



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIENCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MODELOS DE APOIO À DECISÃO PARA ALTERNATIVAS  
TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS NO BRASIL**

**José Dantas de Lima**

**Recife**  
**Dezembro de 2012**

**MODELOS DE APOIO À DECISÃO PARA ALTERNATIVAS  
TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS NO BRASIL**

**José Dantas de Lima**

**José Dantas de Lima**

**MODELOS DE APOIO À DECISÃO PARA ALTERNATIVAS  
TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS NO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá

Co - Orientadora : Prof. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral

Recife

Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE

Dezembro de 2012

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Marcos Aurélio Soares da Silva, CRB-4 / 1175

L732m	<p>Lima, José Dantas de. Modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil /  José Dantas de Lima. - Recife: O Autor, 2012. xxxiv, 400 folhas, il., gráfs, tabs.</p> <p>Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup>. José Fernando Thomé Jucá. Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo Martins Sobral. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.2012. Inclui Referências e Apêndices.</p> <p>1. Engenharia Civil. 2. Gestão.. 3. Tratamento de Resíduos - Tecnologia. 4.Modelo de Decisão. I Jucá, José Fernando Thomé (Orientador). II. Título.</p> <p>624 CDD (22. ed.)</p>	<p>UFPE BCTG/2013-059</p>
-------	---	-------------------------------



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**MODELOS DE APOIO À DECISÃO PARA ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS  
DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL**

defendida por

José Dantas de Lima

Considerado o candidato APROVADO

Recife, 21 de dezembro de 2012

---

José Fernando Thomé Jucá – DEC/UFPE  
(Orientador)

---

Maria do Carmo Martins Sobral – DEC /UFPE.  
(Co - Orientadora)

---

Francisco Suetônio Bastos Mota  
(Examinador externo)

---

Claudia Coutinho Nóbrega – DTCC/UFPE  
(Examinador externo)

---

Maria Odete Holanda Mariano – CAA/UFPE  
(Examinador externo)

---

Arnaldo Manoel Pereira Carneiro – DEC/UFPE  
(Examinador interno)

A Meus Pais, Leônidas Correia de Lima e Ivone Dantas de Lima, sementes de tudo em  
minha vida.

*A minha bela e amada esposa, Tereza Campelo, por seu Amor, compreensão e apoio incondicional a cada amanhecer. Aos meus amados filhos, Rebeca, Rayan e Raquel, motivos de amor, esperança e que renovam a cada dia, todo sentido da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Senhor Jesus, Senhor da minha vida, por tudo que proporcionou na minha vida, por mais essa etapa vencida, por todos os momentos de alegria, de adversidade, incertezas e superação. Agradeço por permitir que eu viva, a cada dia, Sua infinita bondade e viva segundo o Seu amor e a Sua Justiça, mas sobre o seu temor, princípio essencial da sabedoria.

A minha amada Mãe Ivone Dantas de Lima, pelos ensinamentos, pelo apoio e incentivo em todas as fases de minha vida, a meu Pai Leônidas Correia de Lima pela simplicidade e senso de Justiça e a minha querida irmã Uilanete Dantas de Lima pelo apoio, incentivo e cumplicidade constantes.

A minha esposa Tereza Campelo pelo apoio incondicional a todo o tempo e meus amados filhos Rebeca, Rayan e Raquel pelo apoio diário.

O agradecimento é um ato de reconhecimento sincero e verdadeiro da participação de outras pessoas em sua caminhada. Concluir um doutorado é pra mim um sonho cultivado desde os tempos de minha formação como engenheiro civil e como atuante na gestão dos resíduos sólidos. No entanto, a vida profissional e os compromissos pessoais, apenas adiaram esta conquista por um tempo, mas nunca encerrou essa conquista. Neste sentido este e outros sonhos pessoais sempre foram incentivados pelas pessoas que me cercam, que sempre apoiaram a sua concretização e acreditaram que é possível, torna-se real.

Ao Professor Jucá, pela orientação, pela paciência e ensinamentos, pela direção correta e discussões profundas na realização desta pesquisa. Agradeço pela oportunidade que me proporcionou para realização dessa pesquisa e pela confiança depositada há alguns anos antes, ativando em mim o despertar deste sonho primeiro. Meu muito obrigado.

As Professoras Maria do Carmo Sobral e Claudia Coutinho pelos ensinamentos e incentivos nesta caminhada. Ao Professor Suetônio Mota, pelos ensinamentos e incentivos a esta caminhada. Ao amigo João Alberto Ferreira pelo incentivo constante.

Ao amigo Mauro Gandolla, pela simplicidade e paciência em transferir seus conhecimentos aos que precisam. Meu muito obrigado.

A Eduardo Maia, Felipe Maciel e Gustavo Nogueira pelo apoio, críticas e sugestões ao trabalho, e pelo apoio constante ao cumprimento deste objetivo. A Humberto Júnior e Regia Lopes, amigo(a)s de início desta caminhada, pelos estudos, reflexões, aprendizado e momentos de descontração, trocas de experiências e grande amizade.

A Filemon Benigno, Genival Martins e Ivaldo Batista, por todo apoio no início desta Jornada. Aos amigos Rodrigo Lima e Vicente Damante pelo apoio em todas as horas, meu muito obrigado.

Ao BNDES, que através do Projeto: “Análise das Diversas Alternativas Tecnológicas de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão”, coordenado pela UFPE, propiciou o estímulo necessário a escolha deste tema.

A família do GRS – Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE, minha gratidão pelo convívio durante os anos de estudos e aprendizado, em especial a Odete Mariano, Danuza Lima, Alessandra Lee, Cecília, Ingrid, Fabrícia e Kelma Vitorino, Gerson e Rodrigo.

A EMLUR e seus servidores em todos os níveis, minha escola de aprendizado diário, que tornou possível a transformação de sonho em pesquisa.

Aos amigos Luís Sérgio, Paulo Farias, Eraldo Carvalho e Geraldo Reichert pelo apoio e incentivo a este trabalho.

A todos os convidados que responderam aos questionários e que direta e indiretamente contribuíram com o desenvolvimento desta pesquisa, minha gratidão.

Aos servidores da UFPE e do laboratório de solos da UFPE, Antônio Brito, Rose, e em especial a Andrea e Seu Severino pelo apoio a todas as horas.

Enfim, obrigado a todos aqueles que de alguma forma me tornaram um ser melhor e que de algum modo possa eu ajudar aqueles que mais precisam.

*Inclina teu coração e ouve a palavra dos sábios e aplica o teu coração ao conhecimento.*

*Provérbios – 22:17*

*Aplica o teu coração a instrução e os teus ouvidos as palavras do conhecimento. A sabedoria é a coisa principal, adquiere-a empregando o que possui na aquisição do conhecimento. Provérbios 23:12*

*Mais ainda, aplica este conhecimento para aqueles que mais precisam.*

*.....Combati o bom combate, terminei a corrida, guardei a fé .... 2 Timóteo 4:7*

## RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos no Brasil, considerada um setor básico do saneamento não tem recebido a devida atenção pelos gestores públicos, causando impactos consideráveis na saúde pública, na poluição dos recursos hídricos, do solo e do ar e na degradação do meio ambiente.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são um tipo de resíduo particularmente difícil de gerenciar por se tratar de um resíduo muito heterogêneo na sua composição, variando muito de acordo com o local de produção, com os aspectos econômicos, hábitos e a cultura da população urbana ou rural geradora, tornando quase sempre a sua solução complexa. E para estas soluções se torna mais que necessário o conhecimento das atuais tecnologias de tratamento de resíduos existentes para que se busquem soluções ambientalmente adequadas, economicamente sustentadas, socialmente justas e politicamente aceitáveis, ou seja, que proponha soluções aplicáveis ao Brasil.

Esta realidade motivou esta pesquisa, que visa o estudo de modelos de apoio a decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos com o objetivo de propor para cada região geográfica do Brasil alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos em forma de arranjos tecnológicos, baseados em critérios ambientais, sociais, econômicos e políticos. Para tanto, utilizou-se de dois modelos de apoio a decisão, no caso, o modelo Analytic Hierarchy Process – AHP e o Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations – PROMETHEE II(V), para que em função da sua relevância, fosse proposta uma forma de hierarquização das tecnologias identificadas para o tratamento dos resíduos.

A hierarquização produziu como resultado final um conjunto de tecnologias que analisadas se tornaram arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos nas cinco regiões geográficas do Brasil, atendendo ao que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Os resultados obtidos mostraram que os modelos utilizados apresentaram-se como uma ferramenta adequada para a proposição de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos e pode ser aplicada em situações isoladas ou em consórcios públicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** gestão, tecnologias de tratamento de resíduos e modelo de apoio a decisão.

## ABSTRACT

The waste solid management in Brazil, considered one of the basic sanitation sector has not received adequate attention by public managers, causing considerable impacts on public health, water pollution and soil, air degradation and increasing natural resources.

The municipal solid waste (MSW) is a waste type particularly difficult to manage because it is a very heterogeneous waste in its composition, varying greatly according to the location of production, habits and culture of the urban or rural generator, making almost always a complex solution. And for these solutions, it becomes more necessary to know the current waste treatment technologies existing to seek solutions that are environmentally sound, economically sustainable, socially equitable and politically acceptable, in other words, to propose relevant solutions to Brazil.

This fact motivated this research, which aims to study decision support models of technology alternatives for treatment of solid waste with the objective of proposing to every geographic region of Brazil technological alternatives for the treatment of waste in the form of technological arrangements, based on environmental, social, economic and political criteria. Therefore, we used two models for decision support in the case, the model Analytic Hierarchy Process – AHP and Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations – PROMETHEE II(V), due to its relevance, it was proposed a way of prioritization of the identified technologies for waste treatment.

The ranking produced as the final result a set of technologies that when analyzed became technological arrangements for solid waste treatment in the five geographical regions of Brazil, considering what is determined by Politic National Solid Waste - PNRS. The results showed that the models used presented themselves as a suitable tool for the proposition of alternative waste treatment technology and can be applied in isolated situations or in public consortia.

**KEY WORDS:** management, waste treatment technologies and decision support model.

## RESUMEN

La gestión de residuos sólidos en Brasil, es considerada uno de los sectores de saneamiento y, todavía, no ha recibido la atención adecuada por parte de los gestores públicos, causando un impacto ambiental considerable en la salud pública, la contaminación del aire e la degradación del suelo.

Los residuos sólidos es un tipo de desecho particularmente difícil de administrar debido a que es una pérdida muy heterogénea en su composición, que varían mucho de acuerdo a la ubicación de la producción, los hábitos y la cultura del generador urbano o rural, por lo que casi siempre una solución compleja. Las soluciones se convierten en un conocimiento más eficientes para las actuales tecnologías de tratamiento de residuos existen para buscar soluciones que respeten el medio ambiente, económicamente sostenible, socialmente equitativo y políticamente aceptable, o sea, proponer soluciones aplicables a Brasil.

Esta investigación, tuvo como objetivo identificar y analizar las tecnologías alternativas disponibles para el tratamiento de los residuos sólidos para proponer a todas las regiones geográficas de Brasil alternativas tecnológicas para el tratamiento de los residuos, con base en criterios tecnológicos, ambientales social, económica y política. Para tanto ha sido utilizado dos modelos para apoyar la toma en el caso, el modelo proceso analítico jerárquico - AHP y Método de Preferencia Organización clasificación para las evaluaciones de enriquecimiento - PROMETHEE II (V), debido a su importancia, se propuso en forma de priorización de las tecnologías identificadas para el tratamiento de residuos.

Como resultado final llegó a un conjunto de tecnologías que se analizan los acuerdos que se han convertidos para el tratamiento de residuos sólidos en las cinco regiones geográficas de Brasil, dado que determina la Política Nacional de Residuos Sólidos - PNRS. Esta investigación ha demostrado como una herramienta adecuada para proponer una tecnología alternativa de tratamiento de residuos y se puede aplicar en situaciones aisladas o en consorcios público.

**PALABRAS CLAVE:** gestión, tecnologías de tratamiento de residuos, modelo de apoyo a la decisión.

## RÉSUMÉ

La gestion des déchets solides au Brésil, considérée comme l'un des secteurs de base de l'assainissement n'a pas reçu une attention suffisante des gestionnaires publics, ce qui entraîne des impacts considérables sur la santé publique, la pollution de l'eau, du sol et de l'air et de la dégradation de l'environnement.

Les déchets solides urbains (DSU) sont un type de déchets particulièrement difficile à gérer parce qu'ils sont très hétérogènes dans leur composition, variant considérablement selon le lieu de production, les habitudes et la culture de la population urbaine ou rurale qui les produit, rendant pratiquement toujours complexe la solution de leur traitement. Et pour trouver des réponses à ces situations complexes, la connaissance des technologies actuelles de traitement des déchets est impérative pour pouvoir rechercher des solutions adéquates pour l'environnement, économiquement viables, socialement justes et politiquement acceptables, des solutions qui soient applicables au Brésil.

Cet état de fait a motivé cette recherche, qui vise à identifier et analyser les technologies alternatives disponibles pour le traitement des déchets solides domestiques dans le but de proposer, pour chaque région géographique du Brésil, des alternatives technologiques pour le traitement des déchets sous la forme de dispositifs technologiques, fondés sur des critères environnementaux, sociaux, économiques et politiques. Dans cette perspective, nous avons utilisé deux modèles d'aide à la prise de décision en l'occurrence, le modèle – AHP - Analytic Hierarchy Process et Prométhée II (V) – Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations pour, qu'en fonction de leur pertinence, il soit proposé une forme de hiérarchisation des technologies identifiées pour le traitement des déchets.

Cette hiérarchisation a produit comme résultat final un ensemble de technologies dont l'analyse permet de proposer des dispositifs technologiques pour le traitement des déchets solides dans les cinq régions géographiques du Brésil, répondant aux objectifs fixés par la Politique Nationale des Déchets Solides - PNRS. Cette recherche s'est montrée être un outil approprié pour proposer des alternatives technologiques de traitement des déchets et peut être appliquée aussi bien dans des situations isolées que dans des consortiums publics.

**MOTS-CLÉS:** gestion, technologies de traitement des déchets et modèle d'aide à la décision.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xxix</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>xxxii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xxxii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>xxxiii</b>
<b>Capítulo 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS NO BRASIL .....	1
1.2 JUSTIFICATIVA DA TESE .....	8
1.3 OBJETIVO GERAL DA TESE .....	9
1.3.1 Objetivos Específicos.....	10
1.4 ESTRUTURA DA TESE .....	10
<b>Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 HISTÓRICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	14
2.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	19
2.2.1 Evolução do tratamento de resíduos.....	19
2.3 DEFINIÇÃO TÉCNICA DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RSU .....	24
2.3.1 Reciclagem de Resíduos Sólidos.....	24
2.3.1.1 <i>Descrição geral do processo</i> .....	24
2.3.1.2 <i>Custos da Tecnologia</i> .....	25
2.3.2 Compostagem.....	26
2.3.2.1 <i>Descrição geral do processo</i> .....	28
2.3.2.2 <i>Tipos de compostagem</i> .....	29
2.3.2.3 <i>Custos da Tecnologia</i> .....	34
2.3.3 Tratamento Mecânico Biológico - TMB.....	34
2.3.3.1 <i>Descrição geral do processo</i> .....	35
2.3.3.2 <i>Tipos de TMB</i> .....	36
2.3.3.3 <i>Custos da Tecnologia</i> .....	37
2.3.4 Digestão Anaeróbia (DA).....	37
2.3.4.1 <i>Descrição geral do processo</i> .....	38
2.3.4.2 <i>Tipos de Tecnologia</i> .....	39
2.3.4.3 <i>Custos da Tecnologia</i> .....	40
2.3.5 Incineração de Resíduos.....	40
2.3.5.1 <i>Descrição geral do Processo</i> .....	42
2.3.5.2 <i>Tipos de Incineradores</i> .....	50
2.3.5.3 <i>Inovação tecnológica - Waste to Energy (WTE)</i> .....	58
2.3.5.4 <i>Custos da Tecnologia</i> .....	59
2.3.6 Aterros Sanitários.....	60
2.3.6.1 <i>Descrição geral do processo</i> .....	61
2.3.6.2 <i>Tipos de Aterros Sanitários</i> .....	63
2.3.6.3 <i>Custos da Tecnologia</i> .....	64
2.4 SITUAÇÃO ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	65
2.4.1 União Europeia (UE).....	65

2.4.1.1	Introdução .....	65
2.4.1.2	Geração total de resíduos na UE-27.....	66
2.4.1.3	Composição dos resíduos na UE-27 .....	70
2.4.1.4	Tecnologias de tratamento de resíduos na UE-27 .....	71
2.4.1.5	Evolução do tratamento de resíduos Municipais por tecnologia na UE-27 .....	75
2.4.2	Nos Estados Unidos .....	77
2.4.2.1	Geração de resíduos municipais nos EUA.....	77
2.4.2.2	Composição de resíduos municipais nos EUA.....	78
2.4.2.3	Tecnologias de tratamento de resíduos nos EUA.....	80
2.4.3	Atual Contexto Brasileiro.....	88
2.4.3.1	Introdução .....	88
2.4.3.2	Geração total de resíduos no Brasil e sua composição gravimétrica.....	88
2.4.3.3	Situação da gestão do tratamento de resíduos Municipais no Brasil .....	91
2.5	DESENVOLVIMENTO DAS REGIÕES BRASILEIRAS: PRINCIPAIS INDICADORES E MATRIZ ENERGÉTICA .....	94
2.5.1	PIB das regiões do Brasil .....	94
2.5.2	Índice de Desenvolvimento Humano - IDH.....	101
2.5.3	Matriz energética no Brasil .....	105
2.5.3.1	Matriz energética no Brasil.....	105
2.6	MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO .....	114
2.6.1	Especificidades Do Método AHP.....	120
2.6.2	Especificidades do Promethee.....	123
2.6.3	Uso em outros Países.....	125
2.6.4	A utilização dos métodos no Brasil.....	125
<b>Capítulo 3 – MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>126</b>	
3.1	PLANEJAMENTO DA PESQUISA .....	126
3.2	ETAPAS METODOLÓGICAS .....	127
3.2.1	Primeira Etapa .....	128
3.2.2	Segunda Etapa .....	129
3.2.3	Terceira Etapa .....	129
3.2.4	Quarta Etapa.....	136
3.2.5	Quinta Etapa.....	136
3.2.6	Sexta Etapa.....	137
3.3	MODELO HIERÁRQUICO .....	141
3.4	DEFINIÇÃO TÉCNICA DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RSU .....	144
3.5	DEFINIÇÃO TÉCNICA DOS CRITÉRIOS .....	145
3.6	DEFINIÇÃO TÉCNICA DOS SUBCRITÉRIOS.....	145
3.6.1	Dimensão ambiental .....	145
3.6.2	Dimensão econômico financeira .....	147
3.6.3	Dimensão social.....	149
3.6.4	Dimensão política.....	151
3.6.5	Matriz de Avaliação .....	152
3.7	MODELAGEM DE PREFERÊNCIA .....	153
<b>Capítulo 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>158</b>	
4.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO AHP .....	158

4.1.1 Região Norte .....	158
4.1.1.1 Resultados do AHP.....	158
4.1.1.2 Análise dos Resultados do AHP .....	173
4.1.2 Região Nordeste .....	179
4.1.2.1 Resultados do AHP.....	179
4.1.2.2 Análise dos Resultados do AHP .....	191
4.1.3 Região Centro-Oeste .....	196
4.1.3.1 Resultados do AHP.....	196
4.1.3.2 Análise dos Resultados do AHP .....	208
4.1.4 Região Sudeste .....	214
4.1.4.1 Resultados do AHP.....	214
4.1.4.2 Análise dos Resultados do AHP .....	225
4.1.5 Região Sul .....	231
4.1.5.1 Resultados do AHP.....	231
4.1.5.2 Análise dos Resultados do AHP .....	240
4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO PROMETHEE .....	245
4.2.1 Região Norte .....	246
4.2.1.1 Resultados do Promethee II(V) .....	246
4.2.1.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V).....	259
4.2.2 Região Nordeste .....	261
4.2.2.1 Resultados do Promethee II(V) .....	261
4.2.2.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V).....	270
4.2.3 Região Centro Oeste .....	272
4.2.3.1 Resultados do Promethee II(V) .....	272
4.2.3.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V).....	281
4.2.4 Região Sudeste .....	283
4.2.4.1 Resultados do Promethee II(V) .....	283
4.2.4.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V).....	292
4.2.5 Região Sul .....	294
4.2.5.1 Resultados do Promethee II(V) .....	294
4.2.5.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V).....	303
<b>Capítulo 5 – PROPOSTA DOS ARANJOS TECNOLÓGICOS .....</b>	<b>307</b>
5.1 PROPOSTA DOS ARRANJOS TECNOLÓGICOS PARA CADA REGIÃO GEOGRÁFICA DO BRASIL.....	307
5.1.1 Região Norte .....	308
5.1.1.1 Desigualdades Regionais da Região Norte.....	308
5.1.1.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Norte.....	308
5.1.1.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Norte .....	310
5.1.2 Região Nordeste .....	313
5.1.2.1 Desigualdades Regionais da Região Nordeste .....	313
5.1.2.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Nordeste .....	314

5.1.2.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Nordeste .....	315
5.1.3 Região Centro Oeste.....	318
5.1.3.1 Desigualdades Regionais da Região Centro Oeste.....	318
5.1.3.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Centro Oeste.....	319
5.1.3.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Centro Oeste .....	321
5.1.4 Região Sudeste .....	323
5.1.4.1 Desigualdades Regionais da Região Sudeste.....	323
5.1.4.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Sudeste .....	324
5.1.4.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Sudeste .....	326
5.1.5 Região Sul .....	329
5.1.5.1 Desigualdades Regionais da Região Sul.....	329
5.1.5.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Sul.....	330
5.1.5.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Sul .....	331
<b>Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS.....</b>	<b>335</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	335
6.2 CONCLUSÕES.....	341
6.3 SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS.....	341
6.4 VISÃO DE FUTURO .....	342
<b>PENSAMENTO .....</b>	<b>346</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>347</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>360</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Unidade de compostagem de resíduos orgânicos. ....	27
Figura 2.2 - Usina de Triagem e Compostagem.....	31
Figura 2.3 - Triagem de Resíduos. ....	32
Figura 2.4 - Pátio de Compostagem. ....	32
Figura 2.5 – Planta de TMB com seu processo de separação de RSU.....	36
Figura 2.6 - Plantas de digestão anaeróbia no Reino Unido e em Mafra, Portugal.....	38
Figura 2.7 - Planta típica de incineração de resíduos. ....	44
Figura 2.8 - Planta típica de incineração. ....	44
Figura 2.9 - Filtro Eletrostático. ....	48
Figura 2.10 - Operação em ciclones.....	49
Figura 2.11 - Incineração com forno a grelha. ....	51
Figura 2.12 - Sistema de grelha móvel para incineração de resíduos. ....	52
Figura 2.13 - Grelha de combustão de refluxo.....	53
Figura 2.14 - Incinerador em Forno Rotativo.....	54
Figura 2.15 - Incinerador em Forno Rotativo para resíduos Industriais.....	55
Figura 2.16 - Incinerador de Leito Fluidizado. ....	57
Figura 2.17 - Planta waste-to-energy em atividade.....	59
Figura 2.18 - Resíduos urbanos gerados por estados-membros da UE, em Kg/habitante.ano, em 2010.....	68
Figura 2.19 - Resíduos urbanos gerados por estados-membros em 2010 (em kg/habitante.ano). .....	69
Figura 2.20 - Classificação dos resíduos totais gerados na União Europeia no ano de 2008.....	70
Figura 2.21: Tipo de Tratamento dos resíduos sólidos gerados por estados-membros em 2010	72
Figura 2.22 - Geração de RSU total e per capita, desde 1960 até 2010. ....	78
Figura 2.23: Composição gravimétrica média dos RSU gerados nos Estados Unidos no ano de 2010.....	79
Figura 2.24 - Principais vias tecnológicas nos EUA. ....	80

Figura 2.25 - Evolução do tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos Estados Unidos entre 1960 e 2009.....	81
Figura 2.26: Recuperação e descarte de materiais nos RSU, de 1960 a 2009.....	82
Figura 2.27: Estados com proibições (em verde) e o número de programas de compostagem em cada estado.....	83
Figura 2.28 - Projetos de incineradores em funcionamento por regiões nos EUA.....	85
Figura 2.29 - Custo relativo de aterros e incineradores.(OPEX).....	86
Figura 2.30 - Distribuição do tratamento e destinação final dos resíduos nos EUA no ano de 2009.....	87
Figura 2.31 - Geração dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	89
Figura 2.32 - Coleta dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	89
Figura 2.33 - Participação das Regiões no Brasil por total coletado.....	90
Figura 2.34 - Caracterização dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	91
Figura 2.35 - Destinação Final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	91
Figura 2.36 - Geração, coleta e destinação final de RSU no Brasil.....	92
Figura 2.37 - PIB <i>per capita</i> regional - R\$1000 de 2008.....	95
Figura 2.38 - PIB <i>per capita</i> Regional/ PIB <i>Per capita</i> Nacional.....	96
Figura 2.39 - Norte – Concentração Territorial da renda (T-Theil).....	97
Figura 2.40 - Nordeste - Concentração Territorial da renda (T-Theil).....	98
Figura 2.41 - Sudeste – Concentração Territorial da renda (T-Theil).....	98
Figura 2.42 - Sul – Concentração Territorial da renda (T-Theil).....	99
Figura 2.43 – Centro-Oeste – Concentração Territorial da renda (T-Theil).....	100
Figura 2.44 - Brasil – Concentração Territorial da renda (T-Theil).....	101
Figura 2.45- IDH por região geográfica no mundo.....	103
Figura 2.46 - IDH no Brasil de 2000 a 2010.....	103
Figura 2.47 - IDH no Brasil, nas regiões geográficas nos anos de 2005 a 2007.....	104
Figura 2.48 - IDH por região, de 1995 a 2007.....	104
Figura 2.49 - IDH Regionais de 2005 a 2007.....	105
Figura 2.50 - Matriz energética - formas utilizadas.....	106
Figura 2.51 - Capacidade Atual de Geração de Energia.....	107

Figura 2.52 - Custos de produção de energia elétrica no Brasil.....	108
Figura 2.53 - Variação do PIB e a variação do consumo de energia no Brasil (1998-2007). ...	109
Figura 2.54 - Participação das diversas fontes de energia no consumo (1973 e 2006).....	110
Figura 2.55 - Consumo de Energia Elétrica por região, em 2007.....	111
Figura 2.56 - Consumo de energia elétrica por setor no Brasil, em 2007.....	112
Figura 2.57 – Potencial Hidrelétrico por Bacia Hidrográfica – 2008.....	112
Figura 2.58 - Potência instalada por Estado - 2008.....	113
Figura 2.59 - Usina Hidrelétrica de Tucuruí - PA.....	113
Figura 3.1 - Fluxograma de desenvolvimento da Pesquisa.....	127
Figura 3.2 - Esquema das Etapas Metodológicas.....	128
Figura 3.3 - Questionário específico para uso de dados qualitativos para o modelo Promethee. .....	132
Figura 3.4 - Questionário utilizado para os dados qualitativos do modelo Promethee.....	134
Figura 3.5 - Hierarquia de critérios e subcritérios.....	137
Figura 3.6 – Hierarquia, apresentando o critério ambiental, seus subcritérios e tecnologias , utilizada para todas as regiões do Brasil.....	142
Figura 3.7 - Hierarquia, apresentando os critérios social e econômico, subcritérios e tecnologias utilizada para todas as regiões do Brasil.....	143
Figura 3.8 - Hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas tecnológicas para todas as a regiões do Brasil.....	144
Figura 3.9 - Matriz de avaliação dos Métodos AHP e Promethee II(V).....	152
Figura 3.10 - Fluxograma do modelo de apoio a decisão – Fonte : José Dantas de Lima adaptado Campos,2011.....	154
Figura 4.1 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da Região Norte.....	159
Figura 4.2 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos.....	160
Figura 4.3 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério ambiental.....	161
Figura 4.4 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério social.....	161
Figura 4.5 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério econômico. .....	162
Figura 4.6 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério político. ..	162

Figura 4.7 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Norte. ....	163
Figura 4.8 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Norte.....	164
Figura 4.9 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Norte.....	165
Figura 4.10 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a Região Norte. ....	166
Figura 4.11 - Indicação do índice de inconsistência do modelo para a importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Norte. ....	166
Figura 4.12 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Norte.....	167
Figura 4.13 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Norte. ....	168
Figura 4.14 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Norte.....	169
Figura 4.15 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Norte.....	170
Figura 4.16 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Norte.....	171
Figura 4.17 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Norte. ....	172
Figura 4.18 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade ajustadas para a Região Norte. ....	173
Figura 4.19 - Indicação do índice de inconsistência do modelo ajustado para a importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Norte.....	173
Figura 4.20 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da região Nordeste.....	180
Figura 4.21 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos para a Região Nordeste.....	181
Figura 4.22 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Nordeste.....	181
Figura 4.23 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Nordeste.....	182
Figura 4.24 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Nordeste. ....	183

Figura 4.25 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas. ....	184
Figura 4.26 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a Região Nordeste.....	185
Figura 4.27 - Indicação do índice de inconsistência da importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Nordeste. ....	185
Figura 4.28 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Nordeste. ....	186
Figura 4.29 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Nordeste. ....	187
Figura 4.30 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Nordeste. ....	188
Figura 4.31 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Nordeste. ....	189
Figura 4.32 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Nordeste. ....	190
Figura 4.33 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Nordeste. ....	190
Figura 4.34 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da região Centro-Oeste. ....	197
Figura 4.35 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos para a Região Centro-Oeste. ....	198
Figura 4.36 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Centro-Oeste. ....	198
Figura 4.37 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Centro-Oeste. ....	199
Figura 4.38 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Centro-Oeste. ....	200
Figura 4.39 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Centro-Oeste. ....	201
Figura 4.40 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a Região Centro-Oeste.	202
Figura 4.41 - Indicação do índice de inconsistência para importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Centro-Oeste. ....	202
Figura 4.42 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Centro-Oeste. ....	203

Figura 4.43 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Centro-Oeste. ....	204
Figura 4.44 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Centro-Oeste. ....	205
Figura 4.45 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Centro-Oeste. ....	206
Figura 4.46 - Importância relativa dos critérios político e social por tecnologias na Região Centro-Oeste. ....	207
Figura 4.47 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Centro-Oeste. ....	208
Figura 4.48 - Hierarquia principal com os 4 critérios para a região Sudeste. ....	214
Figura 4.49 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos. ....	215
Figura 4.50 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Sudeste. ....	215
Figura 4.51 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sudeste. ....	216
Figura 4.52 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sudeste. ....	217
Figura 4.53 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sudeste. ....	218
Figura 4.54 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a região Sudeste. ....	219
Figura 4.55 - Indicação do índice de inconsistência para importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Sudeste. ....	219
Figura 4.56 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Sudeste. ....	220
Figura 4.57 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Sudeste. ....	221
Figura 4.58 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Sudeste. ....	222
Figura 4.59 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Sudeste. ....	223
Figura 4.60 - Importância relativa dos critérios político e social por tecnologias na Região Sudeste. ....	224

