoglous *et al.* (1993) a classificação dos resíduos pode ser diferenciada inicialmente em materiais orgânicos e inorgânicos para posterior subdivisão em categorias.

A classificação apresentada por Firmo (2013) atribuiu onze classes: resíduos orgânicos; resíduos de jardim; papel e papelão; madeira e coco; borracha e couro; plásticos; têxteis; materiais sanitários; metais; vidro e outros.

Segundo Alcântara (2007), o profundo conhecimento da composição dos RSU viabiliza uma avaliação preliminar da sua degradabilidade, do poder de contaminação ambiental e das possibilidades de reutilização, reciclagem e valorização energética e orgânica (Quadro 1).

Quadro 1: composição gravimétrica em RSU de origem doméstica e comercial.

<b>Categoria</b>	<b>Exemplo de elementos constituintes</b>
Matéria orgânica	Restos de alimentos
Plástico	Sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes
Papel, papelão	Caixas, revistas, jornais, papel, caderno, etc.
Vidro	Copos, garrafas, pratos, embalagens de produtos alimentícios, etc.
Metais	Palha de aço, restos de cobre, fiação elétrica, embalagens de produtos alimentícios, etc.
Panos	Roupas, panos de limpeza, pedaços de tecidos
Contaminantes químicos	Pilhas, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, colas, cosméticos, latas de tintas, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel carbono, etc.
Contaminantes biológicos	Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, etc.
Folhas, terra	Restos de construção, terra, etc.
Outros	Material de difícil identificação

Fonte: (JUNIOR, 2006); (ZANATA e FERREIRA, 2003).

### 2.3.1 Características físicas dos RSU

As características físicas são fundamentais para a gestão dos resíduos sólidos, sendo desde o dimensionamento de unidades de tratamento, utilização da melhor tecnologia de tratamento até a configuração e operação dos locais de disposição final (BARROS, 2012). Conforme a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados seguindo suas características. Dentre os mais importantes incluem geração per capita, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade, capacidade de campo, granulometria, temperatura e compressibilidade:

1. Geração per capita: a geração per capita é dada em função da quantidade de resíduos geradas em relação ao número de habitante. Geralmente é computado para valores diários, esses valores podem ser inferidos a partir de dados locais, regionais ou nacionais (BARROS, 2012);
2. Composição Gravimétrica: percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra. Varia de acordo com as características sócio culturas da região (BOSCOV, 2008). Dependendo do grau de detalhamento desejável para um estudo as categorias de resíduos podem ser variadas podendo ser separados, por exemplo em resíduos orgânicos, plástico, papel, papelão, vidro e metais;
3. Peso específico aparente: depende principalmente da composição gravimétrica dos resíduos. É a relação entre o peso dos resíduos (em kg), em função do volume ocupado livremente, sem qualquer

compactação, expresso em  $\text{kg/m}^3$ . Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações (BARROS, 2012);

4. Teor de Umidade: o teor de umidade pode ser definido pela relação entre a massa úmida (massa total de sólidos e líquidos) e a massa seca (massa seca de sólidos). Esse parâmetro é fundamental na avaliação dos resíduos, pois influencia diretamente nas propriedades mecânicas, químicas e na velocidade de degradação Firno (2013). Varia com a composição gravimétrica, a profundidade onde está disposto, pluviometria e condições de drenagem interna e superficial do maciço (BOSCOV, 2008). O teor de umidade pode ser alterado em função das estações do ano e da incidência de chuvas;
5. Capacidade de campo: segundo Habitzreuter (2008), a água que ficou retida nos poros dos resíduos. E após um longo período de drenagem tem seu conteúdo volumétrico extraído do interior dessa massa de resíduos é entendida como a capacidade de campo. Segundo Sharma (2007), um valor comumente observado para RSU, típico da capacidade de campo é 0,224, enquanto que para argila compactada, este valor é de 0,356. A capacidade de campo pode ser influenciada por diversos fatores: a estrutura dos resíduos, o teor de matéria orgânica, sequência de horizontes pedogênicos, teor de umidade inicial, e altura da lâmina de água (CALLE, 2007);
6. Granulometria: é um parâmetro de conhecimento bastante difundido na Geotecnia. De modo geral, pode ser compreendido como o tamanho da partícula de cada tipo de material. Essa característica é fundamental para a avaliação (Tabela 2);
7. Temperatura: parâmetro físico que indica o balanço de energia térmica na massa de lixo, em geral, menores temperaturas significam menor atividade microbológica e menores taxas de conversão do material orgânico presente nos RSU através da ação bioquímica de microrganismos. A temperatura é de grande importância para promover a degradação biológica, já que afeta tanto o crescimento de bactérias, como altera a velocidade das reações químicas. Essas variações de temperatura determinam os tipos de microorganismos existentes e o nível de produção de gás Silva (2013); e
8. Compressividade: o grau de compactação culminando na redução do volume que a massa de resíduo pode sofrer é denominada como o grau de Compressividade. Quando submetido a uma pressão de  $4\text{kg/cm}^2$ , o volume do lixo pode ser reduzido de um terço ( $1/3$ ) a um quarto ( $1/4$ ) do seu volume original Habitzreuter (2008).

Tabela 2: diâmetro de partículas de material encontrado em RSU

<b>Material</b>	<b>Diâmetro (mm)</b>
Papel	431,8
Papelão	292,1
Plástico	203,2
Borracha	177,8
Tecido	139,7
Couro	127
Madeira/metal	121,9
Vidro	101,6
Resíduos alimentares	88,9
Podas vegetais	76,2
Outros	38,1

Fonte: Oliveira (1994).

### 2.3.2 Características químicas dos RSU

As características químicas dos resíduos sólidos são definidas mediante a quatro fatores específicos: poder calorífico, potencial hidrogeniônico (pH), composição química, relação carbono/nitrogênio (C:N) (MONTEIRO, 2001).

- Poder Calorífico: indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à combustão. Para os RSU esse poder calorífico médio situa na faixa de 5.000kcal/kg.
- Potencial hidrogeniônico (pH): indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Geralmente situa-se na faixa de 5 a 7.
- Composição química: consistem na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.
- Relação Carbono/Nitrogênio (C:N): a relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1.

### 2.3.3 Características biológicas dos RSU

As espécies microbiológicas presentes na massa residual determinam as características biológicas presente nos resíduos. A degradação microbiológica da matéria orgânica se dá em ambiente de aerobiose (presença de oxigênio) e em anaerobiose (ausência de oxigênio) existindo ainda microorganismos que se adaptam a condição intermediária. Em tais ambientes a degradação da matéria orgânica pode se dar por oxidação, em que a matéria orgânica perde elétrons e quem os recebe é o aceptor de elétrons, passível de ser, em função do ambiente, o oxigênio (aeróbio), o Nitrato (anóxico) ou o dióxido de carbono e o sulfato (anaeróbio). Em condições de anaerobiose além das vias de oxidação da matéria orgânica ocorre também a fermentação da mesma, sendo que ambas as vias produzem o metano em proporções diferentes Barros (2012).

Os principais decompositores da matéria orgânica presente na massa de resíduo são as bactérias, e, em menor escala, fungos e protozoários. Os grupos de bactérias presentes na decomposição anaeróbia da matéria orgânica são as bactérias fermentativas, acetogênicas produtoras de H<sub>2</sub>, acetogênicas consumidoras de H<sub>2</sub> e as metanogênicas (SILVA, 2013).

#### 2.4 Teor de umidade de RSU

O teor de umidade representa a variação percentual de líquido dos RSU (SILVA, 2013), pode ser expresso em relação ao volume (umidade volumétrica) ou à massa (umidade gravimétrica) (MOTTA, 2011). O teor de umidade é influenciado diretamente pela matéria orgânica, condições climáticas, estações do ano, procedimentos operacionais de coleta, aterramento e cobertura dos resíduos, biodegradação, eficiência do sistema de drenagem de gases e líquidos, dentre outros (HABITZREUTER, 2008), (MOTTA, 2011).

A umidade tem uma participação fundamental na assimilação da matéria orgânica por parte dos microorganismos. A presença de uma comunidade microbiana em um habitat é determinada, em grande parte pelas condições físicas e químicas desse ambiente (MARTINKO, 2004). Esse parâmetro físico também é utilizado para avaliar a biodegradabilidade dos RSU, bem como sinalizar o potencial de geração de biogás dos resíduos (MACIEL, 2009) (LOPES, 2011).

O teor de umidade recomendado pode variar desde o mínimo de 25% até a umidade ótima de 40 a 70% para a promoção da degradação da matéria orgânica pelos microorganismos (MACIEL, 2009). Landva & Clark (1990) afirmam que a massa orgânica tem maior capacidade de retenção de água, assim o teor de umidade parece aumentar com maiores percentuais de matéria orgânica.

Devido ao alto teor de umidade a matéria orgânica apresenta dificuldades para ser utilizada como fonte energética já que que demandam maior tempo de secagem do material e, conseqüentemente, encareceria o processo (GONÇALVES *et. al.*, 2009)

Os resíduos sólidos urbanos, acumulados continuamente em aterros, são uma mistura de grande variedade química sob influência de agentes naturais como, chuva e microorganismos, e são objeto de evoluções complexas, constituídas pela superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Além da dissolução dos elementos minerais e do carreamento pela água de percolação das finas partículas e do material solúvel, o principal responsável pela degradação dos resíduos é a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas

Além disso, o teor de umidade influencia no poder calorífico e no peso específico úmido dos RSU. Para que haja a decomposição biológica dos resíduos sólidos, a umidade considerada ideal é próxima a do teor de umidade na capacidade de campo 20% a 40%, pois se a umidade estiver acima de 40%, pode haver limitação das reações biológicas de decomposição e, abaixo de 20%, a decomposição é inibida.

## 2.5 Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos

Constitucionalmente é de competência do poder público local o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos em suas cidades. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008, 61,2% das prestadoras dos serviços de manejo dos resíduos sólidos, à época, eram entidades vinculadas à administração direta do poder público; 34,5%, empresas privadas sob o regime de concessão pública ou terceirização; e 4,3%, entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios (IBGE, 2010).

A ausência de um sistema de saneamento básico eficaz, oriundo da omissão e incapacidade do poder público, causa graves danos à qualidade ambiental nos centros urbanos, sendo fator preponderante na ocorrência dos impactos sobre as condições de saúde pública. Sobretudo na disseminação de doenças de veiculação hídrica (SEMAS, 2012).

Visando a melhor qualidade de vida da população, a gestão dos resíduos sólidos urbanos, um grande desafio para o desenvolvimento sustentável nos municípios brasileiros, constitui-se numa ferramenta primordial, capaz de minimizar os problemas relativos a essa questão através do controle da poluição, controle da contaminação do ar, da água e do solo, que ocorrem devido à inadequada remoção, tratamento e destinação final dos resíduos (SEMAS, 2012).

Os termos gestão e gerenciamento de resíduos sólidos são corriqueiramente confundidos e entendidos como a mesma questão. Contudo para (MATOS, 2009) existe uma diferenciação conceitual entre os termos. Segundo Leite (1997), o manejo dos resíduos sólidos seria inicialmente tratado, como um conjunto de referências político-estratégicas, institucionais, legais e financeiras que norteavam o setor.

*“O conceito de gestão de resíduos sólidos abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para este fim, envolvendo instituições políticas, instrumentos e meios.*

*Já o termo gerenciamento de resíduos sólidos refere-se aos aspectos tecnológicos e operacionais da questão, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho: produtividade e qualidade, por exemplo, e relaciona-se a prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final dos resíduos sólidos”.*

*Leite (1997).*

O gerenciamento pressupõe a integração dos atores envolvidos, englobando todas as condicionantes inerentes ao processo, possibilitando, um desenvolvimento uniforme e harmônico entre os interessados, adequado às necessidades de cada comunidade. A gestão adequada dos resíduos sólidos requer elementos indispensáveis à sua composição, o reconhecimento dos agentes sociais e identificação dos papéis por eles desenvolvidos, no intuito de promover a articulação entre os aspectos técnicos, ambientais, sociais, institucionais e políticos.

A composição de um modelo de gestão vai além dos limites da administração pública, sendo fundamental a observação do aspecto social como parte integrante do processo. E tem como ponto forte



a participação não apenas do setor público, mas também do setor privado e das organizações não-governamentais (ONGs, setor informal, catadores, comunidade, todos geradores e responsáveis pelos resíduos). Envolvendo esses organismos desde a fase dedicada ao planejamento até a estratégia de atuação, passando pela forma de execução e implementação dos controles, tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável (JUNIOR, 2007).

Com a inclusão aos modelos de gestão dos segmentos socioeconômicos e setores vinculados (a produção, o poder público e os consumidores), a gestão dos resíduos sólidos passou a ser baseada em políticas prioritárias com suas responsabilidades diluídas entre esses segmentos (MATOS, 2009).

Os países desenvolvidos economicamente, maiores geradores de resíduos sólidos, tem uma maior capacidade de promover a gestão de seus resíduos, mediante um somatório de fatores: recursos econômicos, preocupação ambiental da população e desenvolvimento tecnológico. Essas características são ausentes em cidades de países em desenvolvimento, onde a quantidade de RSU gerados não são compatíveis com as políticas e os investimentos públicos para o setor. Verificam-se déficits na conscientização da sociedade, capacidade financeira e técnica administrativa dos municípios, em prover infraestrutura e serviços essenciais como abastecimento de água, saneamento, coleta e destinação adequada dos resíduos (JUNIOR, 2013).

Com a sanção em agosto do ano de 2010, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), novas rotinas foram incorporadas aos modelos de gestão existentes no país, devido ao crescente interesse público na questão, os altos custos envolvidos e os danos ambientais decorrentes do manejo inadequado (REICHERT, 2013).

A obrigatoriedade da concepção dos planos de gerenciamento de resíduos por todos os entes da federação e a instalação de aterros sanitários, inicialmente com prazo de 4 anos a contar da promulgação da lei exigia dos municípios a implementação de modelos de gestão adequados a suas realidades regionais e econômicas, com metas e prazos definidos e que atendessem a destinação ambiental desse material de forma adequadamente correta. Entretanto os prazos para a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos foram alterados por um projeto de lei nº 425/2014 do Senado Federal, estabelecendo prazos escalonados de acordo com o município, fazendo com que as datas-limite variem entre 2018 e 2021.

Os planos de gerenciamento de resíduos sólidos, descrito no art. 8º da Lei 12305/2010 são instrumentos da PNRS responsáveis em resolver um dos principais problemas do manejo inadequado dos resíduos, pois estipulam de maneira voluntariosa: metas, diretrizes, programas e ações estabelecidos com coerência e viabilidade técnica e política. Na elaboração dos planos devem ser observadas as seguintes ordens de prioridade, conforme prevê o art. 9º: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos Jardim (2012).

Os prazos serão diferenciados, de acordo com perfil do ente federativo, conferindo prazos mais longos para municípios com população inferior a 50 mil habitantes e mais curtos para as capitais de Estados e Municípios integrantes de região metropolitana ou de região integrada de desenvolvimento,

que possuem maior população e maior capacidade orçamentária financeira, para a implementação. 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.

Alterou-se o entendimento dos gestores públicos, obrigados a implementar modelos de gestão que obedeçam preceitos da não geração, redução, reutilização, reciclagem e adoção de tecnologias viáveis ao tratamento e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos. Agora a amplitude de ação e tomada de decisão, necessitam da visão global dos cenários construídos, criados sobre o posicionamento na tomada de decisão do administrador, com base na elaboração de um planejamento estratégico Taguchi (2010). Além disso são fundamentais princípios e objetivos como: o desenvolvimento sustentável, a visão sistêmica na gestão de resíduos, a avaliação do ciclo de vida, o direito da sociedade à informação e o controle social (REICHERT, 2013).

## 2.6 Geração Percapita e Geração Anual de Resíduos

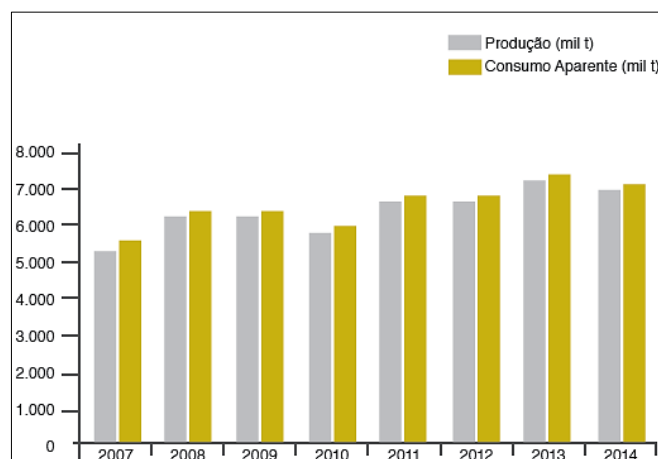
A geração dos resíduos, seja de um país ou cidade, dependerá: do clima, da cultura, do grau de industrialização e sobretudo da renda per capita da população residente Philippi Jr (2014). Para o Brasil, o autor indica que, a maior parte dos componentes da massa residual é composta de matéria orgânica.

A taxa de geração per capita de resíduos relaciona a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente e o número de habitantes de determinado município ou região. Para os resíduos sólidos urbanos são avaliadas as produções domiciliares, ou seja, aquelas resultantes das atividades domésticas e comerciais e a produção de resíduos públicos, referentes aos serviços de limpeza de vias e logradouros, capinação e podaço (SEMAS, 2012).

O grande consumo de alimentos semipreparados e ultraprocessados, modificou consideravelmente a composição dos resíduos, além de minimizar a quantidade de matéria orgânica existente, potencializou o crescimento de embalagens e resíduos plásticos. O consumo dos polímeros plástico, seja de forma direta ou indireta, ao adquirir as embalagens que envolvem o produto de interesse, fizeram desse material o segundo maior componente em volume na massa de resíduos. Estas variações não são exclusivas de grandes centros urbanos, estendem-se para todas as regiões de um mesmo país, cidades, ou mesmo, em bairros do mesmo município. A análise desse material gera informações bastante complexas, devido à diversidade dos polímeros existentes (IPEA, 2012).

No Brasil o PNRS destaca que os plásticos correspondem a 13,5% (24.847,90 ton./dia) da composição dos resíduos dentro da faixa descrita por (MACIEL, 2013). Segundo a ABRELPE (2014), o consumo aparente de plásticos, atingiu em 2014, 7,24 milhões de toneladas, representando um decréscimo de cerca de 2,6% em relação a 2013 (Figura 2).

Figura 2: produção e consumo aparente de transformados plásticos no Brasil.



Fonte: ABRELPE (2014).

A composição gravimétrica dos resíduos é capaz de influenciar nas suas propriedades geotécnicas, permitindo ainda a determinação da matéria degradável, (HABITZREUTER, 2008), interferindo qualitativamente e quantitativamente na geração de efluentes líquidos e gasosos em aterros sanitários. Segundo Maciel (2009), a heterogeneidade de aspectos socioculturais e ambientais do país traz diferenciações na composição residual. O grau de desenvolvimento social e econômico propicia a diferenciação na composição gravimétrica observada em diferentes países e cidades, quanto maior esse nível de evolução socioeconômica, menor o percentual de matéria orgânica existente no país como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: composição de resíduos sólidos em alguns países e cidades do mundo.

Países (Cidades)	Matéria Orgânica (%)	Papel/Papelão (%)	Plástico (%)	Metal (%)	Vidro (%)
Estados Unidos	29,0	35,6	7,3	8,9	8,4
Japão	22,2	31,1	15,5	6,4	13,8
Reino Unido	23,4	33,9	4,2	7,1	14,4
Itália	42,1	22,3	7,2	3,0	7,1
Austrália	23,6	39,1	9,9	6,6	10,1
Seul (Coreia do Sul)	22,3	16,2	9,6	4,1	10,6
Viena (Áustria)	23,3	33,6	7,0	3,7	10,4
Paris (França)	16,3	40,9	8,4	3,2	9,4
Brasil (São Paulo)	64,4	14,4	12,0	3,2	1,1
Brasil (Recife – 2000)	64	15,0	9,5	1,93	2,4
Assunção (Paraguai)	60,8	12,2	4,4	2,3	4,6

Fonte: Maciel (2009); UNEP (2005).

Para Pernambuco, a determinação dos valores da geração de resíduos per capita foram obtidos nos Planos de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos já elaborados para alguns municípios do estado e os estudos elaborados pelo Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco (GRS/UFPE) em 2001, realizados para a então Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente - SECTMA. Para os municípios, cujos valores não foram encontrados nos estudos existentes, foi adotada

a taxa de geração per capita média da região de desenvolvimento, de forma a permitir a estimativa da produção atual e da projeção para os horizontes propostos nas diretrizes, metas, planos e projetos, descritos estabelecidos no PERS (SEMAS, 2012).

A taxa de geração per capita média de resíduos sólidos urbanos em Pernambuco é de 1,05 kg/hab. Dia resultando em uma produção total estimada, para o ano de 2012, em torno de 4 milhões de toneladas. A projeção de produção de resíduos sólidos para o estado, segundo o plano até 2032 está na ordem de 4,3 milhões de toneladas de resíduos, representando um crescimento na produção total de quase 10% (SEMAS, 2012).

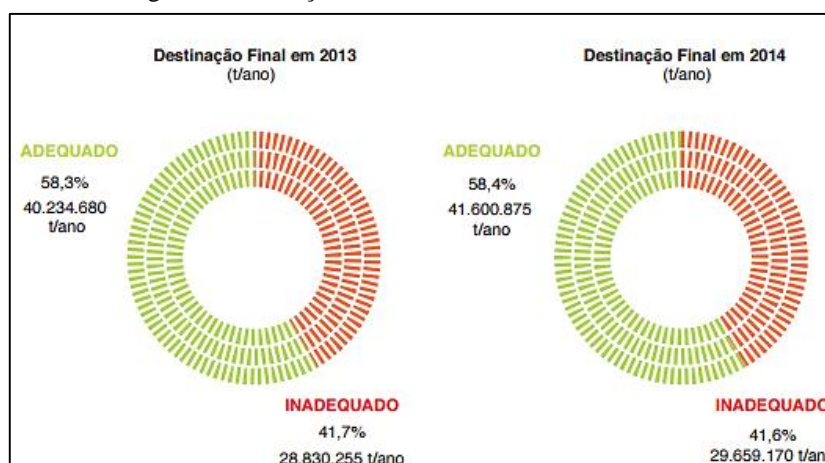
## 2.7 Tecnologias de tratamento de resíduos sólidos

No Brasil, apesar da PNRS prever a erradicação dos lixões desde 2014, a destinação final dos resíduos ainda ocorre significativamente utilizando esta prática em todas as regiões do país e os impactos decorrentes dessa prática são na maioria das vezes incalculáveis. A diversificação de tecnologias, observadas as características regionais em cada situação, é fundamental para alcançar as metas estabelecidas pela PNRS. As tecnologias de tratamento são os procedimentos físicos, químicos e biológicos que têm a capacidade de diminuir a carga poluidora no meio ambiente, reduzir os impactos sanitários negativos, ao passo que promovem o beneficiamento econômico do resíduo (LIMA, 2012).

São diversos os tipos de tratamentos para os diferentes resíduos. Entretanto, no Brasil, a tecnologia massivamente aplicada, e amplamente aceita, para tratamento dos RSU é a disposição final em aterros sanitários. Segundo a ABRELPE (2014) a geração total de RSU no Brasil em 2014 foi de 78.583.405 toneladas, o que representa um acréscimo de 2,90% em relação ao ano anterior, índice que é superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,9%.

Apesar da obrigatoriedade quanto a destinação correta, ainda existe no país, uma enorme quantidade de resíduos dispostos de forma inadequada em lixões e aterros controlados (Figura 3).

Figura 3: destinação final dos RSU Coletados no Brasil.



Fonte:

ABRELPE

(2014).

Historicamente, os países desenvolvidos tiveram evoluções e inovações quanto ao desenvolvimento de tecnologias de tratamento significativas. Essas evoluções estão diretamente correlacionadas às necessidades energéticas e sobretudo em resposta às demandas da população, culturalmente mais interessada com o tema. Isso fez com que os países desenvolvidos promovessem para o setor, tecnologias de ponta baseadas em legislações claras e objetivas, implantadas progressivamente ao avanço das tecnologias, além da sensibilização social fundamentada na educação (LIMA, 2012). Apesar do Brasil sempre ter sido influenciado pelo desenvolvimento tecnológico internacional, o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos é a disposição em aterros sanitários (FADE/BNDES 2012).

Segundo Jucá (2011), existem basicamente quatro sistemas básicos de tratamentos de resíduos sólidos urbanos, baseados na triagem, tratamentos biológicos, incineração e aterros sanitários, como apresentados na (Quadro 2).

Quadro 2: evolução e inovação das tecnologias para tratamento dos RSU.

Sistemas Básicos	Processos	Evolução	Produtos	Inovação
Triagem	Físico	Coleta Seletiva Tratamento Mecânico Biológico (MTB)	Matéria Prima para Reciclagem e Energia	Waste to Resources (WTR) Waste to Energy (WTE)
Tratamento Biológico	Biológico	Biodigestores Anaeróbios Compostagem	Composto Orgânico e Energia	Agricultura e Waste to Energy (WTE)
Incineração	Físico-Químico	Tratamento Térmico	Calor e Energia Elétrica	Waste to Energy (WTE)
Aterros Sanitários	Físico, Químico e Biológico	Reator Anaeróbio Tratamento da Matéria Orgânica	Biogás (Energia) e Lixiviado	Waste to Energy (WTE) Fertilizantes

Fonte: (JUCÁ, 2011).

Essas tecnologias passaram por um processo de evolução a princípio destacavam-se, quanto aos processos físicos predominam a triagem e a reciclagem dos resíduos, nos processos biológicos o tratamento biológico aeróbio (compostagem) e o anaeróbio. No processo físico-químico predominam a incineração e no físico, químico e biológico predominam os aterros sanitários, considerados como biodigestor anaeróbio.

As tecnologias evoluíram, em complexidade e forma de tratamento com decorrer do tempo, como exemplo destacam-se as unidades de triagem, tratamento mecânico-biológico (TMB), a compostagem e os digestores anaeróbios (D.A.) e as unidades de incineração evoluíram para unidades mais modernas de geração com energia elétrica ou ciclos combinados com geração de calor. Os aterros sanitários evoluíram para aterros com geração de energia ou combustão de biogás (LIMA, 2012).

Segundo Coelho (2011), a necessidade do tratamento dos RSU torna-se fundamental por proporcionar: a redução de volume e massa, redução da periculosidade, a redução da quantidade de resíduos enviados para disposição final e a transformação dos seus componentes em um material reutilizável com valor econômico agregado.

Para o eficaz tratamento a adoção das tecnologias de tratamento algumas medidas são prioritárias como a separação prévia dos resíduos, através de coletas diferenciadas. Outro aspecto fundamental é a necessidade de analisar os resíduos sólidos urbanos em forma de cadeia produtiva, considerando sua geração (quantidade e composição), acondicionamento e coleta, diferentes tipos de tratamento e destinação final (LIMA, 2012).

O efetivo tratamento dos resíduos, bem como a escolha da tecnologia mais adequada, deve levar em consideração a separação prévia dos resíduos, através de coletas diferenciadas. E a tecnologia deve sobretudo adequar os processos, suas evoluções e suas inovações tecnológicas às realidades locais, questões sociais, ambientais e culturais de cada localidade, considerando os investimentos necessários. Isto determinará a viabilidade ou não da implementação da tecnologia. O (Quadro 3) aponta o detalhamento destes investimentos (FADE/BNDES, 2012).

Quadro 3: investimento nas principais tecnologias de tratamento

Características	Triagem	Tratamento Biológico	Incineradores Termoelétricas	Aterros Sanitários
Área Disponível	Menor	Médio	Baixo	Alto
Investimento Instalação	Médio	Médio	Alto	Menor
Custo Insumo	Baixo	Alto	Médio	Médio
Linha de Transmissão	Não se aplica	Médio	Alto	Alto
Custo de Produção	Baixo	Alto	Alto	Médio
Tecnologia	Baixo	Médio a Alto	Alto	Médio
Impacto Ambiental	Baixo	Médio	Alto	Alto
Capacitação de RH	Baixo	Médio	Alto	Baixo

Fonte: (FADE/BNDES, 2012).

A seguir serão apresentadas as principais formas de tratamento de resíduos sólidos urbanos, considerando os tipos, vantagens e desvantagens e inovações tecnológicas e aspectos econômicos envolvidos.

### 2.7.1 Reciclagem de RSU

Segundo o IBAM (2014), a descaracterização e o beneficiamento industrial de materiais presentes nos RSU como: papeis, plásticos, vidros e metais e sua reinserção na economia, sendo novamente comercializados, denomina-se reciclagem.

A reciclagem observa os resíduos como matéria prima e o insere novamente na cadeia produtiva, sendo responsável pela redução na captação de recursos naturais, além de diminuir a quantidade de rejeitos enviadas ao aterro sanitário.

De acordo com (LIMA, 2012), as maiores vantagens da reciclagem são observadas quando promovem a diminuição da quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, aumentando a vida útil desses espaços e o incremento econômico originado pela reinserção dos recicláveis na cadeia produtiva, gerando empregos e renda de forma direta e indireta. A preservação de recursos naturais, graças a redução do consumo de matérias primas, redução no consumo de energia, redução de impactos na prospecção de matérias primas. Contudo a tecnologia não pode ser entendida como a principal etapa dentro do gerenciamento de RSU, a reciclagem deve ser considerada como um elemento alternativo dentro da conjuntura das soluções (MONTEIRO, 2001).

Segundo Lima (2012), ainda existe uma confusão em relação aos termos reciclagem e coleta seletiva (coleta diferenciada de materiais recicláveis). A reciclagem de materiais pode ocorrer sem a separação prévia de resíduos na fonte geradora, o que reduz a qualidade dos resíduos a serem processados. O autor analisa os custos adotados na reciclagem, pós coleta seletiva, em unidades de triagem mecanizada, sem considerar a reciclagem industrial. Os custos foram retirados de informativos da CEMPRE e da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana entre os anos de 2010 e 2011 (Tabela 4).