Figura 4.61 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Sudeste.....	225
Figura 4.62 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios par a região Sul.....	231
Figura 4.63 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos par a região Sul.....	232
Figura 4.64 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Sul.....	232
Figura 4.65 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas par a região Sul.....	233
Figura 4.66 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas par a região Sul.....	234
Figura 4.67 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas par a região Sul.....	235
Figura 4.68 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade par a região Sul.....	236
Figura 4.69 - Indicação do índice de inconsistência da importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Sul.....	236
Figura 4.70 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Sul.....	237
Figura 4.71 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Sul.....	237
Figura 4.72 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Sul.....	238
Figura 4.73 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Sul.....	239
Figura 4.74 - Importância relativa dos critérios político e social por tecnologias na Região Sul.....	239
Figura 4.75 - Importância relativa entre os critérios econômicos e político por tecnologias na Região Sul.....	240
Figura 4.76 - Hierarquia aplicada à região Norte.....	248
Figura 4.77 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Norte.....	249
Figura 4.78 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Norte.....	249
Figura 4.79 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Norte.....	250
Figura 4.80 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Norte.....	251

Figura 4.81 - Ranking Parcial da Região Norte - Promethee I para a região Norte.....	252
Figura 4.82 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee II para a região Norte.....	253
Figura 4.83 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Norte. ....	254
Figura 4.84 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Norte.	255
Figura 4.85 - Tecnologias por ordem de preferência, ranking total pós análise de sensibilidade - Promethee II para a região Norte. ....	256
Figura 4.86 - Tecnologias por ordem de preferência, Ranking Total - Promethee V para a região Norte.....	257
Figura 4.87 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Norte.....	257
Figura 4.88 - Análise de sensibilidade da Região Norte pós análise para a região Norte.....	258
Figura 4.89 - Hierarquia aplicada à região Nordeste.....	263
Figura 4.90 - Pesos aplicados aos subcritérios da região Nordeste para a região Nordeste.....	264
Figura 4.91 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Nordeste. ....	264
Figura 4.92 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Nordeste.....	265
Figura 4.93 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Nordeste.....	266
Figura 4.94 - Promethee I – Parcial Ranking – Região Nordeste para a região Nordeste. ....	266
Figura 4.95 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II para a região Nordeste. ....	267
Figura 4.96 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Nordeste....	268
Figura 4.97 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Nordeste. ....	269
Figura 4.98 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Nordeste. ....	269
Figura 4.99 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Nordeste. ....	270
Figura 4.100 - Hierarquia aplicada à região Centro Oeste.....	274
Figura 4.101 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Centro Oeste. ....	275
Figura 4.102 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Centro Oeste.....	275

Figura 4.103 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Centro Oeste. ....	276
Figura 4.104 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Centro Oeste. ....	277
Figura 4.105 - Promethee I – Parcial Rancking – para a região Centro Oeste. ....	277
Figura 4.106 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II – Centro Oeste. ....	278
Figura 4.107 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Centro Oeste. ....	279
Figura 4.108 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Centro Oeste. ....	280
Figura 4.109 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Centro Oeste. ....	280
Figura 4.110 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Centro Oeste. ....	281
Figura 4.111 - Hierarquia aplicada à região Sudeste. ....	285
Figura 4.112 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Sudeste. ....	286
Figura 4.113 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Sudeste. ....	286
Figura 4.114 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Sudeste. ....	287
Figura 4.115 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Sudeste. ....	288
Figura 4.116 - Promethee I – Parcial Rancking – Região Sudeste. ....	288
Figura 4.117 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II para a região Sudeste. ....	289
Figura 4.118 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Sudeste. ....	290
Figura 4.119 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Sudeste. ....	291
Figura 4.120 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sudeste. ....	291
Figura 4.121 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sudeste. ....	292
Figura 4.122 - Hierarquia aplicada à região Sul. ....	296
Figura 4.123 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Sul. ....	297

Figura 4.124 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Sul. ....	297
Figura 4.125 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Sul.....	298
Figura 4.126 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Sul.....	299
Figura 4.127 - Promethee I – Parcial Rancking – Região Sul.....	299
Figura 4.128 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II para a região Sul. ....	300
Figura 4.129 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Sul.....	301
Figura 4.130 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Sul. .	302
Figura 4.131 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sul. ....	302
Figura 4.132 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sul. ....	303
Figura 5.1 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte.....	310
Figura 5.2 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Norte.....	311
Figura 5.3 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte. ....	312
Figura 5.4 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste. ....	316
Figura 5.5 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste. ....	317
Figura 5.6 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste.....	317
Figura 5.7 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste. ....	318
Figura 5.8 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.....	321
Figura 5.9 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.....	321
Figura 5.10 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste. ....	322
Figura 5.11 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.....	323
Figura 5.12 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste. ....	326
Figura 5.13 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste. ....	327
Figura 5.14 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste.....	327
Figura 5.15 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste. ....	328
Figura 5.16 - Quinto arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste. ....	329
Figura 5.17 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Sul. ....	331

Figura 5.18 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Sul. ....	332
Figura 5.19 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Sul.....	333
Figura 5.20 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Sul. ....	333
Figura AP.0.1 – Análise de sensibilidade - Índices de inconsistência - Região Norte.....	366
Figura AP.0.2 - Análise de sensibilidade - Índices de inconsistência - Região Sudeste. ....	366
Figura AP.0.3 – Estimativa de custos CAPEX (€/t) por tecnologias na UE. Fonte: ARCADIS, 2009.....	383
Figura AP.0.4 - Estimativa de custos OPEX (€/t) por tecnologias na UE. Fonte: ARCADIS, 2009.....	384
Figura AP.0.5 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da região Nordeste.....	385
Figura AP.0.6 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos.....	386
Figura AP. 0.7 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério ambiental.....	386
Figura AP.0.8 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério social.....	386
Figura AP.0.9 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério econômico.....	387
Figura AP. 0.10 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério político.....	387
Figura AP.0.11 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.....	388
Figura AP.0.12 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.....	389
Figura AP.0.13 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.....	390
Figura AP.0.14 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade.....	390
Figura AP.0.15 - Indicação do índice de inconsistência da importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Nordeste.....	391
Figura AP.0.16 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Nordeste.....	391
Figura AP.0.17 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Nordeste.....	392

Figura AP.0.18 - Importância relativa dos critérios econômico e político por tecnologias na Região Nordeste.....	392
Figura AP.0.19 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Nordeste.....	393
Figura AP.0.20 - Importância relativa dos critérios social e político por tecnologias na Região Nordeste.....	394
Figura AP.0.21 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Nordeste.....	394
Figura AP.0.22 - Hierarquia aplicada à região Nordeste.....	395
Figura AP.0.23 – Pesos aplicados aos subcritérios da Região Nordeste.....	396
Figura AP.0.24 – Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido.....	396
Figura AP.0.25 – Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias.....	397
Figura AP.0.26 – Fluxos de preferência por tecnologia.....	397
Figura AP.0.27 – Promethee I – Parcial Ranking – Região Nordeste.....	398
Figura AP.0.28 – Tecnologias por ordem de preferência. Ranking Total – Promethee II.....	398
Figura AP.0.29 – Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II.....	399
Figura AP.0.30 – Tecnologias por ordem de preferência, Ranking Total – Promethee V.....	399
Figura AP.0.31 – Tecnologias por ordem de preferência, Ranking Total – Promethee V.....	400

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Norte. ....	174
Gráfico 4.2 – Subcritério Percentual de Redução de Volume de RSU Pós-Tratamento versus tecnologias – Região Norte. ....	176
Gráfico 4.3 - Subcritério PIB Local/ Regional versus tecnologias - Região Norte.....	177
Gráfico 4.4 - Subcritério Custo Total de Implantação da Tecnologia versus tecnologias - Região Norte.....	178
Gráfico 4.5 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Norte. ....	179
Gráfico 4.6 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Nordeste.....	191
Gráfico 4.7 - Subcritério Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Nordeste.....	193
Gráfico 4.8 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus tecnologias - Região Nordeste. ....	194
Gráfico 4.9 - Subcritério Custo Total de Implantação da Tecnologia versus tecnologias - Região Nordeste. ....	195
Gráfico 4.10 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Nordeste. ....	196
Gráfico 4.11 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Centro Oeste. ...	209
Gráfico 4.12 - Subcritério Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Centro Oeste.....	211
Gráfico 4.13 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus tecnologias - Região Centro Oeste.....	212
Gráfico 4.14 - Subcritério Custo Total de Implantação e Operação da Tecnologia versus tecnologias - Região Centro Oeste. ....	212
Gráfico 4.15 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Centro Oeste.....	213
Gráfico 4.16 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Sudeste.....	226
Gráfico 4.17 - Subcritério Percentual de Redução de Volume de RSU Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Sudeste.....	228
Gráfico 4.18 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus - tecnologias - Região Sudeste. ....	229
Gráfico 4.19 - Subcritério Custo de Implantação e Operação versus tecnologias - Região Sudeste. ....	229

Gráfico 4.20 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Sudeste. .....	230
Gráfico 4.21 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Sul.....	241
Gráfico 4.22 - Subcritério Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Sul. ....	243
Gráfico 4.23 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus tecnologias - Região Sul. ....	244
Gráfico 4.24 - Subcritério Custo de Implantação e Operação versus tecnologias - Região Sul. .....	244
Gráfico 4.25 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Sul.	245
Gráfico 4.26 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP – Região Norte. .....	261
Gráfico 4.27 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Nordeste. ....	272
Gráfico 4.28 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Centro Oeste.....	283
Gráfico 4.29 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Sudeste. .....	294
Gráfico 4.30 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Sul. .	305
Gráfico 5.1 - Energia consumida x PIB x IDH por regiões – 2007.....	309

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1 - Quadro Síntese da Pesquisa. ....	157
---	-----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Evolução do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. ....	20
Tabela 3.1 - Matriz de Pesos e Critérios. ....	136
Tabela 3.2 - Modelagem de Preferência Promethee.....	139
Tabela 3.3 – Compatibilidade entre modelos: critérios x subcritérios. ....	140
Tabela 3.4- Modelagem de Preferência do Modelo Promethee II(V). ....	155
Tabela AP.1 – Análise dos pesos de preferencia Região Centro Oeste. ....	367
Tabela AP.2 –Análise de preferencia por arranjos - Região Centro Oeste. ....	369
Tabela AP.3 –Votos por tecnologia - Região Centro Oeste.....	369
Tabela AP.4 - Análise dos pesos de preferencia Região Nordeste.....	369
Tabela AP.5 - Análise de preferencia por arranjos - Região Nordeste. ....	372
Tabela AP. 6 - Votos por tecnologia - Região Nordeste. ....	372
Tabela AP.7 - Análise dos pesos de preferencia Região Norte.....	373
Tabela AP.8 - Análise de preferencia por arranjos - Região Norte.....	375
Tabela AP.9 - Votos por tecnologia - Região Norte. ....	375
Tabela AP.10 - Análise dos pesos de preferencia Região Sudeste.....	376
Tabela AP.11 - Análise de preferencia por arranjos - Região Sudeste. ....	379
Tabela AP.12 - Votos por tecnologia - Região Sudeste.....	379
Tabela AP.13 - Análise dos pesos de preferencia Região Sul.....	380
Tabela AP.14 - Análise de preferencia por arranjos - Região Sul.....	382
Tabela AP.15 - Votos por tecnologia - Região Sul. ....	382

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABETRE	Associação Brasileira das Empresas de Tratamento de Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Publica e Resíduos Especiais
AHP	Analytic Hierarchy Process
BEN	Boletim Energético Nacional
BC	Banco Central do Brasil
BMT	Biological Mechanical Treatment
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CAM's	Centro de Recuperação de Materiais
CDR	Combustíveis Derivados de Resíduos
CHP	Combined Heat and Power
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
DA	Digestão Anaeróbia
EFTA	European Free Trade Association
EMLUR	Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana de João Pessoa-PB
EUA	Estados Unidos da América
EPA	Environmental Protection Agency
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GE	Geração de energia
IBAM	Instituto Brasileiro da Administração Municipal
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MBT	Mechanical Biological Treatment
MBT	Tratamento Mecânico Biológico
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MSW	Municipal Solid Waste
MWh	Megawatt-hora
NACE	Classification of Economic Activities in the European Community
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
ONS	Operador Nacional do Sistema

PAC	Programa de Apoio ao Crescimento
PCI	Poder Calorífico Inferior
PIB	Produto interno Bruto
PPP's	Parcerias público-privadas
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PNR	Plano Nacional de Resíduos
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
PVC	Policloreto de Vinil
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
REE	Resíduos Eletro Eletrônicos
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RDF	Combustível derivado de resíduos
SINMETRO	Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUSASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
SRF	Secondary Recovery Fuel
SWDA	Solid Waste Disposal Act
TMB	Tratamento Mecânico-Biológico
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WTE	Waste-to-Energy
WTR	Waste-to-Resources

## Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do tratamento dos resíduos sólidos urbanos, seguido da justificativa para desenvolvimento da tese, do objetivo geral e específicos e da estrutura da tese.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS NO BRASIL

Os seres humanos geram cada vez mais resíduos sólidos, líquidos e gasosos que são produtos inevitáveis dos processos industriais e econômico-sociais. No processo de metabolismo dos seres vivos, as sociedades transformam insumos em bens, em serviços e em alguns subprodutos que utilizamos e que também precisamos quase sempre eliminar e destinar adequadamente. Do ponto de vista sanitário e ambiental, a adoção de soluções inadequadas para o problema dos resíduos sólidos faz com que seus efeitos indesejáveis se agravem: os riscos de contaminação do solo, do ar e da água, a proliferação de vetores e de doenças e os riscos à saúde humana. Do ponto de vista econômico e social, também a adoção de soluções inadequadas traz problemas de ordem econômico-financeiras e de geração de emprego e renda e os problemas de ordem política podem trazer soluções que não se integrem a este contexto ambiental, social e econômico, causando enormes problemas as populações assistidas.

A tendência no Brasil, nos últimos 30 anos, pela distribuição da população nas regiões geográficas com a maior concentração de pessoas nas cidades e o aumento da produção individual de resíduos sólidos, os locais de tratamento e destinação final devem inspirar maiores cuidados, de modo a não tornar irreversíveis os danos ambientais daí decorrentes, sendo fundamentais os modelos de gestão e gerenciamento dos resíduos pelos poderes públicos envolvidos.

Atualmente, a existência de lixões, locais inadequados de destinação final de RSU onde são descartados os resíduos sólidos sem quaisquer cuidados, representa uma grave ameaça à saúde pública e ao meio ambiente. Do ponto de vista econômico, a produção cada vez mais crescente de resíduos sólidos e a disposição final sem critérios mostram um desperdício de materiais e de energia. Do ponto de vista econômico, estes resíduos que poderiam ser separados e valorados, mostram desperdício de recursos financeiros, assim como a utilização de recursos naturais para o processo produtivo traz enormes problemas ambientais. Em condições adequadas, estes materiais poderiam ser

reutilizados, reciclados e colocados de volta à cadeia produtiva, minimizando assim todo estes aspectos.

De acordo com a constituição brasileira, cabe aos municípios legislar sobre assunto de interesse local, o que é o caso da gestão dos resíduos sólidos urbanos. Em um país com predominância de municípios de pequeno porte, em geral com condições econômicas deficitárias e pouca capacitação técnica, observa-se a maciça presença de entidades da administração direta na gestão dos resíduos sólidos urbanos, em 61,2% dos municípios, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2010).

Atualmente, 10,33 % dos resíduos gerados no país não é regularmente coletada, permanecendo junto às habitações, principalmente nas áreas de difícil acesso e de baixa renda ou sendo vazada em logradouros públicos, terrenos baldios, encostas e cursos d'água (ABRELPE, 2011). Entretanto, a coleta do lixo é o segmento que mais se desenvolveu dentro do sistema de limpeza urbana e o que apresenta maior abrangência de atendimento junto à população, ao mesmo tempo em que é a atividade do sistema que demanda maior percentual de recursos por parte da municipalidade. Esse fato se deve à pressão exercida pela população e pelo comércio para que se execute a coleta com regularidade, evitando-se assim o incômodo da convivência com o lixo nas ruas.

Contudo, essa pressão tem geralmente um efeito seletivo, ou seja, a administração municipal, quando não tem meios de oferecer o serviço a toda à população, prioriza os setores comerciais, as unidades de saúde e o atendimento à população de renda mais alta. A expansão da cobertura dos serviços raramente alcança as áreas realmente carentes, até porque a ausência de infraestrutura viária exige a adoção de sistemas alternativos, que apresentam baixa eficiência e, portanto, custo mais elevado.

Considerando apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais ao longo dos anos em apenas afastar das zonas urbanas os resíduos coletados, depositando-os por vezes em locais absolutamente inadequados, como próximo aos rios, encostas, florestas, manguezais, baías e fundo de vales. De acordo com o IBGE 2007, Mais de 73,29% dos municípios vazam seus resíduos em locais a céu aberto, em cursos d'água ou em áreas ambientalmente protegidas, a maioria com a presença de catadores - entre eles crianças - , denunciando os problemas sociais que a má gestão do lixo acarreta.

A situação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil é precária, onde cerca de 4.000 lixões estão em operação, e que contribuem para a contaminação do ambiente e adversamente afetam a qualidade de vida da população (JUCÁ, 2011).

No tocante a gestão e ao gerenciamento dos serviços de limpeza urbana nas cidades de médio e grande porte, vem se percebendo a chamada terceirização dos serviços, modelo cada vez mais adotado no Brasil até então executados pela administração na maioria dos municípios. Essa forma de prestação de serviços se dá através da contratação, pela municipalidade, de empresas privadas, que passam a executar, com seus próprios meios (equipamentos e pessoal), a coleta, a limpeza de logradouros, o tratamento e a destinação final dos resíduos.

Os municípios de maior porte, como capitais e as cidades maiores vêm se utilizando de outra forma de prestação de serviços, mediante a modalidade de contratos de concessão e mais recentemente as parcerias público-privadas – PPP's que se apresenta como uma solução adequada e, perfeitamente, viável por possuir características de visão de longo prazo na prestação de serviços e desoneração do sistema público nos investimentos, mantendo uma visão de desenvolvimento sustentável.

Como a gestão de resíduos é uma atividade essencialmente municipal e as atividades que a compõem se restringem ao território do Município, os consórcios públicos certamente se constituem em uma boa solução. Ainda não são muito comuns no Brasil, mas a sua adoção está se estruturando de forma mais consistente, especialmente nas regiões sul e sudeste do Brasil.

Felizmente, o que se percebe, mais recentemente, é uma mudança importante na atenção que a gestão de resíduos tem recebido das instituições públicas, em todos os níveis de governo. Os governos federal e estadual têm aplicado mais recursos e criado programas e linhas de crédito onde os beneficiários são sempre os municípios, onde acontecem as políticas públicas. Estes, por seu lado, têm-se dedicado com mais seriedade a resolver os problemas de limpeza urbana e a criar condições de universalidade dos serviços e de manutenção de sua qualidade ao longo do tempo, situação que passou a ser acompanhada com mais rigor pela população, pelos órgãos de controle ambiental, pelo Ministério Público e pelas organizações não-governamentais voltadas para a defesa do meio ambiente. Entretanto, em todos os municípios brasileiros, faz-se uma constatação definitiva: somente a pressão da sociedade, ou um prefeito decididamente engajado e consciente da importância da limpeza urbana para a

saúde da população e para o meio ambiente, pode mudar o quadro de descuido com o setor. E esse fato só se opera mediante decisão política, que pode resultar, eventualmente, num ônus temporário, representado pela necessidade do aumento da carga tributária ou de transferência de recursos de outro setor da prefeitura, até que a situação se reverta, com a melhoria da qualidade dos serviços prestados, o que poderá, então, ser capitalizado politicamente pela administração municipal (MONTEIRO, 2001).

A gestão de resíduos sólidos passou por grandes mudanças nos últimos 12 anos (KINNAMAM e FULLERTON, 1999). O termo “resíduos sólidos” foi criado no intuito de substituir o termo lixo. Essa não foi apenas uma mudança de nomenclatura. O lixo antes era visto apenas como subproduto do sistema produtivo, mas passou a ser visto como causador de degradação ambiental. Com a evolução e o estudo do problema, os resíduos sólidos passaram a ser vistos, ao contrário do lixo, como possuidores de valor econômico por possibilitar o reaproveitamento no processo produtivo (DEMAJOROVIC, 1995).

Atualmente, a questão da coleta e disposição dos resíduos sólidos urbanos ocupa posição central no cenário nacional. A preocupação com a coleta e destinação desses resíduos é mostrada pela existência das legislações que regulamentam direta ou indiretamente o tema. Dentre essas, algumas leis são determinantes, como as leis nacionais nº 11.445/07 que trata do saneamento básico, nº 11.107/05 que trata dos consórcios públicos e nº 12.305/10 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos e seus respectivos decretos, Decreto nº 7.217/10, Decreto nº 6.017/ 2007, Decreto nº 7.404/10 que regulamentam, respectivamente, a lei de saneamento básico, a lei de consórcios públicos e a política nacional de resíduos sólidos. Em complemento, o país conta com uma ampla gama de regulamentações estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUSASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO).

No centro dessa legislação, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, alterando a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Tal legislação dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os resíduos

perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Os resíduos sólidos urbanos(RSU) é definido como 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 (Lei 12.305/2010).

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são um tipo de resíduo de grande heterogeneidade em sua composição gravimétrica e portanto difícil de gerenciar.

Os RSU são classificados como um resíduo não-perigoso e não inerte, ou seja, um resíduo Classe II-A conforme a Norma Brasileira NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que trata sobre a classificação dos resíduos sólidos.

O envio destes resíduos para reciclagem e para pré-tratamentos como o tratamento mecânico biológico, para digestão anaeróbia, para a incineração e por fim para os aterros sanitários, são as práticas mais comuns no mundo para o tratamento e a destinação final dos RSU. Mesmo considerando os possíveis pré-tratamento deste resíduo, seja da fração orgânica, como da fração reciclável, sempre haverá uma parte remanescente desses pré-tratamentos que precisará ser destinada a um aterro sanitário, ou que poderá ser aproveitada como matéria-prima em algum processo de fabricação de novos produtos.

A utilização de aterros sanitários para destinação dos resíduos municipais é uma prática muito antiga e ainda continua sendo a tecnologia mais popular e mais praticada na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em várias partes do mundo. Por consistir na alternativa ainda mais barata de disposição de resíduos, é a forma mais utilizada na América Latina e no Brasil e, em geral, em diversos países da América Central. Em países menos desenvolvidos e com menores índices de desenvolvimento humanos, estes locais de deposição se apresentam predominantemente na forma de lixões, aterros manuais ou de aterros controlados.

No meio técnico a maior preocupação na utilização dos aterros sanitários como forma de dispor os RSU são os passivos ambientais gerados durante as operações, que ainda perduram por muitos anos após o seu encerramento, inviabilizando

a utilização de grandes áreas por longos períodos. Além disso, mesmo sob boas condições operacionais, um aterro sanitário tem grande potencial de causar impactos ambientais ao solo, à atmosfera e aos corpos hídricos locais. (SANTOS, 2011)

A incineração dos RSU é também uma opção para o tratamento destes resíduos. Porém, assim como os aterros sanitários, existem diversos aspectos limitantes no seu uso. As variações de umidade e da quantidade dos materiais presentes nos RSU são um dos principais aspectos limitantes para a utilização dos RSU na incineração. Além disso, a resistência existente quanto ao uso dos incineradores para destinar os RSU deve-se ao fato do processo de incineração produzir substâncias altamente tóxicas e de alto potencial cancerígeno para o homem, como as dioxinas e os furanos (TANGRI, 2003).

No Brasil, surgiram, na década de 1980, duas tecnologias que foram bem difundidas, primeiro foram as unidades de triagem e compostagem de resíduos urbanos e a segunda as unidades de compostagem. As unidades de triagem de resíduos ocorreram de duas formas: como unidades de triagem manuais e também unidades de triagem mecanizadas aliadas a processos de separação de resíduos e compostagem da fração orgânica, onde geralmente, o processo de triagem consistia na separação dos resíduos domiciliares e comerciais para a obtenção e valorização dos materiais recicláveis e compostos orgânicos.

Já a compostagem teve a sua aplicação em diversos estados brasileiros, sendo aplicados com maior intensidade no Estado de Minas Gerais, onde na Universidade Federal de Viçosa teve importantes estudos para avanço desta tecnologia.

No Brasil, a separação de resíduos sólidos urbanos foi implantada a partir das coletas indiferenciadas implantadas em várias cidades, tendo como exemplo Curitiba e Niterói. Em alguns Municípios foram implantados programas de coleta seletiva, que podem ser definidas como sendo a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição, diretamente na fonte.

A reciclagem dos resíduos, que é o aproveitamento e transformação de resíduos, tais como papéis, plásticos, vidros e metais, por meio do seu retorno à indústria para serem beneficiados e novamente transformados em produtos comercializáveis no mercado de consumo. A reciclagem propicia vantagens como preservação de recursos naturais; geração de emprego e renda; e conscientização da população para as questões ambientais, mas depende da economia local e do mercado de cada um dos produtos. Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem –

CEMPRE, em sua pesquisa Ciclosol (2012), no Brasil existem 766 municípios com programas de Coleta Seletiva que estão presentes em 14% das cidades. Porém o custo do beneficiamento da maioria dos recicláveis ainda é considerado elevado em relação ao custo de matéria-prima virgem. Sua importância também se dá no sentido de economia de novas matérias primas e insumos utilizados nos processos industriais, contemplando uma inovação tecnológica denominada “Waste To Resources” (WTR).

Por outro lado, as unidades de triagem possuem uma grande importância na separação dos resíduos proveniente da coleta indiferenciada, em que o município ou o gerador disponibiliza os resíduos sem a devida separação previa, ou seja, estes vão para a coleta ainda misturados, acarretando problemas de ordem técnico operacional ambientais e econômicos ao sistema. Estas unidades tiveram uma evolução tecnológica, ainda não devidamente difundida no Brasil, com o nome de Tratamento Mecânico-Biológico (TMB), que combinam os processos de triagem já existentes com as necessidades de novos produtos, através de matéria-prima para reciclagem e energia derivada dos resíduos (WTE), estabelecendo uma inovação tecnológica ao processo. A combinação do tratamento mecânico e biológico (TMB) envolve a integração de vários processos comumente encontrados entre as tecnologias de tratamento de resíduos. O TMB é classificado como um pré-tratamento, ou seja, a conversão de resíduos em produtos, que requerem tratamentos adicionais para a estabilização da fração orgânica dos resíduos.

Atualmente existem três configurações para o TMB: i) pré-tratamento mecânico e tratamento aeróbio; ii) pré-tratamento mecânico e tratamento anaeróbio, com valorização energética do biogás; iii) pré-tratamento mecânico e bio-secagem.

Considerando o que foi dito sobre os aterros sanitários e a incineração, ambas as formas de destinação final dependem de novas tecnologias que ultrapassem estas limitações, ainda existentes. É neste contexto que, tanto a prática de aterragem de resíduos, como no tratamento térmico, vem se desenvolvendo do ponto de vista tecnológico inovações e novas tecnologias. Dentre estes processos tecnológicos, podem-se citar os tratamentos considerados como emergentes, como o Tratamento Mecânico Biológico (TMB) e a Digestão Anaeróbia (D.A).

A Digestão anaeróbia é um processo de conversão de matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio livre, e ocorre em dois estágios: primeiro ocorre a conversão de orgânicos complexos em materiais como ácidos voláteis; e depois a conversão destes ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais

gasosos, o metano e o gás carbônico.

Da mesma forma para a utilização de tecnologias de tratamento térmico como a incineração de resíduos com ou sem recuperação de energia, também parecem ser específicas as características já citadas, quantidade e qualidade dos resíduos, poder calorífico de resíduos, escala no tratamento, custos dos processos de implantação, operação e monitoramento, e principalmente o controle social parece ser uma grande desafio.

Outros pontos importantes são a aceitação pública da tecnologia, as decisões políticas e, principalmente, o conhecimento tecnológico do processo de forma a se ter uma transferência de tecnologia consolidada.

As tecnologias de reciclagem e compostagem são importantes na escala de hierarquização dos resíduos já definidas na PNRS e precisam ser implementadas mediante planejamento e controle do governo central, com apoio dos governos estaduais e, principalmente, dos municipais a quem a gestão é fundamental.

A compostagem da fração orgânica pode ser uma alternativa de tratamento de resíduos em cidades que tenham a vocação agrícola e que apresentem condições meteorológicas adequadas ao uso desta tecnologia em algumas regiões do Brasil.

A Digestão anaeróbia pode ser uma alternativa tecnológica a ser estudada com mais intensidade pela versatilidade de uso e pelas suas características de redução de gases do efeito estufa que se adequam a alguns municípios no Brasil.

As demais tecnologias precisam ser estudadas com mais rigor no sentido de conhecimento sobre suas aplicações e as características das regiões do Brasil

Pelo visto anteriormente, se faz mais que necessário o conhecimento sobre as tecnologias de tratamento de resíduos e de que forma estas tecnologias podem ser aplicadas por regiões do Brasil, atendendo aos aspectos técnicos, ambientais e sociais.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DA TESE

No Brasil, o problema dos resíduos é um desafio ainda maior, pois trata-se de um país de dimensões continentais, composto por 5.565 municípios, com populações que variam de 2,5 mil a 16 milhões de habitantes (IBGE,2010), em áreas variadas e que estão espalhados pelas cinco macrorregiões geográficas brasileiras:

Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são um tipo de resíduo particularmente difícil de gerenciar por se tratar de um resíduo heterogêneo na sua composição, variando de acordo com o local de produção, os hábitos e a cultura da população geradora local/regional, tornando quase sempre a sua solução complexa. A variação na quantidade de matéria orgânica, na quantidade de umidade presente, na quantidade de materiais inorgânicos, como o plástico, com alto poder calorífico, entre outras variações, são os maiores desafios no momento de destinar/tratar este tipo de resíduos.

Os nossos sistemas de gestão de tratamentos de resíduos são capazes de lidar com a multiplicidade de novos tipos de resíduos? As condições sociais atuais, política e financeira serão suficientes para resolver o problema da crescente complexidade dos fluxos de resíduos? As estruturas implantadas atenderão aos critérios de sustentabilidade com atendimento aos critérios ambientais?.