Tabela 4: custos da reciclagem de RSU.

<b>Custo por atividade</b>	<b>Valor em (R\$/t)</b>
Investimento em tecnologia	22,00
Operação e manutenção	250,00
Encerramento da tecnologia	2,5
Pós-monitoramento	0,5

Fonte: Lima (2012).

### 2.7.2 Triagem de RSU

O processo de separação dos RSU coletados dependerá diretamente do tipo de coleta realizado, se diferenciada ou não. O processo de triagem pode estar presente em diversas etapas do sistema de gestão adotado. Podendo estar incorporado na separação de resíduos inorgânicos realizados através da coleta indiferenciada, ou para a separação dos resíduos de forma diferenciadas em subclasses direcionadas (TEIXEIRA, 2004).

Segundo (FADE/BNDES, 2013) as unidades de triagem surgiram, no Brasil, no início da década de 1980 (manuais e pouco mecanizadas), vinculadas a processos de separação de resíduos e compostagem da fração orgânica. Devido a sua capacidade de promover a separação dos resíduos comerciais e residenciais, o processo valoriza os materiais recicláveis e matéria orgânica. O material coletado é encaminhado a uma unidade de triagem, com infraestrutura adequada com: esteiras, piso em concreto, calhas coletoras de lixiviado, iluminação adequada, etc.

Uma evolução desse processo é quando existe a coleta diferenciada e os resíduos são enviados às unidades consorciadas de triagem e compostagem separadamente passando o material por um processo de Tratamento Mecânico Biológico-TMB (FADE/BNDES, 2013). Geralmente observa-se dois mecanismos de triagem: manual ou mecanizada. A infraestrutura deve ser instalada em unidades específicas, dentro de um galpão com cobertura adequada. Nos galpões instalam-se as esteiras de separação acionadas por motores elétricos, a velocidades programadas comandadas por um painel de controle. Nas unidades de triagem manual, os resíduos são dispostos sobre essas esteiras mecanizadas e separados manualmente (Figura 4) (FADE/BNDES, 2012).

Figura 4: esteira de separação mecanizada.



Fonte: Lima (2012).



O processo de triagem geralmente é utilizado para municípios de pequeno porte, onde a geração é em média de 5 a 10 t/dia, resultando em baixos índices de produtividade e recuperação de materiais. A triagem manual geralmente apresenta custo baixo de operação e as unidades possuem uma capacidade maior de armazenamento pré-triagem do que as unidades mecanizadas (LIMA, 2012).

São diferenciais, para este tipo de operação, a aquisição de empilhadeiras manuais ou mecanizadas e de balança plataforma para controle de pesagem, um bom controle de entrada e saída de materiais reciclados e ainda um excelente controle financeiro, tornando a unidade sempre bem gerenciada e eficaz.

Nas unidades de triagem mecanizada, os resíduos são descarregados no pátio e direcionados para um local de armazenamento “moega”. Em seguida são direcionados para esteiras mecanizadas de separação por máquinas específicas (carregadeira sobre rodas ou retroescavadeiras). Quando os resíduos chegam às esteiras, que operam de forma controlada, são triados de forma manual por operários, armazenados e dispostos em baias específicas para cada classe de material (Figura 5) (FADE/BNDES, 2012).

Figura 5: unidade de triagem de RSU



Fonte: Alessandra Lee Barbosa Firmo (2007).

A implementação da triagem promove a redução da quantidade de resíduos destinada a tratamento ou disposição final em aterros sanitários, da geração de lixiviados, do relançamento de gases para a atmosfera, bem como a diminuição do consumo de energia e matéria prima.

Contudo, o processo apresenta como desvantagens os custos financeiros deste sistema, considerando o saldo negativo entre as despesas com a realização da atividade e o baixo valor agregado sobre a venda dos produtos. Além disso, também são altos os custos com material humano necessários para realizar as atividades (FADE/BNDES, 2013).

### 2.7.3 Compostagem de resíduos sólidos urbanos

A compostagem é um processo tecnológico de suma importância, para a degradação e redução da massa residual urbana. Embora ainda não publicado oficialmente, o PNRS indica que mais de 50% dos RSU gerados no país são constituídos de matéria orgânica (MMA, 2012).

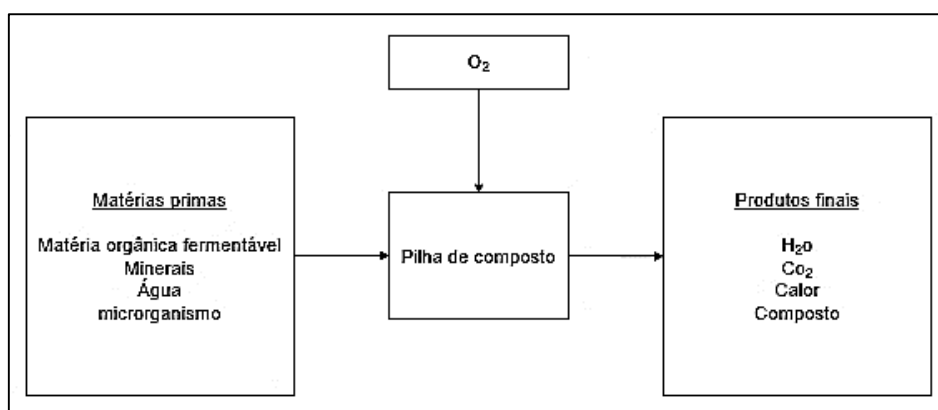
Segundo Teixeira (2004), a compostagem pode ser entendida como um processo de tratamento, baseado na oxidação biológica controlada, onde a matéria orgânica é decomposta por ação de um ecossistema complexo de microorganismos, favorecido por um ambiente quente e úmido, na presença em regime aeróbio controlado.

O processo de compostagem é a tecnologia mais antiga de degradação que o homem tem utilizado para decompor os resíduos sólidos (LIMA, 2012 *apud* PEREIRA NETO, 1980). Para Nobrega (1991), a compostagem é dividida em duas fases: na primeira, fase ativa, ocorrem as reações mais intensas de oxidação; e na segunda fase, fase de maturação, ocorre a humificação do material previamente estabilizado e o produto final é chamado de composto.

O processo de decomposição da compostagem é exotérmico, caracterizado pela produção de CO<sub>2</sub>, água e liberação de substâncias minerais como resultante do processo, formando o que se chama de matéria orgânica estável (LIMA, 2012 *apud* FERNANDES *et al.*, 1999). Para a ocorrência de maneira satisfatória, os parâmetros físico químicos devem ser adequados a manutenção do ecossistema microbiológico.

Segundo (TEIXEIRA, 2004), a primeira fase do processo tem uma duração entre 25 e 30 dias. A etapa de humificação, quando realizada em pilhas ou leiras, tem duração entre 30 e 60 dias, esse período está vinculado a condições como: temperatura, umidade, composição da matéria orgânica e condições de arejamento. De forma geral o processo de compostagem está disposto na Figura 6.

Figura 6: esquema simplificado do processo de compostagem.



Fonte: Teixeira (2004)

Segundo a NBR 13591 de 1996 da ABNT as unidades de compostagem são instalações dotadas de pátio de compostagem e conjunto de equipamentos eletromecânicos destinados a promover e/ou auxiliar o tratamento das frações orgânicas (Figura 7).

Figura 7: esquema de uma unidade de compostagem de resíduos orgânicos.



Fonte: Lima (2012).

Segundo (FADE/BNDES, 2012) a utilização da tecnologia da compostagem pode trazer diversas vantagens como:

- Redução de cerca de 50% do lixo destinado ao aterro;
- Economia de aterro;
- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;
- Eliminação de patógenos;
- Economia de tratamento de efluentes.

Lima (2012) avaliou os custos do tratamento de compostagem de RSU em escala industrial. O autor adotou como base para os cálculos os sistemas implantados na Europa da Kompogás e Axpo new Energies e do estudo da Arcadis (2010). Os custos adotados em euros foram transformados em reais, com data de referência 30/10/2012, com 1 euro = R\$ 2,72 descritos na Tabela 5.

Tabela 5: custos com a tecnologia compostagem.

Custo por atividade	Valor em (R\$/t)
Investimento da tecnologia	20,00
Operação e manutenção	8,00
Encerramento da tecnologia	1,5
Pós-monitoramento	0,6

Fonte: Lima 2012).

#### 2.7.4 Digestão anaeróbia de RSU

A digestão anaeróbia ou biogaseificação ou ainda metanização é um processo de transformação dos resíduos orgânicos, em meio anaeróbio, que gera biogás, elemento composto por cerca de 45% a 60% de CH<sub>4</sub> (metano) e de 40% a 50% de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) (LIMA, 2012)

A conversão da matéria orgânica ocorre em dois estágios: primeiro ocorre a conversão de orgânicos complexos em ácidos voláteis, em seguida a conversão desses ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio, em metano e gás carbônico (LIMA, 2012 *apud* CHERINICHARO, 1997).

Para (REICHERT, 2005), o processo de DA é dividido em quatro estágios: pré-tratamento, digestão de resíduo, recuperação de gás e tratamento de resíduos. O pré-tratamento é necessário na maioria dos sistemas, esta etapa visa a obtenção de uma massa homogênea. O pré-processamento envolve a separação ou triagem dos materiais não biodegradáveis seguido por uma trituração.

De forma geral, o processo ocorre no interior do digestor, onde a massa é diluída para obter o conteúdo de sólidos desejado, e permanece no interior do reator por um determinado tempo de retenção. As plantas de digestão anaeróbia são diversificadas principalmente em países da Europa (Figura 8).

Figura 8: plantas de digestão anaeróbia no Reino Unido (A) e em Mafra (Portugal) (B).



Fonte: Lima (2012), (DEFRA'S, 2007).

A diluição pode ser processada com água da torneira, lodo de esgoto, ou a recirculação dos efluentes do reator. A temperatura desejada é mantida com a utilização de um trocador de calor. O biogás gerado é purificado e armazenado, e a manutenção da qualidade do biossólidos é obtida com a cura por aerobiose (REICHERT, 2005).

A tecnologia de DA apresenta algumas vantagens como o aumento da vida útil dos aterros sanitários, a retirada da fração orgânica dos RSU, a redução de emissões de gases que contribuem com o efeito estufa e a viabilidade de utilização de biogás como o metano para a geração de energia. Em contrapartida o processo pode apresentar ineficiência devido a misturas ineficientes de RSU e lodo de esgoto (LIMA, 2012).

Lima (2012) considerou os custos da tecnologia, em escala industrial, levando em consideração os sistemas implantados na Europa. O autor adotou como base para os cálculos os sistemas implantados na Europa pela Kompogás Kepell Seghers da Arcadis (2010).

Os custos adotados em euros foram transformados em reais, com data de referência 30/10/2012, com 1 euro = R\$ 2,72 descritos na Tabela 6.

Tabela 6: custos da tecnologia Digestão anaeróbia de RSU.

<b>Custo por atividade</b>	<b>Valor em (R\$/t)</b>
Investimento em tecnologia	620,00
Operação e manutenção	96,25
Encerramento da tecnologia	20,00
Pós-monitoramento	18,00

Fonte: Lima (2012).

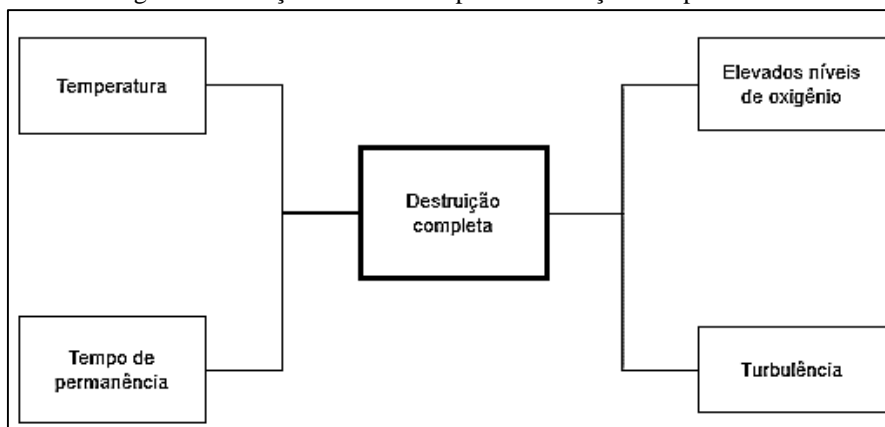
### 2.7.5 Incineração de RSU

A incineração é uma das tecnologias mais antigas que existem. Segundo (PHILIPPI JR, 2014) a técnica possui aproximadamente 100 anos, a primeira unidade foi instalada em Nottingham, Inglaterra. Os incineradores têm como objetivo básico a redução do volume de resíduos para aumentar a vida útil dos aterros sanitários.

Conceitualmente a tecnologia é definida como um processo de combustão de resíduos na presença excessiva de oxigênio, no qual os materiais a base de carbono são decompostos, desprendendo calor e gerando resíduos inertes, as cinzas ou escórias Lima (2012). A incineração libera dioxinas e furanos, dentre outros, isso faz com que a tecnologia necessite de equipamentos de controle de poluição, que permitam a condução adequada dos processos (BARROS, 2012). Segundo Coelho (2011) a incineração é composta por três principais etapas: na primeira etapa, possui a abrangência da secagem e degaseificação que ocorre sem a necessidade de agentes oxidantes dependente apenas do fornecimento de calor com o material volátil liberado a temperaturas entre 100° e 300°C.

Na segunda etapa ocorre a pirólise, na ausência de agentes oxidantes, que consiste na decomposição da matéria orgânica com temperaturas entre 250° e 750°C. em seguida a gaseificação que consiste na reação entre os resíduos e o vapor d'água e gás carbônico com temperaturas entre 500° e 1000°C, nesta etapa a matéria orgânica sólida é transformada em gases, podendo a temperatura alcançar 1600°C. A terceira etapa, ocorre a oxidação, os gases gerados nas etapas anteriores passam pelo processo de combustão em temperaturas entre 800° e 1450°C. A Figura 9 apresenta as condições necessárias para a ocorrência da incineração completa.

Figura 9: condições necessárias para incineração completa de resíduos.



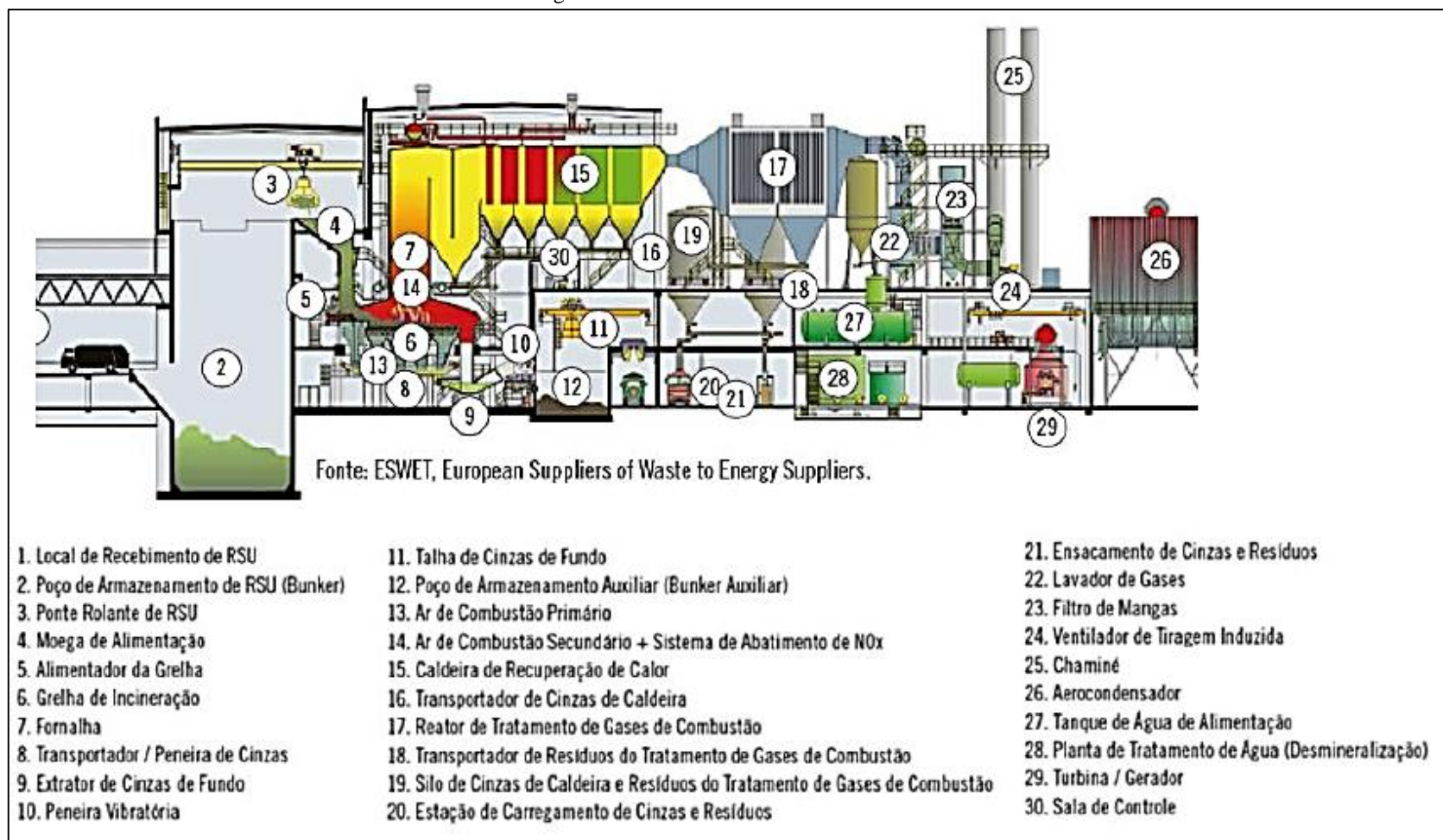
Fonte: PHILIPPI JR (2014)

Segundo Gandolla (2008) a quantidade típica e de energia que pode ser produzida por tonelada de RSU é cerca de 0,7 MWh de energia elétrica e 2MWh de aquecimento urbano. Com isso o autor exemplifica que, para cada 1200 toneladas de resíduos, poderiam ser gerados cerca de 34MWh de energia elétrica e 2400MWh de aquecimento urbano.

A incineração é uma tecnologia que suporta a aplicabilidade de ciclos combinados (CHP), onde se tem a geração de energia elétrica e de calor concomitantemente. Esta tecnologia é capaz de reduzir em até 90% o volume de resíduos sólidos e em 75% em peso. A tecnologia é aconselhável para grandes quantidades de resíduos gerados (mais de 100.000 toneladas por ano ou 280t/dia). A Figura 10 apresenta o esquema de uma planta de incineração.



Figura 10: incinerador de RSU.



Fonte: (FADE/BNDES, 2012).

Segundo Tchobanoglous *et al.* (1993) os processos térmicos são diferenciados em função da utilização ou da necessidade de ar. Combustão com a utilização da quantidade exata de oxigênio (ou ar) necessária para a combustão completa é chamada de combustão estequiométrica. Combustão que utiliza excesso de ar em relação a necessidade estequiométrica é definida como combustão com excesso de ar, ou simplesmente, de incineração. Gaseificação é a combustão parcial dos resíduos sólidos sob condições subestequiométricas para geração de um gás combustível contendo monóxido de carbono, hidrogênio, e gases de hidrocarbonetos. Pirólise é o processamento térmico dos resíduos na ausência absoluta de oxigênio.

Segundo McDougall *et al.* (2001) a incineração de resíduos sólidos apresenta algumas vantagens: a redução de volume que pode ser reduzido em até 90 %, a diminuição da massa variando de 70 a 75 %. Favorecendo ganhos econômicos e ambientais; estabilização dos resíduos, as cinzas oriundas do incinerador são consideradas mais inertes que o material inserido no equipamento, reduzindo também a geração de biogás e lixiviado. E por fim a recuperação de energia dos resíduos, através da valoração, antes de um pré-tratamento. Todas as modernas plantas de incineração de RSU existentes atualmente têm sistemas acoplados de geração de energia, de modo que são energeticamente autossuficientes e comercializam o excedente (energia elétrica ou vapor) para fora da planta.

Como uma das principais desvantagens do processo (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993) destaca o tratamento dos efluentes (gases, líquidos e cinzas) dos sistemas de tratamento, além dos custos do sistema de controle ambiental, podendo em muitos casos, serem mais caros que do o próprio sistema de combustão propriamente dito.

#### 2.7.6 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

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

Segundo Silva (2013), o aterro sanitário constitui um sistema complexo e dinâmico, com processos de reações físico-químicas e microbiológicas com influência constante dos agentes naturais que agem como fatores intervenientes da biodegradação dos resíduos interferindo no potencial de geração de biogás.

Lange *et al* (2003) estabelece que a elaboração de aterros devem considerar o sistema de operação, drenagem de águas pluviais, impermeabilização da base do aterro, cobertura final, drenagem de líquidos lixiviados, drenagem de biogás, análise de estabilidade de maciços de solo e resíduos,



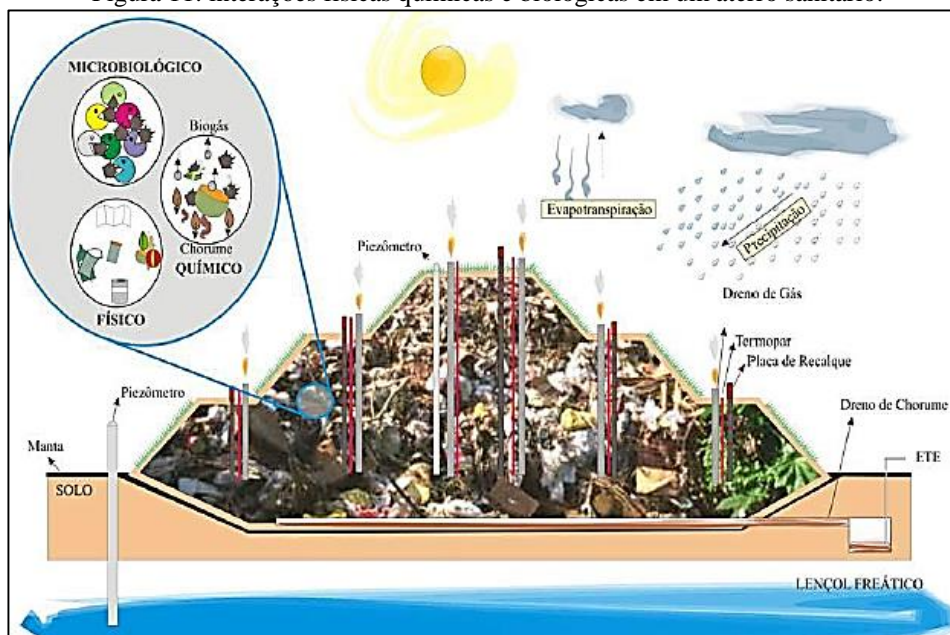
sistema de monitoramento e fechamento de aterro. Segundo a origem e periculosidade dos RSU os aterros podem ser classificados em aterros de resíduos perigosos e aterros de resíduos não perigosos.

Conforme a (ABNT, 2010) os aterros podem ser classificados como: aterros de pequeno porte, aqueles com disposição no solo de até vinte toneladas por dia. Aterros de pequeno porte em valas são aqueles em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados. Aterros de pequeno porte em trincheiras, aqueles com escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracterizam por confinamento em três lados e operação mecanizada.

Aterros de pequeno porte em encosta, aqueles com disposição no solo caracterizada pelo uso de taludes pré-existentes, usualmente implantados em áreas de ondulações ou depressões naturais, encostas de morros ou pedreiras e áreas de mineração desativadas. Aterros de pequeno porte em áreas, disposição no solo, caracterizados pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural.

O processo de decomposição dos RSU regido por fatores como estrutura, operação do aterro, composição físico-química dos resíduos e produtos resultantes da decomposição, além das características ambientais as quais os aterros encontram-se inseridos (Figura 11).

Figura 11: interações físicas químicas e biológicas em um aterro sanitário.



Fonte: Firmo (2006).

Destacam-se como as maiores vantagens da tecnologia: o recebimento de resíduos de diversas naturezas, recuperação de áreas topograficamente inutilizadas, controle da proliferação de vetores, operação não requer pessoal altamente especializado, a utilização como digestor anaeróbio para aproveitamento energético do biogás, além de os custos de instalação e operação são, em geral, mais baixos do que outras alternativas de tratamento (FADE/BNDES, 2012).

As de desvantagens do processo estão associadas a necessidade de grandes áreas para aterro, despesas com transporte dos resíduos, além do período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo os efluentes líquidos e gasosos e o monitoramento pós fechamento que requer custos.

Segundo Lima (2012) considerou os custos da tecnologia, para aterros sanitários com e sem geração de energia. O autor adotou como base para os cálculos os custos em função de pesquisa do autor e do estudo da ABETRE e FGV para o Brasil (2011). Os custos adotados em reais por tonelada, descritos na Tabela 7.

Tabela 7: custos da tecnologia aterro sanitário sem geração de energia (A). Custos da tecnologia aterro sanitário com geração de energia (B).

(A)		(B)	
Custo por atividade	Valor em (R\$/t)	Custo por atividade	Valor em (R\$/t)
Investimento em tecnologia	12,00	Investimento em tecnologia	12,00
Operação e manutenção	8,00	Operação e manutenção	8,00
Encerramento da tecnologia	1,00	Encerramento da tecnologia	1,00
Pós-monitoramento	6,00	Pós-monitoramento	6,00

Fonte: Lima (2012).

## 2.8 Processo de apoio a decisão para a gestão de RSU

O processo de apoio a decisão pode ter origem no século XVIII (HAMMOND; KENNEY; RAIFFA, 2001). Relatando a carta de Benjamin Franklin para Joseph Priestly em 1772, descrevendo o que Franklin chamou de álgebra moral. Esse método propunha um modelo de trocas entre alternativas.

Problemas de decisão com múltiplos critérios de escolha consistem em uma situação, onde há pelo menos duas alternativas de ação para escolher e a escolha é direcionada com intuito de atender múltiplos objetivos, geralmente conflitantes entre si (ALMEIDA, 2011).

Antes da ação no processo de tomada de decisão deve ser feita a análise e a escolha dentre as alternativas disponíveis, considerando os riscos e incertezas. O momento da escolha (*trade-off*) é

dificultado devido a quantidade de alternativas a serem escolhidas. E fazer o *trade-off*, é um dos mais importantes desafios do processo decisório, devido às consequências de cada alternativa (SILVA, 2013).

Para desenvolver a decisão sobre as questões ambientais é necessário estabelecer as referências de desempenho sob quais bases a avaliação será tomada. Conseqüentemente a alternativa será melhor que outra quando os critérios considerados relevantes apresentarem os resultados em média mais satisfatórios (PHILIPPI JR, 2004). Exigindo dos tomadores de decisão uma ação racional, empenhada e vinculada às questões técnicas, econômicas e sociais. Proporcionando a redução dos riscos, das incertezas e potencializando os resultados satisfatórios (LUPATINI, 2002).

O processo de decisão geralmente inseridos em um ambiente complexo, com dados imprecisos ou incompletos, envolvendo múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si, exige dos atores identificados como “facilitadores” ou “decisores”, a busca pelo melhor desempenho, melhor avaliação ou a melhor relação entre seu juízo de valor e os meios disponíveis a ele.

O processo de tomada de decisão para a gestão dos resíduos sólidos urbanos pode ser diferenciado historicamente até o início da década de 1990. Com o gerenciamento dos RSU baseado na coleta e no transporte sem qualquer separação de resíduos dos domicílios aos locais de disposição, normalmente a céu aberto (“lixões”) ou aterros sanitários.

Posterior a essa fase foram desenvolvidas técnicas melhoradas de tratamento e aterros sanitários mais seguros. Os sistemas mais complexos implantados no Brasil executavam agora a separação de recicláveis e de resíduos perigosos na origem e unidades de reciclagem e compostagem. E alternativas como a incineração e a digestão anaeróbia davam os primeiros passos com intuito de serem aplicadas em diferentes cidades brasileiras Destaca-se ainda a adoção de tecnologias mais avançadas como camadas impermeabilizantes da base, drenagem e tratamento de lixiviados e aproveitamento energéticos do biogás gerado (REICHERT, 2013).

Seguindo o processo evolutivo no gerenciamento de resíduos sólidos, ferramentas computacionais começaram a ser desenvolvidas nos países desenvolvidos. Destacando-se três gerações de modelos:

- Nos anos 1970 (primeira geração): analisando a definição de roteiros de coleta e localização de áreas para aterros sanitários;
- Nos anos 1980 (segunda geração): incluía aspectos ambientais e de custos
- Nos anos 1990 (terceira geração): baseada na análise e avaliação de ciclo de vida. Atualmente os modelos mais utilizados aliam aspectos ambientais, econômicos e sociais como o IWM-2 (SALHOFER *et al.*, 2007) (MCDOUGALL *et al.*, 2001).

A atenção sobre os três aspectos considerados nos modelos da terceira geração são extremamente complexos, na prática a concepção desse cenário torna-se antagônico e o decisor, muitas vezes, com os recursos disponíveis, são incapazes de executar a redução de custos, minimização dos efeitos ambientais e atenção aos aspectos sociais por exemplo (SALHOFER *et al.*, 2007).

A atribuição de pesos é um fator fundamental do apoio à decisão para a gestão dos resíduos sólidos urbanos. A análise qualitativa de sobre um cenário podem promover informações sobre diferentes alternativas sem seu devido peso atribuído, as informações não resultariam, necessariamente em uma solução adequada.

Segundo Moberg (2006) a atribuição dos pesos está vinculada ao uso de algum tipo de método de atribuição de pesos utilizado pelo decisor. Levando em consideração as dimensões ambiental, econômica e social. Na Europa a ACV – avaliação do ciclo de vida é apontada como uma das ferramentas mais promissoras no processo de tomada de decisão estratégica em gerenciamento de resíduos urbanos.

No Brasil (MASSUKADO, 2004) desenvolveu uma metodologia com aplicação computacional de sistema de apoio à decisão baseada uso da técnica Delphi para construção de cenários e faz a avaliação dos sistemas. Onde a maior vantagem do sistema de não é a simulação exata do problema, mas a possibilidade de poder avaliar os padrões de comportamento do sistema. O método Delphi, desenvolvido na década de 50 pela RAND Corporation (Califórnia, EUA), tinha o objetivo de obter consenso sobre um determinado evento, a partir da opinião de peritos por meio de uma série de questionários. As maiores características do método são: o anonimato dos respondentes, a representação estatística dos resultados e o retorno (*feedback*) das respostas (MASSUKADO, 2004).

De acordo com (BARLISHEN e BAETZ, 1996) para utilização adequada de uma ferramenta de apoio a decisão deve ser levado em consideração: a composição e as quantidades geradas de resíduos, a diminuição da geração e o reuso, a reciclagem e a compostagem, as opções de tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos.

Devem ser levados em consideração os critérios ou indicadores para a sustentabilidade econômica: custo por tonelada ou por domicílio ou por pessoa, ganhos ou entradas financeiras da recuperação de materiais ou de energia, participação percentual do custo do sistema de gerenciamento de resíduos no PIB do município, e a diferença entre ganhos e gastos no sistema de gerenciamento de resíduos (REICHERT, 2013)

### 2.8.1 Construção de cenários

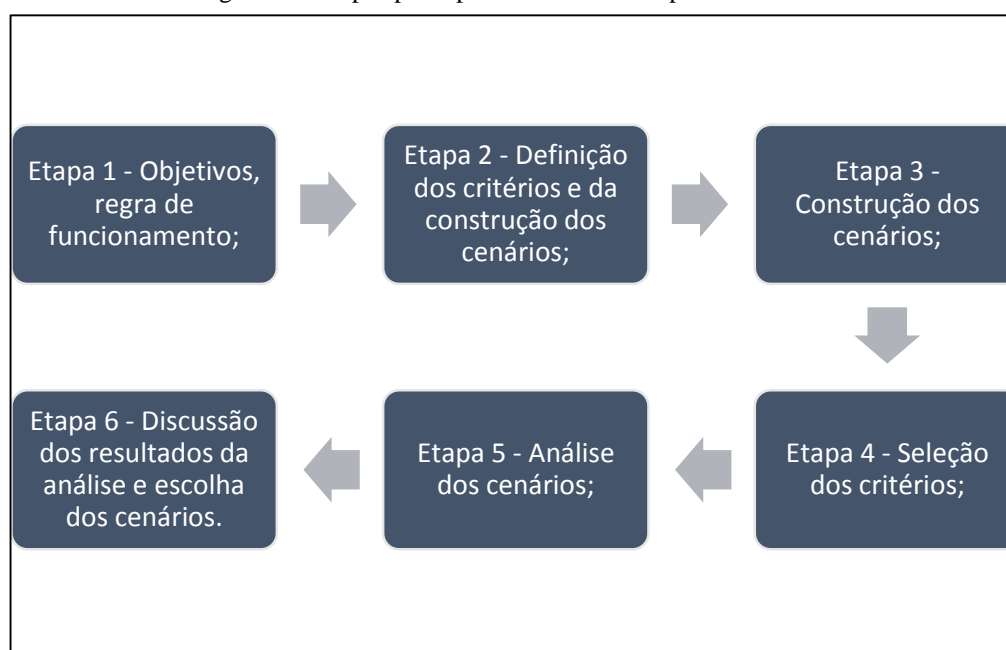
Segundo Reichert (2013) a construção de cenários é uma ferramenta para ordenar percepções sobre ambientes futuros alternativos visando a percepção do futuro, e tem como principais benefícios facilitar o processo de entendimento do ambiente e suas influências, propiciar maior consistência interna no processo decisório, conhecer as inter-relações entre fatores externos e internos à empresa, dar ênfase aos aspectos de interações entre os concorrentes, receber elementos para a formulação das estratégias empresariais.

Para (KATO, 2007), os cenários são primordiais como instrumentos para o planejamento estratégico. E seus principais benefícios na construção de cenários são: facilitar o processo de entendimento do ambiente e suas influências; propiciar maior consistência interna no processo

decisório; conhecer as inter-relações entre fatores externos e internos à empresa; dar ênfase aos aspectos de interações entre os concorrentes; receber elementos para a formulação das estratégias empresariais.

Segundo Salhofer *et al.* (2007) na construção de cenários os elementos chave da situação inicial devem ser analisados. Para o caso específico do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, os cenários recorrem a um conjunto de técnicas, organização das informações e das hipóteses. No processo de decisão destacando-se a construção de cenários (Figura 12). Em relação aos resíduos sólidos foram hierarquizados alguns cenários devendo ser considerados diferentes opções de coleta, reciclagem e tratamento para cada um dos materiais pertencentes ao fluxo de resíduos (SALHOFER *et al.*, 2007).

Figura 12: etapas principais de estudo de suporte à decisão.

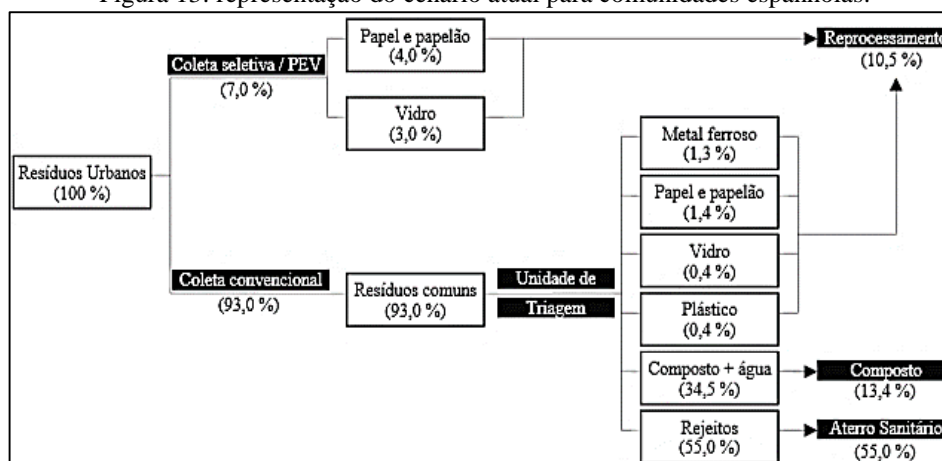


Fonte: (SALHOFER *et al.*, 2007).

Bovea e Powell, 2006 analisaram três modelos de cenários para comunidades espanholas. O primeiro cenário “Cenário atual” o sistema de coleta consiste em uma coleta seletiva em pontos de entrega voluntária, PEV apenas de vidro e papel e papelão que são enviados para centros de reprocessamento. Os resíduos comuns são coletados em contêineres colocados na via pública e enviados para unidades de triagem. Os rejeitos são enviados a um aterro sanitário.

Os resíduos recicláveis são enviados para o centro de reprocessamento e os resíduos putrescíveis são enviados para a planta de compostagem (Figura 13).

Figura 13: representação do cenário atual para comunidades espanholas.

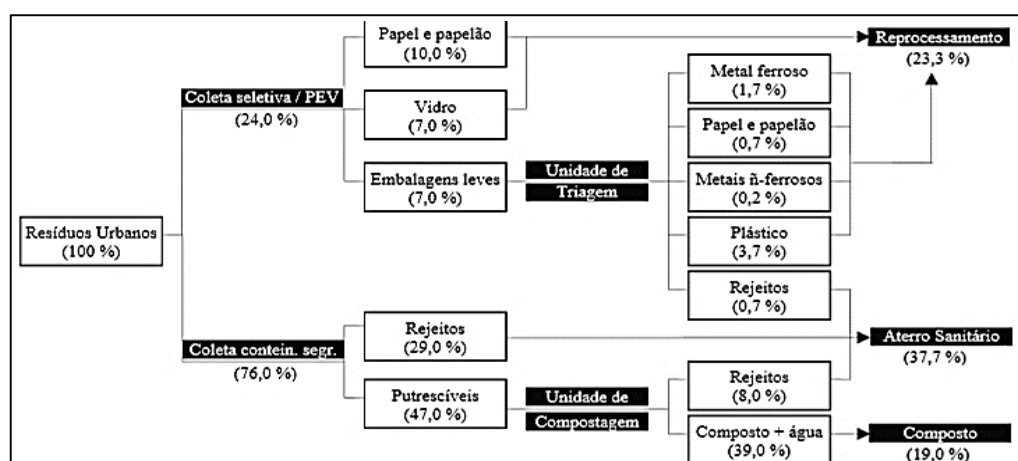


Fonte: (BOVEA e POWELL, 2006).

O segundo cenário “Cenário recuperação de putrescíveis” ocorre a separação dos resíduos em três frações: putrescíveis, rejeitos e recicláveis. Os dois primeiros resíduos são depositados em dois diferentes contêineres colocados em via pública com distâncias não superiores a 50 m. Os putrescíveis são enviados à unidade de compostagem, e os rejeitos ao aterro sanitário.

Os recicláveis, separados na fonte são coletados em contêineres em PEVs, sendo o papel, papelão e vidro enviados para os centros de reprocessamento em quanto as embalagens leves são enviadas às unidades de triagem, sendo separadas em frações distintas (Figura 14).

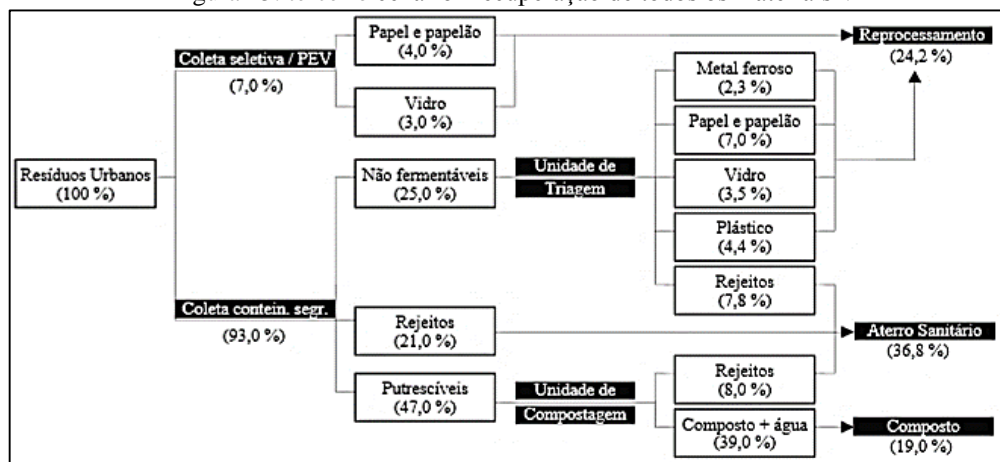
Figura 14: segundo cenário "recuperação de putrescíveis".



Fonte: (BOVEA E POWELL, 2006).

O terceiro cenário é característico pela ênfase na qualidade dos materiais recuperáveis, tanto os orgânicos putrescíveis como os recicláveis utilizando unidades de triagem, compostagem, aterro sanitário e a prática do reprocessamento, como apresentado na (Figura 15).

Figura 15: terceiro cenário “recuperação de todos os materiais”.



Fonte: (BOVEA E POWELL, 2006).

## CAPÍTULO 3

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Desenvolvimento da metodologia

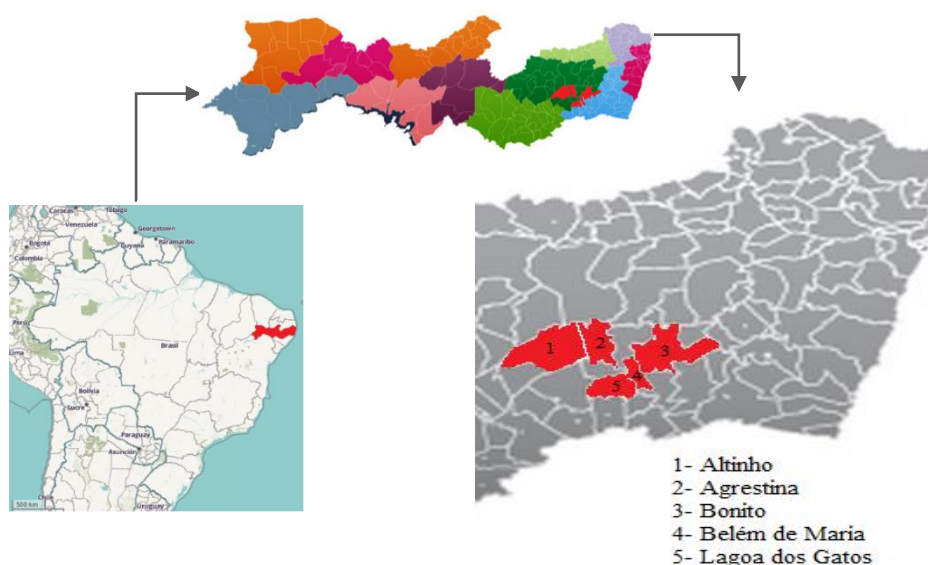
A metodologia foi desenvolvida a partir da seguinte composição:

- 1) Caracterização do local de estudo
- 2) Formulação das rotas tecnológicas (utilizando a ferramenta de apoio a decisão ISW 1.0)
- 3) Uso das ferramentas e preparação das informações levantadas
- 4) Análise das rotas e resultado da ferramenta em comparação com o PNRS e o PERS
- 5) Sensibilidade das rotas e da ferramenta de acordo com a alteração na composição gravimétrica, e propriedades físico-químicas (teor de umidade, teor de sólidos voláteis, pH e condutividade elétrica)

#### 3.2 Análises das características gerais dos municípios

A região estudada é composta de cinco municípios de pequeno porte, quatro deles localizados na RD – Região de Desenvolvimento do Agreste Central: Agrestina, Altinho, Lagoa dos Gatos e Bonito e um na RD Mata Sul: Belém de Maria, todos no estado de Pernambuco (Figura 16). Os municípios apresentam baixo grau de desenvolvimento econômico, com média populacional de aproximadamente 22.600,6 habitantes, segundo estimativas do IBGE para o ano de 2014. Sendo o menos populoso, Belém de Maria com 11.777 habitantes e o mais populoso o município de Bonito com 38.278 habitantes.

Figura 16: localização dos municípios consorciados que depositam resíduos no aterro do COMAGSUL.



Fonte: BDE (2015).



Estes municípios fazem parte do COMAGSUL- Consórcio dos Municípios do Agreste e Mata Sul, regidos pela resolução nº14/2013 Estatuto Social, publicado no diário oficial do estado de Pernambuco nº29, pág. 29 de 12 de fevereiro de 2014. E depositam seus resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário localizado no município de Altinho.

A RD Agreste Central é constituída por 26 municípios (Figura 17), ocupa uma área de 10.103,53 km<sup>2</sup>, possui uma população total de 1.048.968 habitantes (IBGE, 2010), caracterizando uma densidade demográfica de 103,82 hab/km<sup>2</sup>. Gerou para o Estado, em 2009, um PIB de R\$ 6.005,3 milhões de reais, ou seja, 7,7% de toda a geração do estado.

São integrantes dessa RD os seguintes municípios: Jataúba, Brejo da Madre de Deus, Poção, Belo Jardim, Sanharó, Pesqueira, Alagoinha, São Bento do Una, Cachoeirinha, Tacaimbó, São Caetano, Caruaru, Altinho, Ibirajuba, Panelas, Cupira, Agrestina, São Joaquim do Monte, Camocim de São Félix, Bezerros, Riacho das Almas, Gravatá, Barra de Guabiraba, Bonito, Sairé e Lagoa dos Gatos (SEMAS, 2012).

Figura 17: municípios da RD Agreste Central, destacados quatro municípios consorciados.



Fonte: SEMAS (2012).

A região de desenvolvimento-RD da Mata Sul está localizada na Zona da Mata pernambucana, é constituída por 24 municípios, com uma área de 5.161,59 km<sup>2</sup> e população total de 733.447 habitantes (IBGE, 2010), o que representa uma densidade demográfica de 142,10 hab/km<sup>2</sup>. Gerou para o Estado 2009, o PIB de R\$ 3.938,3 milhões de reais, equivalente a 5,0% do PIB de Pernambuco.

São integrantes dessa região de desenvolvimento os municípios de: Vitória de Santo Antão, Pombos, Chã Grande, Primavera, Escada, Amaraji, Cortês, Ribeirão, Sirinhaém, Gameleira, Joaquim Nabuco, Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros, São José da Coroa Grande, Água Preta, Palmares, Xexéu, Maraial, Belém de Maria, Catende, Jaqueira, São Benedito do Sul e Quipapá. Os municípios de maior destaque são Vitória de Santo Antão, Escada e Palmares (SEMAS, 2012) (Figura 18).

Figura 18: municípios da Região de Desenvolvimento Mata Sul - RD 10.



Fonte: SEMAS (2012).

Os municípios de Altinho, Agrestina, Bonito, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos apresentam a economia fundamentada nos serviços, seguido pela indústria e agropecuária. Vale destacar o potencial de confecções familiares de pequeno porte, sobretudo nos municípios de Altinho, Agrestina, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos, dando suporte a grandes centros de confecção da região, como Caruaru. E o potencial turístico no município de Bonito.

A disposição final de resíduos sólidos dos municípios é realizada no local onde atualmente encontra-se o aterro sanitário de Altinho/Agrestina, o “Sítio Juá” 8°28’27.69”S; 36°00’26.67”O no município de Altinho (Figura 19). A princípio, o local não passava de um lixão, sendo os resíduos dispostos a céu aberto, com a presença de catadores vivendo e trabalhando no local. A partir dessa situação a comarca de Altinho, por meio da promotoria de justiça moveu uma ação judicial, processo nº463-87.2010-ação cautelar, visando a extinção do lixão e regularização da área como aterro sanitário, a ação previa, dentre outras coisas: a instalação de um aterro sanitário, a retirada da população que residia no local, a recuperação da área, dentre outras medidas exigidas pela Lei nº 12,305/2010. O não cumprimento dessas medidas geraria aos municípios: multa diária de cinquenta mil reais, intervenção judicial retendo o montante de 20% das transferências repassadas do governo federal para os municípios. Foram acordados termos de ajustamento de conduta para tais fins e demais ações, junto ao COMAGSUL e os municípios consorciados. Más, apesar dos esforços, os municípios sofreram as sanções do poder judiciário, e o aterro sanitário opera atualmente sob intervenção judicial conforme o processo nº463-87.2010.

Figura 19: aterro sanitário de Altinho - Sítio Juá - Zona Rural de Altinho; 8°28'27.69"S; 36°00'26.67"O. (I) estação de tratamento de efluentes; (II) células de deposição dos RSU; (III) setor administrativo e balança.



Fonte: (GOOGLE Earth, 2015).

### 3.2.1 Indicadores sócio ambientais de Altinho

O município de Altinho faz parte da Região de Desenvolvimento Agreste Central. Apresenta a altitudes de 454 m e dista à capital 161,8 km, apresentando dois distritos: Altinho e Ituguacu. O município apresenta clima Tropical e bioma caatinga.

A economia local está dividida setorialmente da seguinte forma: 4,77 % do valor adicionado bruto vem da Agropecuária; 14,04 % da Indústria; 81,18 % de serviços, desse montante 52,15 % advém da administração pública.

Em relação ao saneamento (Rede d'água + Rede de esgoto + Coleta de lixo), o município apresenta 51,32 % de domicílios com saneamento adequado, 14,28 % de domicílios com saneamento Semi-Adequado e 34,4 % de domicílios com saneamento Inadequado. A geração de resíduos sólidos per capita foi de 1,04 kg/hab/dia, com geração total de 8519,36 ton. (SEMAS, 2012) (IBGE, 2010) (BDE, 2015). Os indicadores socioeconômicos de Altinho estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8: indicadores socioeconômicos de Altinho.

Indicadores	Altinho
Área	452,523 km <sup>2</sup>
*População	22.865 habitantes
IDH	0,598
Taxa de urbanização	57,16 %
**PIB per capita	5.158 R\$
Receita	33.120 R\$ mil
Despesa	36.871 R\$ mil

\*população estimada para 2014; \*\* PIB per capita para 2012.

Fonte: BDE (2015).

### 3.2.2 Indicadores sócio ambientais de Agrestina

O município de Agrestina está localizado na Região de Desenvolvimento Agreste Central - RD 08 do Estado de Pernambuco. Possui três distritos: Agrestina, Barra do Chata e Barra do Jardim. A distância até a capital do Estado é de 154 km. Atualmente é composta por três distritos: Agrestina - sede; 2º distrito - Barra do Chata e 3º Distrito - Barra do Jardim. O município apresenta 435 metros de altitude e dista à capital em 149,6 km. A vegetação predominante consiste nos brejos de altitude, caatinga hipoxerófila, capineira e capoeira.

Em relação ao saneamento (Rede d'água + Rede de esgoto + Coleta de lixo), o município apresenta 62,87 % de domicílios com saneamento adequado, 27,54 % de domicílios com saneamento Semi-Adequado e 9,59 % de domicílios com saneamento Inadequado. A geração de resíduos sólidos per capita foi de 0,39 kg/hab/dia, com geração total de 3284,58 ton. (SEMAS, 2012) (IBGE, 2010) (BDE, 2015). Os indicadores socioeconômicos de Agrestina são característicos de municípios de pequeno porte (Tabela 9).

Tabela 9: indicadores socioeconômicos de Agrestina.

Indicadores	Agrestina
Área	200,581 km <sup>2</sup>
*População	24.052 habitantes
IDH	0,592
Taxa de urbanização	74,77 %
**PIB per capita	6.428 R\$
Receita	41.787 R\$
Despesa	42.905 R\$ mi

\*população estimada para 2014; \*\* PIB per capita para 2012.

Fonte: BDE (2015).

### 3.2.3 Indicadores sócio ambientais de Belém de Maria

O município de Belém de Maria está localizado na Região de Desenvolvimento Mata Sul - RD 10 do Estado de Pernambuco. O município possui altitude de 227 m e dista à capital em 158,2 km. Possui dois distritos: Belém de Maria e Batateira.

Em relação ao saneamento (Rede d'água + Rede de esgoto + Coleta de lixo), o município apresenta 32,07 % de domicílios com saneamento adequado, 41,96 % de domicílios com saneamento Semi-Adequado e 25,97 % de domicílios com saneamento Inadequado. A geração de resíduos sólidos per capita foi de 0,71 kg/hab/dia, com geração total de 2971,93 ton. (SEMAS, 2012) (IBGE, 2010) (BDE, 2015). A economia local está dividida setorialmente da seguinte forma: 4,82 % do valor adicionado bruto vem da Agropecuária; 12,92 % da Indústria; 82,25 % de serviços, desse 56,70 % advém da administração pública (considerada como serviços). Os indicadores socioeconômicos de Belém de Maria estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10: indicadores socioeconômicos de Belém de Maria.

Indicadores	Belém, de Maria
Área	75,141 km <sup>2</sup>
*População	11353 habitantes
IDH	0,578
Taxa de urbanização	70,39 %
**PIB per capita	4.765 R\$
Receita	21.792 R\$ mil
Despesa	22.502 R\$ mil

\*população estimada para 2014; \*\* PIB per capita para 2012.

Fonte: BDE (2015).

### 3.2.4 Indicadores sócio ambientais de Bonito

O município de Bonito está situado na localidade na Região de Desenvolvimento Agreste Central - RD 08 do Estado de Pernambuco. O município possui altitude de 443 m e dista à capital em 132,6 km. Possui três distritos: Bonito, Alto Bonito e Bentevi. O município apresenta bioma mata atlântica. A vegetação predominante consiste nos brejos de altitude.

A economia local está dividida setorialmente da seguinte forma: 11,58 % do valor adicionado bruto vem da Agropecuária; 16,01 % da Indústria; 72,41 % de serviços, desse montante 43,08 % advém da administração pública (considerada como serviços).

Em relação ao saneamento (Rede d'água + Rede de esgoto + Coleta de lixo), o município apresenta 62,43 % de domicílios com saneamento adequado, 22,17 % de domicílios com saneamento Semi-Adequado e 17,32 % de domicílios com saneamento Inadequado. A geração de resíduos sólidos per capita foi de 0,61 kg/hab/dia, com geração total de 8.320 ton. (SEMAS, 2012) (IBGE, 2010) (BDE, 2015). Os indicadores socioeconômicos de Bonito estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11: indicadores socioeconômicos de Bonito.

Indicadores	Bonito
Área	395,613 km <sup>2</sup>
*População	38.122 habitantes
IDH	0,561
Taxa de urbanização	69,77 %
**PIB per capita	6.386 R\$
Receita	67.525 R\$ mil.
Despesa	60.445 R\$ mil

\*população estimada para 2014; \*\* PIB per capita para 2012.

Fonte: BDE (2015).

### 3.2.5 Indicadores sócio ambientais de Lagoa dos Gatos

O município de Lagoa dos Gatos está situado na localidade na Região de Desenvolvimento Agreste Central - RD 08 do Estado de Pernambuco. O município possui altitude de 464 m e dista à capital em 172,4 km. Possui quatro distritos: Lagoa dos Gatos, Entroncamento, Igarapeassu e Lagoa do Souza. O município apresenta bioma Mata Atlântica.

A economia local está dividida setorialmente da seguinte forma: 4,73% do valor adicionado bruto vem da Agropecuária; 14,96 % da Indústria; 80,31 % de serviços, desse montante 53,60% advém da administração pública (considerada como serviços). Em relação ao saneamento (Rede d'água + Rede de esgoto + Coleta de lixo), o município apresenta 35,85% de domicílios com saneamento adequado, 32,29% de domicílios com saneamento Semi-Adequado e 31,86% de domicílios com saneamento Inadequado. A geração de resíduos sólidos per capita foi de 1,22 kg/hab/dia, com geração total de 6746,30 ton. (SEMAS, 2012) (IBGE, 2010) (BDE, 2015). Os indicadores socioeconômicos de Bonito estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12: indicadores socioeconômicos de Lagoa dos Gatos.

Indicadores	Lagoa dos Gatos
Área	224,947 km <sup>2</sup>
*População	16.131 habitantes
IDH	0,551
Taxa de urbanização	55,34 %
**PIB per capita	4.943 R\$
Receita	28.667 R\$ mil
Despesa	29.620 R\$ mil

\*população estimada para 2014; \*\* PIB per capita para 2012.

Fonte: BDE (2015).

Os municípios de Altinho, Agrestina, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos, apresentam dados característicos de municípios com baixo desenvolvimento socioeconômico (Tabela 13).

Tabela 13: indicadores sociais, econômicos e ambientais dos municípios que depositam resíduos sólidos no aterro do COMAGSUL.

<b>Indicadores</b>	<b>Agrestina</b>	<b>Altinho</b>	<b>Bonito</b>	<b>Lagoa dos Gatos</b>	<b>Belém de Maria</b>
Área da unidade territorial (km <sup>2</sup> )	200,581	452,523	395,613	224,947	75,141
População estimada 2014 (IBGE, 2010)	24.052	22.865	38.122	16.131	11.833
IDH – Índice de desenvolvimento humano (PNUD, 2010)	0,592	0,598	0,561	0,551	0,578
PIB per capita a preços correntes – 2012 (R\$)	6.427,57	5.158,35	6.385,69	4.943,30	4.764,60
Densidade demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	119,91	50,52	96,36	71,71	157,47
Geração per capita (SEMAS, 2012) (kg/hab/dia)	0,39	1,04	0,61	1,22	0,71
Geração de Resíduos 2012 (t)	3.284,58	8.519,36	8.320,65	6.746,30	2.971,93
Compostáveis (%) (SEMAS, 2012)	58,31	58,31	58,31	58,31	62,55
Geração de Resíduos Compostáveis 2012 (t)	1.915	4.968	4.852	3.934	1.859
Recicláveis (%)	25,24	25,24	25,24	25,24	17,86
Geração de Resíduos Recicláveis 2012 (t)	829	2150	2100	1703	531
Rejeitos (%)	16,46	16,46	16,46	16,46	19,59
Geração de Rejeitos 2012 (t)	541	1402	1370	1110	582

Fonte: IBGE (2010); SEMAS (2012).



### 3.3 Amostragem e coleta dos resíduos

No estudo dos municípios que fazem parte desse trabalho: Agrestina, Altinho, Bonito, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos, foi levado em consideração a composição gravimétrica com base na metodologia portuguesa, Portaria nº 851/2009 que é a mesma utilizada pela Comunidade Econômica Europeia (CEE), onde se determina 10 categorias e 21 subcategorias de frações dos resíduos, divididos em: outros resíduos, resíduos perigosos, compósitos vidros, sanitários, madeira/coco, orgânicos, resíduos de jardim, têxtil, metal, papel/papelão e os plásticos divididos em: outros plásticos, PP, PEBD, PET, PEAD, PS, PVC. A metodologia é eficaz na identificação do potencial de aproveitamento dos materiais para fins de reciclagem, aproveitamento e energia.

Foram coletados resíduos novos, dos veículos de coleta. Não existem estudos anteriores para os parâmetros avaliados dos resíduos daquele aterro, em especial para as análises físico-químicas.

O período de coleta e análise *in loco* se deu entre novembro de 2014 e fevereiro de 2015 (Tabela 14).

Tabela 14: dias de coleta e municípios avaliados na caracterização dos RSU do COMAGSUL.

MUNICÍPIOS	DIAS DE ANÁLISE E COLETA
Altinho	18 de dezembro de 2014
Agrestina	21 e 28 de novembro de 2014
Belém de Maria	30 de janeiro de 2015
Bonito	5 e 18 de dezembro de 2014
Lagoa dos Gatos	6 de fevereiro de 2015

Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL nº 001/2014).