Neste sentido existem várias alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos disponíveis no mundo, com tecnologias de maior ou menor avanço tecnológico. O conhecimento destas tecnologias e a sua aplicabilidade nas regiões geográficas do Brasil é o desafio desta pesquisa.

Assim, desenvolver uma linha de pesquisa que mostre as alternativas tecnológicas em forma de arranjos destas tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos em cada região geográfica do Brasil, utilizando-se de modelos de apoio à decisão é a principal pergunta a ser respondida nesta pesquisa.

Esta tese utiliza dois modelos de apoio à decisão para sugerir alternativas tecnológicas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos nas cinco (05) regiões geográficas do Brasil, com enfoque (ênfase) na sustentabilidade ambiental, comparando estes modelos e fazendo uma análise crítica sobre os sistemas de gestão do tratamento de resíduos.

### 1.3 OBJETIVO GERAL DA TESE

O objetivo geral desta tese é propor alternativas tecnológicas adequadas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, em cada região do Brasil, utilizando dois métodos de análise multicritérios levando-se em consideração as alternativas tecnológicas já existentes em países desenvolvidos neste setor.

### 1.3.1 Objetivos Específicos

Foram definidos os seguintes objetivos específicos para atender ao objetivo geral desta pesquisa:

- Identificar as alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos nos Estados Unidos, Alemanha, Suíça e Portugal e em cada região geográfica do Brasil.
- Propor critérios gerais para a seleção hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares considerando dois modelos de análise multicriterial, sendo um modelo Americano e outro Francês.
- Realizar uma análise crítica nas alternativas tecnológicas definidas pelos dois modelos de hierarquização e propor as possíveis alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos nas regiões geográficas do Brasil.

Para alcançar aos referidos objetivos será necessário ter uma visão crítica, tomando-se como base os principais fatores intervenientes, como os indicadores sociais, econômicos e ambientais. Também deve-se considerar os aspectos de geração de emprego e renda e de capacitação sobre estas tecnologias, os aspectos quanto a implantação e operação destas tecnologias e transferência de tecnologias, além dos aspectos de políticas públicas e legislação.

As análises internacionais foram realizadas nos Estados Unidos, na Alemanha, na Suíça e em Portugal. Todos foram escolhidos por serem países desenvolvidos social e economicamente, porém com moldes de desenvolvimento do gerenciamento dos resíduos sólidos completamente diferentes, expondo caminhos alternativos para o gerenciamento de resíduos. Quando comparadas com a atual situação da gestão e do gerenciamento de resíduos no Brasil podem trazer contribuições importantes para o proposto nesta tese.

### 1.4 ESTRUTURA DA TESE

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, como se segue:

O primeiro capítulo apresenta a problemática relacionada ao tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, considerando as alternativas tecnológicas de tratamento. Além disso apresentam-se as justificativas para os estudos propostos, descreve-se como o tema será abordado e a estrutura da tese.

No segundo capítulo se realiza uma revisão bibliográfica das principais alternativas tecnológicas para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos, tais como a reciclagem de resíduos sólidos, os tratamentos mecânico-biológicos (TMB), a compostagem de resíduos, a digestão anaeróbia (DA), a incineração com geração de energia e com ciclo combinado e o aterro sanitário com e sem geração de energia, com objetivo de traçar uma projeção para os cenários brasileiros. Os pontos levantados e discutidos ao longo do trabalho incluem: os aspectos ambientais, sociais, tecnológicos e econômicos. Para a realização de uma análise mais completa, estes aspectos são analisados em alguns países, tais como: Estados Unidos, Alemanha, Suíça e Portugal. A mesma análise será feita no âmbito nacional, a partir de dados sobre a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, sobre a utilização destas tecnologias, considerando as principais experiências em inovações tecnológicas do setor.

Neste capítulo, também são utilizados alguns dados secundários obtidos no Projeto FADE-BNDES, “Alternativas tecnológicas para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil” coordenado pela UFPE.

No terceiro capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa, tendo como principal fonte de informações os dados bibliográficos sobre alternativas tecnológicas para o tratamento e disposição final de resíduos sólidos. A base de dados foi montada a partir de informações primárias coletadas junto a algumas unidades de tratamento e disposição final de RSU no Brasil e Europa e dados secundários do Projeto FADE-BNDES. Além disso é apresentado o questionário desenvolvido especificamente para esta pesquisa, utilizando-se para sua resposta participantes convidados de cada região geográfica do Brasil. Estes dados são analisados usando dois métodos de avaliação multicriterial para processos de tomada de decisão, no caso do modelo AHP e Promethee, com a inclusão das variáveis sociais, ambientais e econômicas e políticas e de subcritérios referentes a cada critério. Este método de avaliação permite mostrar quais tecnologia(s) podem ser utilizada(s) em atendimento a Política Nacional de Resíduos Sólidos(PNRS) e seu Plano Nacional de

Resíduos(PNR), considerando diferentes regiões, tamanhos de municípios e condição econômica.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos para as alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sugeridas pelos dois modelos de análise multicriterial para cada região geográfica do Brasil seguido por uma análise sobre estas alternativas tecnológicas através de uma visão crítica tomando-se como base a avaliação multicriterial definida.

No quinto capítulo é apresentada a proposta para os arranjos tecnológicos para os dois modelos de apoio a decisão em cada uma das regiões geográficas do Brasil com uma análise sob três aspectos: primeiro sobre o Produto Interno Bruto (PIB) da Região, segundo sobre o Índice de desenvolvimento humano (IDH) da região e por último sobre o consumo de energia elétrica da região considerando sua matriz energética atual. Ainda neste capítulo é realizada uma análise qualitativa sobre os sistemas de gestão de tratamento de resíduos por região geográfica.

No sexto capítulo apresentam-se as considerações finais, as principais conclusões e sugestões para novas pesquisas.

## Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o referencial teórico utilizado nas análises e conclusões e é composto inicialmente pela evolução do tratamento de resíduos, pela definição técnica, descrição geral do processo, tipos e custos das tecnologias de tratamento de resíduos. A seguir mostra a situação atual do tratamento de resíduos nos Estados Unidos, Alemanha, Suíça, Portugal e Brasil, além da relação existente da geração de resíduos com o PIB, o IDH e a matriz energética de cada região geográfica do Brasil.

A gestão de resíduos sólidos pode ser definida como sendo o conjunto de referencias politico-estratégicas, institucionais, legais, financeiras, ambientais e sociais capaz de orientar a organização do setor. (LIMA, 2001)

A PNRS(2010) define a gestão integrada de resíduos sólidos como o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

A necessidade de se propor um Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos visa minimizar os problemas relativos aos resíduos domésticos, comerciais, industriais, agrícolas e os de serviços de saúde, de forma a induzir uma melhoria na qualidade de vida da população, através do controle da contaminação do ar, da água e do solo, provocadas pela inadequada remoção, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos. Um sistema de gestão de RSU se pauta nos princípios, hierarquizados pela seguinte ordem: não geração de resíduos, minimização da geração, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final. (JUCÁ,2008)

A Política de Resíduos Sólidos deve expressar o compromisso com um desenvolvimento sustentável dos assentamentos humanos, sem perder de vista a questão ambiental, onde estão incorporados aspectos socioeconômicos resultantes dos padrões de produção e consumo numa sociedade desigual. (MARIANO, 2001)

Para tanto é mais que fundamental que a gestão dos resíduos sólidos aconteça de forma integrada e se dê sob três aspectos fundamentais: arranjos institucionais, instrumentos legais e os mecanismos de sustentabilidade.

Na questão das tecnologias de tratamento de resíduos também esta sustentabilidade deve ser considerada os aspectos ambientais, econômicos e os aspectos sociais referentes a cada tecnologia.

Neste sentido na análise de quaisquer sistemas de tratamento de resíduos sólidos deve-se conhecer bem o atual sistema de gestão de resíduos de forma a se ter conhecimento suficiente para na análise da tecnologia a ser adotada, e ter a certeza que estes aspectos da sustentabilidade serão considerados.

## 2.1 HISTÓRICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Os seres humanos desde a sua concepção têm gerado resíduos, sejam eles sólidos, gasosos ou líquidos. No entanto, no passado, a dois séculos a eliminação destes resíduos não era um problema, principalmente quando o homem era nômade, pois geravam resíduos e depois de algum tempo o grupo levantava acampamento, deixando todo lixo gerado para trás. Por volta de 10.000 A.C, os seres humanos começaram a abandonar a sua existência nômade e começaram a viver em comunidades. A consolidação cada vez maior destas comunidades, acarretou numa maior geração de resíduos sólidos e também trouxe as primeiras preocupações com o que fazer com este lixo produzido, que afetava as pessoas, gerando impactos e trazendo doenças aos habitantes destes locais.

A origem e a produção de RSU no espaço urbano estão diretamente relacionados ao aumento populacional e a intensidade industrial. O aumento populacional exige um maior incremento na produção de alimentos e bens de consumo direto, e, na tentativa de atender a demanda de consumo, o homem transforma cada vez mais matéria-prima em produtos acabados, gerando maiores quantidades de resíduos, que, dispostos inadequadamente, comprometem o meio ambiente. (SOBRAL,2001)

Os métodos de eliminação de resíduos alternativos não foram desenvolvidos até que estes resíduos começaram a comprometer as defesas da cidade.

As primeiras evidências de utilização de algo similar a um aterro sanitário datam de 3000 anos A.C., na cidade de Cnossos, a capital de Creta, onde os resíduos produzidos eram colocados em covas grandes e recobertos por terra em vários níveis (WASTE ON LINE, 2010).

Em 500 A.C, em Atenas, Grécia, criou-se o primeiro lixão municipal, no mundo ocidental. Esses resíduos eram dispostos a uma milha a partir das muralhas da cidade para que os invasores não pudessem facilmente escalar os muros usando os resíduos depositados ali e já havia a presença de catadores no referido lixão. No entanto, o despejo de resíduos dentro das cidades continuou a ser a opção de eliminação

primária na Europa e nos Estados Unidos até o final de 1800 quando uma conexão foi feita entre as doenças e as condições ambientais no mundo. (EIGENHEER, 2001)

Perto do final do século 19, muitos gestores perceberam que jogando os resíduos nas ruas estava causando problemas de saúde a população e também causando problemas de ordem política. Em resposta, a este fato, algumas alternativas para este problema foram se desenvolvendo. Primeiro estes resíduos foram retirados para locais mais distantes das comunidades com coletas manuais e depois foram se desenvolvendo em recipientes maiores. Em seguida, o homem passou a utilizar a tração animal para retirar os resíduos sólidos. Assim as cidades criaram a coleta de lixo via tração animal para recolher lixo e descartá-la em áreas abertas, os conhecidos lixões. Em seguida com a coleta em carros sobre rodas, eram levados para incineradores ou até mesmo despejados no mar. Na década de 1920, existia um padrão local, que era aproveitar o lixo, as cinzas de incineração e outros resíduos, usados para recuperar áreas úmidas nas proximidades das cidades.(EPA,2008)

No Brasil, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, capital do império, foi criado o primeiro serviço de limpeza urbana. Por volta de 1840, foi criada a coleta de resíduos em tambores (barris) pelos Brigs, que coletavam nas casas e jogavam, inicialmente, em terrenos distantes da área urbana, depois se depositava nas areias da praia e por fim eram despejados no mar, em plena Baía da Guanabara.

Dessa forma foram sendo criados locais para depósito dos resíduos, onde, simplesmente, eram jogados e quando muito espalhados sobre o terreno, causando impactos ambientais ao solo e a água. No Brasil, estas formas inadequadas de deposição, os conhecidos lixões prevaleceram até meados da década de 1980 e tem diminuído muito lentamente com o passar dos anos.

Durante este tempo, na Europa, Estados Unidos e outras partes do mundo desenvolvido, mais organizado, desenvolveu-se programas de coleta e de deposição de resíduos. Uma variedade de regulamentos que impactam a gestão dos resíduos sólidos foi sendo imposta. Na história mais recente, as tecnologias de gestão de resíduos utilizadas continuaram a evoluir e melhorar continuamente.

Na virada do século 20, pocilgas foram instaladas em muitas cidades pequenas e médias dos EUA, onde os suínos eram alimentados com lixo fresco ou cozidos e usados como ração animal. Segundo a Environmental Protection Agency (EPA), especialistas estimam que 75 porcos possam consumir 1 tonelada de lixo por dia. Mesmo após o advento do aterro moderno, o descarte de lixo para porcos continuou de forma incisiva

em fazendas nos Estados Unidos. Em 1930, 557 cidades norte-americanas, continuava a usar o lixo fresco para alimentar estes animais, apesar da conhecida relação entre triquinose e lixo que alimentava os suínos. Após o abate de cerca de 400.000 porcos, em meados dos anos 1950, para impedir a propagação da doença, os departamentos de Saúde Pública dos EUA, finalmente, decidiu proibir o uso de lixo cru como ração animal. (USEPA, 2010).

Em 1910, cerca de 80% das cidades norte-americanas tiveram algum tipo de coleta organizada de resíduos sólidos. Em geral a coleta de resíduos, usava tração animal com cavalo ou carroças puxadas por mulas. Com o advento do automóvel, os caminhões de lixo começaram a ser utilizados. (USEPA, 2010)

Nas últimas décadas, a indústria de resíduos sólidos tem sido pioneira em outras tecnologias, como a reciclagem, reconhecendo que o fluxo atual de resíduos é a matéria prima para novos produtos. Em um curto espaço de tempo, a reciclagem se tornou uma tecnologia totalmente desenvolvida comparando-se com a D.A e o TMB. A partir de 2007, mais de 34 por cento dos resíduos sólidos urbanos nos EUA é reciclado ou compostado, conservando os recursos naturais e energia, reduzindo as emissões de gases estufa e, conseqüentemente, protegendo a qualidade do ar e da água.(USEPA,2010)

No mundo industrializado, durante o último século, os serviços de limpeza urbana que, historicamente, apenas retiravam os resíduos gerados e levando-os para locais distantes. Nos últimos 50 anos essa atividade, em geral, tem sido profissionalizada e agora inclui, planejamentos com esforços organizados para a reciclagem e a recuperação de energia. No entanto, nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos ainda se pode encontrar os catadores tradicionais que procuram recursos nos lixões e nas ruas.

O crescimento acelerado das cidades e o consumo de produtos industrializados, e, mais recentemente, o surgimento dos produtos descartáveis, vem contribuindo para o aumento do volume de lixo gerado. Com isso a escassez de áreas para o destino final, passou a se constituir um dos problemas para a sociedade local e uma grande preocupação para o poder municipal. Além dos problemas de poluição causados por seu elevado volume, constitui-se, também, um acentuado desperdício dos recursos naturais que poderiam ser reaproveitados. (SOBRAL, *et tal*,2001)

A indústria de resíduos sólidos, atualmente, pode responder às preocupações ambientais mais prementes. A Inovação da indústria permite capturar

gases de efeito estufa dos aterros, usá-lo como uma fonte de energia renovável e sustentável, e reduzir a nossa dependência dos combustíveis fósseis e do petróleo.

Em 1935, o precursor do aterro sanitário, surgiu nos Estados Unidos da América, na Califórnia, onde o lixo foi jogado em um buraco no solo que era periodicamente coberto com terra. A Sociedade Americana de Engenheiros Civis em 1959 publicou as primeiras orientações para um "aterro sanitário", que sugeriu a compactação dos resíduos e a cobertura com uma camada de solo a cada dia para reduzir odores e roedores e assim ter um melhor controle. Até a referida data, esta era a forma mais moderna de dispor resíduos sobre o solo e ainda não existia outra forma de tratamento de lixo mais adequada. (EPA, 2005)

A incineração de resíduos iniciou em Manchester, Inglaterra, e a primeira unidade instalada foi em 1876. Depois desta implantação, muitas discussões também aconteceram na Alemanha, principalmente pela necessidade de geração de energia e calor, tão necessário para o desenvolvimento industrial. Após os desafios iniciais, a incineração mostrou-se viável a época e levou à construção de mais de 210 plantas na Inglaterra, no início do século 20, dos quais 14 foram operadas somente em Londres. Estas plantas tiveram poucas ou quase nenhuma norma técnica. Essas unidades exalavam mau cheiro e também causou inflamação dos olhos e pulmões dos trabalhadores das unidades e causaram problemas a saúde das comunidades do entorno da planta. No entanto, foram aceitas como um mal necessário. (CHIRICO e AUDISIO, 2000)

Nesta época já existia resistência da população para a construção de instalações de incineração de resíduos na Alemanha. Apesar disso, a primeira unidade de incineração de resíduos na Alemanha foi construída e entrou em operação em Hamburgo em 1895, após a última grande epidemia de cólera. Esta planta foi a primeira grande usina de incineração no continente europeu e foi baseada na tecnologia aplicada dos modelos britânicos. A referida planta ficou em operação até 1920. Estas primeiras plantas foram concebidas como fornos chamados de células, e incluíam uma quantidade de ranhuras, inclinadas para frente. O resíduo era descarregado manualmente para dentro do forno através de uma porta e a intervalos definidos, a escória era removida através da mesma porta. O forno era arrefecido significativamente durante a alimentação, com o fornecimento de resíduos, alimentando-o, e a remoção de cinzas também era retirada pela porta de entrada, devido a este método de descontinuidade operacional, problemas operacionais ocorriam com frequência. Os fornos de células

foram combinados para uma grelha em série com a remoção dos gases residuais no lado, como um primeiro avanço de pesquisas nesta tecnologia de tratamento térmico de resíduos no mundo ocorreu na Alemanha. (JOHNKE e GAMER, 2001)

Desta época até hoje, esta tecnologia avançou em função da modernização tecnológica e, também em função da cobrança da população por instalações tecnológicas mais seguras que poluam o menos possível, de forma a implementar o tratamento dos resíduos ambientalmente corretos com segurança a população, fato este comprovado pela proximidade das instalações meio urbano de diversos países.

Os Estados Unidos são uma federação, isto significa que os estados têm poder, mas o governo nacional monopoliza a autoridade constitucional. No caso da gestão de resíduos sólidos, a principal lei federal é Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (*Resource Conservation and Recovery Act – RCRA*). Devido ao arranjo institucional americano, a lei estabelece diretrizes gerais, mas delega aos estados a responsabilidade de regular o mercado de coleta de resíduos sólidos urbanos e reciclagem. Todavia, a lei também estabelece que uma agência nacional, a Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency – EPA*) é responsável pelo estabelecimento de padrões nacionais de gestão de resíduos sólidos, assim como do monitoramento e fiscalização nos estados. (EPA, 2005)

A aprovação da Lei do Ar Limpo nos EUA, em 1970, levou ao encerramento de muitos incineradores anteriormente construídos, porque eles não podiam controlar adequadamente a poluição do ar. No entanto, posteriormente foram construídas, modernas plantas de incineração de resíduos que geravam energia, transformando os resíduos em energia elétrica com controles de poluição, que removem partículas em suspensão e reduzem as emissões de gases a níveis melhores e aceitáveis a época, produzindo energia suficiente para abastecer cerca de 1,7 milhões de lares.

A primeira legislação federal sobre a gestão de resíduos sólidos nos EUA foi a Lei de Eliminação de Resíduos Sólidos de 1965 (SWDA), que criou um gabinete nacional de resíduos sólidos. Por meados dos anos 1970, todos os estados tiveram algum tipo de regulamento de gestão de resíduos sólidos. Entretanto, o conteúdo destes regulamentos varia amplamente. Outros países também iniciaram suas ações de controle com leis próprias sobre o tema e proibiram a queima a céu aberto de resíduos em lixões, onde se começou a substituição por aterros sanitários. Além disso, em alguns países Membros da União Europeia é necessário o atendimento a estas

legislações para que as instalações de sistemas de eliminação de resíduos passem por processos operacionais e tecnológicos com qualidade de forma a atender plenamente os processos de licenciamento.

Em 1976, a Câmara de Representantes dos EUA aprovou a Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (RCRA), que melhorou consideravelmente o papel do governo federal na gestão de eliminação de resíduos. Esta Lei classificava os resíduos em duas categorias, a saber: resíduos perigosos e não perigosos, e isto impulsionou a EPA, a desenvolver normas e padrões operacionais de projeto para aterros sanitários e também a fechar ou recuperar os lixões existentes que não atendiam aos padrões dos aterros sanitários.

Nesta época começou a surgir Legislações próprias para os resíduos perigosos e o tratamento de resíduos em processos térmicos em vários países. Este processo evoluiu até os dias atuais em que pode-se observar que este controle ambiental e social tem sido mais forte a cada dia. Na atualidade os resíduos sólidos constituem uma das grandes preocupações ambientais do mundo moderno. As sociedades de consumo avançam de forma a destruir os recursos naturais, e os bens de consumo, em geral, têm vida útil limitada, transformando-se em resíduos, cujas quantidades são cada vez mais crescentes e cuja gestão e gerenciamento ambiental se faz mais que necessários.

## 2.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

### 2.2.1 Evolução do tratamento de resíduos

Durante a evolução do tratamento de resíduos sólidos urbanos o Brasil, concentrou seus esforços e expectativas nos aterros sanitários ao passo que os países desenvolvidos tiveram evoluções tecnológicas importantes e bastante significativas, acompanhando as necessidades energéticas, materiais e ambientais, em resposta as demandas da população, seu crescimento, suas culturas e economias; tudo isso baseado em legislações claras e objetivas, implantadas progressivamente ao avanço das tecnologias, sensibilização social e educação de suas sociedades. Assim sendo países da Europa e os Estados Unidos desenvolveram várias tecnologias para tratamento de resíduos sólidos urbanos, que são consideradas em todo o mundo e também no Brasil

como referencia. Estes tratamentos sofreram evoluções tecnológicas e inovações que acompanham as necessidades energéticas e de materiais da sociedade contemporânea.

Segundo Jucá (2011), as tecnologias de tratamento de resíduos, mostradas na Tabela 2.1 são as principais formas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos, com os seus sistemas básicos, seus processos e evoluções, além dos principais produtos - matérias primas e suas inovações tecnológicas. Salienta-se que a adoção de determinadas formas de tratamento implicam na separação prévia dos resíduos, através de coletas diferenciadas, sem a qual não haverá resultados efetivos do tratamento ou do sistema. Outro aspecto relevante 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.

Tabela 2.1 - Evolução do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.

SISTEMAS BÁSICOS	PROCESSOS	EVOLUÇÃO	PRODUTOS	INOVAÇÃO
Triagem	Físico	Coleta Seletiva Tratamento Mecânico Biológico (MBT)	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	Vapor e Energia Elétrica	Waste to Energy (WTE)
Aterros Sanitários	Físico, Químico e Biológico	Reator Anaeróbio Tratamento da M.Orgânica	Biogás (Energia) e Lixiviado	Waste to Energy (WTE) Fertilizantes

Fonte: Jucá, 2010.

Como mostra a Tabela 2.1, na atualidade existem quatro (04) sistemas básicos de tratamento de resíduos sólidos urbanos, que são, a triagem de resíduos, o tratamento de resíduos biológicos, a incineração e o aterro sanitário. Nos processos físicos predominam a triagem e a reciclagem dos resíduos, nos processos biológicos predominam 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. Com o passar dos anos, estes processos evoluíram tecnologicamente. Como exemplo destas inovações, as unidades de triagem evoluíram para os tratamentos mecânico-biológico (TMB), o tratamento biológico – compostagem evoluíram para os digestores anaeróbios (D.A) e as unidades de incineração evoluíram para unidades mais modernas de geração de energia e/ou ciclos combinados com geração de calor. Finalmente, os aterros sanitários evoluíram para aterros sanitários com geração de energia ou queima de biogás. De qualquer forma o importante nestes sistemas básicos e suas evoluções são a premissa de antes de qualquer processo ter a separação prévia dos RSU, mediante coletas diferenciadas, o que otimiza o sistema final. Neste sentido o conhecimento destes sistemas, processos, evoluções e inovações tecnológicas são importantes para a adoção de alternativas tecnológicas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

O tratamento de resíduos em qualquer municipalidade depende sempre de alguma alternativa tecnológica, que se podem dizer, de tecnologias, sejam elas, mais simplificadas, sejam elas, mais evoluídas tecnologicamente. Para a sua adoção deve se levar em consideração uma serie de aspectos, onde pelo menos devem ser considerados no mínimo os seguintes:

- Aspectos técnicos, considerando-se aqui os de geração dos resíduos, características dos resíduos, aspectos qualitativos e quantitativos, geografia da região, geomorfologia, pluviometria, urbanização, aspectos de localização e aspectos urbanísticos.
- Aspectos ambientais, considerando-se que as tecnologias devem atender ao que determina toda legislação ambiental e seu atendimento são fundamentais para sua implementação.
- Aspectos sociais, considerando-se aqui que os aspectos de geração de emprego e renda, são fundamentais em seu critério de escolha, pois existem regiões em que os aspectos sociais são tão ou mais importantes que os aspectos técnicos da tecnologia. Como exemplo tem-se tecnologias que são geradoras de emprego e outras tecnologias que são redutoras de emprego e isto deve ser levado em consideração nos critérios adotados a sua escolha. O Produto interno Bruto (PIB) de cada região também é fundamental, pois algumas tecnologias apresentam custos que devem ser compatíveis com a sua utilização pela local/regional.

- Aspectos econômicos, considerando-se aqui que as tecnologias devem ser suportadas pelos municípios e mais ainda, os usuários(municípios) devem suportar os valores a serem pagos pela sua utilização.

- Aspectos legais, considerando-se aqui que as tecnologias devem ter legislações específicas e estruturas otimizadas dos órgãos fiscalizadores para o fiel cumprimento de seus preceitos e suas exigências.

- Aspectos políticos, considerando-se o atual e futuro arranjo político da estrutura municipal, que são fundamentais para que ocorra uma escolha de alternativa tecnológica embasada em critérios técnicos, que atenda aos aspectos ambientais e sociais e que mais ainda que sejam consolidadas pela afirmação política da escolha tecnológica.

O tratamento de resíduos depende de tecnologias que devem ser utilizadas, considerando-se aqui que o gerenciamento interno realizado pela indústria, principalmente nos aspectos relativos à minimização, reciclagem e reaproveitamento. O tipo de tratamento a ser utilizado é escolhido em função das características dos resíduos e dos produtos desse tratamento.

Os principais motivos para o tratamento dos resíduos são a redução das características de periculosidade; a separação de componentes dos resíduos com a finalidade de serem utilizados ou tratados posteriormente; a redução da quantidade de resíduos enviados para disposição final e a transformação do resíduo num material reutilizável.

O tratamento de resíduos, apesar de trazer os benefícios citados anteriormente, também gera resíduos, líquidos, sólidos ou gasosos, devendo ser considerados no momento da escolha, a que tipo de tratamento o resíduo deve ser submetido. De fato, deve-se ter sempre em mente que por melhor que seja a operação de uma planta de tratamento de resíduos, qualquer que seja a tecnologia de tratamento utilizada, o processo envolvido trata-se de uma transferência de fase, ou seja, os resíduos que eventualmente estão no estado sólido passarão para o estado líquido e/ou gasoso, portanto pode-se conseguir reduzir o problema, mas nunca eliminá-lo. E este ponto tecnicamente é mais que importante.

Diante deste fato, deve-se sempre privilegiar as políticas de não geração e de minimização dos resíduos, bem como o reaproveitamento/reciclagem, deixando para ser tratado somente o que não foi possível de ser contemplado nessas etapas anteriores. As principais formas de tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais

utilizadas no Brasil são os aterros para resíduos não perigosos e para resíduos perigosos; o co-processamento em fornos de cimento e a incineração de resíduos industriais e de serviços de saúde. Em menor escala também tem-se no Brasil a compostagem e a reciclagem. Também existe uma experiência de CDR – Combustível derivado de resíduo no Estado de São Paulo e uma experiência piloto de Digestão Anaeróbia no Ceará. Estas tecnologias que descritas a seguir.

Os aterros sanitários têm sido utilizados no Brasil como a forma mais econômica e ambientalmente segura para a disposição final de RSU. Seu princípio construtivo básico constitui-se nas seguintes etapas: impermeabilização de uma determinada área superficial do solo através de um liner mineral ou de um liner sintético, através de geomembrana - mantas plásticas em PEAD, ou da utilização dos dois lineres, evitando a contaminação do solo pelo chorume/lixiviado; disposição do lixo urbano sobre esta área de células, cobrindo com uma camada de solo, garantindo a decomposição anaeróbica do qual resulta a formação do biogás. No aterro, devem ser dispostos coletores para a captura do biogás e drenos para a coleta do “lixiviado-chorume”, uma vez que estes resíduos são poluentes e devem ser tratados adequadamente. O sistema de cobertura diário, intermediário e final da massa de resíduos aterradas e o processo de cobertura vegetal de toda área disposta são de grande importância. O lixiviado deve ser coletado e tratado adequadamente por processos que atendam a legislação.

A captura do biogás tem se tornado economicamente viável por duas motivações: a geração de energia elétrica para consumo próprio do aterro e a venda do excedente; a obtenção de créditos de carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) com a redução das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ). A queima do biogás gera créditos de carbono, pois, ainda que a queima do metano tenha como resultado a emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o potencial de contribuição deste para o aquecimento global é cerca de vinte e uma vezes inferior ao potencial do metano. IPCC (2000). As alternativas de aproveitamento do biogás pressupõem sua queima, seja em *flare*, em caldeira, em motor de combustão interna ou em turbina a gás.

A seguir serão descritos cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos existentes, atualmente em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, primeiro com suas definições técnicas e evolução do processo, tipos de tecnologias e custos das tecnologias.

Pode-se considerar que no atual desenvolvimento tecnológico estas tecnologias existem quase que na totalidade desses países, sendo com maior intensidade em alguns e com menor intensidade em outros. Neste sentido não considerou-se neste estudo o uso da gaseificação, por ser uma tecnologia emergente e ainda muito pouco utilizada no mundo com poucas plantas instaladas para o tratamento dos RSU.