Os resíduos foram coletados diretamente após o descarrego. Apenas os municípios de Altinho e Agrestina possuem caminhões compactadores para o transporte dos resíduos. Contudo o único em funcionamento era o compactador do município de Agrestina. Os demais veículos transportavam seus resíduos em caminhões caçamba, caminhões com carroceria de madeira não apropriados para esse fim.

Conforme dados levantados *in loco*, junto às prefeituras, com os empregados que realizam o transporte dos resíduos até o aterro, e dados coletados junto aos colaboradores do aterro sanitário, foi possível perceber que, inexistiu uma padronização de rotas de coletas nos municípios. Fato que ocorre devido ao tamanho reduzido dos municípios, inconstância de geração que viabilize a coleta diária e transporte ao aterro. Os procedimentos de coleta e amostragem foram os mesmos para os cinco municípios e levaram em consideração a abrangência dos serviços de coletas correspondentes a 100% nos cinco municípios. Inicialmente, o veículo de coleta tinha sua massa aferida na balança do aterro, sendo anotada a massa ao entrar no aterro e depois do descarregamento do conteúdo, sendo considerado apenas a massa líquida de resíduos apontado na Figura 20. As coletas foram realizadas de acordo com



as rotas de coleta informadas por cada município consorciado. Os procedimentos foram replicados para os cinco municípios.

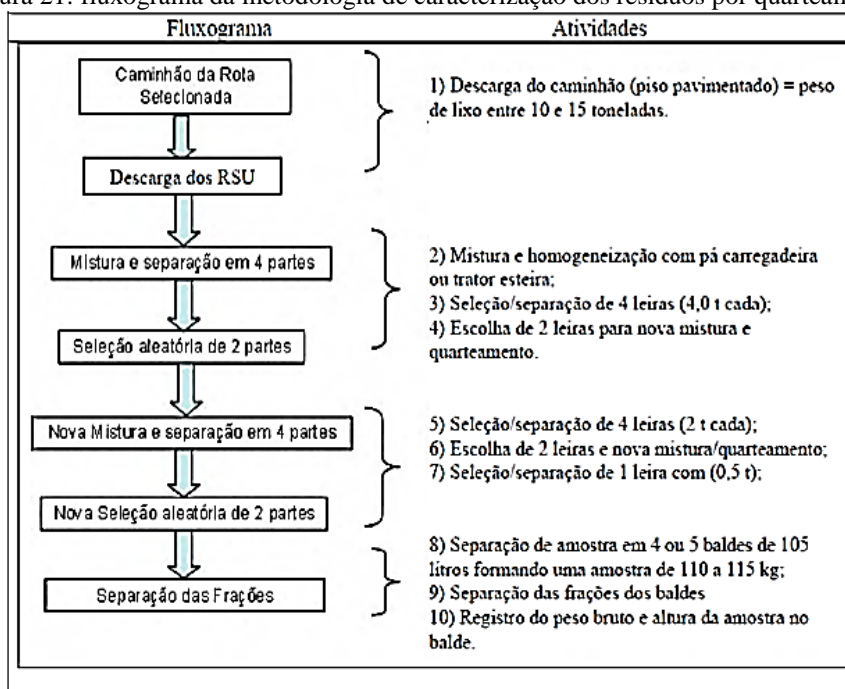
Figura 20: aferição da massa dos resíduos na balança do aterro.



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Os resíduos foram coletados imediatamente após o descarrego, seguindo metodologia de quarteamento descrita em Alcantara (2007), Mariano *et al.* (2007), NBR (10.007), Firmo (2013) descrita na Figura 21.

Figura 21: fluxograma da metodologia de caracterização dos resíduos por quarteamento.



Fonte: Mariano *et al.* (2007).

A seguir, os resíduos foram homogeneizados e quarteados (divididos em quatro partes) com a ajuda de uma escavadora PC (Figura 22). Duas partes foram selecionadas e novamente homogeneizadas para compor a amostra. Dessa amostra foi realizada a composição gravimétrica e selecionado o material para as análises de laboratório.

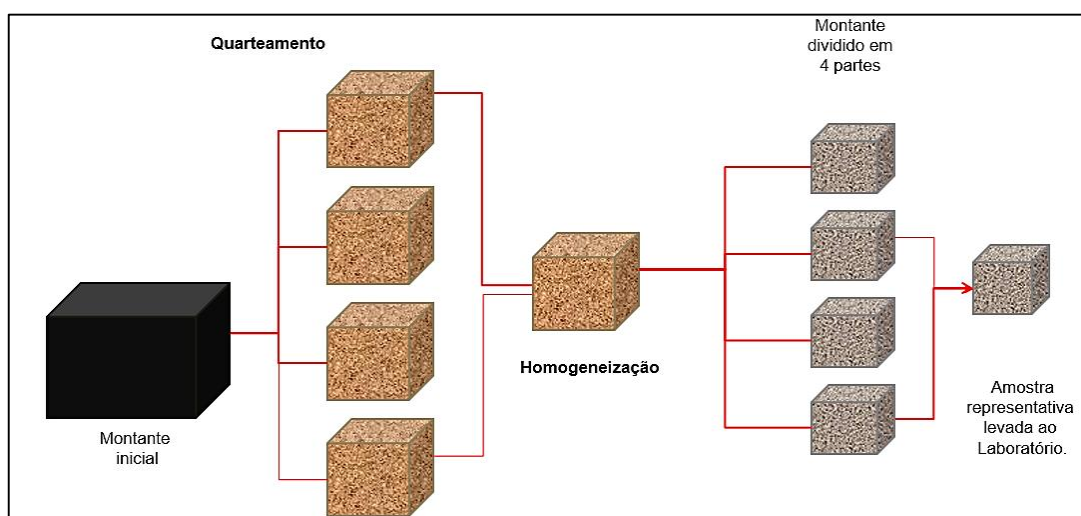
Figura 22: homogeneização dos resíduos (A) quarteamento dos resíduos (B) segunda homogeneização dos resíduos (C) novo quarteamento dos resíduos e seleção de duas amostras (D).



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

O quarteamento pode ser melhor entendido através do esquema demonstrado na Figura 23.

Figura 23: esquema do quarteamento dos resíduos sólidos urbanos.



Fonte: o autor.



Foram coletadas quatro amostras em um recipiente com 100 litros de volume. Cada amostra teve sua massa aferida e posteriormente os resíduos separados por categorias e subcategorias e suas massas pesadas em baldes de 20 litros de volume. A segregação foi realizada por catadoras de recicláveis. (Figura 24).

Figura 24: aferição da massa das amostras (A) orientação quanto a segregação dos resíduos (B) segregação em baldes de 20 litros (C) segregação dos resíduos por categorias (D).



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

### 3.4 Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos

O Brasil não possui uma norma ou legislação específica para a segregação detalhada dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Com isso a execução deste serviço utilizou a legislação portuguesa (Portaria n° 851/2009), a mesma utilizada pela Comunidade Econômica Européia (CEE). Esta legislação permite definir categorias e sub-categorias dos componentes dos resíduos.

Especificamente, esta legislação permite definir categorias e subcategorias dos componentes dos resíduos (Quadro 4).

Quadro 4: categorias e subcategorias dos RSU. Fonte: Diário da República Portuguesa (2009).

CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS
Papel/cartão	Resíduos de embalagens de papel/cartão Jornais e revistas Outros resíduos de papel/cartão
Plástico	Resíduos de embalagens em filme de PE Resíduos de embalagens rígidas em PET Resíduos de embalagens rígidas em PEAD Resíduos de embalagens rígidas em EPS Outros resíduos de embalagens de plástico Outros resíduos de plástico
Vidro	Resíduos de embalagens de vidro Outros resíduos de vidro
Compósitos	Resíduos de embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL) Outros resíduos de embalagens compósitas Pequenos aparelhos eletrodomésticos Outros resíduos compósitos
Têxteis	Resíduos de embalagens têxteis Outros resíduos têxteis
Têxteis sanitários	Resíduos têxteis sanitários
Metais	Resíduos de embalagens ferrosas Resíduos de embalagens não ferrosas Outros resíduos ferrosos Outros resíduos metálicos
Madeira	Resíduos de embalagens de madeira Outros resíduos de madeira
Resíduos perigosos	Produtos químicos Tubos fluorescentes e lâmpadas de baixo consumo Pilhas e acumuladores Outros resíduos perigosos
Outros resíduos	Outros resíduos de embalagens Outros resíduos não embalagens

(\*) Consideram-se Bio-resíduos os resíduos de jardim biodegradáveis, os resíduos alimentares e de cozinha das habitações, dos restaurantes, das unidades de catering e de retalho e os resíduos similares das unidades de transformação de alimentos.

Fonte: Diário da República Portuguesa (2009).

A composição gravimétrica foi realizada em campo, sendo para este estudo os resíduos foram categorizados em 18 tipos de materiais, a saber: (1) resíduos alimentares (orgânicos); (2) resíduos de jardim; (3) papel/papelão; (4) plástico filme; (5) PET; (6) PEAD; (7) PVC; (8) PP; (9) PEBD; (10) outros plásticos; (11) compósitos; (12) têxtil; (13) sanitários; (14) metal; (15) vidro; (16) madeira/coco; (17) resíduos perigosos; (18) outros resíduos (Figura 25).

Figura 25: caracterização das categorias e subcategorias dos resíduos.



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

### 3.5 Características físico-químicas dos resíduos sólidos urbanos

Foram retirados 5kg das amostras destinadas para caracterização, para as análises físico-químicas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados, acondicionados em caixas de isopor com resfriamento e levadas para o laboratório do GRS – grupo de resíduos sólidos da UFPE. Uma fração do material, cerca de 1kg de foi utilizado para determinação do teor de umidade inicial das amostras, pH e condutividade elétrica os outros e 4 kg foram submetidos a corte e processamento para redução do tamanho das partículas e aumento da superfície específica para posterior utilização nos ensaios de determinação de sólidos voláteis.

#### 3.5.1 Teor de umidade

Para a avaliação do teor de umidade nesse estudo foi seguido o procedimento metodológico disposto na NBR 6457 (1986) e descrito por (FIRMO, 2013). O teor de umidade pode ser definido em função da massa úmida (massa total de sólidos e líquidos) ou em função da massa seca (massa seca de sólidos).

Nesse estudo a umidade foi dada em peso úmido ( $\%W_w$ ), onde uma amostra de resíduo com massa conhecida é mantida na estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  até obtermos massa final constante ( $M_{final}$ ). O procedimento foi executado da seguinte forma: os resíduos frescos (resíduos não caracterizados), tiveram sua massa aferida, bem como as frações de cada tipo de resíduo. Foram levados à estufa a  $65^{\circ}\text{C}$  e aferida a massa, a massa foi aferida até que a mesma estabilizasse (Figura 26).

Figura 26: aferição da massa dos resíduos (A). Resíduos dispostos na estufa a 65°C (B).



Fonte: o autor.

O teor de umidade é dado pela diferença entre as massas úmida e final dividida pela massa úmida, multiplicando o resultado por cem para obter o resultado em percentagem (Equação 1).

(1)

$$\%W_w = \frac{M_{\text{úmida inicial}} - M_{\text{úmida final}}}{M_{\text{úmida inicial}}} \times 100$$

Onde

%W<sub>w</sub>: peso úmido

M<sub>inicial</sub>: Massa úmida inicial

M<sub>final</sub>: Massa úmida final

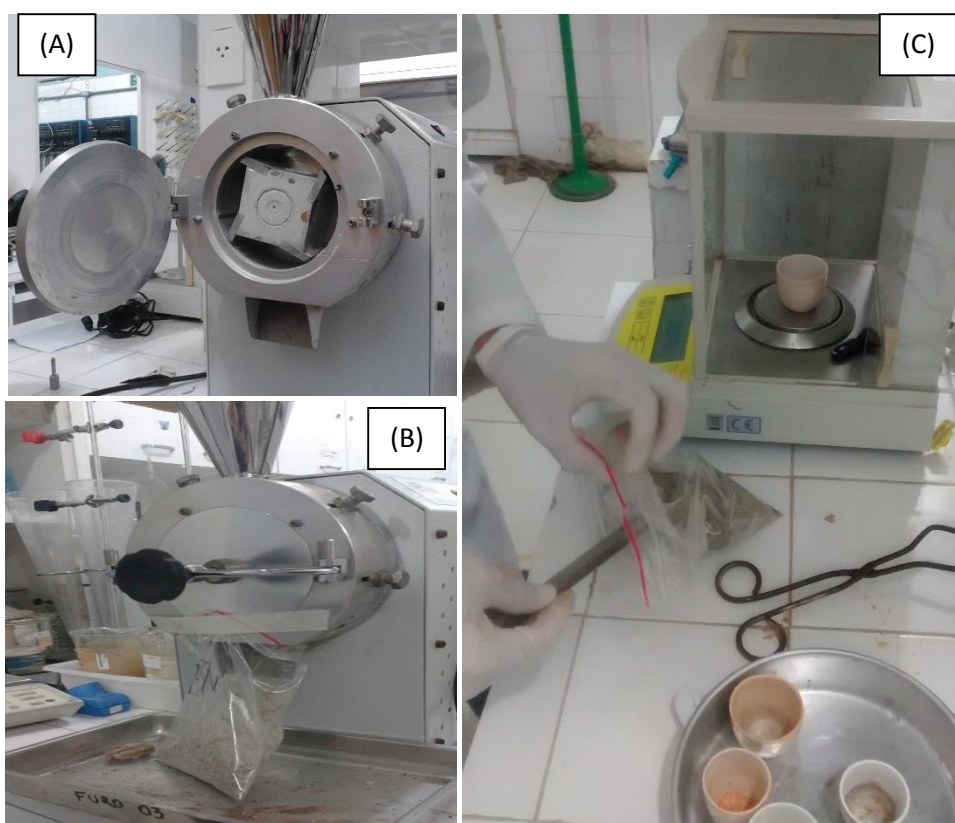
### 3.5.2 Teor de sólidos voláteis

A determinação de teor de sólidos voláteis (SV) é uma determinação indireta da quantidade de matéria carbonácea da amostra de resíduo, devido a análise da amostra percentual de cinzas existentes na amostra. O procedimento metodológico seguiu *World Health Organization* (1979), NBR 13999 (ABNT, 2003) e SWEWW-2540B (2010), (FIRMO, 2013).

Detalhadamente o procedimento se deu inicialmente com a fragmentação, em moinho de facas, dos resíduos secos (resíduos não caracterizados) e seus componentes. Em seguida foi realizada a aferição em balança analítica de cerca de 5g de uma amostra seca (sem umidade) visto na Figura 27.



Figura 27: moinho de facas utilizado para triturar os resíduos (A); resíduo triturado (B); aferição da massa em balança analítica (C).



Fonte: o autor.

Posteriormente o material foi submetido a uma temperatura de calcinação de 600-650°C por um período de 2 horas em mufla. Em seguida, aguardou-se o resfriamento da amostra calcinada na própria mufla, e o material foi transferido ao dessecador a vácuo, para evitar que recebessem umidade e por fim, foi realizada a pesagem para a determinação dos sólidos voláteis (Figura 28).

Figura 28: mufla utilizada para ensaio de sólidos voláteis (A); aferição da massa pós calcinação (C); dessecador a vácuo (B).



Fonte: o autor.

Com essa temperatura a fração orgânica é oxidada a  $\text{CO}_2$  ocorrendo perda de massa. Restando a fração inorgânica ou inerte (FIRMO, 2013). E finalmente efetua-se a aferição da massa do material. O teor de sólidos voláteis é dado (%SV) é dado pela é a massa inicial ( $M_0$ ) (pré-calcinação) menos a massa final ( $M_f$ ) (pós-calcinação) (Equação 2).

(2)

$$\%SV = \frac{(M_0 - M_f)}{(M_f)} \cdot 100$$

Onde:

%SV: teor de sólidos voláteis

$M_0$ : massa inicial

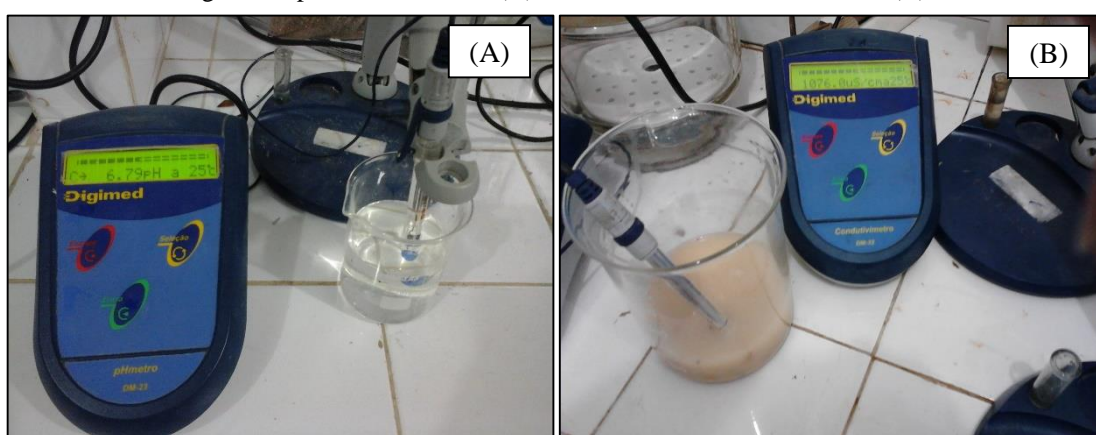
$M_f$ : massa final



### 3.5.3 pH e condutividade elétrica

Foram utilizados o pHmetro e condutímetro da marca Digimed DM32. As análises de pH e condutividade foram realizadas com sensores específicos para a medição desses parâmetros (Figura 29). Para realizar o ensaio foi solubilizado uma quantidade de resíduo fresco, apenas para a formação de um extrato. O resíduo foi mantido em contato com água deionizada isenta de CO<sub>2</sub>, por alguns minutos sob intensa agitação até viabilizar uma única fase e proporcionar melhor homogeneização do extrato. Foi adicionado 250 ml de água deionizada em aproximadamente 100 g de amostra do material sólido esse método está descrito em (CASTILHOS Jr *et al.* 2003), (FIRMO, 2013).

Figura 29: pHmetro utilizado (A) ensaio de condutividade elétrica (B).



Fonte: o autor.

### 3.6 Definições das rotas tecnológicas de tratamento e disposição final

Foram estudadas seis opções de tecnologias (aterro sem aproveitamento energético, aterro com aproveitamento energético, central de triagem, central de compostagem, digestão anaeróbia com aproveitamento energético e incineração com aproveitamento energético). As rotas tecnológicas são utilizadas na ferramenta de apoio à decisão ISW 1.0.

### 3.7 Ferramenta de apoio a decisão Índice de Sustentabilidade Tecnológica (IST)

O *software* denominado Índice de Sustentabilidade Tecnológica-IST- Versão 1.0 foi desenvolvido no âmbito do projeto de pesquisa análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Japão e Estados Unidos, desenvolvido pela fundação de apoio ao desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE.

A ferramenta tem como objetivo facilitar a utilização do índice de sustentabilidade ambiental – IST, formulada em fevereiro de 2014, concebido para servir como ferramenta de apoio a decisão das soluções das tecnologias a serem utilizadas em rotas de tratamento de resíduos sólidos.

### 3.7.1 Descrição da ferramenta e algoritmo

Para implementação da ferramenta de apoio a decisão, foi realizado a formulação de um algoritmo com uma sequência lógica, finita e definida de instruções necessárias visando direcionar na complexidade da formulação do problema até a determinação da condição verificada que consta no manual técnico do usuário (FADE/UFPE, 2014).

O algoritmo apresenta-se dividido em cinco módulos sequencias, considerando sugestões de rotas tecnológicas, observando inicialmente cinco opções de tecnologias: aterro sem aproveitamento energético, aterro com aproveitamento energético, central de triagem, central de compostagem, digestão anaeróbia com aproveitamento energético.

Outras tecnologias de tratamento não são utilizadas neste programa, considerando a inexistência de dados para avaliação, recursos disponíveis no município para o gerenciamento dos resíduos e a baixa utilização no país além disso a ferramenta viabiliza a exclusão de tecnologias.

A ferramenta foi dividida em módulos para a facilitação da entrada de dados onde o primeiro (módulo de inicialização) já é identificado, o aterro sanitário do COMAGSUL, evidenciando: a existência de consórcio, a quantidade de resíduos processada por município, bem como a distância média de cada município ao local de processamento. Vale salientar que o aterro sanitário do COMAGSUL recebe os resíduos de Altinho, Agrestina, Bonito, Belém de Maria e Lagoa dos Gatos.

Após a inclusão das informações acima, o algoritmo propõe o módulo de Políticas Públicas, consistindo na realização de exclusão ou não de alguma tecnologia, através da verificação da existência de restrição para a seleção de determinada tecnologia de tratamento de resíduos, considerando-se assim um módulo de restrições legais.

O módulo 2 tem como premissa a inserção das características dos RSU gerados nos municípios. Assim, através de percentuais, o usuário insere os dados referentes à composição gravimétrica de cada município, permitindo o cálculo da massa de materiais recicláveis (plástico, vidro, metais, papel e papelão), massa de materiais compostáveis (resíduos de jardim, resíduos orgânicos, papel/papelão) e massa de materiais biogênicos (papel e resíduos orgânicos).

O último módulo da ferramenta de apoio à decisão determina o cálculo do índice de sustentabilidade tecnológica. Neste módulo, os indicadores são preestabelecidos através de dados de literatura nacional, em relação as tecnologias de tratamento de RSU. Isso permite o cálculo de um novo índice: o índice de sustentabilidade tecnológica (IST). O IST é composto pelos sub-índices Ambiental (AM), Econômico (EC) e Social (SO), sendo cada sub-índice composto por oito indicadores, totalizando 24 indicadores para a composição do IST.

Os pesos dos indicadores são realizados utilizando as frequências acumuladas das modas das notas dos indicadores, obtidas pelos resultados de pesquisa selecionadas para a composição do índice. As frequências são ponderadas em função da quantidade de indicadores em um mesmo item de avaliação.

A definição dos padrões de desempenho do IST é realizada com base nos dados coletados no qual é estabelecida a base referencial (benchmark) de variação dos indicadores que compõem o IST, para cada uma das tecnologias estudadas. Embasado no método Mín-Máx que permite que os indicadores sejam convertidos para valores entre zero e um a partir de valores máximos e mínimos de referência (benchmarks), permitindo a normalização, utilizando-se duas equações, sendo uma aplicada quando um aumento do valor do indicador atua favoravelmente ao crescimento do índice e outra utilizada na normalização de indicadores cujo aumento de seu valor reduz o valor do índice. O IST calculado pode variar de 0 e 1, possibilita a classificação das rotas de tratamento de resíduos quanto ao seu desempenho ambiental (Tabela 15).

Tabela 15: faixas de Classificação do IST.

Faixas	Classificação
0,9 a 1	Excelente
0,8 a 0,9	Muito bom
0,7 a 0,8	Bom
0,6 a 0,7	Regular
0,5 a 0,6	Tolerável
0,4 a 0,5	Ruim
<0,4	Muito ruim

Fonte: Coelho (2011).

O método Mín-Máx permite que os indicadores sejam convertidos para valores entre zero e um a partir de valores máximos e mínimos de referência (*benchmarks*), permitirá a normalização, utilizando-se duas equações, uma aplicada quando um aumento do valor do indicador atua favoravelmente ao crescimento do índice e outra utilizada na normalização de indicadores cujo aumento de seu valor reduz o valor do índice (Equações 3 e 4).

$$q = \frac{x_{variável} - mín}{máx - mín} \quad (3)$$

$$q = 1 - \left( \frac{x_{variável} - mín}{máx - mín} \right) \quad (4)$$

Onde:

q = valor normalizado do indicador;

$x_{variável}$  = indicador não normalizado;

mín = valor do benchmark inferior (valor mínimo);

máx = valor do benchmark superior (valor máximo).

A formulação matemática do índice agregará os indicadores na combinação para o cálculo final do IST. Assim sendo, serão usados o Somatório e o Produto (Equações 5 e 6)

$$IST = \sum_{i=1}^n wiqi \quad (5)$$

$$IST = \prod_{i=1}^n qi^{wi} \quad (6)$$

Onde:

$w_i$  = peso atribuído a cada indicador cujo somatório é igual a 1;

$q_i$  = valor normalizado do indicador;

$i$  = indicador de desempenho ambiental da tecnologia de tratamento de resíduos sólidos incluído no índice;

$n$  = número total de indicadores do índice

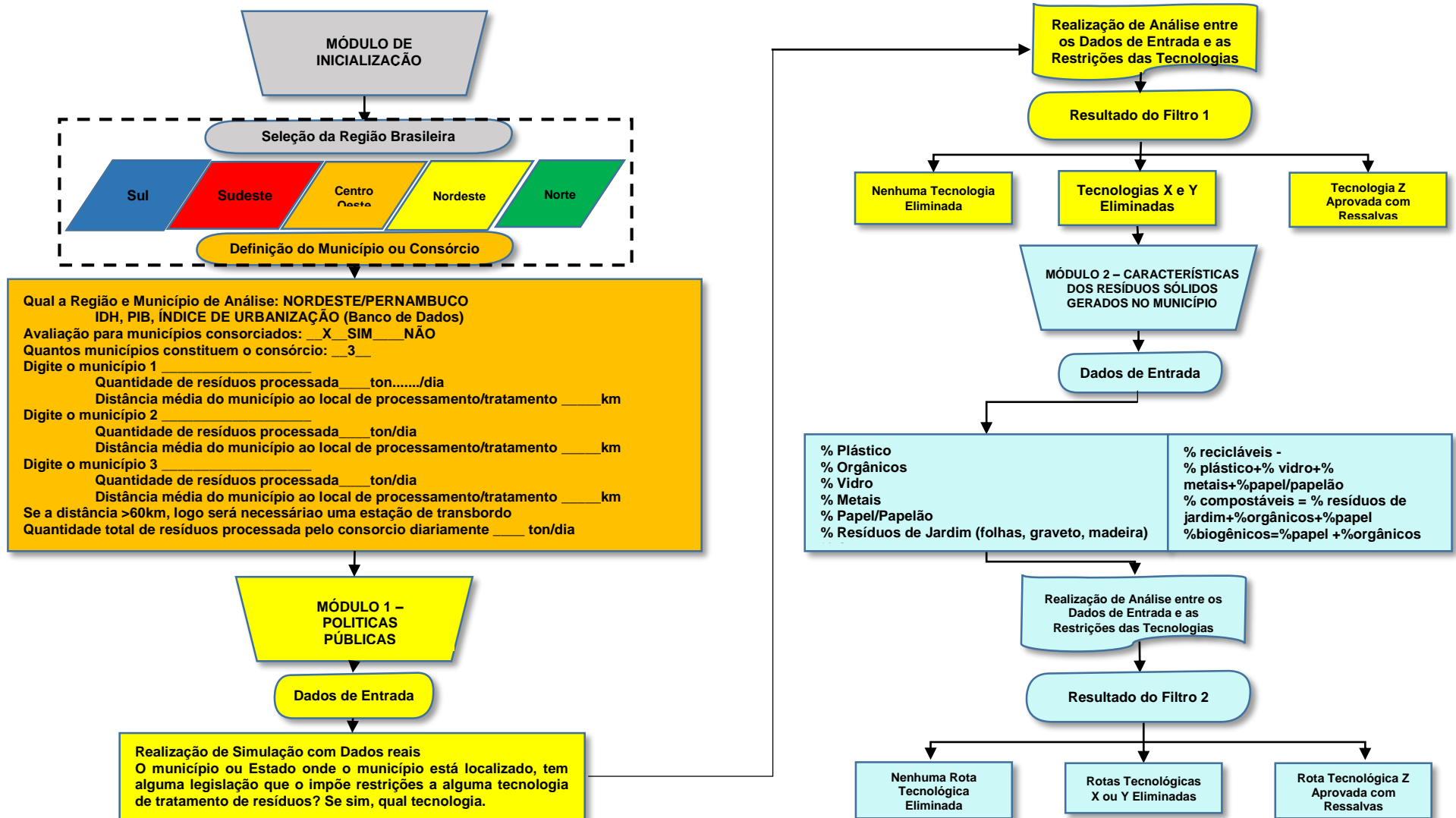
Assim, após a análise da ferramenta, considerando os aspectos socioeconômicos, ambientais e de políticas públicas, o usuário da ferramenta poderá realizar conclusões que enfatizem a melhor tecnologia a ser aplicada para o município ou a melhoria da tecnologia utilizada no cenário atual.

O sistema de equações construído indicará inicialmente que:

1. A matéria orgânica pode ser enviada para a compostagem, digestão anaeróbia, e disposição em aterro;
2. Papel/papelão podem ser encaminhados para digestão anaeróbia, compostagem e aterro;
3. Os plásticos, vidros, metais e madeira podem ter como destino ao aterro (TEIXEIRA, 2004).

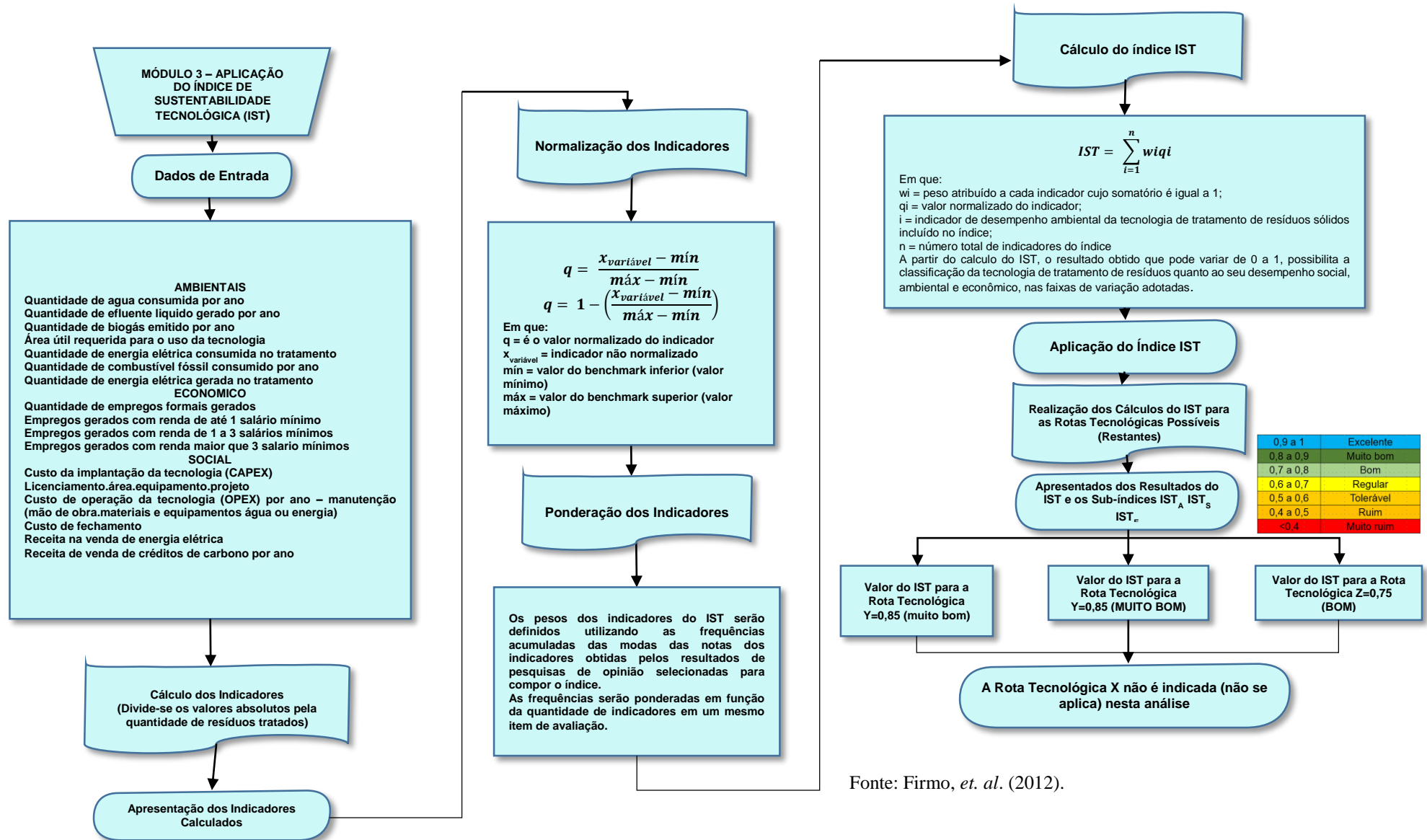
O modelo será inicialmente definido através do uso do Microsoft Excel, por ser de fácil manuseio. E a codificação do modelo utilizando-se a linguagem de programação PHP. Essa linguagem tem como particularidade a fácil acessibilidade, grande conceito de interface visual, fácil entendimento ao público alvo. As Figuras 30 e 31 apresentam um escopo do algoritmo preliminar para a formulação inicial da ferramenta de apoio a decisão.

Figura 30: parte 1 do algoritmo preliminar da ferramenta de apoio a decisão.



Fonte: FIRMO, et. al. (2012).

Figura 31: parte 2 do algoritmo preliminar da ferramenta de apoio à decisão.



Fonte: Firmo, et. al. (2012).

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

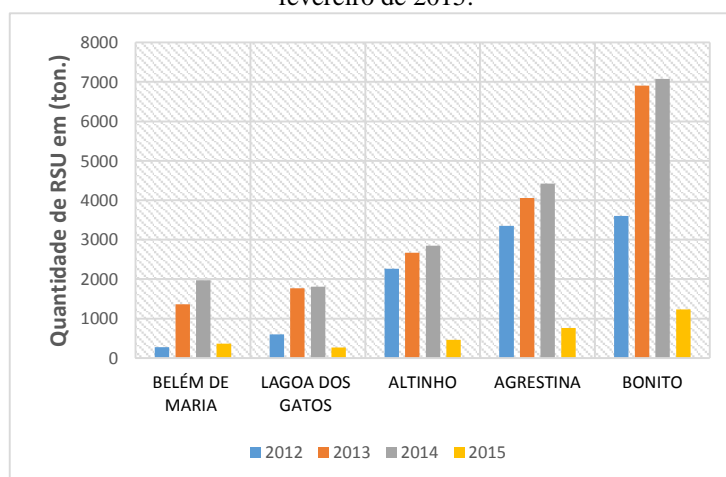
Nesta etapa serão apresentadas e discutidas as possíveis rotas tecnológicas de tratamento de RSU segundo análise das composições gravimétricas, bem como demais dados obtidos *in loco* no aterro sanitário de Altinho. O modo do usuário da ferramenta em estudo, bem como os resultados através do uso da ferramenta de apoio a decisão, utilizando dados de entrada dos municípios de Agrestina, Altinho, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos. Os resultados obtidos serão avaliados em consonância com as exigências do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) e do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

O capítulo traz ainda os resultados obtidos *in loco* da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos dos municípios consorciados do COMAGSUL. E os resultados das análises físico-químicas do teor de umidade, teor de sólidos voláteis, pH e condutividade elétrica dos resíduos.

#### 4.1 Geração Percapita e Geração Anual de Resíduos

Foi observado a partir de dados coletados *in loco* no aterro do COMAGSUL que, entre janeiro de 2012 e fevereiro de 2015 foram depositadas 48.040,046 toneladas de RSU. No acumulado foram gerados 3964, 213 ton. para Belém de Maria, 4438,428 ton. para Lagoa dos Gatos, 8241,278 ton. para Altinho, 12581,46 ton. para Agrestina e 18814,667 ton. para Bonito (Figura 32). Correspondendo a uma taxa de crescimento entre 2013 e 2014 de 44,83% (Belém de Maria), 2,17% (Lagoa dos Gatos), 6,81% (Altinho), 8,99% (Agrestina) e 2,46% (Bonito).

Figura 32: quantidade de RSU dispostos no aterro sanitário do COMAGSUL entre 2012, 2013, 2014 e janeiro/fevereiro de 2015.



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Observa-se uma evolução acentuada na produção de resíduos de 2012 para 2013 com destaque para os municípios de Belém de Maria, Lagoa dos Gatos e Bonito.

Em alguns meses do ano de 2012 os dados não foram computados pelo aterro do COMAGSUL, por motivos de ordem técnica ou operacional (Quadro 5). A aferição da massa dos resíduos foi realizada através do cálculo da média aritmética de três aferições do mês anterior ao mês que não foi realizada a aferição.

Quadro 5: meses que não houveram registro de deposição em 2012.

Municípios	Meses com valores não informados em 2012
Agrestina	maio
Altinho	maio.
Belém de Maria	maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro.
Bonito	fevereiro, maio, junho e julho.
Lagoa dos Gatos	maio, junho, julho, agosto, outubro, novembro, dezembro

Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL nº 001/2014).

Em relação a geração per capita de resíduos, pode-se observar que os cinco municípios que depositam resíduos no aterro sanitário do COMAGSUL apresentam geração média per capita de 0,441 kg/habitante.dia<sup>-1</sup>. Sendo que o município com maior geração foi Agrestina com 0,541 kg/habitante.dia<sup>-1</sup> seguido por Bonito com 0,522 kg/habitante.dia<sup>-1</sup>, Belém de Maria 0,464 kg/habitante.dia<sup>-1</sup>, Altinho 0,351 kg/habitante.dia<sup>-1</sup> e Lagoa dos Gatos 0,325 kg/habitante.dia<sup>-1</sup> (Tabela 16).

A produção per capita de resíduos nesse caso aponta para uma relação proporcional entre o maior desenvolvimento e a geração de resíduos, além de da influência direta do tamanho populacional do município e a renda de sua população o que faz com que Agrestina e Bonito se destacassem como aqueles com maior geração per capita de resíduos.

Tabela 16: quantidade de RSU dispostas no aterro do COMAGSUL em 2014 e geração per capita.

Municípios	Quantidade mensal de RSU média em 2014 (toneladas)	Quantidade de RSU segundo PERS (kg/dia)	População atendida nos municípios do consórcio do aterro (habitantes)	Geração média de RSU per capita em kg/habitante.dia <sup>-1</sup>
AGRESTINA	367,95	12.265,2	22.679	0,541
ALTINHO	240,9	8.030,1	22.865	0,351
BONITO	588,19	19.606,4	37.566	0,522
BELÉM DE MARIA	157,94	5.264,6	11.353	0,464
LAGOA DOS GATOS	152,25	5.074,9	15.615	0,325
<b>TOTAL</b>	<b>1.507,23</b>	<b>50.241</b>	<b>110.078</b>	<b>0,441</b>

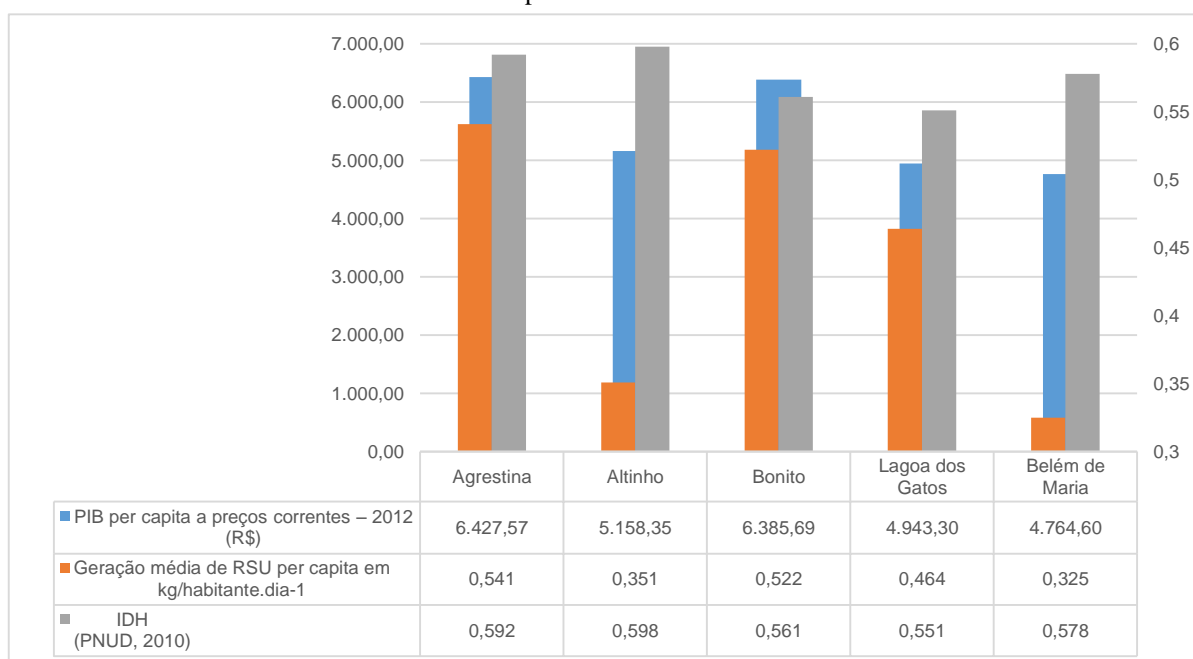
Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL nº 001/2014).



Quando analisados alguns aspectos socioeconômicos como PIB e IDH observa-se que os cinco municípios apresentam padrões semelhantes de desenvolvimento, com baixo índice de desenvolvimento humano e baixo PIB per capita. Essas características têm correlação direta com a geração per capita de resíduos. Contudo vale destacar o município de Altinho que apesar de apresentar o terceiro melhor PIB per capita dentre os municípios, coloca-se em penúltimo lugar em relação a quantidade de resíduos per capita gerados  $0,351 \text{ kg/habitante.dia}^{-1}$  confrontado o que seria esperado para esse município (Figura 33). Outra diferença considerável entre o PIB per capita e a geração per capita observa-se no município de Belém de Maria, apesar de ser aquele de menor PIB o que naturalmente promoveria a menor geração per capita, a diferença entre o PIB e a geração são significativas.

A diferença entre esses dois municípios para os demais pode ser atribuída ao fato da ausência de uniformidade na coleta de resíduos desses municípios o que prejudicaria a quantificação da geração per capita no aterro sanitário.

Figura 33: indicadores socioeconômicos IDH e PIB per capita e geração per capita de resíduos sólidos para os municípios do COMAGSUL.



Fonte: BDE (2015), o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

A quantidade de resíduos produzidas em cada cidade, reflete a correlação existente entre a produção resíduos e seu grau de desenvolvimento, uma vez que as maiores quantidades foram geradas pelos municípios de melhores indicadores sócio-econômicos, corroborando com as afirmações de (PHILIPPI JR, 2014), (JARDIM, 2012) (BARROS, 2012).

Para os municípios de Altinho, Agrestina, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos, os dados de geração per capita divergem daqueles dispostos no (SEMAS, 2012) e pelo (GRS, 2001). Considerando o espaço temporal entre a pesquisa do GRS e os dados levantados em campo, era de se esperar uma evolução quanto a geração. Vale salientar que os dados apresentados pelo (GRS, 2001) e

(SEMAS, 2012) apontavam outra perspectiva socioeconômica daquela observada nos levantamentos *in loco* realizados nesse trabalho. Para Agrestina, houve um aumento da geração per capita observada no PERS passando de 0,39 para 0,541 kg/habitante.dia<sup>-1</sup>. Os demais municípios houve um decréscimo da geração per capita quando comparados os dados do PERS e dados de campo. Isso se deve à metodologia aplicada pelo Plano estadual de Resíduos Sólidos, onde na inexistência de dados de campo para algum município o PERS adotaria a média de geração da região de desenvolvimento ao qual os municípios estivessem inseridos. Por isso a disparidade de valores entre os dados do PERS e os dados obtidos em campo (Tabela 17).

Tabela 17: comparação entre a geração per capita de RSU encontrada *in loco*, e a quantidade informada pelo (PERS, 2012) e (GRS, 2001).

Municípios	Geração média de RSU per capita em kg/habitante.dia <sup>-1</sup> (GRS, 2001)	Geração média de RSU per capita em kg/habitante.dia <sup>-1</sup> PERS, (2012)	Geração média de RSU per capita em kg/habitante.dia <sup>-1</sup>
AGRESTINA	0,39	0,39	0,541
ALTINHO	0,34	1,04	0,351
BONITO	-	0,71	0,522
BELÉM DE MARIA	0,61	0,61	0,464
LAGOA DOS GATOS	0,52	1,22	0,325

Fonte: o autor, (SEMAS, 2012), (GRS, 2001), relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Em relação ao levantamento de geração per capita realizado pelo (SEMAS, 2012) destaca-se a geração indicada para os municípios de Altinho e Lagoa dos Gatos, que divergiram significativamente. Para Altinho a geração obtida foi 2,96 vezes maior do que a encontrada em campo, e para Lagoa dos Gatos a diferença foi ainda maior 3,75 vezes maior.

Vale salientar que o PERS obteve os dados através de fontes secundárias e para os municípios que não apresentavam dados de geração, o valor foi obtido através da média de geração da respectiva Região de desenvolvimento do município o que pode ter causado a disparidade.

Para os municípios do comagsul a geração per capita variou entre 0,325 e 0,541 kg/hab. dia<sup>-1</sup> mantendo esses municípios dentro de uma faixa analisadas por CAMPOS (2012), onde municípios com população de até 30.000 habitantes pode apresentar geração per capita variando entre 0,10 e 2,96 kg/hab. dia<sup>-1</sup>. E para municípios entre 30.001 a 100.000 habitantes considera-se a geração per capita variando entre 0,15 e 2,08 kg/hab. dia<sup>-1</sup>. Os levantamentos de campo apontam que o município de Lagoa dos Gatos foi o detentor da menor geração per capita 0,325 kg/hab. dia<sup>-1</sup> valor bem abaixo do que foi estabelecido pelo (SEMAS, 2012) que previu, para esse município uma geração de 1,22 kg/hab. dia<sup>-1</sup>. Essa quantidade de geração é segundo Hoornweg (2012) a geração per capita média de RSU observada para a America Latina está na ordem de 1,1 kg/hab/dia, com projeção para os municípios com alto rendimento médio até 2025 de 1,6 kg/hab/dia.

## 4.2 Composição gravimétrica dos resíduos

Foram coletados 1138 kg (mil cento e trinta e oito) de resíduos sólidos urbanos utilizados na análise da composição gravimétrica de Altinho, Agrestina, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos. Os resíduos coletados apresentaram maior predominância do componente orgânicos compatível com aquilo descrito por (FIRMO, 2013); (ALCÂNTARA, 2007); (MACIEL, 2009); (GRS, 2001); (BARROS, 2012); (SEMAS, 2012).

Percentualmente divergiram em relação aos dados do (GRS, 2001); (SEMAS, 2012) apresentando uma redução em Agrestina de 57,7% para 30,2%; Bonito de 57,1% para 28,8%; Lagoa dos Gatos de 63,4% para 42,7%, Belém de Maria de 59,91% para 31,7% e Altinho de 63,4% para 24,5% respectivamente com maior participação em massa (Tabela 18). Destaca-se a presença de Bonito com produção de resíduos orgânicos superiores ao município de Altinho, apesar desse município apresentar um grau de desenvolvimento econômico maior. Devido ao baixo grau de desenvolvimento econômico era de se esperar uma composição de matéria orgânica acima de 50% entretanto o acesso aos bens de consumo e a proximidade de um grande centro logístico e econômico como Caruaru, viabiliza a aquisição de bens de consumo favorecendo a redução de resíduos orgânicos e aumentando outras classes de resíduos sobretudo os plásticos.

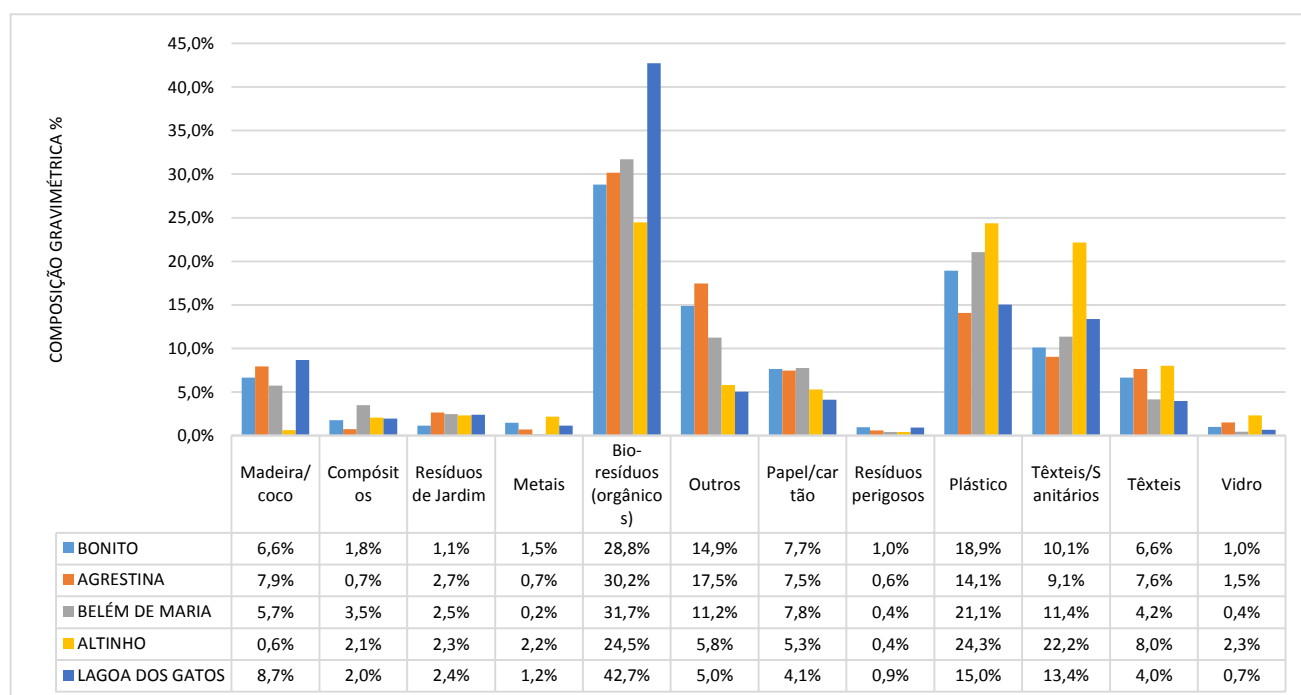
Tabela 18: comparação das percentagens de resíduos orgânicos, descritos em GRS 2001, SEMAS 2012 e obtidos

<b>Municípios</b>	<b>Coletas <i>in loco</i></b>	<b>GRS 2001</b>	<b>SEMAS, 2012</b>
Agrestina	30,2%	57,7%	57,7%
Bonito	28,8%	57,1%	57,1%
Lagoa dos Gatos	42,7%,	63,4%	63,4%
Belém de Maria	31,7%	59,91%	59,91%
Altinho	24,5%	63,4%	63,4%

Fonte: o autor, GRS (2001), SEMAS (2012), relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Essa redução da quantidade de matéria orgânica, dentre outros fatores, pode ser correlacionada ao modo de vida, responsável pela substituição de alimentos *in natura* por ultraprocessados (REINALDO, 2015) a Figura 34 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos dos municípios consorciados apontando a redução de matéria orgânica e destacando a presença dos componentes plásticos e resíduos têxteis e têxteis sanitários.

Figura 34: composição gravimétrica dos resíduos do aterro sanitário do COMAGSUL.



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL nº 001/2014).

Pode-se destacar ainda a predominância de resíduos orgânicos nos municípios, destacando-se o município de Lagoa dos Gatos com 42,7% seguido por Belém de Maria 31,7%, Agrestina 30,2%, Bonito 28,8% e Altinho 24,5%. A taxa de resíduos orgânicos em todos os municípios influencia diretamente na determinação da rota tecnológica estabelecida pela ferramenta de apoio a decisão, os resíduos orgânicos influenciam na sensibilidade da rota, pois poderia ter indicado a necessidade de tecnologias como a digestão anaeróbia com aproveitamento energético ou na inclusão de aterro energético com aproveitamento energético. Contudo devido ao volume diminuto de resíduos gerados, mesmo para os cinco municípios a ferramenta entendeu que essa tecnologia seria inadequada.

Dentre as variadas categorias de resíduos, destaca-se a categoria “outros”, por apresentar uma parcela considerável na composição da massa de resíduos, o município que apresentou a menor proporção desse material foi de Lagoa dos Gatos (5%) e o maior em Agrestina (17,5%), valores próximos a uma faixa observada por (FILHO *et al.*, 2014) entre 11,5% e 17,91% para a cidade de São Paulo. No Plano Nacional de Resíduos esse resíduo apresentou 16,7%, para os dados do (GRS, 2001) apontaram 5,6% para Agrestina e 24,60% para Bonito.

Essa diferenciação se deve a metodologia aplicada pelos autores que não categorizou os resíduos nas categorias e subcategorias utilizadas para o aterro sanitário do COMAGSUL, ocasionando dessa forma, a diluição da composição gravimétrica para outras categorias dos materiais avaliados (Tabela 19).

Tabela 19: composição gravimétrica dos RSU dos municípios do COMAGSUL.

Classes de resíduos	Bonito	Agrestina	Belém de Maria	Altinho	Lagoa dos Gatos
Madeira/coco	6,6%	7,9%	5,7%	0,6%	8,7%
Compósitos	1,8%	0,7%	3,5%	2,1%	2,0%
Resíduos de Jardim	1,1%	2,7%	2,5%	2,3%	2,4%
Metais	1,5%	0,7%	0,2%	2,2%	1,2%
Bio-resíduos (orgânicos)	28,8%	30,2%	31,7%	24,5%	42,7%
Outros	14,9%	17,5%	11,2%	5,8%	5,0%
Papel/cartão	7,7%	7,5%	7,8%	5,3%	4,1%
Resíduos perigosos	1,0%	0,6%	0,4%	0,4%	0,9%
Plástico	18,9%	14,1%	21,1%	24,3%	15,0%
Têxteis/Sanitários	10,1%	9,1%	11,4%	22,2%	13,4%
Têxteis	6,6%	7,6%	4,2%	8,0%	4,0%
Vidro	1,0%	1,5%	0,4%	2,3%	0,7%

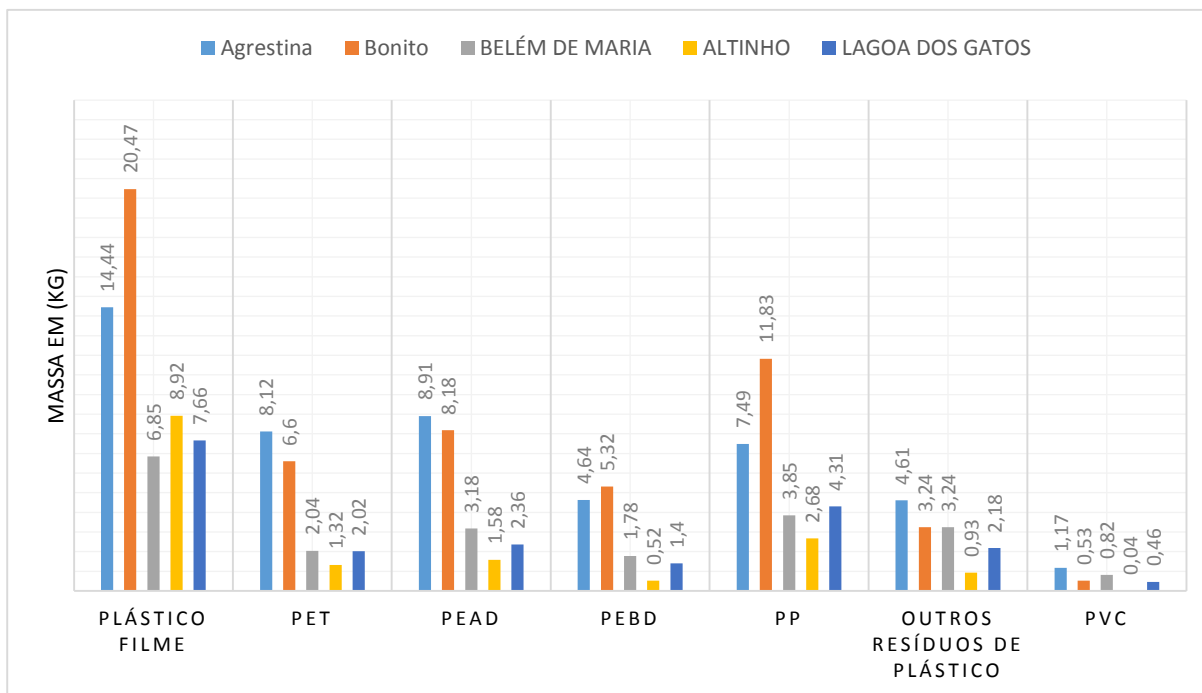
Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Os dados referentes aos resíduos de plástico informados nos estudos do (GRS, 2001) e do (SEMAS, 2012) são idênticos para os municípios de Agrestina (11,5%), Altinho (9,8%), seguido de Bonito (10%) Lagoa dos Gatos (7,5%), o município de Belém de Maria teve sua composição de plástico analisado pela (SEMAS, 2012) com (7,32%)

Para a categoria dos resíduos de plástico, segundo maior produto gerado na massa de resíduos do aterro sanitário do COMAGSUL. O maior gerador foi o município de Bonito (34,31%), seguido de Agrestina (30,17%), Belém de Maria (13,29%), Lagoa dos Gatos (12,46%) e Altinho (9,77%) do total de plásticos gerados. As subcategorias de plásticos se distribuíram de forma equânime e estiveram presentes em todos os municípios. Vale destacar o plástico filme com maior incidência na massa de resíduos, em particular o município de Altinho 8,92kg (55,78%), seguido de Bonito em massa 20,47 kg (36,4%), Lagoa dos Gatos 7,66 kg (37,57%), Belém de Maria 6,85kg (31,48%) e Agrestina 14,44 kg (29,24%) (Figura 35) e (Figura 36).

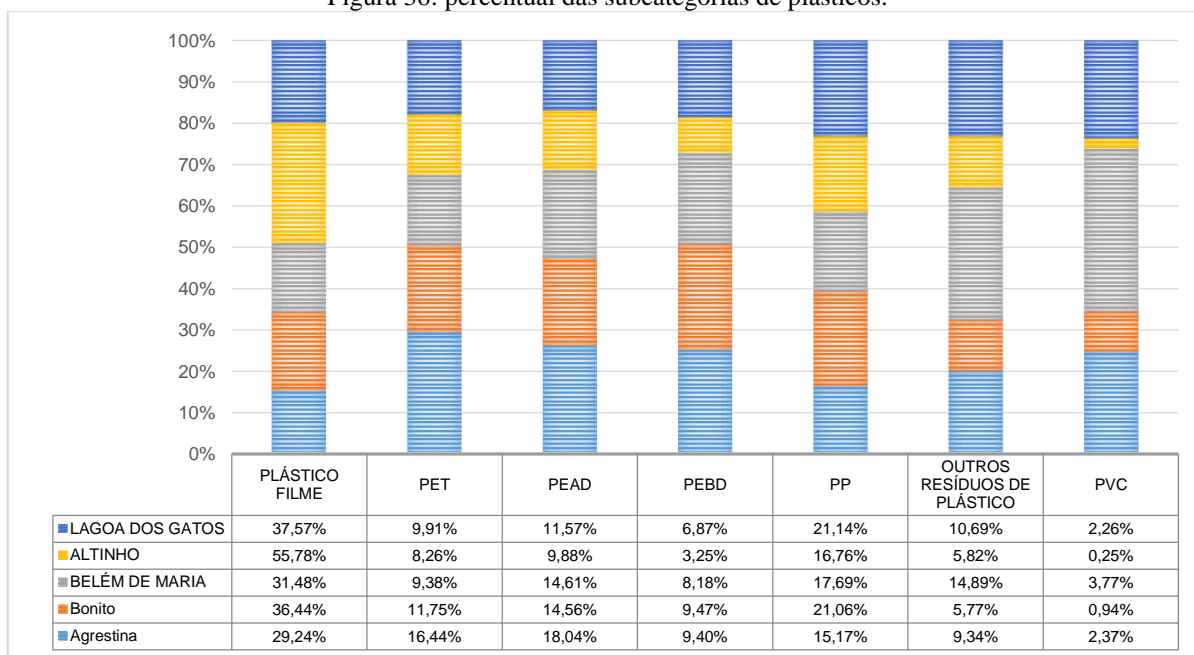
Apesar do município de Altinho apresentar uma maior porcentagem nessa subcategoria, o município de Bonito apresenta a maior quantidade em massa total dos resíduos de plástico corroborando a correlação existente entre maior desenvolvimento econômico e maior geração de plástico e de papel.