## 2.3 DEFINIÇÃO TÉCNICA DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RSU

### 2.3.1 Reciclagem de Resíduos Sólidos

#### 2.3.1.1 *Descrição geral do processo*

A reciclagem é umas das alternativas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos e contribui diretamente para a conservação do meio ambiente. Ela trata os resíduos como matéria-prima que é reaproveitada para fazer novos produtos e traz benefícios para todos, como a diminuição da quantidade de rejeitos enviada para aterros sanitários, a diminuição da extração de recursos naturais, a melhoria da limpeza da cidade e o aumento da conscientização dos cidadãos a respeito do destino destes resíduos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM, denomina-se reciclagem a separação e beneficiamento industrial de materiais presentes nos resíduos sólidos urbanos, tais como papéis, plásticos, vidros e metais. Esses materiais são novamente transformados em produtos comercializáveis no mercado de consumo. A reciclagem traz benefícios, como: diminuição da quantidade de resíduos a ser aterrada (consequentemente aumenta a vida útil dos aterros sanitários); preservação de recursos naturais; economia de energia na produção de novos produtos; diminuição dos impactos ambientais; novos negócios e geração de empregos diretos e indiretos através da criação de indústrias recicladoras. A reciclagem não pode ser vista como a principal solução para a questão dos resíduos sólidos urbanos, sendo uma atividade econômica que deve ser encarada como um elemento dentro de um conjunto de soluções. (MONTEIRO, 2001)

No entanto, deve-se considerar que a conduta mais adequada seria tornar a reciclagem efetivamente um ciclo fechado, ou seja, materialmente estanque. No momento, consome-se energia fóssil para o transporte dos produtos separados para

serem reciclados e também água, eletricidade e outros insumos no processo da reciclagem propriamente dita.

A coleta seletiva pode ser definida como o recolhimento diferenciado de materiais recicláveis, já separados nas fontes geradoras, por catadores, sucateiros, entidades, prefeituras, entre outros, normalmente em horários predeterminados, alternados com a coleta convencional. (CAMPOS, *et al* 2002).

Ainda existe certa confusão em torno dos conceitos de reciclagem e coleta seletiva. É comum as pessoas entenderem a coleta como sinônimo de separação de materiais recicláveis ou, ainda, como reciclagem. Neste sentido, algumas pessoas dizem “fazer coleta seletiva” em casa, mas queixam-se de que seu bairro ou sua cidade não tem “reciclagem”. Outros garantem que “reciclam” seu lixo, mas, infelizmente, “o lixeiro mistura tudo”. (GRIMBERG e BLAUTH, 1998).

Assim, embora as atividades de separar, coletar e reciclar estejam muito associadas, elas não são necessariamente dependentes. A reciclagem de materiais pode ocorrer sem a separação prévia de resíduos nas fontes geradoras, pois pode ser a partir de resíduos triados por catadores num lixão ou numa central de triagem e compostagem, exatamente como é coletado pelo serviço de limpeza urbana.

Nesses casos, porém, a qualidade e os produtos do processo são muito inferiores, devido à sujeira e contaminação, valem muito menos no mercado de recicláveis que aqueles coletados seletivamente e valorados de forma correta.

### *2.3.1.2 Custos da Tecnologia*

Considera-se aqui que a reciclagem de RSU é realizada pós-coleta, mediante a coleta seletiva até a separação de materiais em unidades de triagem mecanizada e até a valoração econômica dos resíduos recicláveis, sem considerar a reciclagem na indústria. Todos os custos estão em R\$/tonelada tratada.

#### *1- Reciclagem de resíduos*

O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 22,00/t

O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 250,00/t

O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 2,50/t

O Custo de pós-monitoramento = R\$ 0,50/t

Os custos acima foram retirados dos relatórios informativos do CEMPRE e da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana - EMLUR de 2010 e 2011 e

foram adotados pela ausência dados mais consistentes destas tecnologias de tratamento de resíduos em outras fontes.

### 2.3.2 Compostagem

A compostagem tem grande importância no tratamento dos resíduos sólidos urbanos já que cerca de 50% do lixo gerado em um município é constituído por matéria orgânica (LIMA, 2005).

Segundo Pereira Neto (1980), a compostagem é um dos processos de reciclagem de resíduos mais antigos que o homem tem utilizado e que paradoxalmente é um dos processos cuja filosofia e cujos princípios estão entre os mais atualizados e de acordo com as exigências modernas. Trata-se de um processo nobre, visto que é comprometido com a proteção ambiental (devido ao tratamento dos resíduos contaminados, ao controle da poluição e à reciclagem de materiais), com a saúde pública (devido à quebra dos ciclos evolutivos de várias doenças e eliminação de vetores) e com o resgate da cidadania (por criar oportunidades de empregos, incentivar práticas agrícolas, etc.).

De acordo com Nóbrega (1991), a compostagem moderna é definida como sendo um processo, controlado, biológico, termofílico dividido em duas fases: a primeira, a fase ativa, onde ocorrem as reações bioquímicas mais intensas de oxidação, e a segunda, a fase de maturação, onde ocorre a humificação do material previamente estabilizado. A compostagem é o processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Este processo tem como resultado final um produto que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

De acordo com Fernandes *et al* (1999), a compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO<sub>2</sub>, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Portanto, é um processo biológico, e para que se realize de maneira satisfatória, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos sejam respeitados, permitindo que os microrganismos encontrem condições favoráveis para transformarem a matéria orgânica.

A NBR 13591 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT define Usina ou Unidade de Compostagem como instalação dotada de pátio de

compostagem e conjunto de equipamentos eletromecânicos destinados a promover e/ou auxiliar o tratamento das frações orgânicas dos resíduos domiciliares.

A Figura 2.1 mostra uma unidade de compostagem de resíduos orgânicos.



Figura 2.1 - Unidade de compostagem de resíduos orgânicos.

Fonte: Nóbrega, 1991.

Os principais fatores a serem observados durante a compostagem são a natureza do substrato, a aeração, a umidade e a relação C/N. A aeração é necessária para a atividade biológica e, em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem odores ruins, em função da granulometria e da umidade dos resíduos. Já o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação.

Lima (2005), cita que a umidade deve-se manter em torno de 50%. Se for muito baixa, a atividade biológica é reduzida; se for muito elevada, a aeração é prejudicada e ocorre anaerobiose. Nessas condições, forma-se o lixiviado, líquido negro e de odor desagradável, que escorre das pilhas do material em decomposição. Sua produção é maior quando as leiras de resíduos estão molhadas e possuem uma grande elevação, compactando e espremendo as camadas inferiores do resíduo em decomposição. Em época de chuvas, a produção de lixiviado ocorre, também, por

encharcamento do resíduo em decomposição. A compactação e o encharcamento expulsam o ar dos vazios existentes na pilha de resíduos e a anaerobiose instala-se, entrando o material em putrefação, com desprendimento de gás sulfídrico e mercaptanas. No final, a umidade do composto para uso agrícola deve ser de 40% no máximo.

#### *2.3.2.1 Descrição geral do processo*

A compostagem é realizada em três fases:

A primeira fase, também chamada de fitotóxica, é marcada pelo início da decomposição da matéria orgânica que se caracteriza pelo desprendimento de calor, vapor d'água e CO<sub>2</sub>. Os materiais crus possuem reação ácida, assim como dejeções sólidas e líquidas dos animais e humanas e, portanto, no início da decomposição biológica desenvolvem-se traços de diversos ácidos minerais e ácidos orgânicos, principalmente o ácido acético e outras toxinas danosas às plantas, componentes que dão ao material, propriedades de fitotoxicidade. Fernandes et al (1999) afirmam que nesta etapa há a proliferação de diversos microrganismos mesófilos (15°C - 43°C) que vão se sucedendo de acordo com as características do meio. E, de acordo com Kiehl (1985), nesta fase mesófila predominam bactérias e fungos produtores de ácidos.

Na segunda fase, também chamada de semicura ou bioestabilização, há a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos (40°C - 85°C) proliferam com mais intensidade. A população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos. (FERNANDES *et al*, 1999). A população dominante nesta fase é de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes. (KIEHL, 1985). Ao completar esta fase o composto deixa de ser danoso às plantas, porém, ainda não apresenta as características e propriedades ideais.

Na terceira fase, denominada de maturação ou humificação, quando o substrato orgânico foi em sua maior parte transformado. A população termófila se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesófilos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis foi transformada e o composto apresenta odor agradável (FERNANDES *et al*, 1999). Esta etapa corresponde ao estágio final da degradação da matéria orgânica, pois o

composto propriamente dito adquire as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas desejáveis. (KIEHL, 1998).

O produto final da compostagem é chamado de composto orgânico, que pode ser utilizado como um condicionador do solo, na alimentação de porcos e peixes e no controle de erosões.

### *2.3.2.2 Tipos de compostagem*

Pereira Neto (2001), cita que existem vários métodos para a implantação do processo de compostagem, entre eles destaca-se: compostagem artesanal; compostagem com reviramento mecânico; compostagem em pilhas estáticas com aeração forçada; compostagem em recintos fechados com aeração forçada.

O processo de compostagem é desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos e envolve duas fases distintas: a primeira, quando acontecem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda, ou fase de maturação, é o processo de humificação dos materiais orgânicos compostados, predominando nesta fase reações mesofílicas (FERNANDES *et al*,1999). Em geral o processo de compostagem pode ocorrer por dois métodos(tipos):

Método natural: a fração orgânica dos resíduos é levada para um pátio e disposta em pilhas de formato variável. A aeração necessária para o desenvolvimento do processo de decomposição biológica é conseguida por reviramentos periódicos, com o auxílio de equipamento apropriado. O tempo para que o processo se complete varia de três a quatro meses;

Método acelerado: a aeração é forçada por tubulações perfuradas, sobre as quais se colocam as pilhas de resíduos, ou em reatores rotatórios, dentro dos quais são colocados os resíduos, avançando no sentido contrário ao da corrente de ar. Posteriormente, são dispostos em pilhas, como no método natural. O tempo de residência no reator é de cerca de quatro dias e o tempo total da compostagem acelerada varia de dois a três meses.

O grau de decomposição ou de degradação do material submetido ao processo de compostagem é indicativo do estágio de maturação do composto orgânico,

ou seja, o aspecto do material – cor, odor e umidade - dá indicações. Assim, a cor final é preta; o odor, inicialmente acre, passa para o de terra mofada e a umidade é reduzida.

Coutinho (2004), relata que para fins práticos, dois são os principais graus de decomposição do material submetido ao processo de compostagem: semicurado ou tecnicamente bioestabilizados e curado ou humificado. O primeiro indica que o composto já pode ser empregado como fertilizante sem causar danos às plantas; o segundo indica que está completamente degradado e estabilizado, com qualidade apropriada para ser utilizado.

De acordo com Von Sperling (2001), no início da decomposição do material orgânico, desenvolvem-se microrganismos que apresentam uma fermentação ácida e o pH torna-se mais baixo, o que é favorável à retenção de amônia. Na fase seguinte, os ácidos são consumidos por outros agentes biológicos, elevando o pH. O composto orgânico deve ter um pH de 6,0 no mínimo. Geralmente, o composto curado humificado apresenta valores entre 7,0 e 8,0.

Em laboratório, pode-se avaliar o grau de maturidade do produto, através de determinações de carbono total (C) e oxidável, nitrogênio total (N) e amoniacal, e o cálculo da relação C/N. Relação C/N igual ou inferior a 18/1 indica que o composto está semicurado, e inferior a 12/1, curado. (PEREIRA NETO, 2004).

O tempo necessário para a compostagem de resíduos orgânicos está associado aos vários fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais. A compostagem natural leva de 60 a 90 dias para atingir a bioestabilização e de 90 a 120 dias para humificação. A compostagem acelerada leva de 45 a 60 dias para a semicura e de 60 a 90 dias para a cura completa ou humificação. Esta diferença deve-se basicamente à duração da fase termófila no processo acelerado, que é reduzida de algumas semanas para dois a quatro dias.

O tratamento biológico evoluiu da compostagem para tecnologias mais recentes como os biodigestores anaeróbios aos quais traz novos produtos através de compostos orgânicos e até adubos quando introduzidos componentes químicos e energia com a inovação tecnológica, pela geração de energia também derivada de resíduos (WTE). Importante se faz um relato sobre as usinas de triagem e compostagem no Brasil.

As usinas de triagem e compostagem de Lixo urbano surgiram no Brasil na década de 1980, sendo a primeira instalada no Estado do Paraná, na cidade de Cornélio Procópio. No próprio Estado do Paraná outras unidades foram instaladas

antes desta tecnologia ser transferida a outras cidades do Brasil.

No Nordeste do Brasil, foi instalada a primeira unidade no Município de João Pessoa-PB, que foi inaugurada em 17 de Dezembro de 1986, sendo a primeira unidade de processamento de lixo urbano do Nordeste.

A referida usina era composta por 4 setores: setor de recepção dos resíduos, onde os mesmos eram descarregados dentro de um fosso receptor, um segundo setor onde os resíduos eram transferidos para a moega via garra mecânica e estes por gravidade eram descarregados nas esteiras mecânicas de separação. Nestas esteiras a separação acontecia manualmente onde os separadores triavam estes resíduos e descartavam em carrinhos de recebimento que recebiam os resíduos a um nível abaixo da esteira.

O terceiro setor onde ocorria a trituração mecânica do material não triado em um moinho que antes de triturar os resíduos passava por um eletroímã para retirada de metais. O quarto setor era o de peneiramento e armazenamento dos resíduos, que seguiam para um pátio de compostagem, que mediante todo processo de controle biológico, se transformavam em composto orgânico após um prazo médio de 100 dias.

As Figuras de 2.2 a 2.4 mostram uma usina de triagem e compostagem de lixo.



Figura 2.2 - Usina de Triagem e Compostagem.

Fonte: Costa Norte, 2011.



Figura 2.3 - Triagem de Resíduos.  
Fonte: Constroeste, 2009.



Figura 2.4 - Pátio de Compostagem.  
Fonte: Lanza *et al*, 2010.

No ano seguinte uma unidade semelhante a de João Pessoa-PB, foi instalada no Município de Natal, no bairro de cidade Nova.

Várias unidades foram instaladas em São Paulo, no município de Araraquara, Bauru, Diadema, entre outros.

No Estado do Rio de Janeiro foi instalada uma unidade no município de Petrópolis e outra em Teresópolis, tendo varias unidades instaladas no Estado de Minas Gerais.

Estudos realizados pelo IPT, em 1990, apontaram que 37 municípios possuíam usinas de triagem e compostagem pelo processo "natural", sendo que 17 delas encontravam-se paralisadas ou desativadas, 5 em obras e 15 em operação. Nesta

ocasião, 20 municípios contavam com instalações de triagem e compostagem pelo método "acelerado", sendo que 7 estavam paralisadas ou desativadas, 10 em obras e 3 em operação. No ano de 1994, apenas 8 instalações pelo método acelerado estavam em operação no Brasil (SCHALCH, 2002).

A sequência de paralisação e abandono destas unidades de tratamento mecânico biológico, ocorreram devido a aspectos, políticos, econômicos e sociais, sendo que nesta época o aspecto ambiental de poluição era ainda bem pouco explorado.

As principais causas das paralisações e desativações apontadas pelo IPT (1993) e GALVÃO JÚNIOR (1994) e SCHALCH(2002), foram:

- instalações mal planejadas devido à disputa dos projetistas e das empreiteiras pelos recursos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), cuja convicção técnica e mercadológica nem sempre foi ao encontro das especificidades dos municípios;

- ausência de capacitação gerencial, técnica e institucional para a condução das atividades;

- administradores públicos equivocados ou vítimas de propaganda enganosa por parte de vendedores, afirmando que as usinas eram capazes de transformar todo o lixo em lucro, dispensando os aterros sanitários de rejeitos;

- localização inadequada das usinas, acarretando problemas de ordem ambiental e desentendimento com a população vizinha ao empreendimento;

- falta de mercados consumidores, tanto para os recicláveis quanto para o composto, em distâncias compatíveis para esse gênero de empreendimento.

Com base nas pesquisas de Galvão Júnior (1994) e Schalch(2002), podem-se citar dois motivos que têm tornado a alternativa das usinas de triagem e compostagem pouco atraentes para o equacionamento do problema do lixo:

Primeiro: as usinas não solucionam o problema do lixo, pois qualquer que seja o processo de operação, apresentam não raramente até 50% rejeitos e refugos, constituídos por materiais orgânicos de difícil decomposição, tais como: couro, borracha, madeira, além de materiais inertes, como areia, terra, cacos, plásticos, lixo de varredura, entulhos e outros, que devem ser encaminhados para um aterro sanitário, sempre imprescindível para receber os materiais não reaproveitáveis.

- as usinas não são economicamente viáveis, pois os produtos recicláveis separados do lixo (sujos), não apresentam qualidades e vantagens que justifiquem preço compensador, como pode ocorrer quando esses produtos são separados (limpos)

nas residências.

Quanto ao uso do composto, devido ao fato de o lixo chegar às usinas completamente misturadas, mesmo submetidas a onerosos processos de beneficiamento, este apresenta uma série de impurezas, tais como partículas de vidros, de papéis, de plásticos, de metais, etc., impossíveis de serem separadas do composto, fato que o torna bastante inferior aos compostos provenientes de granjas, estábulos ou de torta de farelo de algodão e mamona, disponíveis no mercado a preços atraentes.

Portanto, nenhuma usina de triagem e compostagem mostrou-se autossuficiente neste período, como propagavam os vendedores aos dirigentes municipais e neste momento apenas duas destas unidades estão em atividades.

### 2.3.2.3 Custos da Tecnologia

Considera-se aqui que a compostagem de RSU é a compostagem aerada em escala industrial. Os custos foram adotados em função de sistemas implantados na Europa da Kompost e Axpo New Energies e do Estudo da ARCADIS(2010)\*. Os custos adotados em Euros foram transformados para Reais, com data de referência de 30/10/2012, com 1 Euro = R\$ 2,72.

Todos os custos estão em R\$/t tratada.

*\* Avaliação das opções para melhorar a gestão dos resíduos na UE – Anexo E – Abordagem para Estimativas de Custos das tecnologias de tratamento de MSW.*

O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 20,00/t

O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 8,00/t

O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 1,00/t

O Custo de pós-monitoramento = R\$ 0,60/t

### 2.3.3 Tratamento Mecânico Biológico - TMB

O TMB, como o nome sugere, é uma tecnologia de tratamento de resíduos, que envolve tanto processos mecânicos como biológicos. O TMB geralmente envolve a integração de vários processos comumente encontrados em outras tecnologias de gestão de resíduos, tais como centro de recuperação de materiais (CAMs), de triagem

e compostagem ou digestão anaeróbia, formando-se arranjos de tecnologias que dependem da solução a ser adotada a cada caso.

O TMB é o processamento ou a conversão de resíduos de assentamentos humanos com componentes biologicamente degradáveis por meio de uma combinação mecânica e de outros processos físicos com os processos biológicos. É aplicável para o tratamento de resíduos antes de depositar em aterros, mas também para a produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR).

### *2.3.3.1 Descrição geral do processo*

Mavropoulos (2011), relata que as instalações de TMB podem incorporar um número de diferentes processos, com uma variedade de configurações, e são por vezes, também referenciados como TBM (tratamento biológico mecânico). Embora sinônimos, estes, são muitas vezes utilizados alternadamente e descrição geral do processo de TMB e TBM pode ser entendida como se segue:

- TMB (tratamento mecânico biológico): os resíduos são separados mecanicamente por meio de uma peneira cilíndrica rotativa em duas ou mais frações. A pequena fração (<90mm) é biologicamente tratada usando tecnologias aeróbias ou anaeróbias, enquanto que a maior fração (> 90mm) é submetida a um tratamento mecânico para recuperar materiais recicláveis e produzirá um material com elevado poder calorífico (recuperação secundária de Combustível, ou SRF). A pequena fração, pós tratamento biológico, pode ser submetida a um tratamento mecânico adicional e, dependendo de mercados locais ou regionais, ser recombinada com a SRF.

- BMT (Tratamento Biológico Mecânico): Neste processo ocorre a trituração grosseira e em seguida a remoção de quaisquer materiais de grandes dimensões, onde toda a fração residual de resíduos é submetida a tratamento biológico seguido por separação mecânica em materiais recicláveis diversos, frações recuperáveis e em seguida são encaminhadas para o aterro.

O TMB é classificado, portanto como um processo de pré-tratamento de resíduos, onde a conversão de resíduos em produtos requer tratamento adicional, embora no caso de plena bioestabilização do "Tratamento" adicional, poderia ser o tratamento em um aterro.

Em alguns casos os orgânicos e plásticos mistos são convertidos em um combustível preparado que é comumente referido como CDR que pode ser utilizado como um substituto para o carvão e outros combustíveis sólidos. Uma vez que o SRF(CDR) pode ser utilizado com um combustível, é essencial que ele seja queimado em instalações com equipamentos adequados de redução da poluição. A Figura 2.5 mostra uma unidade de tratamento mecânico biológico.



Figura 2.5 – Planta de TMB com seu processo de separação de RSU.

Fonte: MBT Rettenberg, 2007.

### 2.3.3.2 Tipos de TMB

Existem, portanto, três configurações de TMB, que são potenciais na atualidade, a saber:

- Tratamento Mecânico com um pré-tratamento aeróbio,
- Tratamento Mecânico com um pré-tratamento anaeróbio com valorização energética do biogás, e,
- Pré-tratamento mecânico com a bio-secagem.

### 2.3.3.3 Custos da Tecnologia

Considera-se aqui que o TMB de RSU é composto de um sistema básico com tratamento mecânico (triagem mecanizada) e biológico (geração de composto) com energia em escala industrial. Os custos foram adotados em função de sistemas implantados na Europa da Kahlenberb System e Axpo New Energies e do Estudo da ARCADIS(2010)\*. Os custos adotados em Euros foram transformados para Reais, com data de referência de 30/10/2012, com 1 Euro= R\$ 2,72.

Todos os custos estão em R\$/t tratada. Os custos adotados consideram uma planta típica com capacidade instalada de 250.000 t/ano, onde refere-se apenas ao pré-tratamento por TMB.

*\* Avaliação das opções para melhorar a gestão dos resíduos na UE – Anexo E – Abordagem para Estimativas de Custos das tecnologias de tratamento de MSW.*

O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 350,00/t

O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 85,00/t

O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 5,00/t

O Custo de pós-monitoramento = R\$ 10,00/t

### 2.3.4 Digestão Anaeróbia (DA)

A digestão anaeróbia (DA) é um processo de conversão de matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio livre, e ocorre em dois estágios: primeiro ocorre a conversão de orgânicos complexos em materiais como ácidos voláteis; e depois a conversão destes ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico (CHERNICHARO, 1997).

A digestão anaeróbia (DA) pode ser atendida como um processo de transformação de resíduos orgânicos, também conhecida como biogaseificação ou

metanização, em que se processa a decomposição desses resíduos na ausência do oxigênio (digestão anaeróbia) que gera o biogás, que é formado por cerca de 45% a 60% de CH<sub>4</sub> (metano) e de 40% a 50% de CO<sub>2</sub> (dióxido e carbono) que pode ser queimado ou utilizado como combustível.

A digestão anaeróbia é o processo de decomposição orgânica onde as bactérias anaeróbias, que sobrevivem na ausência de oxigênio, conseguem decompor os resíduos orgânicos em várias etapas, a saber: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

A Figura 2.6 mostra uma planta de digestão anaeróbia em atividade na Europa.



Figura 2.6 - Plantas de digestão anaeróbia no Reino Unido e em Mafra, Portugal.

Fonte: Defra's, 2007 e TratoLixo, 2011.

#### 2.3.4.1 Descrição geral do processo

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

Dentro do digestor, a massa é diluída para obter o conteúdo de sólidos desejado, e permanece no interior do reator por um determinado tempo de retenção.

Para a diluição, pode ser utilizado água da torneira, lodo de esgoto, esgoto doméstico, ou a recirculação do líquido efluente do reator. Um trocador de calor é usualmente requerido para manter a temperatura desejada. O biogás obtido com a DA é purificado e armazenado em gasômetros. Em caso do efluente do digestor estar com umidade muito elevada, faz-se necessário um processo de secagem do mesmo, e o efluente líquido utilizado para recirculação ou enviado para tratamento. O biossólido resultando deve ser curado aerobiamente para obter um composto de qualidade.

A DA é um processo de (02) dois estágios: hidrólise/acetogênese e metanogênese. Em sistemas de escala real, as plantas podem adotar processos de estágio único ou processo multi-estágio. Embora nos processos multi-estágio teoricamente consegue-se melhores eficiências e maior geração de biogás, na prática a grande maioria das plantas europeias é do tipo simples estágio. Os sistemas podem ainda ser de baixo ( $TS < 15\%$ ) ou de alto teor de sólidos ( $22 < TS < 40\%$ ). Os principais fatores que conferem viabilidade econômica aos processos de DA são os custos de disposição em aterro sanitário; o preço da energia renovável; e a possibilidade de comercialização de créditos de carbono (e este somente em países em desenvolvimento, como no Brasil). (REICHERT,2004)

#### *2.3.4.2 Tipos de Tecnologia*

Reichert (2004), relata que basicamente os métodos ou tipos de sistemas utilizados para tratar anaerobiamente os RSU podem ser classificados nas seguintes categorias: estágio único; múltiplo estágio; e batelada. Estas categorias podem ser ainda classificadas com base no teor de sólidos totais (ST) contidos na massa do reator. Sistemas com baixo teor de sólidos (BTS) tem menos de 15% de ST, médio teor de sólidos quando TS estiver entre 15 e 20 %, e alto teor de sólidos (ATS) quando TS estiver na faixa de 22 a 40%.

Atualmente na Europa as principais tecnologias adotadas são: Valorga, DRANCO, BTA, WASSA, Kompogás, Linde-KCA. Os principais fatores que conferem viabilidade econômica aos processos de DA são os custos de disposição em aterro sanitário; o preço da energia renovável; e a possibilidade de comercialização de créditos de carbono (e este somente em países em desenvolvimento, como no Brasil). No Brasil não existe nenhum Digestor anaeróbico em escala industrial em funcionamento com

apenas um implantado em escala experimental em Juazeiro do Norte/CE, no Nordeste do Brasil.

#### 2.3.4.3 Custos da Tecnologia

Considera-se aqui que a digestão anaeróbia de RSU é em escala industrial. Os custos foram adotados em função de sistemas implantados na Europa da Kompogás, e Kepell Seghers e do Estudo da ARCADIS(2010)\*. Os custos adotados em Euros foram transformados para Reais, com data de referência de 30/10/2012, com 1 Euro = R\$ 2,72.

Todos os custos estão em R\$/t tratada.

*\* Avaliação das opções para melhorar a gestão dos resíduos na UE – Anexo E – Abordagem para Estimativas de Custos das tecnologias de tratamento de MSW.*

O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 620,00/t

O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 96,25/t

O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 20,00/t

O Custo de pós-monitoramento = R\$ 18,00/t

Considerou-se uma planta típica de 250.000t/ano e que o preço acima refere-se apenas a digestão anaeróbia.

#### 2.3.5 Incineração de Resíduos

A incineração é um processo de queima de resíduos, na presença de excesso de oxigênio, no qual os materiais à base de carbono são decompostos, despreendendo calor e gerando um resíduo inerte, chamado de cinzas ou escórias.

A incineração é uma das tecnologias térmicas existentes para o tratamento de resíduos sólidos. É a queima de materiais em alta temperatura em mistura com uma quantidade de ar adequada durante um determinado intervalo de tempo. No caso específico de resíduos sólidos, os compostos orgânicos são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente, dióxido de carbono gasoso e vapor de água e cinzas (LIMA,2001).

Nos diversos processos industriais, são gerados resíduos perigosos, que demandam uma tecnologia segura e confiável para a sua completa destruição. A incineração é um processo de destruição térmica de resíduos que ocorre em alta temperatura.

A incineração é um processo de combustão, a base de carbono, de materiais em um ambiente rico em oxigênio com temperaturas superiores a 850 °C, que produz como resíduos gás na sua fração orgânica, composta principalmente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O). Outras emissões atmosféricas são óxidos de azoto, dióxido de enxofre, etc. No seu conteúdo inorgânico dos resíduos é convertido em cinzas.(VOLMEIR, 2011)

Dentre as vantagens dessa tecnologia estão a destruição da maior parte dos componentes orgânicos do resíduo (percentual superior a 99,9%) e a sua significativa redução de volume.

Os resíduos incinerados são submetidos a um ambiente fortemente oxidante, onde são decompostos em três fases: uma sólida inerte, uma gasosa e uma líquida, composta de efluentes decorrentes dos processos de absorção dos subprodutos da incineração.

Os gases resultantes da combustão são tratados antes da sua emissão para a atmosfera. O processo é totalmente controlado e monitorado on-line para os parâmetros: Monóxido de Carbono (CO), Oxigênio residual (O<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>), Óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>) e materiais particulados.

Além disso, as cinzas e escórias, após comprovada sua inertização, são dispostas em aterro industrial próprio e licenciado, enquanto os efluentes são neutralizados e direcionados para a estação de tratamento de efluentes para finalizar o seu tratamento.

O objetivo do presente método de tratamento térmico é a redução do volume dos resíduos tratados com a utilização simultânea de energia contida.

A energia recuperada pode ser utilizada para:

- aquecimento
- produção de vapor
- produção de energia elétrica

A quantidade típica de energia que pode ser produzida por tonelada de resíduos é cerca 0,7 MWh de energia elétrica e 2 MWh de aquecimento urbano. Assim, incinerando cerca de 1.200 toneladas de resíduos por dia, cerca de 34 MWh de energia elétrica e 2.400 MWh para o aquecimento urbano poderia ser produzido a cada dia. (GANDOLLA, 2008).

Os métodos podem ser aplicados para o tratamento de resíduos sólidos, pode ser o do ciclo combinado(CHP), onde se tem a geração de energia elétrica e de calor, bem como somente a geração de energia. Esta tecnologia de tratamento de RSU pode reduzir o volume dos resíduos sólidos urbanos em 90% e seu peso em 75%. A tecnologia de incineração é aconselhável para o tratamento térmico de grandes quantidades de resíduos sólidos (mais de 100.000 toneladas por ano ou 280 t/dia). (GANDOLLA,2008)

Para que a combustão seja completa algumas condições prévias têm de ser atendidas:

- Existir meios adequados de oxidação no coração de combustão
- A Temperatura de partida-ignição ser atingida
- A proporção da mistura ser adequada
- A remoção contínua dos gases que são produzidos durante a combustão
- A remoção contínua dos resíduos de combustão
- A manutenção da temperatura adequada no interior do incinerador
- O fluxo turbulento de gases
- Tempo de residência adequado de resíduos na área de combustão

(GIDARAKOS, 2006).

#### *2.3.5.1 Descrição geral do Processo*

O tratamento térmico é definido pela Resolução do CONAMA N° 316/2002 como todo e qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de oitocentos graus Celsius.

Uma planta de incineração típica inclui os sistemas básicos descritos a seguir:

### 1 - Sistema de Pesagem

O sistema para a pesagem de resíduos sólidos visa o controle e o registro da entrada dos resíduos e de cargas, de modo a minimizar o tempo que os veículos permanecem no ponto de entrada da planta e deve ser acima de tudo prático e muito importante no sistema de gerenciamento da planta, pois deve indicar para qual setor da planta deve ser encaminhado os resíduos, por tipo de resíduo, tendo assim um melhor controle sobre o processo total.