Figura 35: subcategorias de resíduos de plásticos dos municípios que depositam no aterro sanitário do COMAGSUL.



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Figura 36: percentual das subcategorias de plásticos.



Fonte: o autor, relatórios de monitoramento COMAGSUL (PL n° 001/2014).

Em relação as rotas tecnológicas estabelecidas pela ferramenta, o teor de plástico tem influência direta na predeterminação das rotas, pois a variação desse componente na massa de resíduos altera diretamente a composição gravimétrica, determinando a indicação da central de triagem como adequada. Além disso o alto percentual dos resíduos plásticos na composição gravimétrica, aponta a coerência da ferramenta, pois esse material quando segregado agregaria valor aos resíduos sólidos e influencia

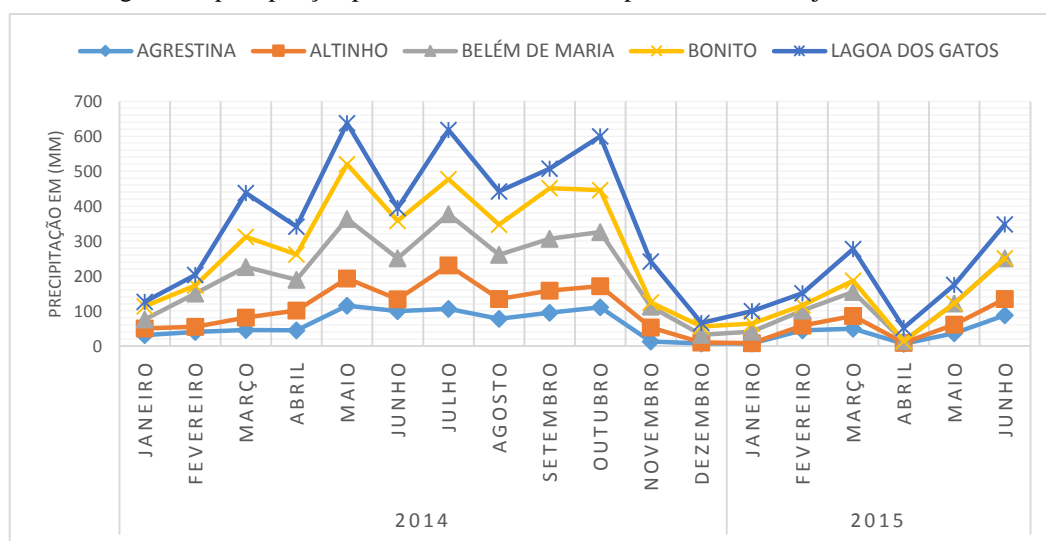
diretamente nos três aspectos analisados pela ferramenta: social (através da inclusão de catadores na cadeia produtiva de resíduos), ambiental (retirando os plásticos do meio ambiente) e econômico (agregando valor devido a sua capacidade de comercialização).

### 4.3 Precipitação

As amostras para a realização do teor de umidade ocorreram entre os meses de novembro de 2014 e fevereiro de 2015. Os municípios são localizados em regiões de altas temperaturas que variaram entre 28 e 35,9° com umidade relativa do ar entre 35 e 48% C (APAC, 2014).

A Figura 37 aponta a precipitação dos municípios depositários de RSU no aterro do COMAGSUL, vale destacar os menores índices pluviométricos, que iniciam no mês de novembro persistindo até o mês de março.

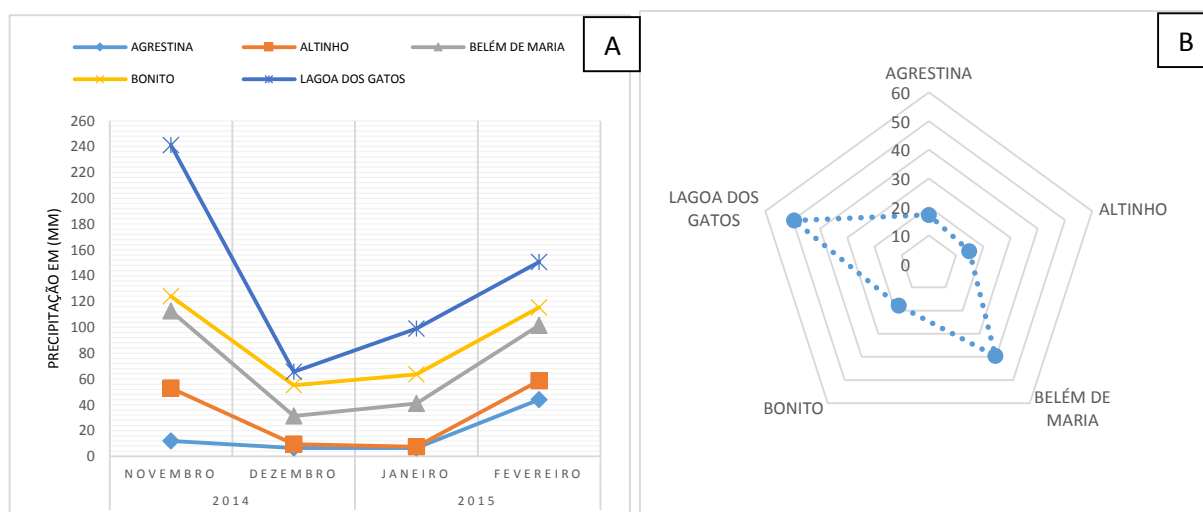
Figura 37: precipitação pluviométrica dos municípios entre 2014 e junho de 2015.



Fonte: APAC (2014).

A precipitação média dos municípios nos meses de foi de 29,75 milímetros, naturalmente retira a umidade dos resíduos (APAC, 2014) (Figura 38).

Figura 38: precipitação entre os meses de novembro de 2014 e fevereiro de 2015 (A). Precipitação média dos municípios em (mm) (B).



Fonte: APAC (2014).

Segundo Marciel (2009) a precipitação tem influência direta em parâmetros físico-químicos dos resíduos sólidos urbanos, sobretudo no teor de umidade dos resíduos. A umidade não é um parâmetro avaliado diretamente pela ferramenta contudo esse parâmetro afeta a composição gravimétrica a partir do momento que, interfere na degradabilidade sobretudo dos resíduos orgânicos, esse aspecto pode influenciar a escolha de forma indireta de uma tecnologia por parte da ferramenta.

A precipitação tem relação direta com o teor de umidade e esse parâmetro apresenta relação direta com a capacidade de biodegradabilidade dos resíduos, tal fator pode influenciar de forma indireta na seleção das rotas tecnológicas, já que a matéria orgânica disposta na massa de resíduos pode ser alterada devido a biodegradação da matéria orgânica.

#### 4.4 Caracterização físico-química dos resíduos

##### 4.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade médio para os resíduos in natura foi de 38,31% abaixo do que foi encontrado por (FIRMO, 2013) para resíduos novos na Região Metropolitana de Recife que foi de 70% período chuvoso na região. Para resíduos antigos a umidade foi de 55,8%. Vale salientar que a umidade dos resíduos sólidos obtidos por, foram a uma profundidade de 0,50m.

Nesse estudo a umidade foi obtida para resíduos frescos logo após o descarregamento, sendo a umidade do material influenciada pelas condições ambientais no ato da coleta.

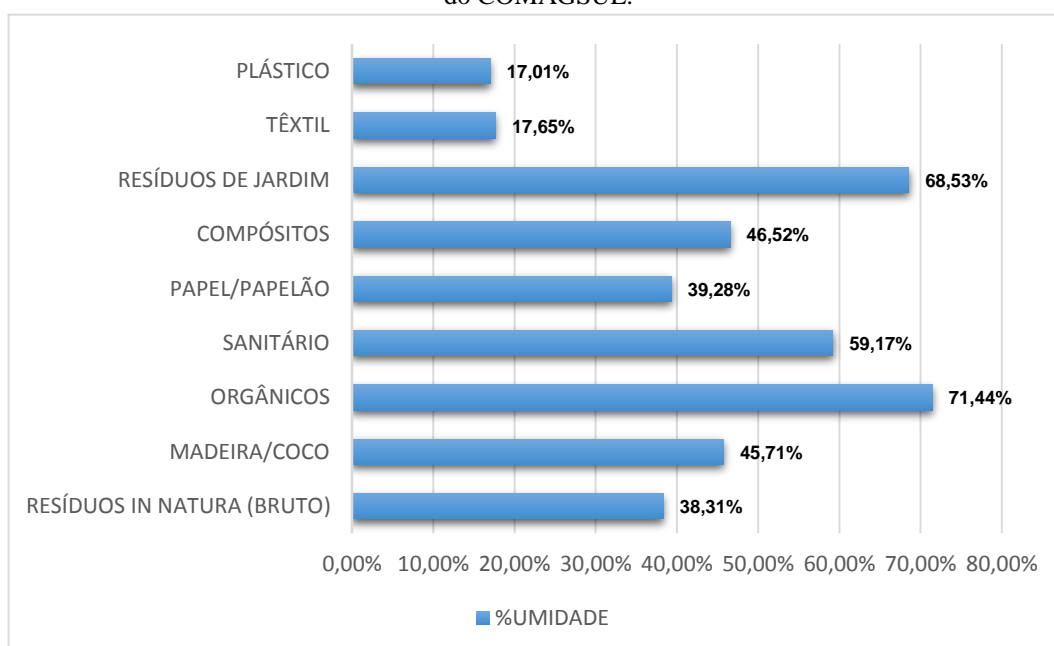
A umidade observada para os resíduos do aterro sanitários do COMAGSUL é inferior aquelas concebidas como ótimas para a produção de biogás entre 50 e 60% conforme U.S Army Corps of Engineers (1995). Apesar da umidade estar abaixo do observado por Alcântara (2007), que obteve umidade em lisímetros de 52%, dentro da faixa brasileira obtidas em aterros variando entre 40 e 60%.



Os resíduos do COMAGSUL enquadram-se na faixa para biodegradação observada por (TCHOBANOGLIOUS *et al.*,1993) de 15 a 40 %.

A umidade encontrada nos resíduos do COMAGSUL tem relação direta com a baixa precipitação da região, resultado do esforço de coleta, que foi realizado em pleno verão. A baixa umidade para os resíduos estudados no aterro do COMAGSUL, são indícios de uma baixa produção de biogás Alves (2008). A Figura 39 apresenta o teor de umidade encontrado para as diferentes classes de resíduos do aterro sanitário do COMAGSUL.

Figura 39: teor de umidade dos resíduos sólidos urbanos e seus componentes recém coletados ao Aterro sanitário do COMAGSUL.



Fonte: o autor.

Quando observada a umidade por classe de resíduos, pode-se perceber diferença significativa entre os resultados obtidos no COMAGSUL e algumas classes descritas na literatura. Para os resíduos de plástico e têxteis obteve-se umidades de 17,01% e 17,65% respectivamente, significativamente maiores do que a encontrada por Firmo (2013) para resíduos de mesma idade, sendo 5,8 e 6,4% respectivamente. Tal fato pode estar associado à baixa capacidade de retenção de umidade do resíduo com predominância de frações medianamente e dificilmente degradáveis.

Apesar de não ser uma variável observada diretamente como dado de entrada da ferramenta, a umidade pode influenciar a escolha de tecnologias, já que os resíduos orgânicos têm sua degradabilidade diretamente influenciada por esse fator, além disso a baixa umidade dos resíduos poderia favorecer a inclusão de uma tecnologia específica como a incineração com aproveitamento energético, entretanto essa tecnologia não foi viável, segundo a ferramenta devido ao volume de resíduos, e por seu alto custo influencia negativamente o aspecto econômico.

#### 4.4.2 Teor de sólidos voláteis

O teor de sólidos voláteis obtidos para os resíduos sólidos do aterro sanitário do COMAGSUL, apresentaram-se acima de 59%, semelhantes ao descrito por (FIRMO, 2013) para resíduos novos. Machado *et al.* (2009) que quantificou o teor de sólidos voláteis em resíduos recém-chegados ao aterro de (53,42%).

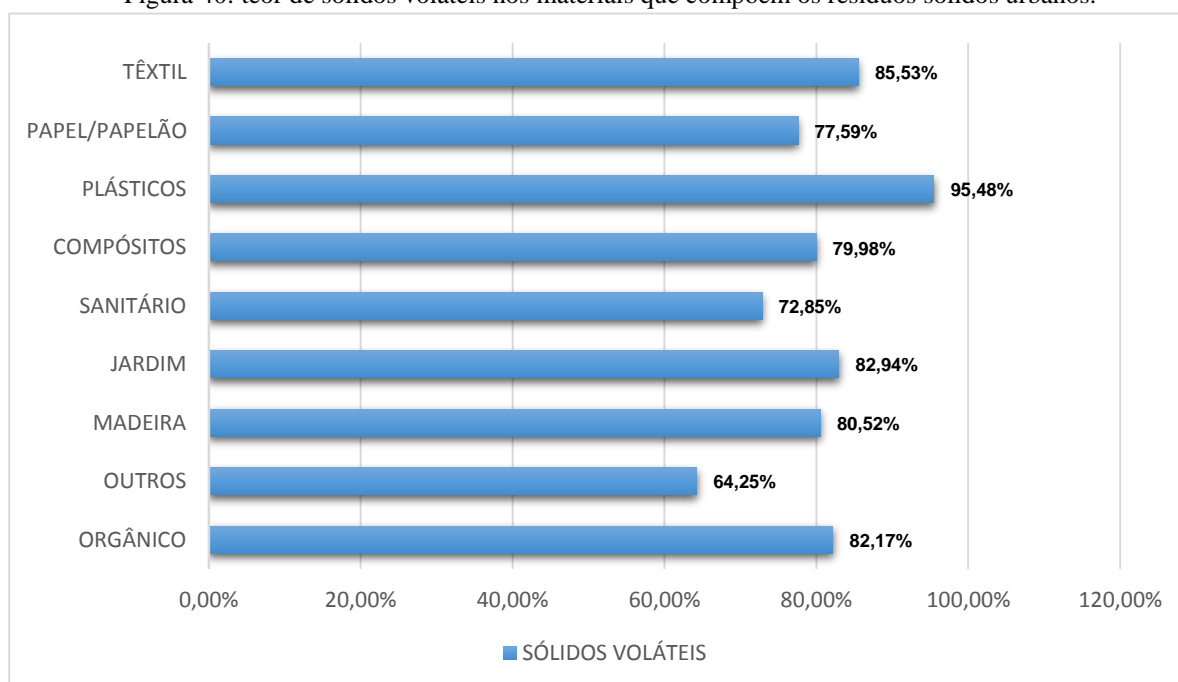
Em análises de lisímetros, Alcantara (2007) obteve teor de sólidos voláteis nos resíduos do aterro da Muribeca de cerca de 70% de SV o que não diferiu drasticamente daqueles encontrados no COMAGSUL.

Vale destacar as classes de resíduos têxteis que para os resíduos da RMR apresentaram um teor de sólidos voláteis de 98,7% diferindo do material do COMAGSUL com apenas 85,53%. Os resíduos de plástico que apresentaram no COMAGSUL 95,48% enquanto resíduos novos da Muribeca compuseram 87%.

A existência de altos teores de sólidos voláteis indica que os resíduos apresentam quantidades consideráveis de materiais passíveis de degradação. Contudo a exclusiva observação desse parâmetro para analisar a biodegradabilidade de um material pode induzir o pesquisador ao erro na interpretação, pois alguns materiais como os materiais têxteis (85,53% de SV), plásticos (95,48% de SV), e papel/papelão (77,59% de SV), analisados nessa pesquisa, apresentaram altos índices de teor de sólidos, mas são classificados como moderadamente ou lentamente ou não biodegradáveis, podendo conter uma elevada fração de substâncias orgânicas, porém não-biodegradáveis (FIRMO, 2013).

A Figura 40 apresenta o teor de sólidos voláteis obtidos nos resíduos sólidos urbanos do aterro sanitário do COMAGSUL

Figura 40: teor de sólidos voláteis nos materiais que compõem os resíduos sólidos urbanos.



Fonte: o autor.

#### 4.4.3 pH e condutividade elétrica

Conforme as análises de laboratório, o pH obtido para os resíduos sólidos do aterro sanitário do COMAGSUL a 25°C foi de 4,86. Fora da faixa ótima para o pH ótimo para o crescimento bacteriano está compreendido entre 6,5 e 7,5 (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993). Segundo Alcântara (2007) (apud McCARTY, 1964) os valores obtidos de pH no COMAGASU apresentam-se abaixo de intervalos capazes de 6,2 responsáveis em inibir fortemente a atividade das metanogênicas. Podem inibir a atividade dos microorganismos metanogênicos, afetando também as bactérias fermentativas. E como o pH dos resíduos foi abaixo da faixa entre 4,5 a 5,0, descrita em (MARCIEL, 2009) afetam também as bactérias fermentativas.

Segundo Maciel (2009) (apud DACH & JAGER, 1995) o pH na fase inicial (fase I – degradação aeróbia) de degradação dos resíduos o pH inicial dos resíduos na decomposição aeróbia é quase neutro (pH  $\cong$  7), decrescendo com o estabelecimento da decomposição anaeróbia ácida.

O pH baixo encontrado nos resíduos do COMAGSUL não está em desacordo ao que é observado na literatura, principalmente para resíduos novos. Segundo Silva (2013) esses resíduos caracterizam-se como fase acidogênica, fase inicial de degradação, devido à produção de ácidos pelas bactérias hidrolíticas e fermentativas. Este fato é confirmado na literatura, pois, quando a massa de lixo encontra-se nova, como é o caso da massa de lixo em estudo no período de estiagem, apresenta pouca geração de gás (SILVA, 2013).

. Para os resíduos sólidos do COMAGSUL o ensaio foi realizado a 25°C obtendo 2457 uS/cm de condutividade elétrica.

A condutividade é fundamental para a compreensão da fase de estabilização da matéria orgânica dos resíduos. Soluções de compostos mais inorgânicos são boas condutoras, enquanto as de compostos orgânicos conduzem mal a corrente elétrica. O valor obtido no aterro sanitário do COMAGSUL coloca os resíduos em uma fase de transição, que compreende de 2450 a 3310  $\mu\text{mho/cm}$  (FIRMO, 2013 *apud* POHLAND & HARPER, 1985 SCHALCH, 1992). No Sistema Internacional de Unidades, os valores de condutividade são expressos em milisiemens por metro (mS/m) que equivale a 10  $\mu\text{mho/cm}$  ou  $1\mu\text{S/cm} = \mu\text{mho/cm}$  (APHA, 1998).

Os aspectos condutividade elétrica e o pH são parâmetros que influenciam diretamente na capacidade de biodegradabilidade da matéria orgânica dos resíduos. Considerando a pequena quantidade de geração de resíduos e a composição gravimétrica obtida para o COMAGSUL a ferramenta não indicou a digestão anaeróbia com aproveitamento energético, caso essa tecnologia fosse escolhida como adequada esses parâmetros deveriam ser monitorados o intuito de acompanhar o potencial de degradação dos resíduos.

#### 4.5 FERRAMENTA DE APOIO A DECISÃO

Nesta etapa serão discutidas as possíveis rotas tecnológicas de tratamento de RSU segundo análise das composições gravimétricas, bem como demais dados obtidos *in loco* no aterro sanitário de Altinho. Sendo os resultados indicados pela ferramenta observada mediante os cenários idealizados com as discussões do projeto “Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão” desenvolvido pela Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco FADE/UFPE. O modo do usuário da ferramenta em estudo, o resultado preliminar através do uso da ferramenta de apoio a decisão foi proposto com dados de referência preliminar utilizando dados de entrada dos municípios de Agrestina, Altinho, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos gatos. Por fim, a análise das rotas estabelecidas, consideradas as exigências do Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) e do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

##### 4.5.1 Modo do usuário para a ferramenta de apoio à decisão

A ferramenta inicializa com um layout padrão: módulo de inicialização, módulo de políticas públicas e módulo de caracterização dos resíduos. Inicialmente o *software* solicita a inclusão de dados, baseados em três perguntas.

- I. Pretende-se realizar a análise via consorcio?
- II. Existe restrições quando a alguma tecnologia de tratamento?
- III. Há coleta diferenciada?

É válido salientar que se houvesse alguma restrição de tecnologia, dentre as seis consideradas pelo *software*, para qualquer município, essa rota seria excluída dos resultados das rotas tecnológicas e do indicador de IST.

Quando selecionada a região, a ferramenta realizou uma comparação a partir do *benchmark* (referência) daquela região escolhida. Para os municípios analisados, não existem restrições quanto a utilização de qualquer rota tecnológica usada pela ferramenta. Os dados do módulo de inicialização para os cinco municípios, que depositam resíduos no aterro do COMAGSUL, estão dispostos na Figura 41. Outra característica que destaca-se para esses municípios é a inexistência de coleta diferenciada

Figura 41: modulo de inicialização da ferramenta.

FERRAMENTA

PRETENDE-SE REALIZAR ESTA ANÁLISE VIA CONSÓRCIO?

NÃO  SIM

- QUANTOS MUNICÍPIOS ESTÃO LIGADOS AO CONSÓRCIO?

---

HÁ RESTRIÇÕES QUANTO A ALGUMA TECNOLOGIA DE TRATAMENTO?

NÃO  SIM

---

HÁ COLETA DIFERENCIADA?

NÃO  SIM

Fonte: (Software IST 1.0, 2013).

Ao analisar o modulo de inicialização (dados de entrada) e o módulo 1 (políticas públicas), percebendo a inexistência de restrições tecnológicas, o *software* realizou o processamento desses módulos e como resultado teria três possibilidades possíveis: não eliminar nenhuma tecnologia; eliminar tecnologias X e Y; ou aprovar uma tecnologia Z com ressalvas.

Com isso o *software* inicializou o segundo módulo (característica dos resíduos sólidos gerados no município). Para a inserção desses dados o programa solicita a localização da região, estado e o município. Essas perguntas estão restritas através de uma caixa de combinação vinculada a um banco de dados do próprio *software*. Em seguida foram inseridas, as distâncias médias do centro de geração à planta de tratamento (km), quantidade de resíduo a ser processada (ton./dia) e a composição gravimétrica dos resíduos, por porcentagem através das características de plásticos, orgânicos, vidros, metais, papel/papelão, resíduos de jardim, e outros. Estes dados estão apresentados de forma resumida na Tabela 20. As Figuras 42, 43 e 44 apresentam, por município, à interface gráfica da ferramenta de apoio à decisão.

O município mais distante também foi aquele com maior deposição residual diária, Bonito, distante 30km do aterro e depositou para o ano de 2014 17,77 toneladas/dia. Seguido de Belém de Maria 26 km e 5,39 toneladas/dia; Lagoa dos Gatos 24 km e 5,54 toneladas/dia; Agrestina 7,2 km e 11,04 toneladas/dia.

Com esses dados inseridos, o *software* realizou a análise entre os dados de entrada e as restrições das tecnologias, essa análise possibilitaria três respostas como resultados para a escolha das rotas tecnológicas: nenhuma rota tecnológica eliminada, rotas X e Y eliminadas e rotas Z aprovadas com ressalva.

Tabela 20: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características gerais dos resíduos dos municípios do COMACGUL (distância do centro de geração à planta de tratamento (km), quantidade de resíduos processados por dia (t/dia) e composição gravimétrica (%).

Município	Distância média ao aterro sanitário (km)	Quantidade de Resíduos (ton/dia)	Composição Gravimétrica (%)						
			Orgânicos	Plástico	Vidro	Metal	Papel/Papelão	Resíduos de Jardim	Outros
Agrestina	7,2 km	11,04 ton/dia	31%	15%	2%	2%	8%	12%	30%
Altinho	5,0 km	7,80 ton/dia	25%	24%	2%	2%	5%	3%	39%
Belém de Maria	26 km	5,39 ton/dia	32%	21%	1%	1%	8%	8%	29%
Bonito	30 km	17,77 ton/dia	29%	19%	1%	2%	8%	8%	33%
Lagoa dos Gatos	24 km	4,54 ton/dia	43%	15%	1%	2%	4%	11%	24%

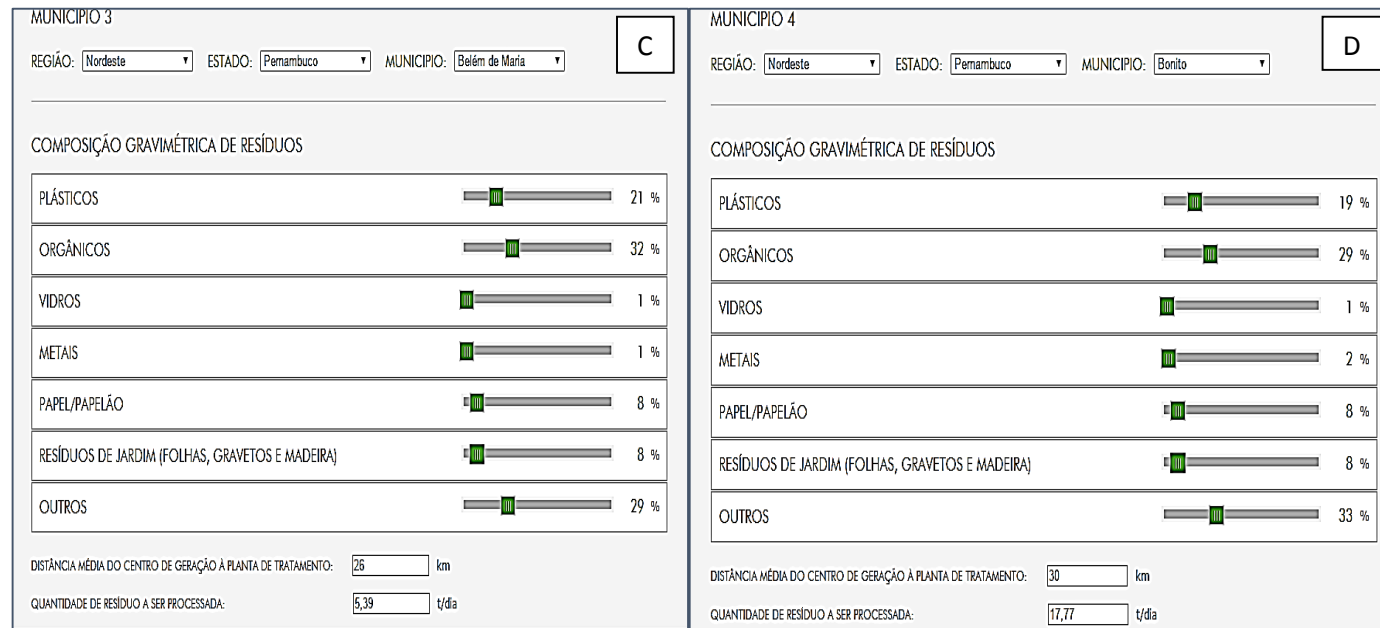
Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

Figura 42: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características dos resíduos de Agrestina (A) e Altinho (B), distância do centro de geração à planta de tratamento (km) e quantidade de resíduos processados por dia (t/dia).

MUNICIPIO 1	MUNICIPIO 2
REGIÃO: Nordeste ESTADO: Pernambuco MUNICIPIO: Agrestina	REGIÃO: Nordeste ESTADO: Pernambuco MUNICIPIO: Altinho
COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS	
PLÁSTICOS 15 %	PLÁSTICOS 24 %
ORGÂNICOS 31 %	ORGÂNICOS 25 %
VIDROS 2 %	VIDROS 2 %
METAIS 2 %	METAIS 2 %
PAPEL/PAPELÃO 8 %	PAPEL/PAPELÃO 5 %
RESÍDUOS DE JARDIM (FOLHAS, GRAVETOS E MADEIRA) 12 %	RESÍDUOS DE JARDIM (FOLHAS, GRAVETOS E MADEIRA) 3 %
OUTROS 30 %	OUTROS 39 %
DISTÂNCIA MÉDIA DO CENTRO DE GERAÇÃO À PLANTA DE TRATAMENTO: 7,2 km	DISTÂNCIA MÉDIA DO CENTRO DE GERAÇÃO À PLANTA DE TRATAMENTO: 5 km
QUANTIDADE DE RESÍDUO A SER PROCESSADA: 11,04 t/dia	QUANTIDADE DE RESÍDUO A SER PROCESSADA: 7,8 t/dia

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

Figura 43: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características dos resíduos de Belém de Maria (C) e Bonito (D), distância do centro de geração à planta de tratamento (km) e quantidade de resíduos processados por dia (t/dia).



Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

Figura 44: interface gráfica da Ferramenta de apoio à decisão. Características dos resíduos de Lagoa dos Gatos (E).

MUNICÍPIO 5 E

REGIÃO:  ESTADO:  MUNICÍPIO:

---

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS

PLÁSTICOS		15 %
ORGÂNICOS		43 %
VIDROS		1 %
METAIS		2 %
PAPEL/PAPELÃO		4 %
RESÍDUOS DE JARDIM (FOLHAS, GRAVETOS E MADEIRA)		11 %
OUTROS		24 %

DISTÂNCIA MÉDIA DO CENTRO DE GERAÇÃO À PLANTA DE TRATAMENTO:  km

QUANTIDADE DE RESÍDUO A SER PROCESSADA:  t/dia

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).