### 2 – Sistema de recepção de resíduos

Devido ao fato dos resíduos não chegarem a unidade de forma seletiva, a existência de uma recepção para os resíduos e de local de armazenamento temporário é considerado necessário e importante para o processo de gestão da unidade. A concepção do local é feita de maneira que seja garantido os seguintes pontos:

- o tempo de descarga deve ser o menor possível.
- todos os resíduos transferidos devem ser recebidos na unidade.
- a homogeneidade dos resíduos que será utilizado como material de alimentação é fundamental e deve ser direcionada na entrada da unidade.
- a alimentação contínua da instalação deve sempre ser assegurada.

Além disso, o desenho do local de recepção deve basear-se na minimização para consequências ambientais. Por exemplo, o resíduo sólido deve permanecer no máximo por dois dias, de modo a evitar os odores, enquanto que a parte inferior do local tem que ser caracterizado por intemperismo para permitir que os lixiviados e as águas residuais de lavagem serem direcionadas para tratamento adequado.(GANDOLLA,2008)

Em geral uma planta de incineração apresenta a seguinte configuração, conforme mostra as Figuras 2.7 e 2.8.



Figura 2.7 - Planta típica de incineração de resíduos.

Fonte : Eurostat, 2010.

Seção longitudinal de uma moderna implantação de eliminação de resíduos urbanos.

O conceito de resíduo está em contínua evolução. Em particular, depende do grau de desenvolvimento econômico do país.

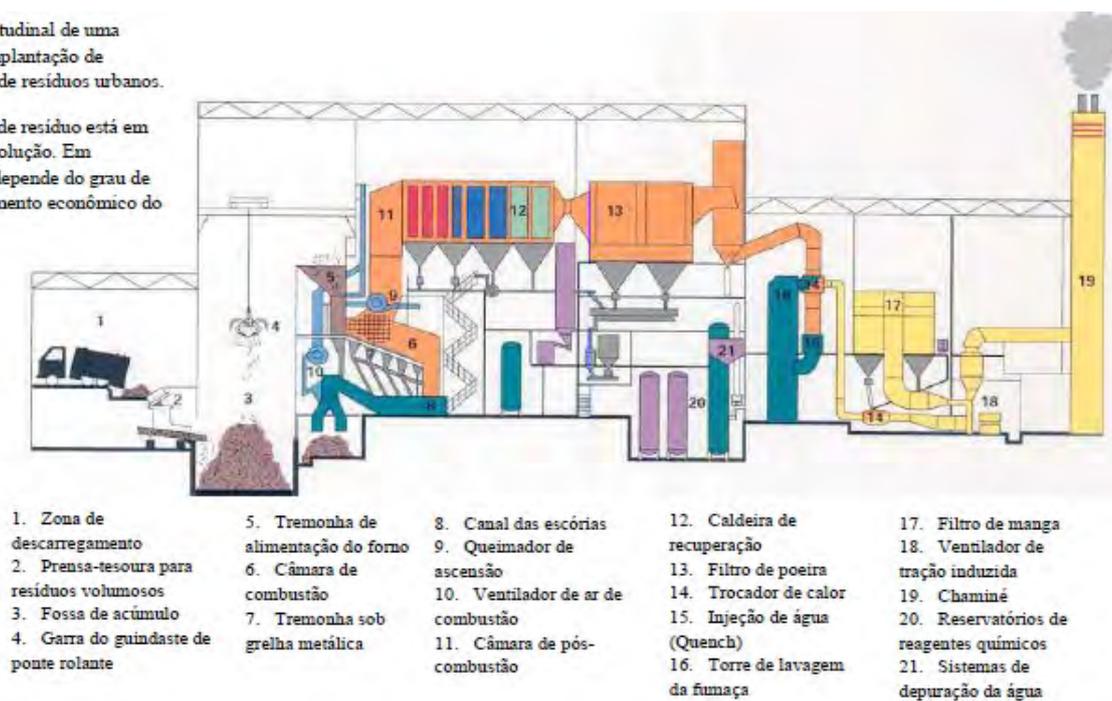


Figura 2.8 - Planta típica de incineração.

Fonte : Gandolla, 2011.

### 3 - Sistema de alimentação

O sistema de alimentação tem de ser adaptado para a taxa e velocidade de alimentação da instalação. A entrada inicial – start para a queima dos resíduos sólidos

em instalações de incineração é conseguida através da utilização de um sistema de queima, que opera com combustível secundário. Os parâmetros básicos para o funcionamento adequado dos fornos de combustão são:

- utilização da temperatura mínima desejada
- o tempo de combustão adequada
- obtenção de condições de turbulência / incineração de resíduos homogênea.

#### 4 – Caldeira

A caldeira é o sistema com o qual a energia dos materiais combustíveis (efluentes gasosos) pode ser utilizada de uma forma adequada através da produção de vapor (por exemplo, se instalar vizinho a unidades industriais ou utilizadas para o aquecimento das áreas urbanas). Também a temperatura, a pressão e taxa de produção de vapor são parâmetros básicos para o funcionamento eficaz da caldeira e para o bom funcionamento da unidade.

#### 5 – Sistema para a remoção dos resíduos

Os Resíduos representam 20% - 40% do peso dos resíduos inicial e são classificados em:

- Resíduos que saem das grades: 20% - 35%
- Resíduos que atravessam as grelhas: 1% - 2%

Os resíduos são coletados em funis de onde são transferidos com sistema específico para arrefecimento.

#### 6 – Sistema de controle de emissões

O papel do sistema de controle de emissões concentra-se em partículas, HCl, HF, SO<sub>2</sub>, dioxinas e metais pesados (NIESSEN, 2002).

As emissões provenientes da operação de plantas típicas de incineração incluem as emissões atmosféricas geradas que contêm os produtos de combustão típicas (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>), excesso de oxigênio, as partículas de poeira, ou ainda outros compostos. A presença e a concentração de outros compostos, tais como HCl, HF,

partículas em suspensão que contêm metais pesados, dioxinas e furanos, dependem da composição do resíduo que é submetido para incineração. Durante a incineração, uma quantidade de 4.000 m<sup>3</sup> - 5.000 m<sup>3</sup> de emissões atmosféricas são geradas por tonelada de resíduos. As emissões atmosféricas devem ser controladas através da aplicação de sistemas adequados antipoluição, tais como:

- 1 • Bagfilters
- 2 • Os filtros eletrostáticos
- 3 • Os Ciclones
- 4 • Lavadores- sistemas de limpeza, por exemplo lavadores, torres de limpeza molhados, pulverizadores giratórios, etc.

A dioxina e o furano referem-se a moléculas ou compostos de carbono e oxigénio. Estes compostos quando reage com halogéneos, tais como cloro ou bromo, adquirem propriedades tóxicas. A maioria das pesquisas sobre halogenados (dioxina e furano) tem se preocupado com espécies cloradas. A dioxina e furano são subprodutos dos processos de combustão, incluindo combustão de resíduos e de serviços de saúde. Em processos de combustão, os precursores de hidrocarbonetos reagem com partículas de cloro.

As dioxinas e os furanos são produzidos em quase todos os processos de combustão, na fase gasosa, embora o mecanismo exato para a sua formação não seja conhecido. Sabe-se que a sua formação se dá a temperatura de 300C °, onde ocorre as reações químicas e a possível decomposição. A existência de substâncias orgânicas cloradas nos resíduos e do aumento do seu conteúdo em sua composição pode contribuir para a sua formação. Consequentemente, as condições operacionais dos incineradores podem influenciar a formação de dioxinas em maior grau, dependendo da composição dos resíduos e da quantidade de PVC incluída na mesma.

Há indicações de que as dioxinas e os furanos contribuem para cânceres humanos, fato que torna necessário tomar medidas básicas e secundárias de forma a limitar essas emissões. A fim de remover as partículas em suspensão e os poluentes do gás de limpeza, diferentes sistemas podem ser aplicados. A título indicativo, as câmaras de deposição, onde 40% de sólidos em suspensão são removidos, ciclones (eficiência de remoção de 60-80%), torres molhadas de limpeza (eficiência de remoção 80-95%),

precipitadores eletrostáticos (eficiência de remoção de 99-99,5%) e bagfilters (remoção eficiência de 99,9%) são utilizados para uma maior eficiência no sistema. Na Europa está em uso mais recente os precipitadores eletrostáticos e os bagfilters em menor quantidade. (VOLMEIR, 2011)

Para além da remoção de sólidos em suspensão, é necessária a remoção de gases poluentes ou outros em que excedam os valores limite (como HCl gerado durante a combustão de PVC e de óxidos de azoto, enxofre e fósforo. Os sistemas de limpeza principais que são utilizados para o tratamento do gás produtos durante a incineração são resumidamente descritos a seguir:

Os gases passam por materiais porosos, onde as partículas em suspensão são retidas. Dependendo das necessidades, o material utilizado nos filtros, podem ser a partir de fibras naturais, de plástico, vidro, minerais, pó. Os gases passam pelo filtro e é recolhido nas células de filtro, podendo ser removido por vibração ou batidas ou injeção de ar em fluxo contrário.

Os precipitadores eletrostáticos (filtros eletrostáticos): são unidades que são constituídas de um cátodo e um ânodo. A configuração que é mais utilizada inclui um sistema de placas paralelas comprimidas, com a diferença de potencial entre eles. Esses equipamentos possuem tensão com valores entre 30-80 KV e são desenvolvidos entre o ânodo e o cátodo. Quando as partículas entram no campo de cátodo, eles são absorvidas e os negativos estão se movendo para o polo positivo (ânodo), conforme mostra a Figura 2.9.

A velocidade das partículas depende do peso e as forças de Coulomb que são desenvolvidos. Este processo desenvolvido há poucos anos na Europa, tem sido uma das inovações tecnológicas para melhoria de todo sistema de tratamento térmico.



Figura 2.9 - Filtro Eletrostático.

Fonte: Mokesa, 2011.

Os Ciclones: são baseados no desenvolvimento da força centrífuga na entrada de gases a uma área simétrica. As partículas, devido à força centrífuga e o fluxo rotativo são levados para as paredes e, em seguida são movidos para baixo. (Figura 2.10). Os Ciclones são muitas vezes aplicados em conjunto com precipitadores eletrostáticos, para os casos de maior controle das emissões. (ALLSOPP et al., 2001).

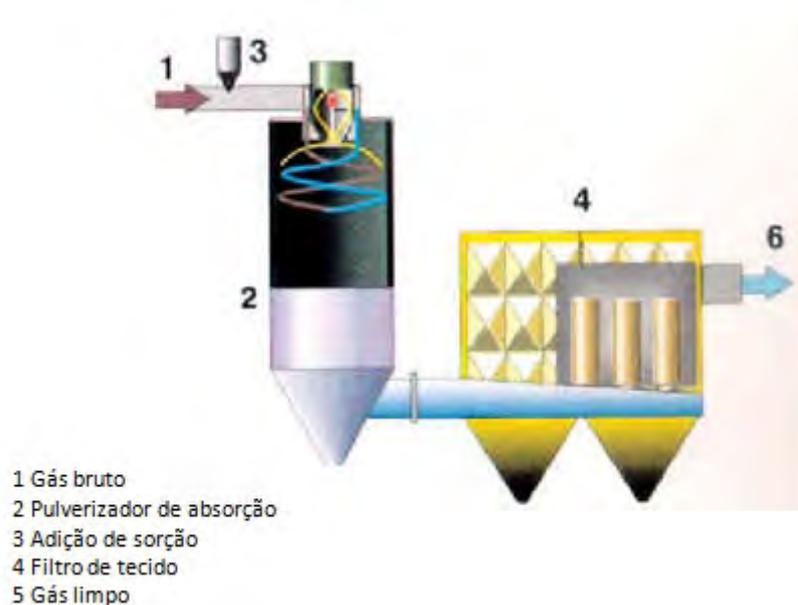


Figura 2.10 - Operação em ciclones.

Fonte: Mokesa,2011.

2. Águas Residuais: as águas residuais são geradas através da utilização de água durante o processo de incineração e em particular de:

- tratamento de cinzas (0,1 m<sup>3</sup> de água / tonelada de resíduos)
- resfriamento dos gases do ar (2 m<sup>3</sup> de água / tonelada de resíduos)
- absorvência das torres molhadas (2 m<sup>3</sup> de água / tonelada de resíduos)

Os filtros eletrostáticos (precipitadores) o fluxo de águas residuais contém sólidos em suspensão, bem como orgânico dissolvido e substâncias inorgânicas. É caracterizada como águas residuais perigosas e o tratamento específico é exigido antes da sua eliminação final.

7. Sistema de resíduos sólidos: Os resíduos sólidos secundários que são gerados durante a incineração podem ser classificados como:

- cinzas volantes: é a mais leve fração dos resíduos sólidos gerados e é recolhida por filtros apropriados (bagfilters ou filtros eletrostáticos). As cinzas volantes contém alta concentração de metais.

As concentrações de metais pesados são caracterizadas como fluxo de resíduos perigosos.

- Cinzas: é o resíduo do processo de incineração (matéria inorgânica) e é recolhido no fundo do incinerador
- Caldeira de cinzas
- Filtro de poeira

Há outros tipos de resíduos gerados durante as emissões atmosféricas, de forma que a corrente de resíduos deve ser tratada antes da sua eliminação final, enquanto que uma porção principal das suas quantidades pode ser reciclada através da aplicação de processos específicos durante o processo de tratamento das emissões.

#### *2.3.5.2 Tipos de Incineradores*

Existem vários tipos de incineradores, como os de grelha fixa ou móvel, de forno rotativo e o de leito fluidizado e as inovações atuais.

- Incinerador tipo grelha

Existem dois tipos de incinerador tipo grelha os de grelha fixa e os de grelha móvel.

- Incinerador Tipo Grelha Fixa

Este é o tipo mais antigo e mais simples de incinerador, que foi concebido com uma célula de tijolo revestido com um metal e grelha fixa sobre um poço inferior de cinzas, com uma abertura no topo ou lateral para o carregamento e outra abertura no lado para a remoção de sólidos inflamáveis chamados escória ou cinzas.

Psomopoulos (2009) relata que o incinerador tipo grelha fixa foi a tecnologia adotada na maioria das usinas de tratamento térmico de resíduos construídas até o final do século XX. Nesse tipo de incinerador os resíduos são lentamente conduzidos ao longo da câmara de combustão (forno) por meio de um sistema mecânico

(conjunto rolos, etc). A Figura 2.11 mostra este tipo de equipamento. O incinerador é projetado para que a combustão completa ocorra enquanto os resíduos percorrem o forno.

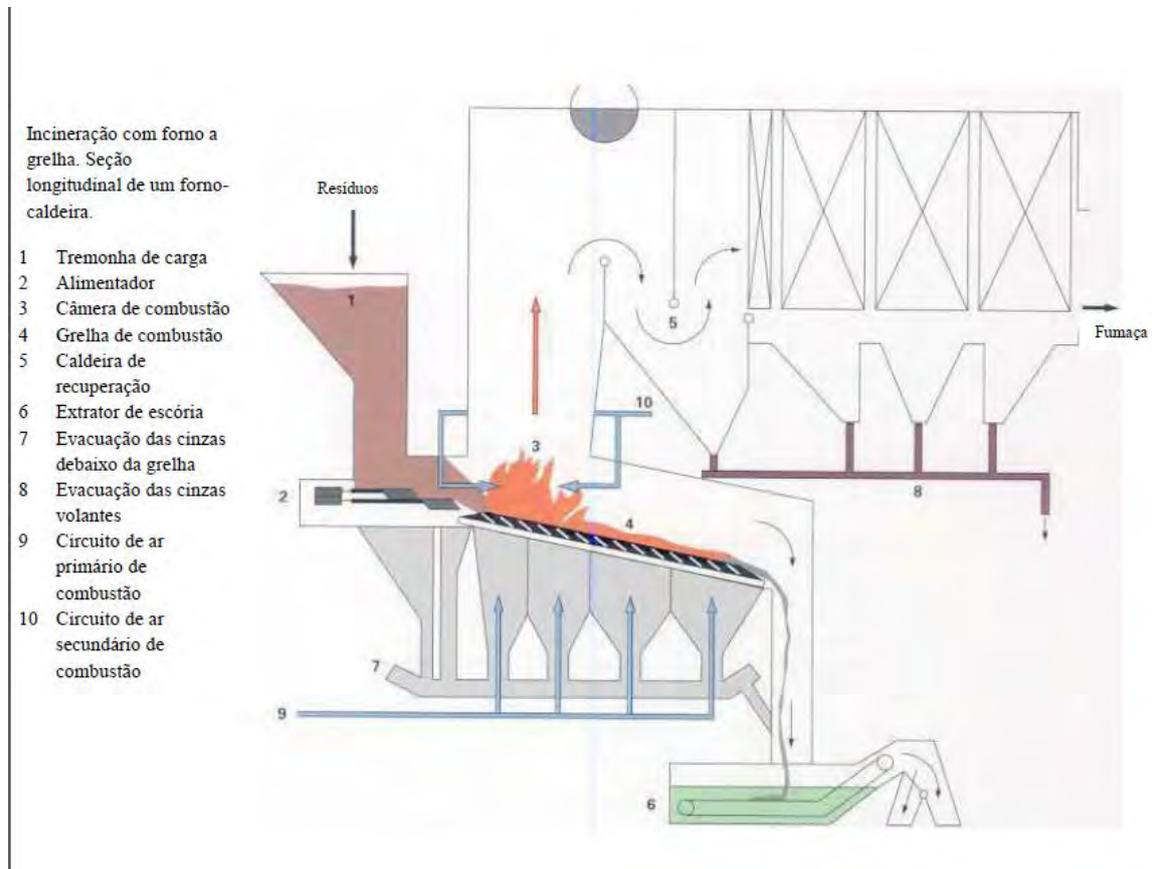


Figura 2.11 - Incineração com forno a grelha.

Fonte: Gandolla, 2011.

- Incineradores de grelha móvel

A unidade de incineração típica para resíduos sólidos urbanos é um incinerador de grelha móvel. (Figuras 2.12 e 2.13).

Este tipo de grelha permite o movimento de resíduos através da câmara de combustão que para ser otimizada, permite uma combustão mais completa e eficiente. Um movimento único na grelha pode suportar até 35 toneladas de resíduos por hora, e pode operar 8.000 horas por ano com apenas uma paragem prevista para inspeção e manutenção de duração de cerca de um mês.(GANDOLLA,2011)

Em seu sistema de operação os incineradores são muitas vezes referidos como incineradores de resíduos sólidos municipais. O resíduo é introduzido por um guindaste de resíduos através da "garra" e que o direciona para uma extremidade da

grelha, onde ele se move sobre a grelha em direção ao poço de cinzas na outra extremidade. Aqui, a cinza é removida através de um bloqueio de água. Parte do ar de combustão (combustão primária de ar) é fornecida através da grelha de baixo. Este fluxo de ar também tem a finalidade de arrefecimento da grelha em si. O resfriamento é importante para a resistência mecânica da grelha, já que muitas grelhas móveis são também arrefecidas com água internamente.

O ar de combustão secundário é fornecido para a caldeira a alta velocidade através dos bocais existentes sobre o grelha. Este movimento facilita a combustão completa dos gases através da introdução de turbulência para melhor mistura e pela garantia de um excedente de oxigênio. Em vários incineradores, o ar de combustão secundário é introduzido numa câmara em separado a jusante da câmara primária de combustão.

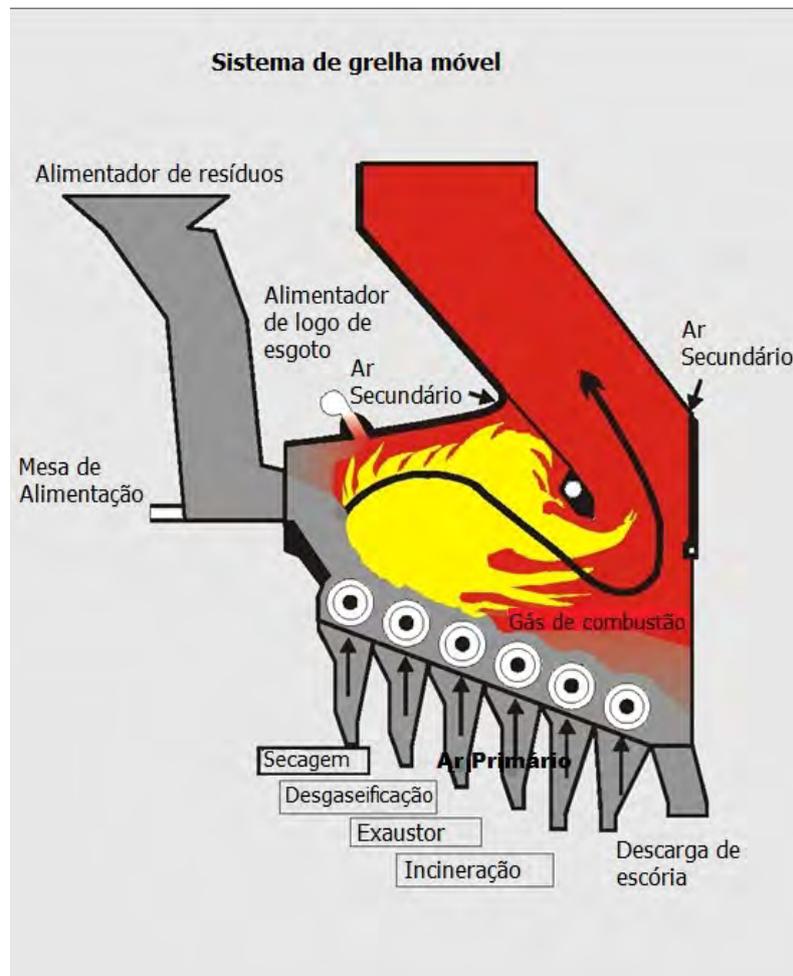


Figura 2.12 - Sistema de grelha móvel para incineração de resíduos.

Fonte: Mokesa, 2011.

Ilustração de uma  
grelha de combustão de  
refluxo.



Figura 2.13 - Grelha de combustão de refluxo.

Fonte: Mokesa, 2011.

De acordo com a Diretiva Europeia relativa a incineração de resíduos, as instalações de incineração devem ser concebidas para assegurar que os gases de combustão atinjam uma temperatura de pelo menos 850°C durante 2 segundos a fim de garantir desagregação adequada de toxinas orgânicas. Os gases de combustão são então arrefecidos sobre os aquecedores, onde o calor é transferido para o vapor, aquecendo o vapor para temperaturas por volta de 400°C a uma pressão de 40 bar para a geração de eletricidade em uma turbina. Neste ponto, o gás de combustão tem uma temperatura de cerca de 200°C, e é passado para o sistema de limpeza de gases de combustão. Muitas vezes, as instalações de incineração consistem de várias linhas separadas de caldeira (caldeiras de vapor e de gás de combustão), de modo que receba os resíduos em uma ou mais linha de caldeira.

- Forno rotativo

O incinerador de forno rotativo é utilizado pelos municípios e por grandes instalações industriais. Este tipo de incinerador tem duas câmaras, uma câmara primária e uma câmara secundária. A câmara primária consiste de um tubo inclinado cilíndrico com um refratário interno. O movimento do cilindro sobre o seu eixo facilita o movimento de resíduos. Na câmara primária, há conversão da fração sólida de gases, através de volatilização, e destilação e das reações parciais de combustão. A câmara

secundária é necessária para completar a fase gasosa das reações de combustão. A altura de gases de combustão a jato, do ventilador e da saída de vapor, são fornecidas no projeto. As cinzas caem através da grelha, mas muitas partículas são transportadas ao longo da grelha com gases quentes. As partículas e os gases combustíveis podem ser queimados em uma "Afterburner". (Figura 2.14).

Esse forno consiste num cilindro horizontal internamente revestido com material refratário (Figura 2.14). O cilindro apresenta-se inclinado de 2° a 4° e gira em torno de seu próprio eixo a uma velocidade entre 0,5 e 2 rotações por segundo com o objetivo de transportar e maximizar a homogeneização do resíduo.

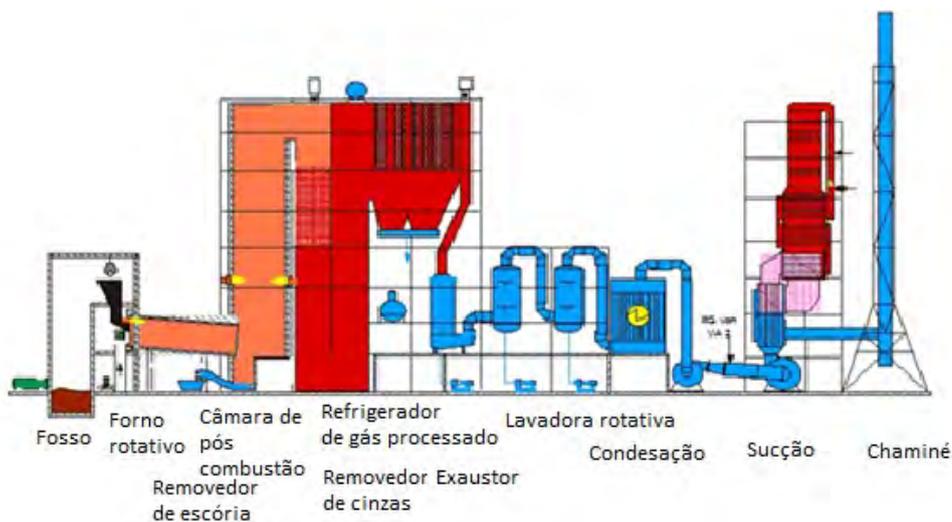


Figura 2.14 - Incinerador em Forno Rotativo.

Fonte: Eurostat, 2010.

Os resíduos sólidos e líquidos e o combustível auxiliar (utilizado quando as características do resíduo não favorecem sua queima) são inseridos em entradas independentes. A taxa de alimentação do forno é regulada para que o volume dos resíduos em seu interior equivalha a cerca de 20% de seu volume. O tempo de residência típico é de 0,5 a 1,5 horas, sob uma temperatura que gira entre 650 e 1650°C. Como a combustão normalmente não se completa dentro do forno rotativo, é comum ser instalada uma câmara de pós-combustão logo em seguida para efetuar a queima. Esta, por sua vez, recebe os gases resultantes da queima no forno e completa a sua combustão utilizando oxigênio em excesso (BARROS et al., 2000).

A Figura 2.15 mostra um incinerador de forno rotativo para tratamento de resíduos industriais.



Figura 2.15 - Incinerador em Forno Rotativo para resíduos Industriais.

Fonte: Mauro Gandolla, 2008.

- Tipo leito fluidizado

De acordo com a tecnologia que é aplicada para este tipo de incinerador, um fluxo de ar forte é forçado através de um leito de areia. O ar escoar através da areia até um ponto em que é atingido, quando as partículas de areia são separadas para permitir que o ar passe através delas e quando misturado e agitado ocorre, assim, um leito fluidizado. (EUROPEAN COMMISSION, 2006).

O incinerador de leito fluidizado, consiste em um cilindro vertical revestido com material refratário e possui sua porção inferior (leito) preenchida com partículas de material inerte (areia, alumínio, etc.). Os resíduos são continuamente introduzidos pelo topo ou pelas laterais. O ar de combustão é inserido por meio de orifícios existentes ao longo de toda a seção inferior da câmara de combustão.

O fluxo de ar através do leito de material inerte faz com que este se comporte como um fluido, criando um "leito fluidizado" onde ocorrem todas as etapas

da incineração. Segundo Twgcoments (2003), as características do processo de incineração por leito fluidizado são bastante eficientes para resíduos industriais específicos.

A incineração a leito fluidizado é utilizada principalmente na combustão de resíduos de baixo PCI – poder calorífico interno, ou que possam ser facilmente cortados, como:

- Resíduos derivados de processos produtivos, como os resíduos de materiais plásticos, aglomerados de madeira, etc.
- Lodos industriais ou provenientes de implantações de tratamento.

A incineração a leito fluidizado constitui uma alternativa à incineração tradicional. A combustão dos materiais acontece em um forno vertical no qual é colocado no fundo um estrato de areia. A areia é trazida ao estado fluido pelo ar comburente injetado no fundo do forno através de inúmeros bicos.

Em comparação com a incineração tradicional sobre a grelha, essa tecnologia possui as seguintes propriedades:

Graças à elevada inércia térmica do estrato de areia em suspensão (800° C), é possível incinerar resíduos com PCI muito variáveis e muito baixos, sem modificar sensivelmente os parâmetros operacionais. As propriedades do estrato de areia, similares a aquelas de um fluido, asseguram um bom rendimento da troca térmica e uma transferência de materiais satisfatória, que resulta em uma combustão mais energética dos materiais e em um melhor rendimento térmico da implantação.

Visto que as temperaturas são mais baixas, forma-se em proporção menos óxido de nitrogênio (NOx), o que permite a redução dos custos de tratamento dos gases da combustão injetando diretamente dolomita ou carbonato de cálcio no leito fluidizado; tem-se como consequência uma neutralização parcial das substâncias poluidoras, que são o SOx e o HCl.

Dependendo do grau de fluidificação do estrato de areia, a incineração pode ser classificada como:

- Incineração de leito fluidizado estacionário (denso)
- Incineração de leito fluidizado circulante
- Leito fluido veloz, leito fluido expansivo

Existem ainda soluções intermediárias, como o “leito fluidizado turbo”, que combina as vantagens dos leitos fluidizados lentos e rápidos.

Comparando com a incineração com forno tradicional de grelha de combustão, a incineração com forno de leito fluidizado apresenta dois grandes inconvenientes:

- Por causa das dificuldades técnicas ligadas à remoção do leito fluidizado dos resíduos de cortes (blocos de pedra, pedaços de metal, etc.), os resíduos devem ser cuidadosamente selecionados e cortados antes de serem introduzidos no forno.

- Para que não haja nenhum risco de fusão do leito de areia, é necessário manter a temperatura da câmara de combustão por volta de 800° C. Por esse motivo, os fornos de leito fluidizado não encontram utilização na incineração de resíduos industriais em países nos quais a temperatura de combustão desses resíduos deve pelo menos chegar a 1200°C.

A Figura 2.16 mostra um Incinerador de leito fluidizado.

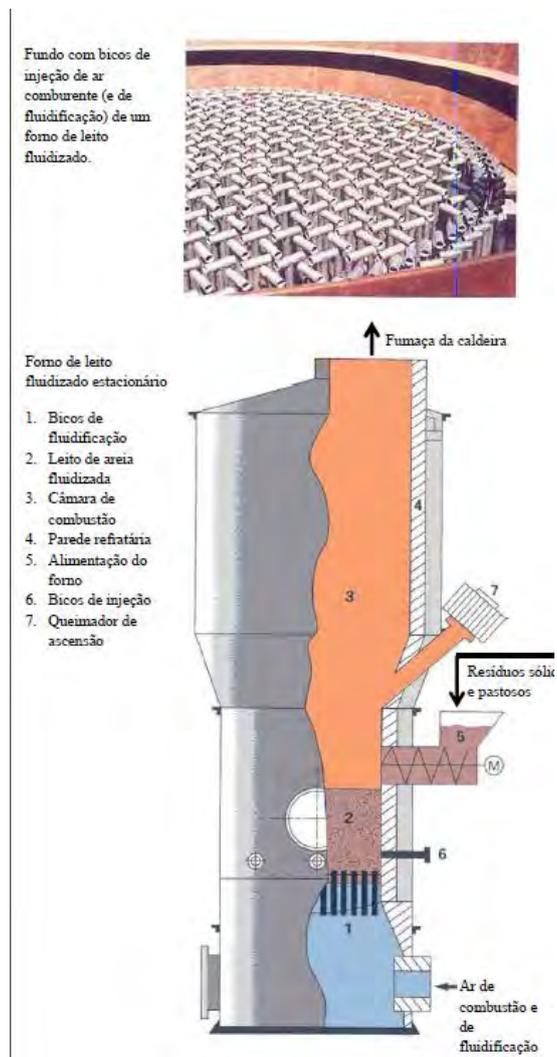


Figura 2.16 - Incinerador de Leito Fluidizado.

Fonte: Mauro Gandolla, 2011.

### 2.3.5.3 Inovação tecnológica - Waste to Energy (WTE)

Em relação aos tratamentos térmicos, a inovação tecnológica denominada Waste-to-Energy (WTE) consiste no aproveitamento energético de resíduos que podem ser utilizados para a geração de energia elétrica, de calor e de água quente para indústrias, em uma forma de produção que é conhecida como em ciclo combinado. Normalmente estas unidades são instaladas próximo a indústrias para viabilidade econômica de forma a otimizar todo o complexo sistema logístico desde a separação dos resíduos, passando pela coleta e transporte, pelas unidades de transbordo até chegar esta unidade de tratamento de resíduos, concluindo o ciclo com a disposição dos rejeitos em aterros licenciados.

A inovação tecnológica denominada Waste-to-Energy (resíduos para energia) consiste no aproveitamento energético de resíduos que podem ser utilizados para a produção de combustível derivado de resíduos (RDF); geração de biogás e gás de síntese (syngas); e produção de calor e eletricidade.

As plantas de Waste-to-Energy podem ser baseadas em processos físicos, térmicos e biológicos (LUX RESEARCH, 2007), os quais apresentam uma composição de implementação bastante variada.

Diante das inúmeras possibilidades de inovações tecnológicas que podem relacionar o termo waste-to-energy é importante esclarecer que esta inovação é realizada mediante qualquer processo que transforme os resíduos em energia, tais como: CDR, SRF, Aterros Sanitários, Incineração, Digestão Anaeróbia, Gaseificação, Plasma.

A Figura 2.17 mostra uma planta waste-to-energy em atividade.



Figura 2.17 - Planta waste-to-energy em atividade.

Fonte : José Dantas de Lima, 2012.

#### 2.3.5.4 Custos da Tecnologia

Considera-se aqui que a incineração de RSU é a incineração em escala industrial. Os custos foram adotados em função de sistemas implantados na Europa, a exemplo da Tridel, da Valorsul e da Tbf e do Estudo da ARCADIS(2010)\*. Os custos adotados em Euros foram transformados para Reais, com data de referência de 30/10/2012, com 1 Euro = R\$ 2,72.

Todos os custos estão em R\$/t tratada.

\* *Avaliação das opções para melhorar a gestão dos resíduos na UE – Anexo E – Abordagem para Estimativas de Custos das tecnologias de tratamento de MSW.*

##### 1- Incineração somente com geração de energia

*O Custo de Investimento da tecnologia(CAPEX) = R\$ 1.718,00/t*

*O Custo de Operação e Manutenção(OPEX) = R\$ 85,00/t*

*O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 0,15/t*

*O Custo de pós-monitoramento = R\$ 1,80/t*

## *2- Incineração com geração de energia/calor (ciclo combinado)*

*O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 2.100,00/t*

*O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 98,00/t*

*O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 0,20/t*

*O Custo de pós-monitoramento = R\$ 2,00/t*

Os custos acima foram retirados dos relatórios financeiros anuais de 2010 e 2011 das empresas citadas anteriormente e foram adotados pela ausência no Brasil destas tecnologias de tratamento de resíduos. Estes custos são para linhas de 8t/h(2X) ou no mínimo 8.000h/ano de operação.

### 2.3.6 Aterros Sanitários

No Brasil o aterro sanitário é uma forma adequada de disposição final de resíduos sólidos urbanos, e pode também ser entendido como um tratamento, pois nele, ocorre um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos, já que é um reator anaeróbio que tem como resultado uma massa de resíduos mais estáveis, química e biologicamente (RECESA,2010).

Segundo a norma NBR 8.419 ABNT (1984) o aterro sanitário é uma "técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos ou risco à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ao meio ambiente; método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos 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". Esse tipo de aterro recebe sobretudo resíduos sólidos urbanos de classe IIA.

O aterro sanitário pode ser a opção correta sob vários aspectos, sejam eles ambientais, sanitário e social para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

Contudo, na atualidade, de acordo com a PNRS, antes de encaminhar os resíduos sólidos ao aterro sanitário, deve-se sempre procurar outras formas de tratamento como reciclar, tratar, reutilizar ou minimizar sua geração, visando prolongar

a vida útil dos aterros e torná-los empreendimentos sustentáveis ao longo dos anos, devendo apenas encaminhar o rejeito, que são os resíduos que não podem ser mais recuperados sob nenhuma forma, ou ainda, na prática, também aqueles que não tem nenhum valor comercial.

## Disposição de Resíduos Sólidos em Aterros Sanitários

Existem alguns métodos para se dispor os resíduos no solo, sendo uns recomendáveis sanitária e tecnicamente, outros não. No Brasil tem-se como principais tipos de aterros, os aterros sanitários de pequeno porte, os aterros controlados e os aterros sanitários.

### *2.3.6.1 Descrição geral do processo*

#### Aspectos Gerais

Segundo Lange et al. (2003), a elaboração do projeto do aterro deve 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 dos maciços de solo e resíduos, sistema de monitoramento e fechamento do aterro. De acordo com a origem e a periculosidade dos resíduos sólidos os aterros classificam-se em: Aterros de resíduos perigosos e aterros de resíduos não perigosos, tendo nesta pesquisa enfoque apenas neste último.

#### Características dos aterros de Resíduos Não Perigosos - Classe II

##### Fundação e Impermeabilização do Fundo e das Laterais

O fundo e as laterais do maciço devem ser impermeabilizados para evitar uma possível contaminação do subsolo e do lençol freático pelos lixiviados. As camadas de impermeabilização devem apresentar estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem aterrados.

Normalmente, as camadas de impermeabilização tem sido executadas utilizando-se materiais impermeabilizantes como revestimentos minerais (camada de

argila adequadamente compactada) ou revestimentos sintéticos (geomembranas plásticas e betuminosas). A escolha de um ou de outro tipo de material é influenciada pelo uso a que se destina, pelo ambiente físico, pela química do percolado e pela taxa de infiltração (CARVALHO, 1999).

#### Sistema de Drenagem e Tratamento de Líquidos Lixiviados e Gases

Os lixiviados gerados pela degradação dos resíduos aterrados devem ser canalizados para fora do sistema de disposição a fim de receberem o tratamento adequado. A drenagem dos lixiviados pode ser projetada de forma a propiciar a percolação do lixiviado através dos resíduos sólidos. Isto acelera o processo de biodegradação dos resíduos, já que os microrganismos degradadores estão presentes no lixiviado (GOMES e MARTINS, 2003).

Várias alternativas de tratamento de lixiviados vêm sendo testadas. A legislação ambiental inclui parâmetros máximos para o lançamento de efluentes nos corpos d'água naturais. Dentre os principais processos atualmente empregados no tratamento dos líquidos lixiviados incluem-se: a utilização de lagoas de estabilização, processos físico-químicos, a recirculação e estações de tratamento de esgotos, tratando lixiviados juntamente com esgotos sanitários.

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

Segundo Jucá (2003), no Brasil o tratamento de gases em aterros sanitários resume-se praticamente a queima do metano ( $\text{CH}_4$ ), a liberação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e ao aproveitamento energético do biogás, com geração de energia. Em geral o sistema de drenagem de gases é individual (tipo aberta) utilizando queimadores tipo "flare", havendo exceções em sistemas conjugados de drenagem, com extração forçada de gás. Esta realidade evoluiu ao longo dos últimos 10 anos, onde já existem vários aterros energéticos no Brasil, a exemplo dos aterros de Canabrava, na Bahia, Bandeirantes e São João em São Paulo.

Além da queima dos gases gerados pela degradação dos resíduos, e devido ao elevado poder calorífico do metano presente no biogás, em muitos aterros

sanitários no mundo, estão sendo implantadas unidades de geração de energia elétrica. Segundo estudos do Banco Mundial (WB, 2004), para cada tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário, são gerados em média 200 Nm<sub>3</sub> de biogás.

### *2.3.6.2 Tipos de Aterros Sanitários*

Instalação para disposição de resíduos sólidos no solo, localizada, concebida, implantada e monitorada segundo princípios de engenharia e prescrições normalizadas de modo a maximizar a massa de resíduos disposta e minimizar impactos ao meio ambiente e à saúde pública. (NBR 15.256/2010)

#### Aterro sanitário de pequeno porte

Aterro sanitário para disposição no solo de até vinte toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos em que, considerados os condicionantes físicos locais, a concepção do sistema possa ser simplificada, reduzindo os elementos de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública. (NBR 15.256/2010)

#### Aterro sanitário de pequeno porte em valas

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada. (NBR 15.256/2010)

#### Aterro sanitário de pequeno porte em trincheiras

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação sem limitação de profundidade e largura, que se caracteriza por confinamento em três lados e operação mecanizada. (NBR 15.256/2010)

#### Aterro sanitário de pequeno porte em encosta

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, 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. (NBR 15.256/2010)

#### Aterro sanitário de pequeno porte em área

Instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, caracterizada pela disposição em áreas planas acima da cota do terreno natural. (NBR 15.256/2010)

Existem na atualidade os aterros sem geração de energia e com geração de energia.

Dentro destas categorias pode-se citar os aterros sanitários de pequeno porte, com capacidade de tratamento de até 100 t/dia, os aterros sanitários de médio porte, com capacidade de tratamento entre 100 a 800 t/dia e os aterros sanitários de grande porte com capacidade de tratamento superiores a 2000 t/dia. (ABETRE e FGV, 2011).

#### 2.3.6.3 Custos da Tecnologia

Considera-se aqui que o tratamento de RSU via aterro sanitário pode se dar com e sem geração de energia. Os custos foram adotados em função de pesquisas do Autor e do estudo da ABETRE e FVG para o Brasil(2011)\*, por diferentes portes. Todos os custos estão em R\$/t processada.

- 1- Aterro sanitário sem geração de energia com adoção de solução consorciada
  - O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 12,00/t
  - O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 8,00/t
  - O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 1,00/t
  - O Custo de pós-monitoramento = R\$ 6,00/t

- 2- Aterro sanitário com geração de energia - com adoção de solução consorciada

O Custo de Investimento da tecnologia = R\$ 16,00/t

O Custo de Operação e Manutenção = R\$ 14,00/t

O Custo de encerramento da tecnologia = R\$ 1,50/t

O Custo de pós-monitoramento = R\$ 7,00/t

\* Os custos acima foram retirados do estudo da ABETRE e FGV (2011) - viabilidade econômica da construção e implementação de aterros sanitários: vantagens de modelos com consórcios municipais, subsídios federais e operação pública ou privada e de pesquisas e dados de projetos executivos de aterros sanitários em diversas regiões.

## 2.4 SITUAÇÃO ATUAL DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS

### 2.4.1 União Europeia (UE)

#### 2.4.1.1 Introdução

A seguir apresenta-se a situação atual do tratamento e destinação final dos resíduos sólidos referentes a geração e o tratamento de resíduos na União Europeia (UE), os países da European Free Trade Association (EFTA) e os países candidatos e referem-se aos dados recolhidos no banco de dados estatísticos oficiais da Comunidade Europeia.

As políticas de gestão de resíduos da UE visam reduzir os impactos ambientais e sanitários de resíduos e melhorar a eficiência de recursos naturais na Europa. Com isto, o objetivo em longo prazo é transformar a Europa numa sociedade, que se utilize cada vez mais da reciclagem, evitando desperdícios e utilizando os resíduos como um recurso, sempre que possível. O maior objetivo é evitar a geração de resíduos, para atingir níveis muito mais elevados de reciclagem e para assegurar a eliminação segura dos resíduos, garantindo uma melhoria da qualidade de vida da Sociedade Europeia. Os dados apresentados a seguir são os mais recentes, de julho de 2011, fornecidos pela Comunidade Europeia, através da Eurostat – banco de dados sobre resíduos e suas estatísticas. Esses dados mostram uma visão mais recente da gestão de resíduos na Europa, quanto a geração de resíduos totais, ao tratamento de

resíduos, a reciclagem de resíduos, a incineração com recuperação de energia e aos aterros sanitários.

#### 2.4.1.2 Geração total de resíduos na UE-27

Em 2008, a geração total de resíduos na UE-27 foi de 2,62 bilhões de toneladas. Esta geração foi um pouco menor do que nos anos 2004 e 2006 em que a UE-27 totalizaram 2,68 bilhões de toneladas e 2,73 bilhões de toneladas, respectivamente.

No ano de 2010 a produção de resíduos sólidos urbanos nos 27 países membros da União Europeia foi de 252 milhões de toneladas (Eurostat, 2012).

Segundo o Eurostat (2012), no ano de 1995 foram gerados 474 kg de resíduos urbanos por habitante.ano e no ano de 2010, foram gerados 502 kg de resíduos sólidos urbanos gerados por habitante.ano.

A Figura 2.18 apresenta a quantidade *per capita* de resíduos urbanos gerados e tratados por estado-membro da UE, expressa em quilograma por habitante por ano para o ano de 2010.

A Figura 2.18 mostra que na UE-27, a geração percapita média em 2010 é de 502 kg/hab.ano, enquanto que a quantidade de resíduos tratados neste mesmo ano foi de 486 kg/hab.ano, restando 16 kg/hab.ano sem tratamento.

A referida figura mostra que a quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos varia significativamente entre os estados-membros. Esta variação foi de 760 à 304 kg/habitante.ano de resíduos gerados. Chipre com 760 kg/habitante.ano foi o País que teve a maior quantidade de resíduos gerados em 2010, seguido pela Suíça, Luxemburgo, Dinamarca e Irlanda que apresentaram uma geração entre acima de 600 kg/habitante.ano. Na 2ª maior faixa com valores entre 500 e 600 kg/habitante.ano estão a Malta, Áustria, Alemanha, Espanha, França, Itália, Reino Unido e Portugal, enquanto que a Finlândia, Bélgica, Finlândia, Bélgica, Suécia, Grécia, Eslovênia, Hungria e Bulgária apresentaram valores entre 400 e 500 kg/habitante.ano. Os países que apresentam as menores quantidades de resíduos gerados (valores abaixo de 400 kg/habitante.ano) foram a Lituânia, Romênia, Eslováquia, República Checa, Polônia, Estônia e Letônia.

Segundo o Eurostat (2012) quando comparamos a geração de resíduos entre os anos de 2009 e 2010, praticamente não existe uma variação significativa entre a quantidade percapita gerada, passando em 2009 de 513 kg por ano (1,41

kg/habitante.dia) para 502 kg por ano (1,40 kg/habitante.dia) em 2010. O que se observa é a variação na quantidade de resíduos gerados por cada País membro.

No ano de 2009 também se observa uma grande variação entre os Países da União Europeia, esta variação vai de 316 kg/habitante.ano (0,86 kg/dia) na República Checa e Polônia até 833 kg (2,28 kg/habitante.dia) na Dinamarca, sendo este último o maior gerador seguido de Chipre, Irlanda e Luxemburgo com valores variando de 700 a 800 kg por habitante/ano. Malta com valores entre 600 e 700 kg/habitante/ano. Áustria, Alemanha, Espanha, Itália, França e Reino Unido geram em média de 500 a 600 kg/habitante/ano, enquanto que a Bélgica, Portugal, Suécia, Finlândia, Grécia, Bulgária, Eslovênia e Hungria geram em média de 400 a 500 kg/habitante.ano. Valores abaixo de 400 kg/habitante/ano foram gerados na República Checa, Polônia, Letônia, Eslováquia, Lituânia e Romênia. (EUROSTAT, 2012).

Os dados aqui apresentados para a EU-27, EU-16 e para os estados-membros são relativos ao ano de 2010 e são os mais recentes que existem no centro de dados sobre resíduos do Eurostat, que é o centro estatístico oficial da comunidade Europeia, e que foram publicados em Junho de 2012.

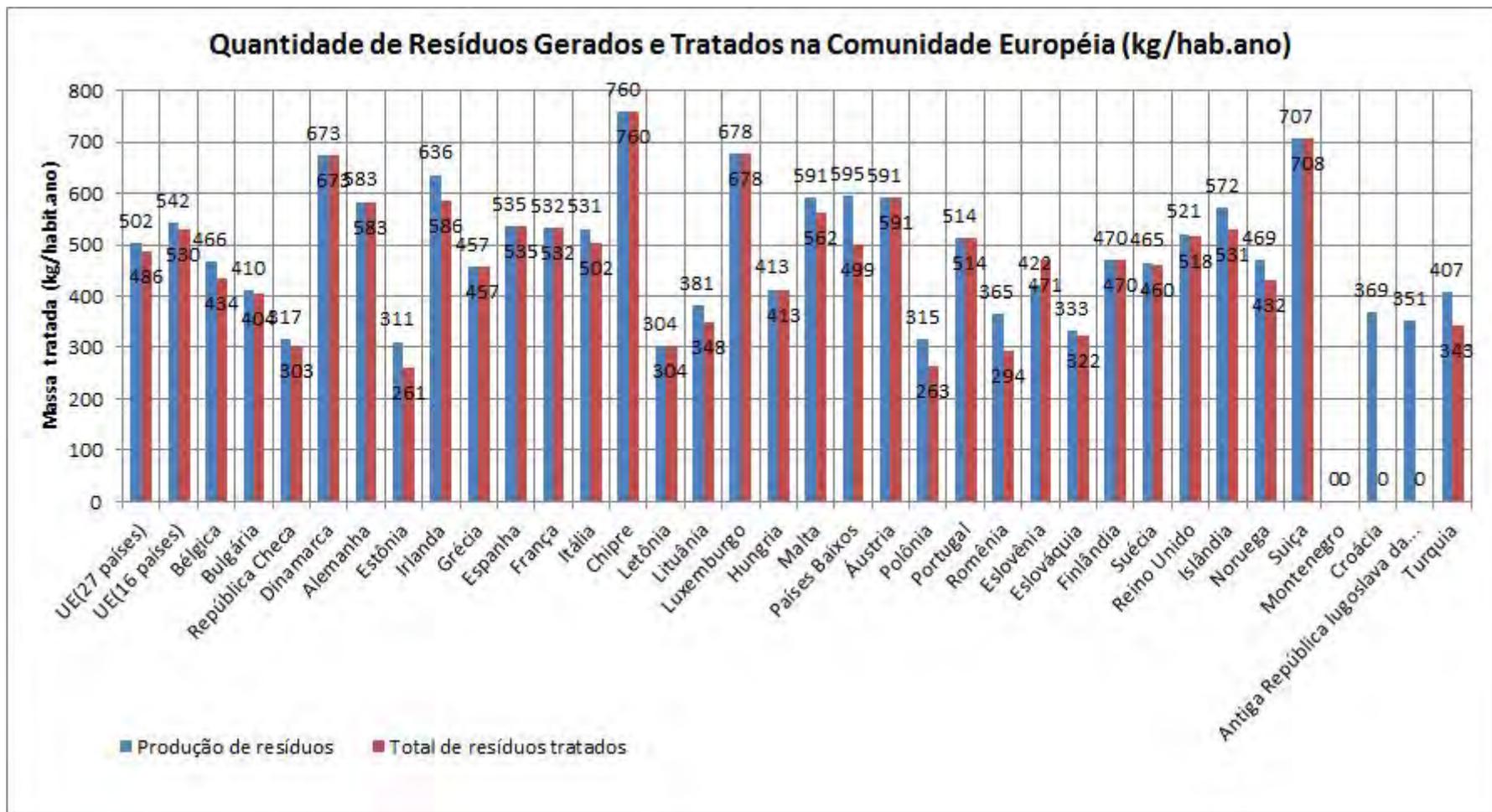


Figura 2.18 - Resíduos urbanos gerados por estados-membros da UE, em Kg/habitante.ano, em 2010.

Fonte: Eurostat data centre on waste, 2012.

A Figura 2.19 mostra o mapa com os Países separados por geração de resíduos por cada região da Europa em 2010. Como indica o mapa os países do centro-sul, como a Dinamarca, Chipre, Irlanda e Luxemburgo e a Suíça geram mais resíduos, enquanto os países do Leste Europeu, como República Checa, Letônia, Estônia e Polônia são os que geram a menor quantidade de resíduos em kg/habitante.ano.

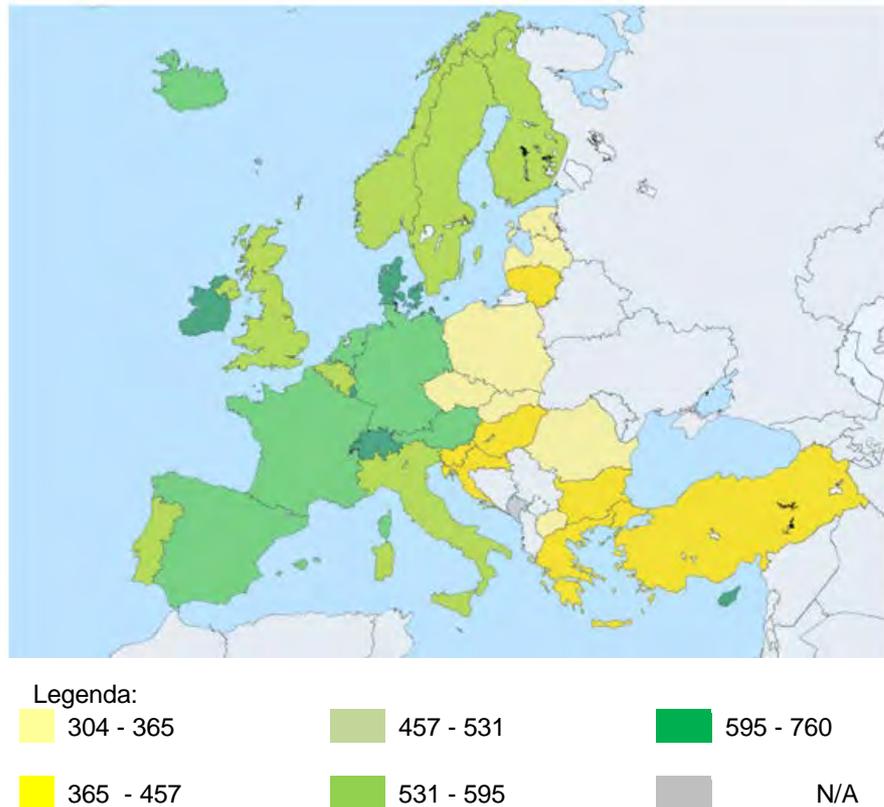


Figura 2.19 - Resíduos urbanos gerados por estados-membros em 2010 (em kg/habitante.ano).

Fonte: Eurostat data centre on waste, 2012.

Como mostra o mapa acima, existe uma variação da geração de resíduos dos Países europeus. Estas variações refletem as diferenças nos padrões de consumo e de poder econômico dos países e depende diretamente das formas de coleta e gestão dos resíduos urbanos. Segundo o Eurostat (2012), as diferenças entre os países existem, em particular, no que diz respeito ao grau em que os resíduos do comércio e administração são coletados e gerenciados em conjunto com os resíduos domésticos. Na maioria dos países, os resíduos domiciliares representam de 60 a 90% dos resíduos urbanos, enquanto que o restante pode ser atribuído a fontes comerciais e administração.

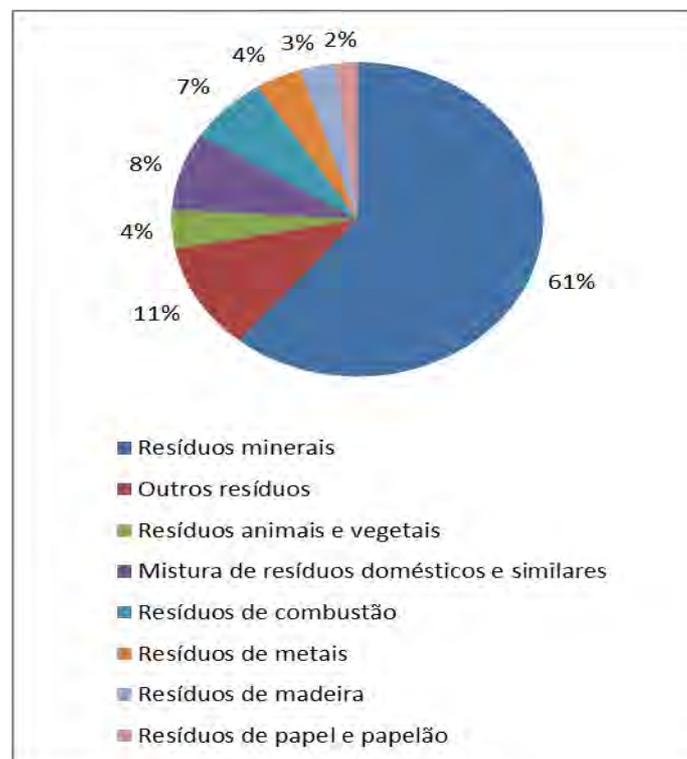
Estima-se que em 2020 serão gerados mais de 45% de resíduos sólidos urbanos do que em 1995, o que justifica o paradigma de redução da geração de resíduos, como primeiro pilar da política de gestão. Porém, isto ainda consta como um grande desafio

para a União Europeia, sendo tratado com muito planejamento e monitoramento das metas relativas a suas diretivas (Eurostat, 2012).

#### 2.4.1.3 Composição dos resíduos na UE-27

No ano de 2008, dos resíduos totais gerados, cerca de 32% foram provenientes de atividades de construção e demolição, 27% de indústrias extrativas e minérios, 13% provenientes de resíduos manufaturados (exceto reciclagem), 10% de resíduos domésticos (e de estabelecimentos comerciais que geraram resíduos semelhantes) e 18% proveniente de outras atividades, como pode ser observado.

A Figura 2.20 representa a caracterização gravimétrica média dos resíduos gerados na UE-27 em 2008.



Nota: Alguns percentuais de diferentes tipos de resíduos mostrados poderiam ser maiores se os resíduos misturados pudessem ser identificados. Por exemplo, mistura de resíduos domésticos e similares inclui também papel e papelão.

Figura 2.20 - Classificação dos resíduos totais gerados na União Europeia no ano de 2008.

Fonte: Eurostat data centre on waste, 2012.

As embalagens provenientes de resíduos domésticos e de estabelecimentos comerciais, sumarizaram cerca de 3% do total de resíduos. Os principais componentes das embalagens são vidro, papel e cartão, metais, plásticos e recentemente madeira.

A reciclagem de papel e cartão, resíduos orgânicos na forma de restos alimentares ou resíduos de jardim, constitui a maior parte dos resíduos recicláveis em grande parte dos países com elevada capacidade de reciclagem dos resíduos municipais. Entretanto, vidros, papel e cartão, plásticos e metais são a “espinha dorsal” da reciclagem na União Europeia, em poucos estados-membros da UE, a reciclagem de resíduos brutos é significativa.

#### *2.4.1.4 Tecnologias de tratamento de resíduos na UE-27*

As principais tecnologias de tratamento e disposição de resíduos existentes na Europa são a reciclagem, a compostagem, a digestão anaeróbia, o tratamento mecânico biológico, a incineração com geração de energia e CHP e o aterro sanitário.

A digestão anaeróbia e o tratamento mecânico biológico, por serem tecnologias emergentes, já estão inclusas nas estatísticas da EU, dentro de outras tecnologias.

Os métodos de tratamento existentes na Europa diferem substancialmente entre os estados-membros.

De maneira geral, pode-se dizer que o tratamento dos resíduos sólidos urbanos na Comunidade Europeia houve uma mudança significativa na forma que os resíduos sólidos urbanos foram tratados durante o período de 1995 à 2010. O aterro foi o tratamento mais comum no início do período com uma participação de 62% na quantidade de resíduos tratados, em 2005 esta participação caiu para 50% e em 2010 tinha caído ainda mais para 38%. Cerca de 13% dos resíduos foram incinerados em 1995 e esta participação subiu para 22% em 2010, enquanto que a percentagem de resíduos reciclados era de 10% e em 2012 subiu para 25% e os compostados saíram de meros 5% para 15%, indicando a evolução do tratamento de resíduos neste período.

A Figura 2.21 apresenta o tipo e o percentual da quantidade de resíduos tratados nos Estados-membros da Comunidade Europeia.