Com esses dados inseridos, o *software* realizou a análise entre os dados de entrada e as restrições das tecnologias, essa análise possibilitaria três respostas como resultados para a escolha das rotas tecnológicas: nenhuma rota tecnológica eliminada, rotas X e Y eliminadas e rotas Z aprovadas com ressalva.

#### 4.5.2 Cenários obtidos com a utilização da ferramenta de apoio à decisão

De posse da composição gravimétrica, a ferramenta utiliza seu banco de dados para o cálculo do IST e obtenção das rotas tecnológicas adequadas ou não à tecnologia de tratamento, considerando as tecnologias de tratamento dos resíduos analisados.

Os cenários obtidos nessa pesquisa foram sugeridos através da simulação com a inserção de dados obtidos *in loco* de gravimetria, a entre distância ao local de tratamento (Aterro sanitário do COMAGSUL) e a geração diária de RSU de cada município do consórcio (Agrestina, Altinho, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos). As rotas tecnológicas foram avaliadas com o auxílio do PNRS- Plano Nacional de resíduos sólidos e PERS- Plano Estadual de resíduos sólidos.

##### 4.5.2.1 Estação de Transbordo

Em relação a distância do centro de massa e a instalação de tratamento, apenas o município de Bonito localiza-se a 30 km, seguido de Belém de Maria 26 km, Lagoa dos Gatos 24 km, Agrestina 7,2 km e Altinho a 5km. Segundo Reichert (2013) as estações de transferência ou transbordo são indicadas em distâncias que variam para mais de 6 km para pequenos coletores e caminhões convencionais tipo carroceria ou caçamba e a partir dos 25 km para caminhões compactadores.

A ferramenta de apoio utilizada neste estudo considera com fatores que influenciam na instalação de uma unidade de transbordo, além da distância entre o centro gerador de resíduos de cada município a composição gravimétrica dos resíduos e a quantidade de resíduos gerados até a instalação de disposição final (aterro sanitário do COMAGSUL, localizado no município de Altinho).

Assim, a ferramenta considerou desnecessária uma estação de transbordo para os municípios de Altinho, Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos e inadequada para Agrestina, conforme apresentado na Tabela 21. Ao tratar a tecnologia como desnecessária a ferramenta atribui que sua implementação é uma extrapolação da utilização das tecnologias, uma vez que apesar da distância ser acima de 20 km, a quantidade de resíduos destes municípios é pequena o que não justifica financeira e operacionalmente uma instalação deste tipo. Quando a ferramenta atribui para alguma tecnologia o termo inadequado, está indicando que esta opção tecnológica será obrigatoriamente excluída dos cálculos dos índices e sub-índices. Considerando que o município de Altinho localiza-se a 5 km da instalação, para este município a estação de transbordo seria inadequada e não para o município de Agrestina. Para os municípios de Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos seria adequado se considerado apenas a distância, contudo a ferramenta também pondera a quantidade de resíduos gerados diariamente, bem como a composição gravimétrica dos materiais.

Ao tratar a tecnologia como desnecessária a ferramenta atribui que sua implementação é uma extrapolação da utilização das tecnologias, ou seja as tecnologias que a ferramenta informou como adequadas já atendem o correto gerenciamento dos resíduos no consórcio. Quando a ferramenta atribui, para alguma tecnologia, o termo inadequado, está indicando que sua utilização é um erro quando adotada, ferindo o que é definido através dos cálculos dos índices e sub-índices.

É importante salientar que para os municípios de Belém de Maria, Bonito e Lagoa dos Gatos seria adequado se considerado apenas a distância, contudo a ferramenta também pondera a quantidade de resíduos gerados diariamente, bem como a composição gravimétrica dos materiais.

Tabela 21: resultado da ferramenta para a necessidade de uma estação de transbordo.

Cidade	Transbordo
Agrestina	Inadequado
Altinho	Transbordo desnecessário
Belém de Maria	Transbordo desnecessário
Bonito	Transbordo desnecessário
Lagoa dos Gatos	Transbordo desnecessário

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

Analisando os sub-índices separadamente a ferramenta estabelece que, economicamente e ambientalmente a instalação de estação de transbordo seria excelente (EC-0,995) (AM-0,952) respectivamente. Socialmente o sub-índice atribui para a estação de transbordo a classificação tolerável (SO-0,577) (Figura 45).

Figura 45: sub-índices calculados.

Sigla	Nome	1	2	3	4	5	6	7
AM	Ambiental	0.961	0.917	0.606	1.008	0.563	0.987	0.952
EC	Econômico	0.775	0.768	0.901	1.028	0.513	0.934	0.995
SO	Social	0.514	0.293	0.411	0.386	0.13	0.859	0.577

Legenda: 1-Compostagem; 2-Digestão Anaeróbia com aproveitamento energético; 3-Aterro sem aproveitamento energético; 4-Aterro com aproveitamento energético; 5-Incineração com aproveitamento energético; 6-Central de triagem; 7-Estação de transbordo;

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2 Análises das Tecnologias

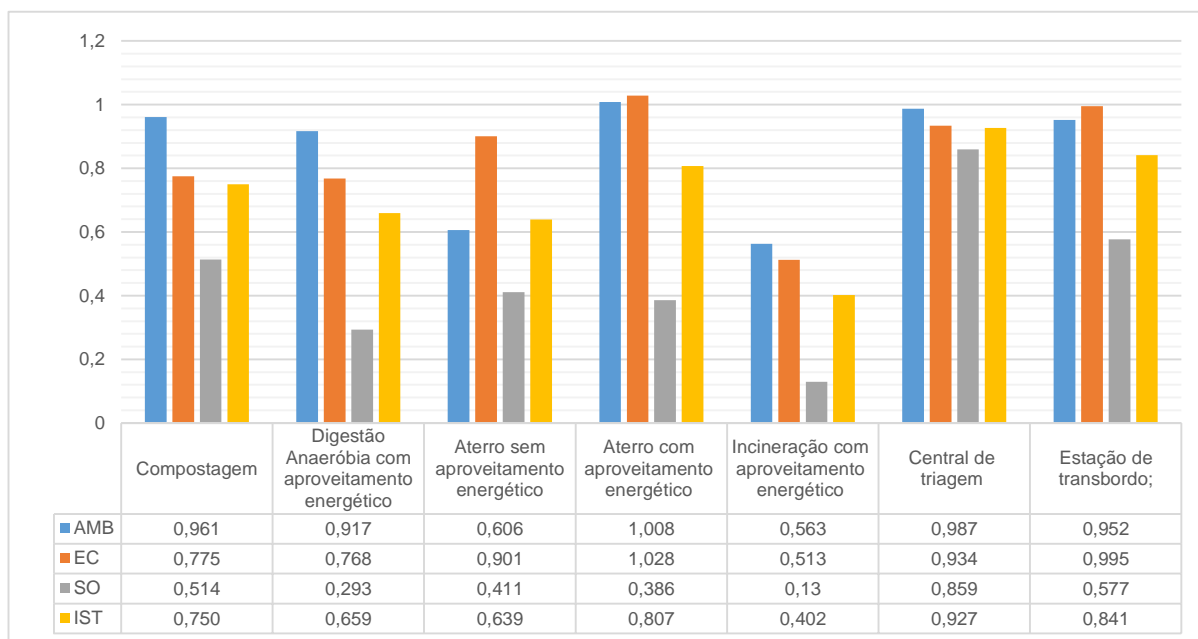
De acordo com a metodologia apresentada no item 3.7 antes da ferramenta informar as opções de rotas tecnológicas, a mesma calcula, por tecnologia, os sub-índices denominados de AM (Ambiental), EC (Econômico) e SO (social). Neste sentido a Tabela 22 apresenta um resumo dos sub-índices de cada tecnologia adotada e a Figura 46 é a sua representação gráfica.

Tabela 22: sub-índices calculados.

Sub-índice	Sigla	Compostagem	Digestão Anaeróbia com Aproveitamento Energético	Aterro Sanitário sem aproveitamento energético	Aterro Sanitário com aproveitamento energético	Incineração com aproveitamento energético	Central de Triagem	Estação de Transbordo
Ambiental	AM	0,961	0,917	0,606	1,008	0,563	0,987	0,952
Econômico	EC	0,775	0,768	0,901	1,028	0,513	0,934	0,995
Social	SO	0,514	0,293	0,411	0,386	0,130	0,859	0,577

Fonte: (Software IST 1.0, 2013).

Figura 46: sub-índice das tecnologias para o consórcio COMAGSUL.



Fonte: o autor.

Do ponto de vista ambiental, o aterro com aproveitamento energético obteve um melhor desempenho, seguido pela central de triagem, compostagem e estação de transbordo, todos apresentando classificação excelente. As demais tecnologias alcançaram um desempenho que varia entre bom e regular. Quanto ao aspecto econômico, destacam-se aterro com aproveitamento energético e sem aproveitamento energético, estação de transbordo e central de triagem.

Do ponto de vista ambiental, o aterro com aproveitamento energético obteve um melhor desempenho, seguido pela central de triagem, compostagem e estação de transbordo, todos apresentando classificação excelente. As demais tecnologias alcançaram um desempenho que varia entre bom e regular.

Abaixo será realizada uma avaliação baseada apenas nos sub-índices para o uso de cada tecnologia separadamente. Neste sentido, serão utilizados com parâmetros de avaliação as faixas de classificação do IST (índice de sustentabilidade tecnológica) descrito no item 3.7.1 da metodologia. Os resumos destas informações estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Faixa de classificação dos sub-índices por tecnologia baseada na faixa de classificação do IST.

Sub-índice	Sigla	Compostagem	Digestão Anaeróbia com Aproveitamento Energético	Aterro Sanitário sem aproveitamento energético	Aterro Sanitário com aproveitamento energético	Incineração com aproveitamento energético	Central de Triagem	Estação de Transbordo
Ambiental	AM	Excelente	Excelente	Regular	Excelente	Tolerável	Excelente	Excelente
Econômico	EC	Bom	Bom	Excelente	Excelente	Tolerável	Excelente	Excelente
Social	SO	Tolerável	Muito Ruim	Ruim	Muito Ruim	Muito Ruim	Bom	Tolerável

Fonte: o autor.

Com a utilização dos critérios acima descritos e em função das características dos resíduos sólidos dos municípios que depositam no aterro sanitários do COMAGSUL, a ferramenta considerou que as tecnologias de compostagem, aterro sem aproveitamento energético e central de triagem adequadas para o consórcio, isto corresponde à metade (50%) das tecnologias disponíveis no programa.

As tecnologias restantes foram consideradas inadequadas: digestão anaeróbia com aproveitamento energético, aterro com aproveitamento energético e incineração com aproveitamento energético.

O *software* não indicou as outras tecnologias existentes na ferramenta, devido à baixa geração de resíduos dos municípios, distância reduzida dos centros geradores ao aterro, composição gravimétrica. Além disso a ferramenta faz análises dos sub-índices social, ambiental e econômico, comparando com o *benchmark* para os municípios, fazendo com que a ferramenta descarte a utilização de tecnologias.

#### 4.5.2.2.1 Compostagem

Conforme apresentado na Tabela 24 a tecnologia de compostagem apresenta o sub-indicador ambiental (AM) excelente, o sub-indicador econômico (EC) bom e o sub-indicador social (SO) tolerável, o que torna necessários estudos de mercado mais aprofundados para incluir ou excluir esta tecnologia na rota tecnológica adotada.

A ferramenta considerou compostagem, aterro sem aproveitamento energético e central de triagem adequadas para o consórcio. As outras tecnologias foram consideradas inadequadas: digestão anaeróbica com aproveitamento energético, aterro com aproveitamento energético e incineração com aproveitamento energético (Tabela 24).

O volume gerado pelo consórcio, a composição gravimétrica e demais características dos municípios: baixa geração de resíduos dos municípios, distância reduzida dos centros geradores ao aterro, composição gravimétrica. Fizeram com que a ferramenta analisasse os sub-índices social, ambiental e econômico, e descarte a utilização de tecnologias.

Tabela 24: verificação da adequação da tecnologia em função das características dos resíduos

<b>Tecnologia</b>	<b>Resultado</b>
Compostagem	Adequado
Digestão anaeróbia com aproveitamento energético	Inadequado
Aterro sem aproveitamento energético	Adequado
Aterro com aproveitamento energético	Inadequado
Incineração com aproveitamento energético	Inadequado
Central de triagem	Adequado

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2.2 Digestão anaeróbia com aproveitamento energético

Conforme apresentado na Tabela 25 a tecnologia de digestão anaeróbia com aproveitamento energético apresenta o sub-indicador ambiental (AM) excelente, o sub-indicador econômico (EC) bom e o sub-indicador social (SO) muito ruim, nos faz excluir esta tecnologia das possíveis rotas tecnológicas adotadas.

Tabela 25: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia digestão anaeróbia com aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST.

<b>Sub-índice</b>	<b>Sigla</b>	<b>Digestão Anaeróbia com Aproveitamento Energético</b>
Ambiental	AM	Excelente
Econômico	EC	Bom
Social	SO	Muito Ruim

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2.3 Aterro sanitário sem aproveitamento energético

Conforme apresentado na Tabela 26 apesar da tecnologia de aterro sanitário sem aproveitamento energético apresenta o sub-indicador ambiental (AM) regular, o sub-indicador econômico (EC) excelente e o sub-indicador social (SO) ruim, esta tecnologia deverá ser analisada baseada em estudos mais detalhados uma vez que de acordo com a política nacional de resíduos sólidos é necessário a destinação final adequada dos resíduos e um aterro sanitário sem aproveitamento energético poderia ser esta solução.

Tabela 26: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia aterro sanitário sem aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST.

<b>Sub-índice</b>	<b>Sigla</b>	<b>Aterro Sanitário sem aproveitamento energético</b>
Ambiental	AM	Regular
Econômico	EC	Excelente
Social	SO	Ruim

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2.4 Aterro sanitário com aproveitamento energético

Conforme apresentado na Tabela 27 apesar da tecnologia de aterro sanitário com aproveitamento energético apresenta o sub-indicador ambiental (AM) excelente, o sub-indicador

econômico (EC) excelente e o sub-índice social (SO) muito ruim, esta tecnologia deverá ser analisada baseada em estudos mais detalhados uma vez que de acordo com a política nacional de resíduos sólidos é necessário a destinação final adequada dos resíduos e um aterro sanitário com aproveitamento energético poderia ser esta solução, porém salienta-se que de acordo com FADE/BNDES (2013) esse tipo de tecnologia só se viabiliza em aterros que possuam uma capacidade mínima de 300 t/dia, gerando de 0,1 a 0,2 MWh/t de RSU.

Tabela 27: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Aterro sanitário com aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST

Sub-índice	Sigla	Aterro Sanitário com aproveitamento energético
Ambiental	AM	Excelente
Econômico	EC	Excelente
Social	SO	Muito Ruim

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2.5 Incineração com aproveitamento energético

Conforme apresentado na Tabela 28 a tecnologia de incineração com aproveitamento energético apresenta o sub-índice ambiental (AM) tolerável, o sub-índice econômico (EC) tolerável e o sub-índice social (SO) muito ruim, nos faz excluir esta tecnologia das possíveis rotas tecnológicas adotadas.

Tabela 28: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Incineração com aproveitamento energético baseada na faixa de classificação do IST

Sub-índice	Sigla	Incineração com aproveitamento energético
Ambiental	AM	Tolerável
Econômico	EC	Tolerável
Social	SO	Muito Ruim

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2.6 Central de Triagem

Conforme apresentado na Tabela 29 a tecnologia de central de triagem apresenta o sub-índice ambiental (AM) excelente, o sub-índice econômico (EC) excelente e o sub-índice social (SO) bom, o que torna esta tecnologia viável para a rota tecnológica adotada.

A central de triagem apresentou o melhor desempenho entre as tecnologias sob o ponto de vista social e econômico na composição do IST, embora com índices inferiores ao aterro com aproveitamento energético e estação de transbordo.

O fator social se mostrou predominante para o desempenho das centrais de triagem, devido à importância característica da geração de renda para catadores de materiais recicláveis inseridos no processo.

Tabela 29: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Central de Triagem baseada na faixa de classificação do IST

Sub-índice	Sigla	Central de Triagem
Ambiental	AM	Excelente
Econômico	EC	Excelente
Social	SO	Bom

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.2.7 Estação de transbordo

Conforme apresentado na Tabela 30 a tecnologia de estação de transbordo apresenta o sub-índice ambiental (AM) excelente, o sub-índice econômico (EC) excelente e o sub-índice social (SO) tolerável, porém conforme apresentado no item 4.3.2.2 esta tecnologia deverá ser excluída devido a quantidade de resíduos gerados por cada município.

Ao realizar a análise dos sub-índices destacam-se para os municípios do COMAGSUL aquelas tecnologias de menor complexidade operacional como compostagem, central de triagem, aterro com e sem aproveitamento energético.

Tabela 30: Faixa de classificação dos sub-índices para a tecnologia Estação de Transbordo baseada na faixa de classificação do IST

Sub-índice	Sigla	Estação de Transbordo
Ambiental	AM	Excelente
Econômico	EC	Excelente
Social	SO	Tolerável

Fonte: (SOFTWARE IST 1.0, 2013).

#### 4.5.2.3 Índice de Sustentabilidade (IST)

O valor do IST, bem como dos seus sub-índices variam de 0 a 1, o valor 1 é a situação ideal onde a tecnologia proposta possui nota máxima para todos os aspectos considerados. A avaliação das melhores rotas pode ser baseada apenas no IST, que engloba aspectos de sustentabilidade, ou o gestor pode considerar os índices isoladamente conforme o foco da análise. A Tabela 31 apresenta os sub-índices e o IST calculado pela ferramenta de apoio a decisão.

Neste sentido, salientamos que no momento da utilização da ferramenta não consideramos nenhum fator restritivo e adotamos que o a ferramenta de apoio a decisão deveria analisar todas as tecnologias e apresentar posteriormente as rotas tecnológicas mais adequadas. Assim, todas as tecnologias foram analisadas considerando os aspectos ambientais (sub-índice ambiental), econômicos (sub-índice econômico) e sociais (sub-índice social).

Tabela 31: Sub-índice e índice de sustentabilidade tecnológica (IST) das tecnologias adequadas.

Tecnologia	Sub-Índices			Índice de Sustentabilidade tecnológica (IST)	Classificação do IST
	Ambiental (AM)	Econômica (EC)	Social (SO)		
Central de Triagem	0,987	0,934	0,859	0,93	Excelente
Estação de Transbordo	0,952	0,995	0,577	0,841	Muito Boa
Aterro sanitário com aproveitamento energético	1,008	1,028	0,386	0,807	Muito Boa
Compostagem	0,961	0,775	0,514	0,75	Boa
Digestão anaeróbia com aproveitamento energético	0,917	0,768	0,293	0,659	Regular
Aterro sem aproveitamento energético	0,606	0,901	0,411	0,64	Regular
Incineração aproveitamento energético	0,563	0,513	0,130	0,402	Ruim

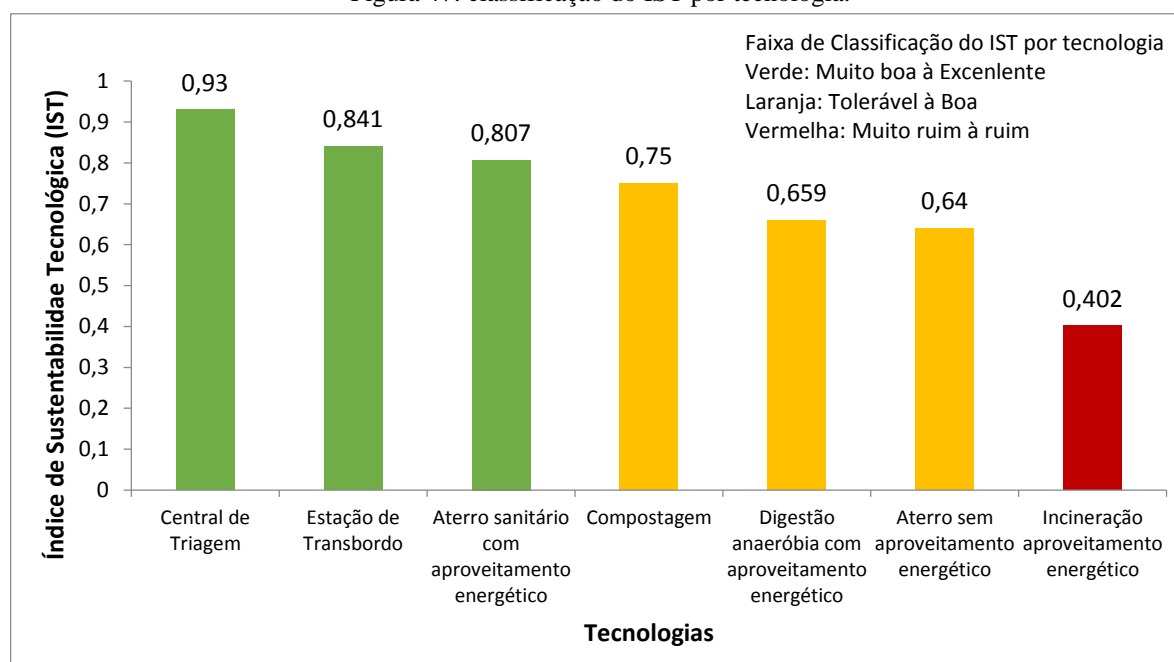
Fonte: (Software IST 1.0, 2013).

Considerando que o IST é parametrizado em relação à quantidade de resíduos sólidos processados, bem como na composição de seus sub-índices. Justifica-se o maior valor adotado para a central de triagem, seguida pela central de compostagem e por fim o aterro sem aproveitamento energético. Essa composição do IST vai influenciar diretamente nas rotas tecnológicas sugeridas pela ferramenta.

O cálculo do IST por tecnologia indicou poderíamos agrupar as tecnologias em 3 grandes faixas de classificação. A primeira englobaria as tecnologias classificadas entre muito boa e excelente (IST entre 0,8 a 1,0), englobaria as tecnologias de central de triagem, estação de transbordo e aterro sanitário com aproveitamento energético. A segunda faixa englobaria as tecnologias classificadas entre bom e tolerável (IST entre 0,5 a 0,8) e a terceira faixa com as tecnologias entre muito ruim e ruim (IST menor que 0,5). A Figura 47 apresenta o gráfico do IST para cada tecnologia analisada.



Figura 47: classificação do IST por tecnologia.



Fonte: (Software IST 1.0, 2013).

Baseado no gráfico acima poderemos fazer algumas considerações o cálculo do IST de algumas tecnologias:

- Estação de transbordo: A ferramenta de apoio a decisão apesar de apresentar um valor de IST alto, considera a tecnologia desnecessária. (item 4.3.2.1). Esta avaliação é função da distância de transporte e da quantidade de resíduos gerados (variação de 5 a 20 ton/dia) pelos municípios do consórcio. Porém, a ferramenta poderia ser aprimorada com uma restrição tecnológica para municípios que apresentassem uma pequena quantidade de resíduos uma vez que na prática a mesma não teria finalidade operacional.

- Aterro sanitário com aproveitamento energético: A tecnologia de aterro sanitário é a mais empregada no mundo e além de tratar os resíduos, serve também como disposição final dos mesmos. No que se refere ao aproveitamento energético, de acordo com Tomalsquin (2003) e Oliveira (2009), esse tipo de tecnologia só se viabiliza em aterros que possuam uma capacidade mínima de 300 t/dia, gerando de 0,1 a 0,2 MWh/t de RSU. Assim, a ferramenta deveria ter uma restrição econômica para a implementação de aterro sanitário com aproveitamento energético para municípios ou consórcio de municípios de pequeno porte. No caso do consórcio do COMAGSUL a geração diária de resíduos é de 50.241 toneladas, o que economicamente inviabilizaria o aproveitamento energético do mesmo.

- Digestão anaeróbia com aproveitamento energético: Segundo FADE/BNDES (2014) Os principais fatores que conferem viabilidade econômica aos processos de digestão anaeróbia são: redução dos custos de disposição em aterro sanitário e geração de receita pela venda de energia renovável. Neste sentido, o consórcio não se apresenta viável para geração de energia como também esta tecnologia possui a necessidade de uma elevada quantidade de orgânicos na composição dos resíduos a serem

processados (o que não é observado no consórcio) bem como mão de obra especialidade uma vez que no Brasil não existe nenhum digestor anaeróbio que trate resíduos urbanos (FADE/UFPE, 2014). Então, na atualidade, esta tecnologia não se apresenta indicada para operação em municípios de pequeno porte.

#### 4.5.2.4 Adequação das tecnologias para utilização nas rotas tecnológicas

Com a utilização dos critérios acima descritos e em função das características e da distância entre o centro gerador de resíduos de cada município e o aterro sanitário do COMAGSUL, a ferramenta considerou que as tecnologias de compostagem, aterro sanitário sem aproveitamento energético e central de triagem com tecnologia adequada para o consórcio, isto corresponde à metade (50%) das tecnologias disponíveis no programa. As tecnologias restantes foram consideradas inadequadas: digestão anaeróbia com aproveitamento energético, aterro com aproveitamento energético e incineração com aproveitamento energético, conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 32: verificação da adequação da tecnologia em função das características dos resíduos.

<b>Tecnologia</b>	<b>Resultado</b>
Compostagem	Adequado
Digestão anaeróbia com aproveitamento energético	Inadequado
Aterro sem aproveitamento energético	Adequado
Aterro com aproveitamento energético	Inadequado
Incineração com aproveitamento energético	Inadequado
Central de triagem	Adequado

Fonte: (Software IST 1.0, 2013).

O software não indicou as outras tecnologias existentes na ferramenta, devido à baixa geração de resíduos dos municípios, distância reduzida dos centros geradores ao aterro, composição gravimétrica, custos de manutenção/adequação e adequação tecnológica. Além disso a ferramenta faz análises dos sub-índices social, ambiental e econômico, comparando com o *benchmark* para os municípios, fazendo com que a ferramenta descarte a utilização de tecnologias.

Com base na adequação das tecnologias e nos resultados do IST para os municípios do COMAGSUL, percebe-se uma sequência lógica na programação da ferramenta, pois indicou a central de triagem como tecnologia mais adequada (IST 0,93), seguido da compostagem (IST 0,75) como tecnologia viável para a assimilação dos compostos orgânicos e por fim o aterro sanitário sem aproveitamento energético como a última tecnologia viável (IST 0,64).

Analisando separadamente os sub-índices das tecnologias adequadas para o consórcio destacam-se os índices (AM 0,987) da central de triagem como aquele mais alto uma vez que esta tecnologia necessita de menor área disponível que as demais, bem como o reaproveitamento dos materiais implica em uma vida útil maior para o aterro sanitário do consórcio. Os sub-índices (EC 0,934) (SO 0,859) respectivamente apresentam destaque para a central de triagem principalmente pelo fato de que economicamente a central de triagem agrega valor aos resíduos não degradáveis e que os municípios do COMAGSUL apresentam altos valores de plástico e papel que podem ser reaproveitados, sobretudo

os resíduos plásticos, que tem seu valor acrescido graças a segregação. O sub-índice social elevado para a central de triagem é coerente, pois como o consórcio é formado por municípios de pequeno porte, processo de triagem indicado seria manual (geração média de 5 a 10 ton/dia) apontando a inclusão dos catadores no processo de segregação dos resíduos sólidos.

O sub-índice AM foi melhor para a tecnologia central de triagem uma vez que esta tecnologia é considerada de baixo impacto ambiental (Capítulo 2 – Quadro 1), sendo seguida pela compostagem (médio impacto ambiental) e aterro sem aproveitamento energético (alto impacto ambiental). Para a compostagem o sub-índice AM 0,961 – excelente, é baseado no aproveitamento da matéria orgânica disposta na massa de resíduos e consequente aumento da vida útil do aterro sanitário.

O alto índice de relevância que a central de triagem possui em relação ao IST considerando seus aspectos sinérgicos SO, EC e AM atribuiu o maior valor para esse índice. Isto deverá ser um fator importante para a implementação desta tecnologia, já que a mesma não apresenta grande representatividade na região quando comparada a outras.

O sub-índice EC teve seu valor destacado para a central de triagem, seguida pelo aterro sem aproveitamento energético e compostagem, respectivamente. Isso se deve ao fato de que a instalação de centrais de triagem, gera automaticamente valor agregado aos resíduos através da segregação dos mesmos. Economicamente a utilização da tecnologia de compostagem promove a valorização dos resíduos orgânicos, além de se tratar de uma tecnologia de baixo custo operacional.

Em relação ao sub-índice SO a central de triagem apresentou maior valor (SO-0,859), seguido pela compostagem (SO-514) e aterro sem aproveitamento energético (SO-0, 411). Isso se dá pelo fato dessa tecnologia impactar positivamente nos municípios consorciados, se aplicada, pois é capaz de gerar empregos diretos e indiretos, além de movimentar uma cadeia comercial com produtores e fornecedores de bens e serviços.

Essa estruturação segue uma sequência lógica, já que a central de triagem é aquela tecnologia que agrega mais valores sustentáveis para os municípios analisados. Os municípios do consórcio que depositam no aterro sanitário do COMAGSUL, apresentam tecnológicas com IST variando entre Regular (Aterro sanitário), Bom (compostagem) e excelente (central de triagem).

#### 4.5.2.5 Rotas tecnológicas

Para o cálculo das rotas tecnológicas possíveis para o COMAGSUL, foi utilizado o valor do índice de Sustentabilidade Tecnológica (IST) para as tecnologias adequadas (central de triagem, compostagem e aterro sanitário sem recuperação energética). Estas rotas tecnológicas foram obtidas considerando o cenário com coleta indiferenciada dos RSU.