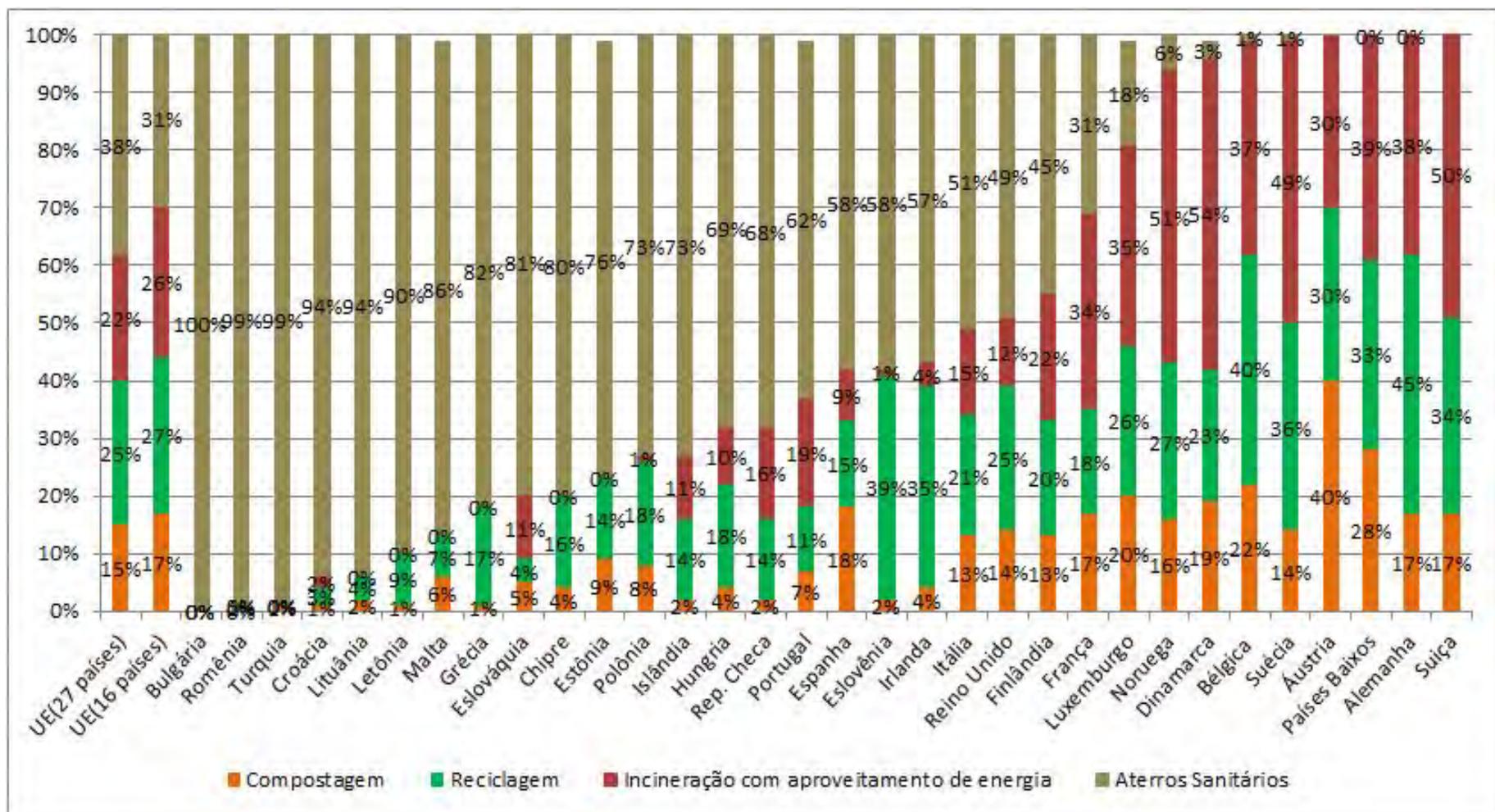


Figura 2.21: Tipo de Tratamento dos resíduos sólidos gerados por estados-membros em 2010

Fonte: Eurostat data centre on waste, 2012.

A Figura 2.21 mostra que nos 27 Países-membro da União Europeia os resíduos sólidos urbanos são tratados de diversas formas, sendo que 38% foram depositados em aterros sanitários, 22% em incineradores com aproveitamento energético, 25% reciclados e 15% compostados.

Na referida figura também observa-se uma grande diferença no tratamento de resíduos entre os Países membros da UE. Os Países do Norte da Europa (Suíça, Alemanha, Países Baixos, Áustria, Suécia, Bélgica e Dinamarca) com maior PIB e consciência ambiental, apresentam um maior percentual de reciclagem e de compostagem bem como de incineração dos resíduos maior que o restante dos Países da UE. A quantidade de resíduos depositados em aterros sanitários também é menor. Já Países como a Itália, o Reino Unido, Finlândia, Portugal e Espanha, apesar de apresentarem um percentual acima de 30% de reciclagem e compostagem, apresentam percentuais em torno de 10% de resíduos incinerados e entre 50 e 70% de resíduos depositados em aterros, o que mostra claramente uma opção pela técnica de aterramento ao invés da incineração. Com exceção da República Checa e da Hungria, os Países do Leste Europeu, que apresentam os menores PIBs da região, bem como forma os últimos Países a entrarem na EU, de forma geral, apresentam baixos percentuais (menos de 20% e em alguns casos menos de 5%) de reciclagem e compostagem e incineração.’

Em 2010, os estados-membros que apresentaram a maior quantidade de resíduos urbanos depositados em aterro foram a Bulgária (100% dos resíduos tratados), Romênia (99%), Lituânia (94%) e Letônia (91%). As percentagens mais elevadas de resíduos sólidos urbanos incinerados foram observadas na Dinamarca (54% dos resíduos tratados), Suíça (50%), Suécia (49%) Holanda (39%), Alemanha (38%), Bélgica (37%), Luxemburgo (35%) e França (34%). Considerando os Países que formam o EU-27, a média dos resíduos incinerados foi de 22%.

Em relação a Reciclagem o país que mais reciclou foi a Alemanha (45% de resíduos tratados), Bélgica (40%), Eslovénia (39%), Suécia (36%), Irlanda (35%) e os Países Baixos (33%). Os estados-membros com as maiores taxas de compostagem para os resíduos sólidos urbanos foram a Áustria (40%), Holanda (28%), Bélgica (22%), Luxemburgo (20%), Dinamarca (19%) e Espanha (18%).

Reciclagem e compostagem de resíduos urbanos em conjunto representaram 50% dos resíduos tratados ou mais na Áustria (70%), Bélgica e Alemanha (ambos 62%), Holanda (61%) e Suécia (50%). Em cinco estados-membros menos do que 10% dos resíduos foi reciclado ou compostados.

Estas avaliações indicam claramente que a opção pela incineração dos resíduos não inviabiliza a reciclagem e compostagem dos mesmos, visto que, os Países que mais reciclam são também aqueles que mais incineram seus resíduos e que possuem Políticas de valorização dos resíduos claras e . O que torna a atividade de reciclagem.

Na Alemanha, a deposição de resíduos em aterros atinge cerca de 1%. A incineração com recuperação energética atinge 38% dos seus resíduos gerados e a reciclagem de resíduos atinge 46% e quando incluídos a reciclagem de outros materiais incluindo a compostagem atinge 61%.

Na Suíça, a deposição de resíduos em aterros é menor que 1%. A incineração com recuperação energética atinge 50% dos seus resíduos gerados e a reciclagem de resíduos atinge a 49%, incluindo a compostagem.

No caso de Portugal, observa-se que 62% dos resíduos gerados no território são depositados em aterros, 19% dos resíduos municipais são incinerados para geração de energia elétrica e calor e que 11% dos resíduos são reciclados multimaterialmente e cerca de 19% são reciclados se inclusos a reciclagem de resíduos orgânicos, no caso a compostagem e digestão anaeróbia.

No caso da Espanha, observa-se que 58 % dos resíduos gerados no território são depositados em aterros, em que 8 % dos resíduos municipais são incinerados para geração de energia elétrica e calor e em que 16% dos resíduos gerados são reciclados e cerca de 34% são reciclados se inclusos a reciclagem de resíduos orgânicos, no caso a compostagem.

No caso da Itália, observa-se que 51% dos resíduos gerados no território são depositados em aterros, em que 15% dos resíduos municipais são incinerados para geração de energia elétrica e calor e em que 21% dos resíduos gerados são reciclados e cerca de 34% são reciclados se inclusos a reciclagem de resíduos orgânicos, no caso a compostagem.

No caso da Dinamarca, observa-se que 3% dos resíduos gerados no território são depositados em aterros, em que 56% dos resíduos municipais são incinerados para geração de energia elétrica e calor e em que 23% dos resíduos gerados são reciclados e cerca de 41% são reciclados se inclusos a reciclagem de resíduos orgânicos, no caso a compostagem.

No caso da Grécia, observa-se que 99% dos resíduos gerados no território são depositados em aterros e que apenas 1% dos resíduos municipais são reciclados se inclusos a reciclagem de resíduos orgânicos, no caso a compostagem.

#### 2.4.1.5 Evolução do tratamento de resíduos Municipais por tecnologia na UE-27

- Aterro Sanitário

A evolução da deposição de resíduos em aterros se deu da seguinte forma: Em 1995 representava 296 kg/hab.ano, diminuiu para 220 kg/hab.ano em 2005 chegando a 186 kg/hab.ano em 2010. Os resíduos depositados em aterros no ano de 1995 representava 68% da massa tratada de resíduos, passando para 44% em 2005, atingindo 38% da massa tratada em 2010, isto representa uma redução de 30% em relação a 1995 e de 6% em relação a 2005.(Eurostat, 2012)

Observa-se que os países que aderiram mais recentemente à UE exibem maior deposição no solo ou em aterro, alguns sendo a totalidade, como é o caso de Bulgária, Romênia, Croácia, Macedônia e Turquia. Por outro lado, há um conjunto de países em que esta prática ou não existe ou é marginal, tais como, a Suíça, a Alemanha, a Holanda, a Áustria, a Dinamarca, a Suécia e a Bélgica.

- Incineração de resíduos

A evolução da incineração ocorreu da seguinte forma: representava 65 kg/hab.ano em 1995, aumentando para 95 kg/hab.ano em 2005 chegando a 108 kg/hab.ano em 2010. Em termos percentuais, os resíduos tratados via incineração em 1995 atingiram 12% da matriz de tratamento de resíduos urbanos, aumentando para 18% em 2005 e 22% em 2010, com um aumento percentual de 10% em relação a 1995. (Eurostat, 2012)

A Dinamarca, um dos estados-membros que mais geram resíduos (cerca de 673 kg/habitante.ano), é o que mais tem adotado a tecnologia de incineração, tratando cerca de 56% dos seus resíduos utilizando este tipo de tecnologia.

No caso da Suíça a incineração com geração de energia elétrica e calor abrange 50% dos resíduos gerados e 34% dos resíduos gerados são reciclados, e juntamente com a compostagem atinge os 50% de resíduos gerados restantes.

- Reciclagem

A evolução da reciclagem se deu da seguinte forma: Em 1995 representava 65 kg/hab.ano, aumentando para 105 kg/hab.ano em 2005 e atingindo 121 kg/hab.ano em 2010, bem como a evolução da reciclagem de outros materiais, incluindo

a compostagem que atingiu 28 kg/hab.ano em 1995, chegando a 78 kg/hab.ano e 72 kg/hab.ano em 2010, com diminuição de quase 10% em relação a 2005. Em termos de comparação com outras tecnologias, a reciclagem correspondeu a 10% dos resíduos urbanos gerados em 1995, chegando a 21% em 2005 e atingindo 25% em 2010, com um aumento percentual de 17% em relação a 1995 e de 6% em relação a 2005 (Eurostat, 2012).

Conforme os dados apresentados pelo Eurostat (2012) os os países que mais reciclaram foram a Alemanha (45% de resíduos tratados), Bélgica (40%), Eslovénia (39%), Suécia (36%), Irlanda (35%) e os Países Baixos (33%).

- Compostagem e Digestão Anaeróbia (DA)

Os estados-membros com as maiores taxas de compostagem para resíduos sólidos urbanos foram a Áustria (40%), Holanda (28%), Bélgica (22%), Luxemburgo (20%), Dinamarca (19%) e Espanha (18%).(Eurostat, 2012)

Com relação ao atendimento da meta conjunta reciclagem-compostagem, que inclui a Digestão Anaeróbia, a reciclagem e compostagem de resíduos urbanos em conjunto representaram 50% dos resíduos tratados ou mais na Áustria (70%), Bélgica e Alemanha (ambos 62%), Holanda (61%) e Suécia (50%). Em cinco estados-membros menos do que 10% dos resíduos foram reciclados ou compostados.

A recuperação dos materiais orgânicos utilizando a compostagem é um dos métodos de tratamento de resíduos urbanos que têm aumentado consideravelmente. Em termos percentuais, as outras formas de tratamento, incluindo a compostagem, chegaram a 8% em 1995, passando a 15% em 2005 e atingindo 14% em 2010 (redução de 1% em relação a 2005). Juntamente com a reciclagem, este tipo de tecnologia representa cerca de 42% em 2009 e excedeu a de aterros desde 2008.

Em 2009, por meio da compostagem, a Áustria tratou cerca de 40% dos seus resíduos, Itália 32%, Holanda (28%), Espanha e Bélgica 24% e Luxemburgo (20%). Conjuntamente, a reciclagem e a compostagem são as principais tecnologias adotadas na Áustria, Alemanha, Holanda, Bélgica e Suécia, tratando mais da metade dos resíduos urbanos gerados por estes estados-membros.

Países como a Alemanha, Suíça e Dinamarca, apresentam grandes índices de reciclagem de seus resíduos gerados, com aproveitamento energético de resíduos mediante a incineração e geração de energia e calor, com uma quantidade

muito pequena de resíduos depositados em aterros, destacando-se, portanto, por tratarem toda a quantidade de resíduos gerados.

Também existem outros países como a França, Espanha, Portugal, Itália, Luxemburgo, Hungria e Finlândia em que todos os resíduos municipais gerados são tratados, porém em escalas diferenciadas de tratamentos, com menor quantidade de reciclagem, de incineração e maiores quantidades de resíduos depositados em aterros.

Para os países como a Letônia, Lituânia, Bulgária, Estônia, Malta, Grécia e Turquia, existem uma maior dificuldade para atender as metas impostas pela UE, na sua hierarquização de gestão dos tratamentos dos resíduos, pois praticamente depositam todo o resíduo gerado em aterros.

## 2.4.2 Nos Estados Unidos

### 2.4.2.1 Geração de resíduos municipais nos EUA

Nos EUA, Resíduos Sólidos Municipais consistem em resíduos do cotidiano como embalagens, resíduos de grama, móveis, roupas, garrafas, restos de comida, papel, aparelhos, baterias e outros. Segundo Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos-EPA (2009), são excluídos os materiais de construção e demolição, todos provenientes de estação de tratamento de água e efluentes e resíduos industriais (perigosos e não perigosos).

A Figura 2.22 mostra que os americanos geraram cerca de 250 milhões de toneladas de RSU. Comparando a quantidade produzida entre 2005 e 2010, houve uma redução de 2,8 milhões de toneladas. Isto demonstra que em 5 anos, apesar do aumento do número de habitantes, foi interrompida uma taxa de crescimento de geração de resíduos observada desde 1960. Estes aspectos demonstram a existência de alguma relação entre a atividade econômica e a geração de resíduos, apesar de um aumento do número de habitantes.

## Taxa de Geração de Resíduos Sólidos Municipais, 1960-2010

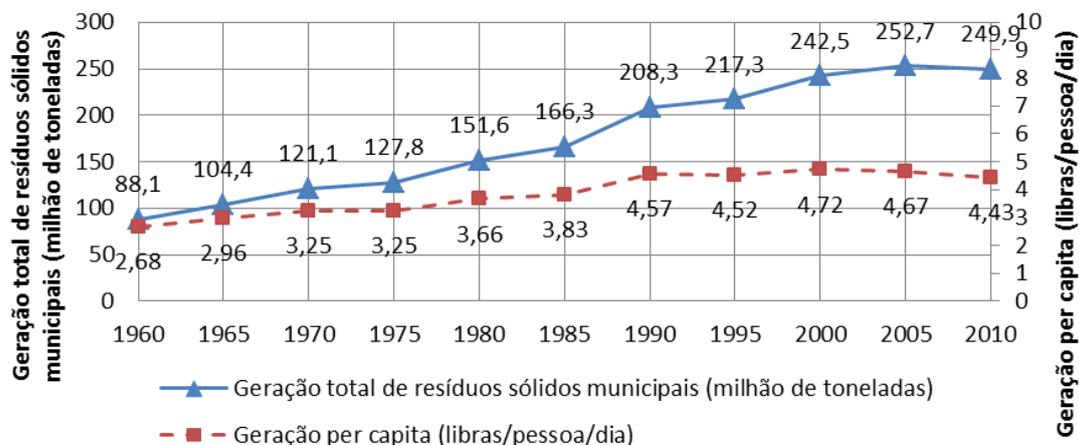


Figura 2.22 - Geração de RSU total e per capita, desde 1960 até 2010.

Fonte: EPA, 2010.

A taxa de geração de resíduos em 1960 foi estimada em 2,68 pounds/habitante.dia (1,22 kg/habitante-dia), aumentando para 3,66 pounds/habitante.dia (1,66 kg/habitante-dia) em 1980. A produção de resíduos continua a aumentar com o tempo, atingindo 4,72 pounds/habitante.dia (2,14 kg/habitante-dia) em 2000. Uma sutil diminuição foi estimada para os próximos cinco anos, decrescendo para 4,67 pounds/habitante-dia (2,12 kg/habitante-dia) em 2005. Desde 2005, a geração per capita de resíduo manteve-se relativamente estável. Em 2009, a geração foi de 4,34 pounds/habitante-dia (1,97 kg/habitante-dia), representando um decréscimo de 4% entre 2005 e 2010.

### 2.4.2.2 Composição de resíduos municipais nos EUA

A composição gravimétrica média dos materiais existentes nos RSU (resíduos residenciais e comerciais apenas, antes da reciclagem) no ano de 2010 pode ser visto na Figura 2.23. Os materiais foram classificados em papel e cartão, resíduos de jardim, restos de comida, plásticos, metais, vidro, madeira, borracha, couro, têxteis e outros.

Papel e cartão compõem a maior parte dos RSU gerados (28,5%), seguidos de restos de comida (13,9%) e resíduos de jardim (13,4%). Metais, plásticos e madeira, cada qual compõe 9%, 6,4% e 12,4 % dos RSU gerados. Vidro compõe

aproximadamente 4,6% e borracha, couro e têxteis compõem cerca de 8,4% dos RSU, enquanto 3,5% compõe outros resíduos não detalhados.

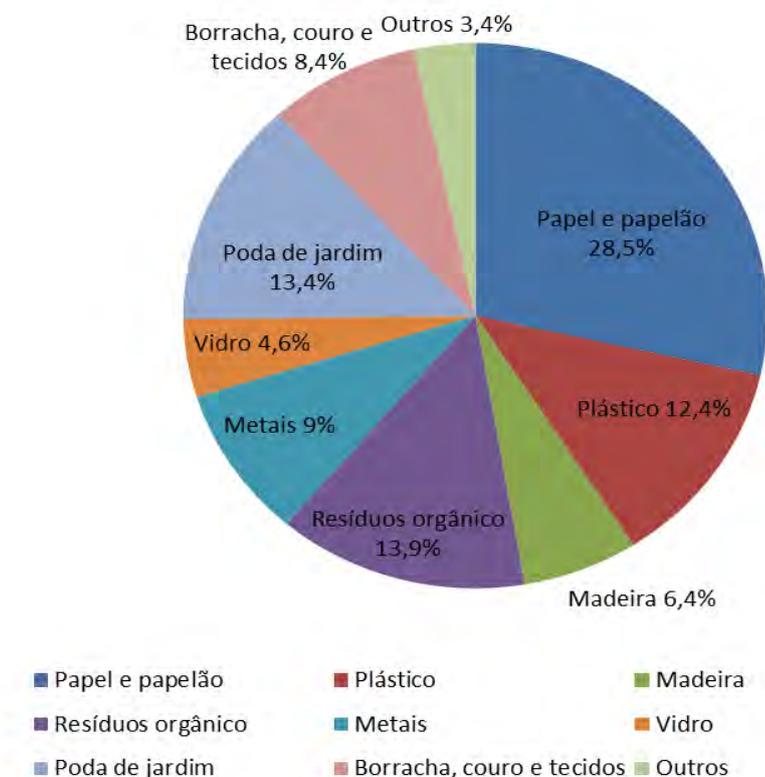


Figura 2.23: Composição gravimétrica média dos RSU gerados nos Estados Unidos no ano de 2010.

Fonte: EPA, 2010.

Como esta Figura representa a composição dos RSU's, antes da implementação de programas de reciclagem e compostagem, a mesma apresenta a presença de muitos materiais disponíveis para a reciclagem ou o tratamento por meio de compostagem, tais como papel e papelão, metais, plásticos, vidros e madeiras. As três principais categorias são: papel e papelão (28,5%), resíduos alimentares (13,9 %), resíduos de jardim (13,4 %).

Historicamente, as quantidades de papel e papelão estão diminuindo com o tempo, enquanto plásticos (incluindo filme plástico) estão com tendência a aumentar. Dados compilados pela EPA desde 1960, como mostram as Figuras 24 e 25 que contêm as informações que demonstram as alterações na quantidade e composição dos RSU's gerados pela população dos EUA. Ao longo dos anos, papel e papelão sempre estiveram presentes em quantidades relevantes no RSU, seguido por resíduos de alimentos e podas.

Algumas mudanças têm ocorrido nos últimos anos, devido às políticas dos vários estados e devido ao advento de novos programas de reciclagem. Exemplos incluem a proibição de resíduos verdes sendo dispostos em aterros sanitários, restrições sobre o uso de sacos de plástico em alguns grandes centros urbanos, um aumento de programas de compostagem em casa, e preços de mercado para o vidro residual .

#### 2.4.2.3 Tecnologias de tratamento de resíduos nos EUA

As principais tecnologias empregadas para o tratamento e destinação final de RSU nos EUA são apresentadas na Figura 2.24.

Proprietários e operadores de sistemas de resíduos sólidos urbanos nos EUA tendem a confiar no sistema do "livre mercado" para avaliar e selecionar tecnologias adequadas à situação local. Essas seleções são feitas dentro do contexto do quadro bastante restrito de regulamentação para gestão de RSU, juntamente com a concordância dos governos locais (que têm a responsabilidade de planejamento e gestão de resíduos sólidos urbanos).

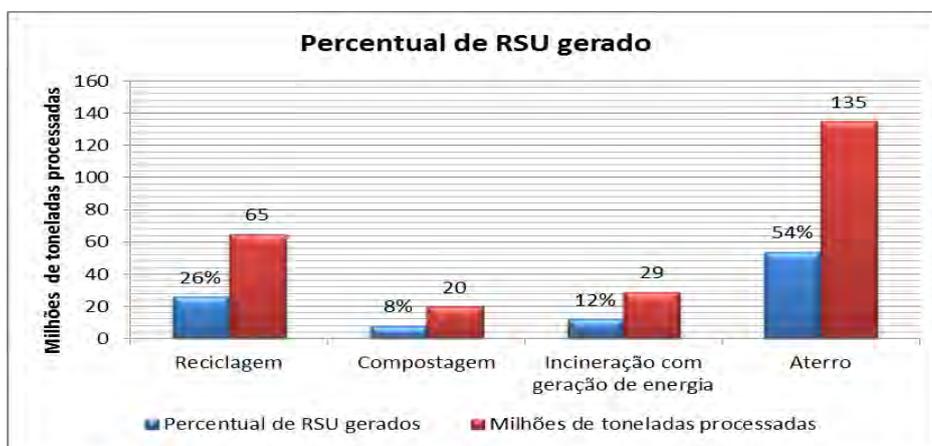


Figura 2.24 - Principais vias tecnológicas nos EUA.

Fonte: USEPA, 2009.

Ao longo dos últimos 10 anos, os valores percentuais de reciclagem e compostagem subiram, enquanto os valores para aterro diminuíram. As quantidades de toneladas gerenciadas para unidades de incineração com aproveitamento energético praticamente tem permanecido constante ao longo dos anos. Espera-se que estas tendências continuem pelo menos por mais cinco anos, especialmente na gestão de produtos orgânicos, e captação de melhoria de materiais recicláveis. Outras tecnologias,

como a gaseificação, pirólise e digestão anaeróbia de RSU não estão em vigor para as operações comerciais, ou estão em níveis muito baixos para a comparação com as tecnologias apresentadas.

A Figura 2.25 ilustra os dados graficamente semelhantes, também para as principais tecnologias e sua utilização ao longo do tempo. O uso de aterro é visto com tendência a diminuir e, agora, tem sido estabilizado durante pelo menos 10 anos, enquanto que a reciclagem aumentou para níveis estáveis próximo a 35%.

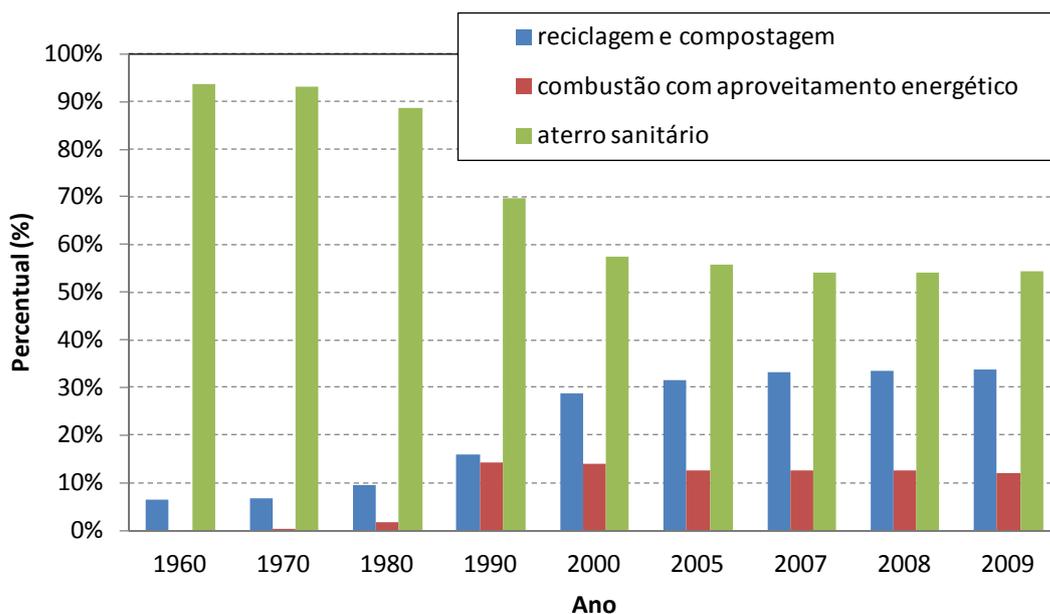


Figura 2.25 - Evolução do tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos Estados Unidos entre 1960 e 2009.

Fonte: USEPA, 2009.

#### Unidades de triagem - reciclagem

Nos EUA as unidades de triagem e reciclagem são fundamentais para a gestão dos resíduos sólidos. Para uma visão global da situação dos EUA, a reciclagem é uma tendência de crescimento, como pode ser observado na Figura 2.26, a recuperação de matérias aumentou significativamente a partir de cerca de 1990 até o presente, ao passo que as quantidades descartadas mantiveram-se estáveis.

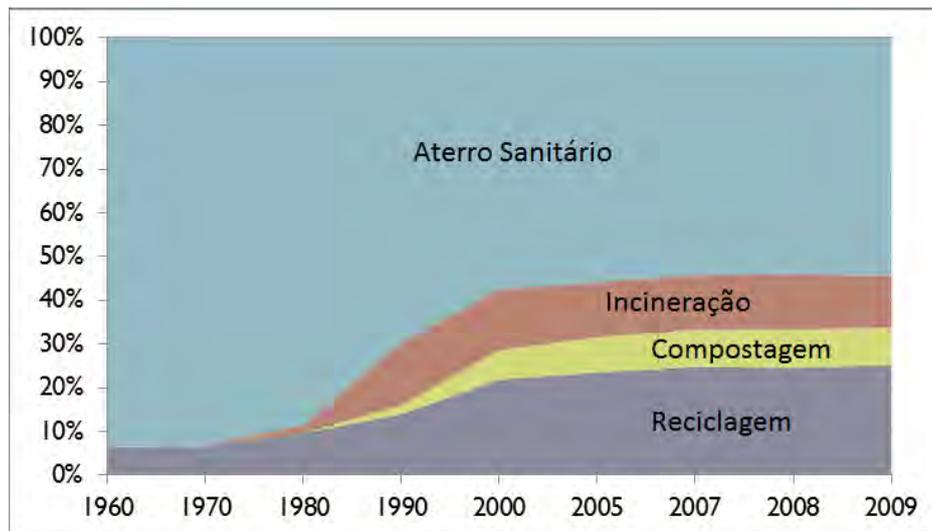


Figura 2.26: Recuperação e descarte de materiais nos RSU, de 1960 a 2009

Fonte: EPA, 2009.

Os materiais recicláveis gerados no nível residencial são comumente conhecidos: vidros, plásticos e recipientes de metal, várias fibras (jornal, papelão, lixo eletrônico, revistas) e metais diversos. A coleta dos materiais recicláveis é realizada uma vez por semana ou a cada duas semanas, dependendo do volume a ser coletados.

As taxas de reciclagem de residências unifamiliares tendem a serem maiores do que outros geradores, podendo chegar a uma elevada taxa de 50 % em massa. Em geral, as taxas de reciclagem são tipicamente mais baixas (menos de 20 %) em áreas rurais e para residências multifamiliares.

As novas tendências em reciclagem incluem o direcionamento de resíduos eletrônicos de forma diferenciada. Os avanços nas tecnologias de produtos eletrônicos de consumo têm levado a um rápido aumento nas devoluções dos mesmos produtos. Tais produtos incluem monitores de computador, televisores, telefones celulares e baterias. Os esforços estão sendo cada vez maiores para capturar estes produtos antes da sua eliminação, de modo que pelo menos porções dos produtos possam ser reciclados ou reutilizados.

#### Tratamento: compostagem

Em conjunto com programas de reciclagem, a maioria dos municípios oferecem coleta seletiva de resíduos de jardim. Esses resíduos são normalmente compostos de folhas, planta/árvore de pequeno porte e ervas, e por vezes são

processados e misturados nas plantas de compostagem (públicas ou privadas), antes do processo de decomposição aos quais são submetidos.

A Compostagem de resíduos orgânicos, como restos de alimentos, jardim (quintal) e resíduos de praças e parques, e lodo, são comuns nos Estados Unidos. As vantagens da compostagem incluem redução de volume no material residual, a estabilização dos resíduos, e a destruição de agentes patogênicos nos resíduos. Os produtos finais da compostagem, em função da sua qualidade, podem ser reciclados como fertilizante e condicionador do solo, ou usado como um material de cobertura diária nos aterros.

De 1990 a 2010, a quantidade de material compostado nos Estados Unidos aumentou de 3.810 Gg para 18.763 Gg, um aumento de aproximadamente 492%. De 2000 a 2010, a quantidade de material compostado nos Estados Unidos aumentou em 26 %.

Atualmente existe aproximadamente 3.800 plantas de compostagem em operação nos Estados Unidos, o que indica uma atividade de longo prazo. A Figura 2.27 fornece uma contagem da quantidade de plantas de compostagem existentes por Estado, bem como uma representação de quais estados (mostrados em verde) estão proibidos por lei de realizar a disposição dos resíduos verdes em aterros.