A ferramenta de apoio a decisão apresentou ao final da simulação cinco rotas tecnológicas possíveis conforme apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33: Rotas sugeridas pela ferramenta com o benchmark preliminar.

<b>Rota Tecnológica</b>	<b>IST</b>	<b>Tecnologias</b>
Rota 1	0,74	Aterro Sanitário
Rota 2	0,58	Central de Triagem
Rota 3	0,58	Central de Triagem Compostagem Aterro Sanitário
Rota 4	0,58	Central de Triagem Aterro Sanitário
Rota 5	0,58	Central de Triagem Compostagem

Fonte: (Software IST 1.0, 2013).

A rota tecnológica com maior IST foi apenas o aterro sanitário sem aproveitamento energético. Esta rota é justificada pela pequena quantidade de resíduos e a existência de baixo teor de matéria orgânica e grande quantidade de rejeitos favorece o estabelecimento de aterros sanitários sem aproveitamento energético no Brasil. Além disso o porte socioeconômico dos municípios analisados também favorecem a instalação dessa tecnologia, bastante difundida no país. Apesar de ter sido a rota tecnológica com maior IST é importante salientar que a mesma não representa uma priorização dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos e considera que todo resíduo é rejeito.

As outras quatro rotas apresentaram o mesmo valor de IST 0,58 destaca-se a tecnologia central de triagem que aparece em todas estas as rotas sugeridas pela ferramenta. Isso se deve graças à composição gravimétrica dos RSU que favorece a tecnologia, bem como altos valores individuais dos sub-índices AM, SO e EC.

Salienta-se que as Rotas 2 e 5 não poderiam ser adotadas, pois sempre será necessário o local de disposição final dos rejeitos, então consideramos que o aterro sanitário sem aproveitamento energético deveria estar presente nestas rotas tecnológicas.

Vale destacar a rota 3 que apesar de possuir IST 0,58 é aquela que possui o melhor cenário, considerando as rotas propostas pela ferramenta. Já que a mesma apresenta uma diversificação do tratamento dos resíduos utilizando tecnologias (central de triagem e compostagem) de baixo custo e de mão de obra não especializada e enviando apenas para o aterro sanitário os rejeitos.

## CAPÍTULO 5

### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Com base nos estudos desenvolvidos e os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se observar de maneira geral que:

- Para a escolha de qualquer tecnologia e rota tecnológica são necessários estudos mais aprofundados de geração e composição gravimétrica dos resíduos;
- A composição gravimétrica dos resíduos estabelece uma correlação extremamente pertinente acerca do grau de desenvolvimento de cada município e sua geração em massa, bem como em relação as subclasses dos resíduos gerados, ou seja quanto maior o desenvolvimento econômico municipal maior (quantitativamente) e qualitativamente da geração de resíduos processados industrialmente como plásticos e resíduos têxteis. E quanto menor o grau de desenvolvimento socioeconômico maior a produção de resíduos orgânicos.
- Modelos realizados a partir da categorização e priorização de decisões são de grande valia, pois necessitam de conhecimentos ampliada do entendimento de sustentabilidade, adotando as dimensões: ambientais, sociais, e econômicas;
- A utilização de ferramentas de apoio à decisão é bastante útil para apresentar as tecnologias e os possíveis indicadores ambientais, econômicos e sociais, porém sempre é necessário correlacionar as tecnologias apresentadas pela ferramenta com os aspectos sociais, ambientais e econômicos dos municípios.

Observando sobre a perspectiva de geração e composição gravimétrica

- Para o período de 2001 a 2014, foi observado uma redução da geração percapita dos resíduos sólidos urbanos nos municípios estudados. A única exceção corresponde ao município de Agrestina. Indicando a importância deste estudo para a escolha da tecnologia de tratamento de resíduos, uma vez que a quantidade de resíduos é um fator limitante de diversas tecnologias.
- No período de 2001 a 2014 foi observado uma redução dos percentuais de resíduos orgânicos para todos os municípios do consórcio. Em 2001 a média de resíduos orgânicos era de 60% e em 2014 variou entre 24,5 e 42,7%, estando 4 municípios abaixo de 35%. Juntamente com a quantidade de resíduos, esta composição pode inviabilizar tecnologias de tratamento de resíduos orgânicas mais tecnológicas. Em contrapartida pode viabilizar unidades de triagem de resíduos.

Com relação à ferramenta de apoio à decisão, conclui-se que:

- A disponibilidade da ferramenta na internet favorece o acesso à informação por parte do usuário, além do *layout* simples e prático que favorece a utilização e entrada de dados por qualquer gestor
- A ferramenta permite que gestores de resíduos em qualquer ente federativo: município (consorciados ou não), estado e união, seja capaz de apoiar sua decisão de forma técnico científica, atribuindo clareza decisão na gestão de resíduos, adotada em sua região, através da realização ou não de consórcios;
- Índices de sustentabilidade ambiental, elaborados a partir da observação de sub-índices sociais econômicos e ambientais, são excelentes mecanismos de suporte para a escolha de rotas tecnológicas.

Com relação ao estudo de rotas tecnológicas de tratamento de RSU, conclui-se que:

- A avaliação por sub-índices ambiental, econômico e social apresenta ao tomador de decisão um maior esclarecimento sobre as tecnologias;
- Observou-se a necessidade incremento de algumas restrições tecnológicas ou econômicas para as tecnologias de forma a apresenta-la com um baixo valor do sub-indicador. Poderemos citar como exemplo a quantidade e composição gravimétrica dos resíduos para limitar qualquer tecnologia que pretenda fazer o aproveitamento energético.
- A diversidade de rotas tecnológicas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos propõe uma maior avaliação dos estudos de impacto social, ambiental e econômicos, visando à adequabilidade à realidade local.
- A melhor rota tecnológica com maior IST foi a utilização de aterro sem aproveitamento energético. Contudo vale destacar as rotas contemplando central de triagem, compostagem e aterro sem aproveitamento energético.
- A tecnologia de aterro sanitário deverá estar presente em qualquer rota tecnológica já que nele será depositado os rejeitos de qualquer outro tratamento.

Como recomendações destacam-se:

- Dar continuidade à pesquisa, aumentando o período de análises com a ferramenta e extrapolando as análises para outras realidades;
- Os ensaios de campo e laboratoriais devem ser periodicamente replicados, para acompanhar a evolução da produção de resíduos, favorecendo a melhor forma de gerenciamento;
- Aplicar em escala real os mecanismos de gestão e escolhas das rotas tecnológicas para constatar sua viabilidade.

- Estudar e avaliar o uso da ferramenta comparando com outras realidades e com o maior número possível de municípios, consorciados ou não para avaliar possíveis falhas e pontos de melhorias da ferramenta.
- Aprimoramento da ferramenta de apoio a decisão incluindo restrições técnicas e econômicas para o aproveitamento energético e estações de transbordo.

**REFERÊNCIAS**

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2013. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf> acessado em maio de 2015.

ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados**. Tese (doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco. 2007. Recife - PE, 364 fls.

ALMEIDA, A.T. **O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão**. 2 ed. rev. e ampl. Recife: Ed Universitária da UFPE, 2011.

AMADO, F. A. D. T. **Direito Ambiental Esquematizado**, 3ª edição, Editora Método, Rio de Janeiro, 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater** 21<sup>nd</sup> ed. Washington, 2005.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington, 1998. 1220 p.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Boletim do clima: síntese climática**. Disponível também em: < [hΣ p://www.apac.pe.gov.br/](http://www.apac.pe.gov.br/)>. Acessado em, 19 de agosto de 2015.

BARLISHEN, K.D. e BAETZ, B.W. **Development of a decision support system for municipal solid waste management systems planning**. Waste Management and Research. V.14, p.71-86, 1996.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012.

BASE DE DADOS DO ESTADO-BDE. Perfil dos municípios. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/estruturacaogeral/perfilmunicipios.aspx> Acessado em junho de 2015.

BESEN, G. R. **Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas**. In: SALDIVA P. et al. Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris, 2010.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental**. Oficina de Textos 1ª ed. São Paulo, 2008.

BOVEA, M.D. e POWELL, J.C. **Alternative scenarios to meet the demands of sustainable waste management**. Journal of Environmental Management. V.79, N.2, p.115-132, 2006.



BRASIL. 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. DOU, S.1 – Atos Poder Legislativo, Ed.147 de 3, de agosto de 2010.

Brasil - SAE Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência **Assuntos estratégicos social e renda da República**. Nº 1 Brasília: Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2014. Disponível em [http://www.sae.gov.br/wp-content/uploads/ebook\\_ClasseMedia1.pdf](http://www.sae.gov.br/wp-content/uploads/ebook_ClasseMedia1.pdf). Acessado em: junho de 2015.

BRASIL. (2010) **Indicadores sociais municipais: uma análise dos resultados do universo do censo demográfico 2010** / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. 151 p <http://biblioteca.ibge.gov.br/pt/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=254598>. ACESSO: JUNHO DE 2015.

BRASIL. (2010) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

BRASIL - Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Publicado no DOU nº136, de 17 de julho de 2002, págs. 95-96.

BRASIL - Resolução CONAMA nº 358, de 29 de abril de 2005. Publicado no DOU nº84, de 4 de maio de 2005, seção 1, páginas 63 e 65.

CALLE, J.A.C. **Comportamento geomecânico de resíduos sólidos urbanos**. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – universidade federal o rio de janeiro, 2007. Rio de Janeiro-RJ, 174 fls.

CASTILHOS JR, A.B. (2003). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro. 294p

CAMPOS, H.K.T. **Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil**. Eng. Sanitária e Ambiental. v.17 n.2, abr/jun 2012, p 171-180.

CEPIS. 2005. **Evaluacion Regional de los Servicios de Manejo de Resíduos Sólidos Municipales**. CEPIS: Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental e Ciências do Ambiente. OPS-OMS. [www.cepis.ops-oms.org](http://www.cepis.ops-oms.org)

CHERINICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**, Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1997.

COELHO, H.M.G. **Modelo para avaliação e apoio ao gerenciamento de resíduos indústrias**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Belo Horizonte - MG, 280 fls.

FERNANDES, F. *et al.* **Manual prático de compostagem de biossólidos**. Londrina PROSAB. 1999. Universidade estadual de londrina. 83 p.

FIALHO, M.A. **Aspectos de ordem institucional para a gestão de resíduos sólidos em áreas metropolitanas: o desafio da intermunicipalidade**. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, letras e ciências humanas, Universidade de São Paulo, 2011. São Paulo - SP, 315 fls.

FILHO J.A.P.; SILVEIRA, F.F.; LUZ, E.G.; OLIVEIRA, R.B. **Comparação entre as massas de resíduos sólidos urbanos coletadas na cidade de São Paulo por meio de coleta seletiva e domiciliar**. Journal of Environmental Management and Sustainability – JEMS Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS Vol. 3, N. 3. Setembro. / Dezembro. 2014.

FIRMO, *et al.* Núcleo Coordenador: Gestão da Informação. In: 2º Seminário do projeto BNDES/FADE-UFPE (Produto 3) “Análise das diversas alternativas tecnológicas de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão”, 2012.

FIRMO, A.L.B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. Tese (doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2013. Recife – PE, 286 fls.

FRANCA, F.P.O.; LEIS, F.S.; BORO, I; IMPORTA, R.F.; AZEVEDO, S. A.S.; CARVALHO, T.D.; ABREU, L.C.; ADAMI, F.; ALVARENGA, R.; HABERMANN, M.; SILVA, O.R.; FONSECA, F.L.A. **Correlação entre rendimento e geração de resíduos sólidos na região metropolitana de São Paulo**. Saúde Meio Ambient. v. 2, n. 1, p. 84-92, jan./jun. 2013

GANDOLLA, M. **Estado de la incineracion em Suiza 1** – Conferencia sobre tratamentos térmicos, Ategrus, Madri, 2008.

GARDNER, G. **Municipal Solid Waste Growing**. 2012. Disponível em:<<http://www.worldwatch.org/global-municipal-solid-waste-continues-grow>>. Acesso em: julho 2015.

GONÇALVES, J.E.; SARTORI M.M.P.; LEÃO, A. L. **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis***. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.5, p.657–661, 2009.

GOULART, GPPP; MAHLER, CF; FREITAS, M.A.V. **Diagnóstico dos resíduos do porto do Rio de Janeiro**. 27º congresso brasileiro de engenharia sanitária e Ambiental. Goiânia, Goiás, 2013.

GRUPO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (Pernambuco). **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para os Municípios do Agreste Central**. Recife: UFPE, 2001. 37 p.

HAMMOND, J.S; KENNEY, R.L.; RAIFFA, H. **Trocas equilibradas um método racional para negociar**. In: Harvard Business Review. Tomada de decisão. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

HABITZREUTER, M. T. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) da região de Santa Maria, pré e pós-triagem.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2008. 88 fls.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste a global review of solid waste management.** Urban Development & Local Government Unit. World Bank, NW Washington, DC USA March 2012, No. 15.

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal **Planos de resíduos sólidos: desafios e oportunidades no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos** - Rio de Janeiro: IBAM, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB.** Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: relatório de pesquisa.** Brasília, DF, 2012.

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

JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; FILHO, J.V.M. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** Barueri, São Paulo: Manole, 2012.

JUCÁ, J.F.T. curso sobre novas alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos sólidos, ABES, CE, 2011.

JUCÁ, J.F.T. Painel 3 – **Planejamento e operação de aterros sanitários: tratamento de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário.** In: IV SEMINÁRIO REGIONAL NORDESTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS e 2º ENCONTRO SERGIPANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. 2012. Anais. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) e Universidade Federal de Sergipe (UFS), 2012.

JUNIOR, A. B. C. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES, 294 p.: il. Projeto PROSAB. RiMa, 2003.

JUNIOR, A.B.C. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção dos corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 494 p., Projeto PROSAB. 2006.

JUNIOR, F. H. C. **Estudos de indicadores de sustentabilidade e sua correlação com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Fortaleza-CE.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará, 2013. Fortaleza - CE. 244 fls.

JÚNIOR, J.M.M. **Gestão integrada de resíduos sólidos (Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos).** Coordenação de Karin Segala, Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

LEITE, W.C.A. **Estudo da gestão de resíduos sólidos: uma proposta de modelo tomando a unidade de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHI-5) como referência.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, 1997. São Paulo – SP.

KATO, J.M. **Um modelo para a construção de cenários aplicado indústria de transportes rodoviários de cargas no Brasil.** Curitiba: Revista FAE, V.10, n.2, p.179-197, 2007.

LANDVA, A. O. & CLARK, J. I. (1990) Geotechnics of Waste Fills. Theory and Practice. ASTM STP 1070 – Arvid Landva, G. David Knowles, editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 86-103.

LANGE, L.C., SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A. **Aterro sustentável: um estudo para a cidade de catas altas, MG.** In: BORGES CASTILHO Jr., A (Coord.) resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro/Florianópolis: ABES/PROSAB3, 2003, p143-197

LIMA, J.D. **Modelos de apoio a decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2012. Recife – PE, 400 fls.

LINS, E.A.M. **Proposição e avaliação de um sistema experimental de processos físicos e químicos para tratamento de lixiviado.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Recife – PE, 277 fls.

LOPES, R.L. **Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos.** Tese (doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2011. 250 fls.

LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros sanitários.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Florianópolis – SC, 166 fls.

MACIEL, F.J. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco, 2009. Recife - PE, 333 fls.

MACIEL, FJ; JUCÁ, JFT. **Biogas recovery in an experimental MSW cell in Brazil: lessons learned and recommendations for CDM projects.** Greenhouse Gas Measurement and Management V. 2 Issue 4 pages 186-197, 2013.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2012) **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília: MMA (Verão preliminar) 106 p.

MARIANO, M.O.H.; MACIEL, F.J.M.; FUCALE, S.P.; JUCÁ, J.F.T.; BRITO, A.R. (2007). **Estudo da composição dos rsu do projeto piloto para recuperação do biogás no Aterro da Muribeca/PE.** VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO 2007. Recife, PE.

MASSUKADO, L.M. **Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal de São Carlos, 2004. São Carlos - SP, 230 fls.

MATOS, T.F.L. **Avaliação da viabilidade de reintegração de resíduos de PET pós-consumo ao meio produtivo**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, 2009. São Carlos – SP, 289 fls.

MARTINKO; MADIGAN, PARKER, G. **Microbiologia de Brock**. 10ª Ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, Brasil, 2004. 624p.

MCDUGALL, F.R.; WHITE, P.R.; FRANKE, M. and HINDLE, P. **Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory**. 2nd Edition. Pub. Blacwell Science Ltd. Osney Mead, Oxford, England, 2001.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente**, 9ª Ed. rev. Atual. E ampl. São Paulo. Editora: revista dos tribunais, 2014.

MOBERG, A. **Environmental systems analysis tools for decision-making. LCA and Swedish waste management as an example**. Stockholm: Royal Institute of Technology. 56p. Licenciante Thesis, 2006.

MONTEIRO, J.H.P. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MOTTA, E.Q. **Avaliação da resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos com disposição de lodo de tratamento de esgoto através de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões**. Tese (doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, 2011. Recife – PE, 211 fls.

MUNFORD, L. A. **Cidade na História, suas origens, suas transformações, suas perspectivas**. Belo Horizonte, MG: Itatiaia, 1965.

NAVES, L.C. **Influência da compactação do solo na produção e no potencial poluidor de lixiviados de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, 2013. Lavras - MG, 132 fls.

ABNT NBR 15256: **critérios para elaboração de aterros sanitários de pequeno porte – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 8419 (1992) - **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos**. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. São Paulo, 1992.

NBR 13999 – **Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C**. Associação brasileira de normas técnicas, 2003.

NBR 10.004 (2004). **Resíduos Sólidos - Classificação**. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004.

NETO, P.N. **Resíduos sólidos urbanos: perspectivas de gestão intermunicipal em regiões metropolitanas**. São paulo: Atlas, 2013.

NÓBREGA, CC. **Estudo e avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem de leiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Recursos Hídricos), Universidade Federal da Paraíba, 1991. Campina Grande - PB, 115fls.

OLIVEIRA, F.J.P. **Características geotécnicas de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos**. Simpósio Internacional de destinação do lixo. Anais. Pp 106-141 Salvador. Bahia, 1994.

OLIVEIRA, S.A.; LEITE. V.D.; PRASAD, S.; RIBEIRO, M.D. **Estudo da produção per capita de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Campina Grande-PB**. Revista Saúde e Ambiente, v. 5, n. 2, p. 37-44. 2004.

PEREIRA, C. D. **Metodologia para implantação de estação de transferência de resíduos sólidos urbanos: um exemplo de aplicação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis- SC, 2013.

PEREIRA NETO, J.T. **O saneamento básico e sua necessidade**. Viçosa, MG: UFV, 1980. 17p (boletim técnico).

Pesquisadores do FADE/BNDES Produto 4: **Relatório final do perfil institucional, quadro legal e políticas públicas relacionados a resíduos sólidos urbanos no Exterior e no Brasil**. Projeto de Pesquisa Científica (2012).

Pesquisadores do FADE/BNDES Produto 7: **Relatório final de avaliação técnica, econômica e ambiental das técnicas de tratamento e destinação final dos resíduos**. Projeto de Pesquisa Científica (2013).

Pesquisadores do FADE/BNDES: **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Projeto de Pesquisa Científica (2014).

PHILIPPI JR., A.P., ROMÉRO, M.A., BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental**, coleção ambiental, Manole, Barueri, São Paulo 2004.

PHILIPPI JR, A. ROMÉRO, M.A., BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental**. 2 ed. Atualizada e ampliada. Barueri. Manole, São Paulo, 2014.

POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. **Critical review and summary of leachate and gas production from landfills**. Cincinnati: US Environmental Protection Agency, 1985. EPA/600/2-86/07.

QUEIROZ, P.C.D., **O plano do gerenciamento do resíduo sólido urbano como ferramenta de implantação do programa Lixo Zero em Araguari – MG.** Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal de Uberlândia, 2010. Uberlândia – MG, 356 fls.

REICHERT, G. A. **Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão.** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005. Anais. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2005.

REICHERT, G. A. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação de ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Porto Alegre – RS, 276 fls.

REINALDO, E.D.F.; SILVA, M.R.F.; NARDOTO, G.B; GARAVELLO, M.E.P.D. **Mudanças de hábitos alimentares em comunidades rurais do semiárido da região nordeste do Brasil.** Interciência, MAY 2015, VOL. 40 Nº 5, 2015. Acessado em: julho/2015; Disponível em:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33937066007>> ISSN 0378-1844

SALHOFER, S.; WASSERMANN, G. e BINNER, E. **Strategic environmental assessment as an approach to assess waste management systems. Experiences from an Austrian case study.** Environmental, Modelling and Software. V.22, p.610-618. 2007.

SANTIAGO, L.S.; Dias, S.M.F. **Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos.** Eng. Sanit Ambient v.17 n.2 abr/jun 2012 203-212.

SCHALCH, V. **Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia.** 1992. Tese (Doutorado – hidráulica e saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SHARMA, M., MC BEAN, E. **A methodology for solid waste characterization based on diminishing marginal returns.** Waste management. V 27, p 337-334. 2007.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco.** Recife. 2012. 306p.

SILVA, A.K.M. **Estudo do comportamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em lisímetros preenchidos com resíduos de diferentes características.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, 2013. Fortaleza – CE, 203 fls.

SILVA, R.M.P. **Análise do processo decisório na administração pública e sistemas de apoio a tomada de decisão: contradições e paradoxos na realidade organizacional pelo não uso de ferramentas disponíveis.** Tese (Doutorado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. Porto Alegre - RS, 229 fls.

SOFTWARE IST 1.0. Desenvolvida no âmbito do projeto: “Análises das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Japão e Estados Unidos”. 2013

SWEWW 2540 B **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - Analysis of total solids and solids volatiles**. 2010.

TAGUCHI, R.L. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares com o uso do *Balanced Scorecard***. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações), Universidade de São Paulo, 2010. Ribeirão Preto – SP, 178 fls.

TEIXEIRA, S.C.M. **Estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Universidade do Porto, 2004. Porto – PT, 319 fls.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIRGIL, S. **Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues**. New York: McGraw-Hill, 1993. 978p.

TCHOBANOGLIOUS, G., KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2ª ed. New York, McGRAW-HILL, 2002. 978p.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Solid waste management**. 2005.

U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Landfill off-gas collection and treatment system**, Technical letter nº 1110-1160, Depart. of The Army, Washington DC, USA. 1995.

VEIGA, T.B. **Indicadores de sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos urbanos e implicações para a saúde urbana**. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, 2014. São Paulo - SP, 263 fls.

ZANATA, V.M., E FERREIRA, C.F.A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos**. In: Castilho Junior, A.B. (Coord.) **resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: Rima ABES, 2003 294p.



## ANEXO I – DADOS DE ENTRADA

Sigla	Nome	1	2	3	4	5	6	7
AM-1	Quantidade de efluente líquido gerado por ano	100	100000	420000	10000	100000	0	0
AM-2	Quantidade de dióxido de carbono emitido por ano	100	100000	40000	100000	500000	0	0
AM-3	Quantidade de gases de efeito estufa emitidos por ano	50	100000	300000	200000	500000	0	0
AM-4	Quantidade de créditos de carbono negociados por ano	0	10000	0	50000	5000	0	0
AM-5	Quantidade de solo utilizado por ano	0	0	1000000	1000000	0	0	0
AM-6	Quantidade de energia total consumida no tratamento por ano	30000	10000	0	1000	100000	10000	10000
AM-7	Quantidade de energia térmica/vapor gerada no tratamento por ano	0	1000	0	100000	10000	0	0
AM-8	Área utilizada pela tecnologia	50000	100000	400000	1000000	100000	10000	100000
EC-1	Despesa do tratamento de efluentes líquidos e gasosos por ano	20000	1000000	100000	50000	1000000	10000	3000
EC-2	Receita de venda de créditos de carbono por ano	0	1000	0	10000	1000	0	0
EC-3	Estimativa de despesa em área total por m <sup>2</sup>	100	10000	5000	5000	10000	1000	10
EC-4	Receita de venda de energia por ano	0	1000	0	500000	100000	0	0
EC-5	Despesa com construção total (CAPEX) - infraestrutura, equipamentos, etc	2000000	10000	100000	500000	1000000	1000000	450000
EC-6	Despesa total de operação por ano (OPEX) - energia, mão-de-obra, encargos fiscais e tributários, etc	100000	10000	100000	600000	500000	500000	80000
EC-7	Despesa de encerramento	10000	100000	100000	500000	1200000	10000	40000
EC-8	Receita com materiais recicláveis	100000	40000	0	0	0	500000	500000
SO-1	Quantidade de empregos formais gerados na planta	20	13	20	18	8	50	40
SO-2	Pessoal técnico	5	6	6	6	2	5	5
SO-3	Pessoal administrativo	5	2	2	2	4	5	5
SO-4	Pessoal operacional	10	5	12	10	2	40	30
SO-5	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Abaixo do fundamental (não alfabetizado)	8	4	6	4	0	30	20
SO-6	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Fundamental/médio	2	2	6	6	2	10	5
SO-7	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Técnico	4	5	6	6	4	3	3
SO-8	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Superior	4	2	2	2	2	2	2

**Legenda:** 1-Compostagem; 2-Digestão Anaeróbia com aproveitamento energético; 3-Aterro sem aproveitamento energético; 4-Aterro com aproveitamento energético; 5-Incinerção com aproveitamento energético; 6-Central de triagem; 7-Estação de transbordo;

## ANEXO 2 - TABELA INDICADORES NORMALIZADOS

Sigla	Nome	1	2	3	4	5	6	7
AM-1	Quantidade de efluente líquido gerado por ano	0.07690	0.15940	0.16130	0.15630	0.09050	0.08700	0.08330
AM-2	Quantidade de dióxido de carbono emitido por ano	0.11540	0.13200	0.09680	0.09380	0.17050	0.13040	0.08330
AM-3	Quantidade de gases de efeito estufa emitidos por ano	0.11540	0.16770	0.16130	0.15630	0.16110	0.04350	0.08330
AM-4	Quantidade de créditos de carbono negociados por ano	0.19230	0.15940	0.16130	0.15630	0.14260	0.21740	0.08330
AM-5	Quantidade de solo utilizado por ano	0.07690	0.03350	0.06450	0.06250	0.07040	0.08700	0.08330
AM-6	Quantidade de energia total consumida no tratamento por ano	0.11540	0.10580	0.03230	0.06250	0.10520	0.13040	0.25000
AM-7	Quantidade de energia térmica/vapor gerada no tratamento por ano	0.19230	0.14990	0.16130	0.15630	0.16110	0.21740	0.08330
AM-8	Área utilizada pela tecnologia	0.11540	0.09230	0.16130	0.15630	0.09860	0.08700	0.25000
EC-1	Despesa do tratamento de efluentes líquidos e gasosos por ano	0.08000	0.14780	0.17860	0.15630	0.07600	0.03570	0.06670
EC-2	Receita de venda de créditos de carbono por ano	0.20000	0.13160	0.17860	0.15630	0.13390	0.17860	0.06670
EC-3	Estimativa de despesa em área total por m <sup>2</sup>	0.08000	0.09940	0.07140	0.06250	0.13390	0.07140	0.20000
EC-4	Receita de venda de energia por ano	0.04000	0.15610	0.03570	0.15630	0.16840	0.03570	0.06670
EC-5	Despesa com construção total (CAPEX) - infraestrutura, equipamentos, etc	0.20000	0.14780	0.17860	0.15630	0.16840	0.17860	0.20000
EC-6	Despesa total de operação por ano (OPEX) - energia, mão-de-obra, encargos fiscais e tributários, etc	0.20000	0.14780	0.17860	0.15630	0.16840	0.17860	0.20000
EC-7	Despesa de encerramento	0.16000	0.07910	0.14290	0.12500	0.10020	0.14290	0.13330
EC-8	Receita com materiais recicláveis	0.04000	0.09050	0.03570	0.03130	0.05090	0.17860	0.06670
SO-1	Quantidade de empregos formais gerados na planta	0.21740	0.10090	0.21740	0.21740	0.08860	0.21740	0.16670
SO-2	Pessoal técnico	0.21740	0.12980	0.21740	0.21740	0.11740	0.21740	0.11110
SO-3	Pessoal administrativo	0.17390	0.08960	0.17390	0.17390	0.08860	0.17390	0.11110
SO-4	Pessoal operacional	0.21740	0.12980	0.21740	0.21740	0.11740	0.21740	0.11110
SO-5	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Abaixo do fundamental (não alfabetizado)	0.04350	0.04480	0.04350	0.04350	0.05520	0.04350	0.16670
SO-6	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Fundamental/médio	0.04350	0.08960	0.04350	0.04350	0.09950	0.04350	0.16670
SO-7	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Técnico	0.04350	0.20300	0.04350	0.04350	0.21190	0.04350	0.11110
SO-8	Nível de formação/ qualificação dos empregados - Superior	0.04350	0.21260	0.04350	0.04350	0.22150	0.04350	0.05560

**Legenda:**1-Compostagem; 2-Digestão Anaeróbia com aproveitamento energético; 3-Aterro sem aproveitamento energético; 4-Aterro com aproveitamento energético; 5-Incineração com aproveitamento energético; 6-Central de triagem; 7-Estação de transbordo;

## ANEXO 3- sub-índices calculados.

Sigla	Nome	1	2	3	4	5	6	7
AM	Ambiental	0.961	0.917	0.606	1.008	0.563	0.987	0.952
EC	Econômico	0.775	0.768	0.901	1.028	0.513	0.934	0.995
SO	Social	0.514	0.293	0.411	0.386	0.13	0.859	0.577

**Legenda:**1-Compostagem; 2-Digestão Anaeróbia com aproveitamento energético; 3-Aterro sem aproveitamento energético; 4-Aterro com aproveitamento energético; 5-Incinerção com aproveitamento energético; 6-Central de triagem; 7-Estação de transbordo;