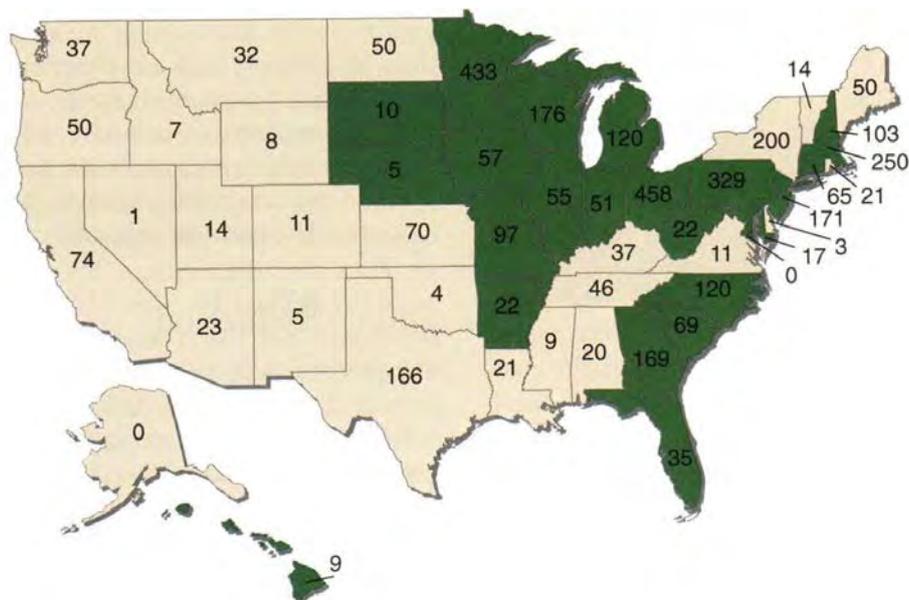


Figura 2.27: Estados com proibições (em verde) e o número de programas de compostagem em cada estado.

Fonte: EPA, 2009.

Um aumento na capacidade das plantas de compostagem é esperado nos próximos cinco anos ou mais, pois cada vez mais pretende-se fazer uma coleta diferenciada dos resíduos orgânicos específicos (restaurantes, supermercados, e centros de distribuição de alimentos).

#### Tratamento: digestão anaeróbia

Nos EUA os sistemas de tratamento de RSU utilizando digestores anaeróbios ainda é incipiente quando comparados a outras tecnologias mais consolidadas como aterros, compostagem e incineração. As plantas existentes funcionam praticamente em caráter e escala experimental.

#### Tratamento: incineração

A queima de RSU pode gerar energia enquanto reduz a quantidade e volume de resíduos, por até 90 % em volume e 75 % em massa. *EPA's Office of Air and Radiation* é o principal responsável para regular os incineradores, porque as emissões atmosféricas resultantes da combustão representa uma significativa preocupação ambiental. Em 2000, nos Estados Unidos, havia o funcionamento de 102 incineradores com a capacidade de queimar quase 96.000 toneladas de RSU por dia. Atualmente, o número de plantas em operação é de 86, porém a quantidade de resíduos tratados via incineração continua a mesma.

Quase todos os incineradores dos EUA incorporam a recuperação de energia (elétrica ou térmica, ou ambos). As 86 usinas em operação estão em 24 estados, distribuídos geograficamente como mostrado na Figura 2.28 . A maioria das usinas em operação estão no Nordeste do País, que é uma região de alta densidade populacional e poucas opções para a tratamento de resíduos como por exemplo os aterros sanitários. O intervalo de variação de tamanho e de capacidade dos incineradores variam de 500 a 2.500 toneladas de RSU por dia. Juntas, todas estas unidades têm uma capacidade instalada de quase 2700 MW.

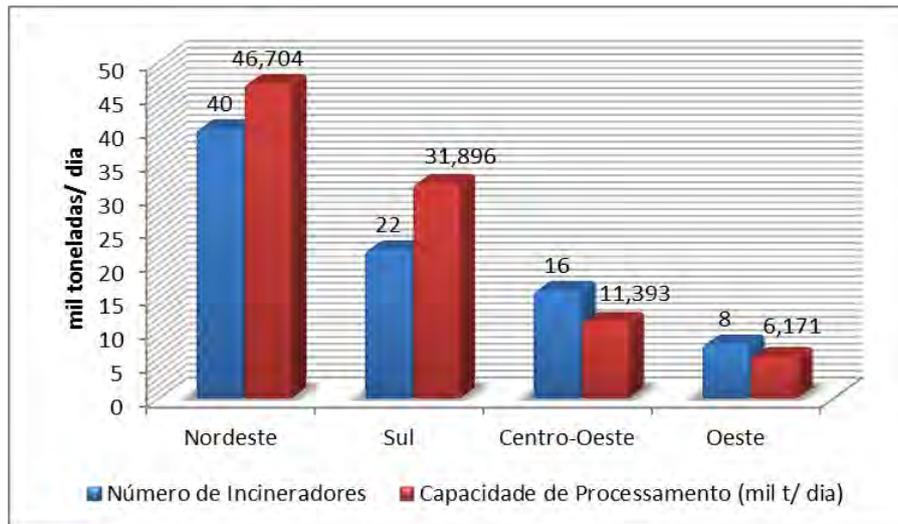


Figura 2.28 - Projetos de incineradores em funcionamento por regiões nos EUA.  
Fonte: EPA, 2010.

Os produtos decorrentes da incineração dos resíduos incluem cinzas e escórias. As cinzas volantes são provenientes dos gases de combustão e contém uma série de contaminantes e produtos de combustão incompleta. Estes gases devem ser passados através de vários dispositivos de controle de poluição do ar para atender aos padrões de emissões gasosas.

Como um exemplo de incineração, o condado de Fairfax, Virgínia fez a concessão de uma usina de incineração por 20 anos, podendo ser renovado por mais 5 anos, para a empresa Covanta. A empresa Covanta promoveu o financiamento de capital e possui a própria planta e equipamentos. A planta utiliza a tecnologia de *Martin* para as caldeiras e produz cerca de 100 MW. Hoje, a planta recebe e processa cerca de 1 milhão de toneladas de resíduos sólidos por ano, e gera aproximadamente 300 toneladas de cinzas por dia. A empresa Covanta partilha 90 % da receita de energia do Condado. A planta recupera metal ferroso (2,5% em peso) e não-ferroso (0,13% em peso). As receitas provenientes da venda destes metais também é compartilhada em 50 % com o condado. Os custos líquidos para o condado relacionado ao total funcionamento é de aproximadamente US\$ 25 milhões por ano, antes de taxas de tombamento.

O crescimento futuro de instalações de incineração nos EUA é considerado muito baixo. Como dito anteriormente, não há novas plantas deste tipo licenciadas nos últimos de 20 anos, e apenas uma pequena quantidade (cinco ou mais) estão nas fases projeto para permitir sua regulamentação. As razões para isso não estão completamente controladas, mas eles provavelmente incluem os altos custos iniciais, o

baixo custo atual de energia elétrica (ou seja, as receitas com a geração de energia podem ser menores do que o desejado), problemas e não aceitação da população e a incerteza do fluxo contínuo de resíduos que chegam ao estabelecimento.

A Figura 2.29 ilustra um diferencial entre os custos de operação(OPEX) estimados para aterros e plantas de incineração.

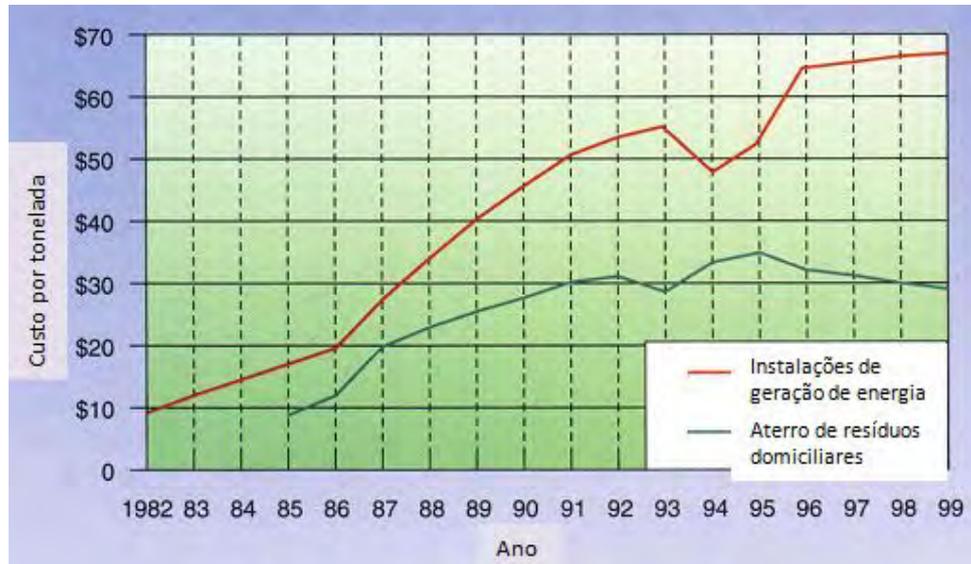


Figura 2.29 - Custo relativo de aterros e incineradores.(OPEX)

Fonte: EPA, 2009.

Disposição final: aterro sanitário

Nos Estados Unidos, os aterros sanitários permanecem como a tecnologia dominante para a destinação de RSU, com 54% do total dos resíduos, conforme apresentado na Figura 2.30. Quando comparados a outras tecnologias, os aterros podem ser utilizados independente da densidade populacional, existe a disponibilidade de áreas adequadas para a sua implantação e operação, custo relativamente baixo de combustível para caminhões utilizados no transporte e operação do aterro, menores custos de capital, evolução retardada da Legislação Ambiental (a qual tem permitido proprietários instalar sistemas com o tempo) e a facilidade que este tipo de tecnologia tem para cumprir com os regulamentos estabelecidos.

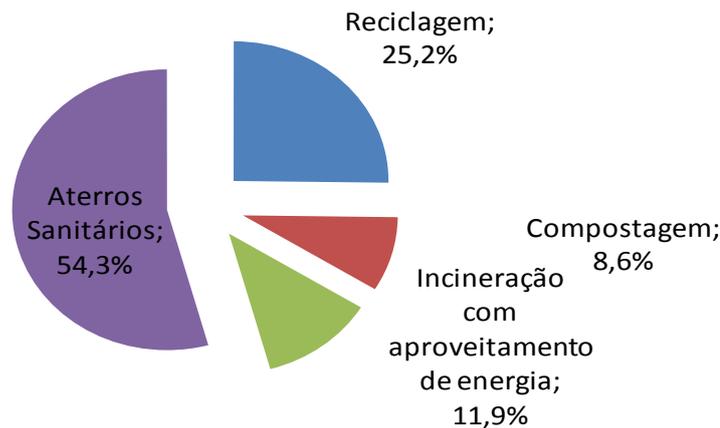


Figura 2.30 - Distribuição do tratamento e destinação final dos resíduos nos EUA no ano de 2009.

Fonte: EPA, 2009.

Os Estados regulam a localização, design, construção, operações, monitoramento ambiental, encerramento e pós-encerramento sob os cuidados e imposição das normas federais.

Além dos aspectos técnicos-operacionais de uma obra como um aterro sanitário, outros aspectos devem ser levados em conta quando se escolhe uma tecnologia para o tratamento e disposição final dos resíduos, como por exemplo, os requisitos para a garantia financeira. Em resumo, os critérios técnicos incluem a seleção do local, o acesso local controlado, a não aceitação de resíduos perigosos a granel ou resíduos líquidos, cobertura intermediária e final dos resíduos e monitoramento de gás, líquido e solo além da documentação e treinamento de pessoal.

A segurança financeira é onde o proprietário do aterro sanitário deve reservar fundos para cobrir os custos de um eventual fechamento, cuidados com pós-encerramento e manutenção, e as ações corretivas necessárias para enfrentar liberações ambientais. Esses fundos devem ser sob a forma de um fundo de confiança, uma caução, uma carta de crédito, seguro, ou garantias corporativas (ou do governo local).

Existem mais de 1.900 aterros operacionais nos EUA seguindo os padrões de projetos adotados pelo EPA. Os 10 maiores recebem mais de 8.000 toneladas de RSU por dia (1.7 a 3.3 milhões de toneladas de RSU por ano), enquanto pequenas localidades rurais podem receber menos do que 50 toneladas por dia. Normalmente, os aterros são geridos 45% por parte do setor público e 55% por prestadores de serviços privados.

A construção de novos aterros não está sendo uma prática comum, pois os operadores estão buscando licenças de expansão através de aquisições de terrenos

adjacentes. Outras abordagens para a obtenção de mais espaço em aterros incluem a compactação adicional da massa de resíduos existente, adicionando maiores inclinações laterais e encher as velhas áreas viárias entre as células de resíduos.

Uma distinção de aterros nos EUA é o grau de controle de emissões de gás metano. Com poucas exceções, os aterros nos EUA devem instalar e operar sistemas de controle de gás de aterros sanitários com a finalidade de captar gás metano e reduzir os odores locais. Como resultado, a maioria dos aterros incorporam sistemas de queima para a operação de projetos corriqueiros que podem ser abertas ou fechados, e operar de forma contínua.

Como a maioria dos aterros nos EUA são muito grandes (mais de 3 milhões de toneladas de RSU depositados), as quantidades de gás de aterro são grandes o suficiente para suportar um projeto de energia. Os projetos de recuperação energética dos gases dos aterros sanitários foram iniciados na década de 1970, fornecendo uma forma de energia renovável para geração de eletricidade ou para uso direto de caldeiras como combustível alternativo. Segundo a USEPA (2012) atualmente existem 576 aterros com recuperação energética nos EUA em operação em 46 estados.

A produção de energia é voltada para adicionar a rede de energia local, com a produção atualmente em mais de 1.700 MW. O maior projeto possui uma capacidade instalada de 50 MW, enquanto a maioria dos projetos tem média de 1 a 3 MW. Cerca de 100 projetos de biogás são destinados a complementar a rede de distribuição de gás natural. Esses projetos de uso direto distribuem cerca de 300 milhões de pés cúbicos por dia (mmcf/d) de gás. Outros exemplos existentes de utilização do LFG são para o aquecimento, evaporação de lixiviados, incineração de resíduos hospitalares ou carcaças de animais, e de combustível do veículo.

### 2.4.3 Atual Contexto Brasileiro

#### 2.4.3.1 Introdução

#### 2.4.3.2 Geração total de resíduos no Brasil e sua composição gravimétrica

A Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS vem divulgando em seus trabalhos, dados sobre a geração, o gerenciamento e a destinação de resíduos sólidos no Brasil, incluindo os resíduos urbanos e de saúde.

A geração de resíduos sólidos urbanos, em 2011, no Brasil registrou crescimento de 1,8%, em relação à de 2010, índice percentual que é superior à taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,8% no mesmo período. Observa-se que este aumento, segue tendência constatada nos anos anteriores, porém em ritmo menor (ABRELPE, 2011).

As Figuras 2.31 e 2.32 mostram que houve um aumento de 2,5% na quantidade de RSU coletados em 2011. Na comparação entre o índice de crescimento da geração com o índice de crescimento da coleta, percebe-se que este último foi ligeiramente maior do que o primeiro, o que mostra uma ampliação na cobertura dos serviços de coleta de RSU no país, rumo à universalização dos mesmos.

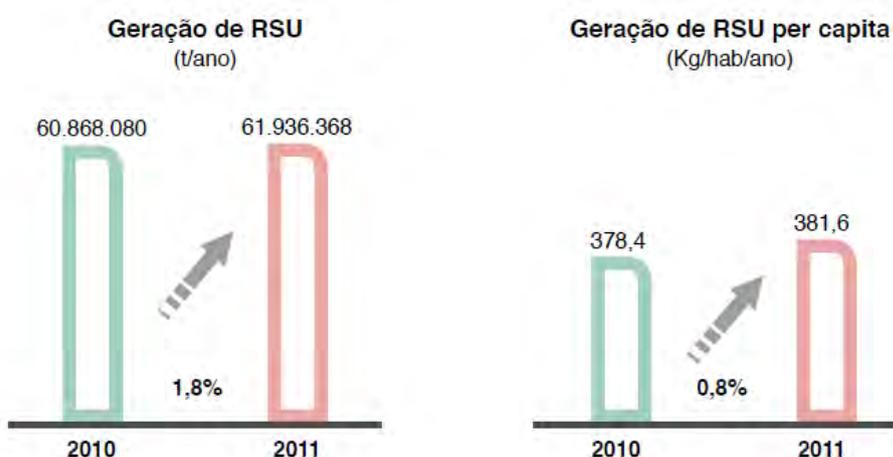


Figura 2.31 - Geração dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Fonte: Panorama 2011, Abrelpe.

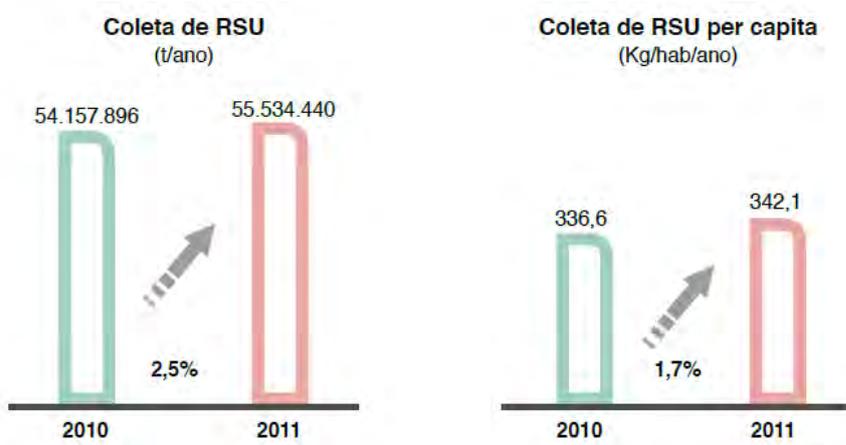


Figura 2.32 - Coleta dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Fonte: Panorama 2011, Abrelpe.

A Figura 2.32, mostra a comparação entre a quantidade total gerada e a quantidade total coletada, onde 6,4 milhões de toneladas de RSU deixaram de ser coletadas no ano de 2011 e, por consequência, teve destino inadequado de acordo com a Lei 12.305/2010.

A Figura 2.33 mostra a quantidade de resíduos gerados em cada região do Brasil, destacando-se a Região Sudeste como a maior geradora de resíduos seguida da região Nordeste. Também se destaca como a região de menor geração de resíduos a região Norte e depois o centro-oeste e por fim a região Sul.

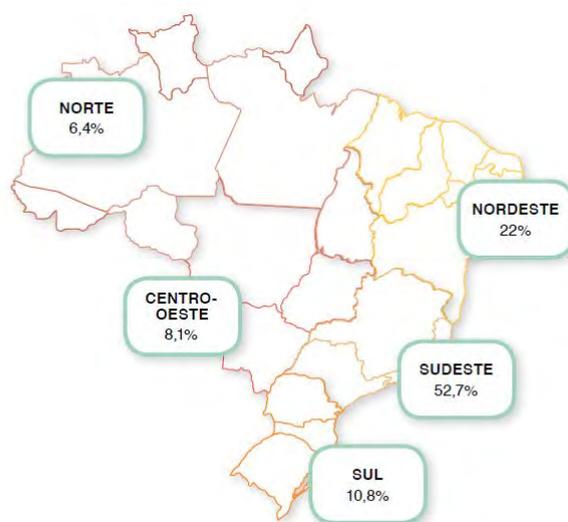


Figura 2.33 - Participação das Regiões no Brasil por total coletado.

Fonte: Panorama 2011, Abrelpe.

Através da Figura 2.34 pode-se observar a composição gravimétrica média dos RSU coletados no Brasil que permite visualizar de um modo geral a participação da fração orgânica e da fração inorgânica e de outros tipos de resíduos na fração total dos RSU. A referida composição, porém, é bastante diversificada nas diferentes regiões, uma vez que está diretamente relacionada com características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local.

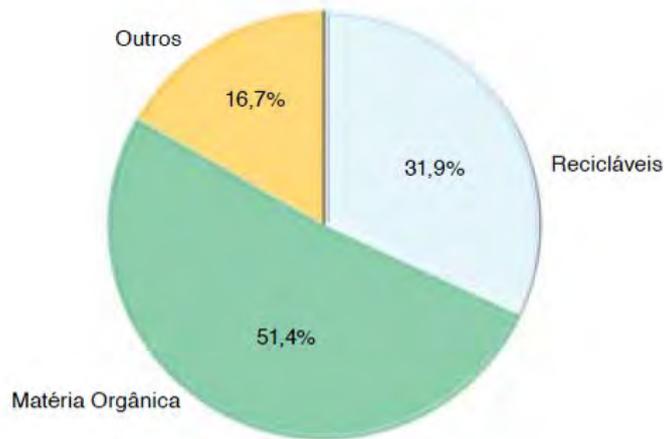


Figura 2.34 - Caracterização dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.  
 Fonte: Panorama 2011, Abrelpe.

#### 2.4.3.3 Situação da gestão do tratamento de resíduos Municipais no Brasil

Através da Figura 2.35 observa-se que em termos percentuais houve uma pequena evolução na destinação final ambientalmente adequada de RSU, em comparação ao ano de 2010. No entanto, em termos quantitativos, a destinação inadequada cresceu 1,4%, o que representa 23,3 milhões de toneladas de RSU dispostos em lixões e aterros controlados.



Figura 2.35 - Destinação Final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.  
 Fonte: Panorama 2011, Abrelpe.

A Figura 2.36 mostra que em 2010 o volume de RSU gerados pela população é 6,8% superior ao registrado pelo Panorama em 2009, já em 2011 são 3,2 % maior que em 2010. Foram quase 64 milhões de toneladas de lixo produzidos nos

últimos doze meses e o aumento populacional no país não é desculpa para esse crescimento, pois segundo a ABRELPE(2011), em seu estudo mostrou que a geração de resíduos aumentou seis vezes mais do que a população em 2010, o que significa que, no último ano, cada brasileiro produziu sozinho, uma média de 378 kg de lixo e que em 2011 este aumentou para 382 Kg/ano.

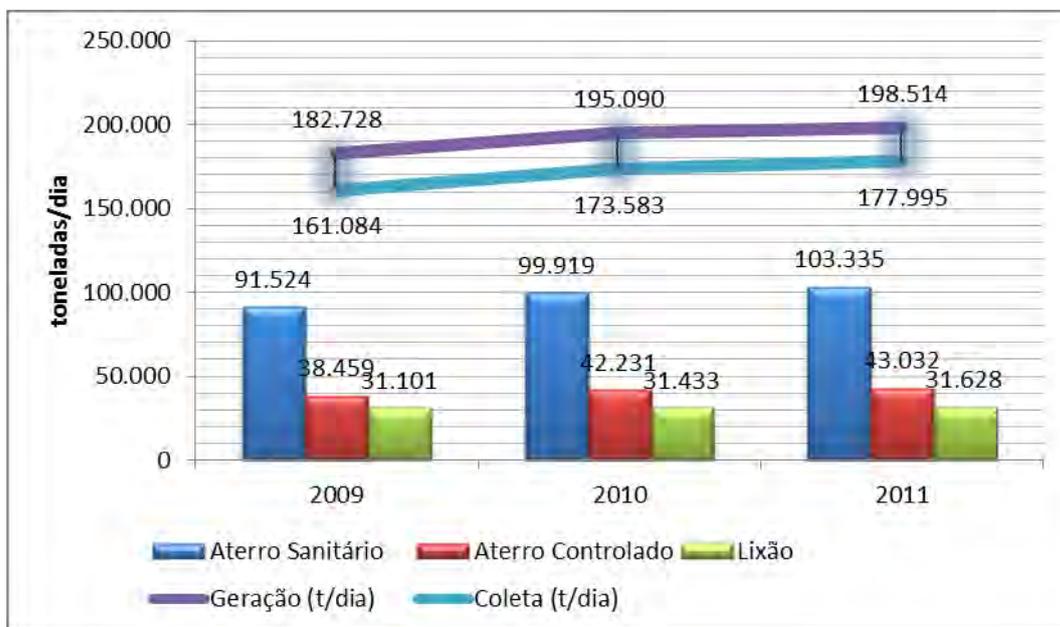


Figura 2.36 - Geração, coleta e destinação final de RSU no Brasil.  
Fonte: Abrelpe, 2010 e 2011.

Este estudo concluiu que em 2009, 21.644 toneladas que não foram coletadas, foram destinadas em locais inadequados, como encostas de morros, margens de rios, lagos e terrenos baldios. Ao passo que em 2010, essa quantidade aumentou para 22.000 toneladas. Em 2011, essa quantidade diminuiu para 20.519 toneladas.

O estudo supracitado concluiu que a quantidade de RSU com destinação inadequada aumentou quase dois milhões de toneladas, com relação a 2009, pois foram 23 milhões de toneladas encaminhadas a lixões e aterros controlados - que, por não possuírem mecanismos adequados de disposição e armazenamento do lixo, contaminam o solo e a água - contra 21,7 milhões, em 2009.

Quanto à destinação dos resíduos em 2010, das quase 14 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados por dia no centro-oeste, 71,2% tiveram como destino final os lixões e aterros controlados. No Nordeste, foram coletadas diariamente mais de 38 mil toneladas, e o percentual de destinação inadequada pois chegaram a

66%, enquanto que no Norte 65% das 10,6 mil toneladas diárias não foram destinadas adequadamente. ABRELPE(2011)

Se comparar com os dados de 2009, apesar de essas regiões terem ampliado, em média, em mais de 10% a destinação final adequada dos resíduos urbanos, enviando-os para aterros sanitários, a quantidade de lixo encaminhado para lixões e aterros controlados, ou seja, para destinos irregulares, ainda é extremamente significativa, o que resulta em sérios prejuízos ao meio ambiente. O que também preocupa muito o volume de lixo que sequer é coletado no Nordeste, pois são quase 12 mil toneladas por dia. (ABRELPE,2010)

Nas outras duas regiões, sudeste e sul, o cenário é mais positivo, mas ainda não é o ideal e nem aquele previsto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Das 92 mil toneladas coletadas diariamente em São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo, 28,3% seguem para lixões e aterros controlados. Nos três estados do Sul, que juntos coletaram quase 19 mil toneladas por dia em 2010, o percentual de RSU que têm destino inadequado é de 30,3%. ABRELPE(2011)

De acordo com a ABRELPE(2011), a região sudeste continua respondendo por mais da metade dos RSU coletados no Brasil, com 53,1%. Em seguida, vem o Nordeste, com 22%; o Sul, com 10,8%; o Centro-Oeste, com 8%; e por último o Norte, com 6,1%.

Nas capitais e cidades com mais de 500 mil habitantes foram coletadas 70,8 mil toneladas de RSU por dia, o equivalente a 1,2 kg por habitante – número superior à média nacional *per capita*, que atingiu 1,08 kg/hab.dia.(ABRELPE,2011)

A geração *per capita* é ainda maior no sudeste, onde foi registrado um índice de 1,288 kg/hab.dia. Já os brasileiros que menos produzem lixo são os que vivem no Sul, região cuja geração *per capita* em 2010 foi de 0,879 kg/hab.dia.

Com relação a unidades de triagem existem no Brasil algumas unidades instaladas no Rio Grande do Sul e Paraná e algumas unidades em São Paulo no Rio de Janeiro. Já as unidades de compostagem existem experiências exitosas em operação na região Sul e Sudeste, com destaque para o Estado de Minas Gerais e apenas 01 unidade no Estado da Bahia. Não há registros destas tecnologias em operação nas regiões Centro-oeste e Norte.

Apesar deste quadro desfavorável mostrado anteriormente para o Brasil nos anos de 2010 e 2011 também foram registrados alguns resultados positivos (ABRELPE,2011):

- o volume de lixo coletado pelos serviços públicos de limpeza do país cresceu 7,7%, em 2010 com relação a 2009 e 2,5 % em 2011 com relação a 2010, e

- a quantidade de iniciativas de coleta seletiva também aumentou para 3.262 municípios, com maior efetividade nas regiões Sudeste e Sul.

De acordo com a ABRELPE(2011), atualmente, 57,6% dos municípios brasileiros possuem projetos de coleta seletiva, embora os percentuais regionais ainda sejam bastante desiguais: cerca de 80% das cidades do Sudeste possuem tais iniciativas, contra menos de 30%, no centro-oeste. que é necessária a adoção imediata no Brasil de um sistema integrado e sustentável de gestão de resíduos sólidos, para fazer frente ao crescimento desenfreado na geração e para garantir um destino adequado à totalidade dos resíduos.

A modernização do setor por meio de novos sistemas e tecnologias se faz necessária para que os objetivos da PNRS sejam alcançados.

O sucesso também está vinculado a uma política mais clara de incentivos e estímulos, tanto do governo federal como dos governos estaduais, para os municípios que, por sua vez, deverão buscar soluções conjuntas e regionalizadas, por meio dos consórcios públicos. Além disso, as soluções devem ser estruturadas com uma perspectiva de longo prazo e plena adequação ambiental, o que demanda investimentos, que podem ser supridos com a adoção do modelo de Parcerias Público-Privadas.(PPP's)

## 2.5 DESENVOLVIMENTO DAS REGIÕES BRASILEIRAS: PRINCIPAIS INDICADORES E MATRIZ ENERGÉTICA

Para a compreensão das tecnologias de tratamento é importante identificar variáveis que possam interagir e modificarem as escolhas sobre os arranjos tecnológicos. Neste sentido considerou-se nesta pesquisa os principais parâmetros de desenvolvimento regional do Brasil, tais como: o Produto Interno Bruto (PIB) , o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a matriz energética das regiões brasileiras. Estes três fatores podem ser importantes na análise das tecnologias de tratamento de resíduos.

### 2.5.1 PIB das regiões do Brasil

O PIB das regiões, embora tenha registrado aumento generalizado nos últimos anos, apresenta trajetórias distintas, em linha com as especificidades das respectivas economias regionais. Para tanto, apresenta-se este estudo que consiste em investigar a evolução e as alterações na distribuição do PIB *per capita* regional e, considerando o indicador de concentração T-Theil, identificar o grau de concentração da renda intrarregional (entre estados da mesma região) e inter-regional (entre as regiões), de modo a subsidiar as análises dos arranjos tecnológicos nos capítulo 5. Para tanto são utilizadas estatísticas da pesquisa Produto Interno Bruto dos Municípios, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponibilizadas para o período 1999-2008.

Em estudo realizado pelo Banco Central – BC, observa-se que as trajetórias ascendentes dos PIBs *per capita* das regiões do Brasil, expressas em reais de 2008 para o período de 1999 a 2008, são mostradas na Figura 2.37. As taxas de crescimento anuais médias mais acentuadas ocorreram no Norte, 3,4%, com ênfase na contribuição da Zona Franca de Manaus, e, a partir de 2003, no sudeste, 3,9%, ressaltando-se a contribuição do desempenho do Estado de São Paulo.

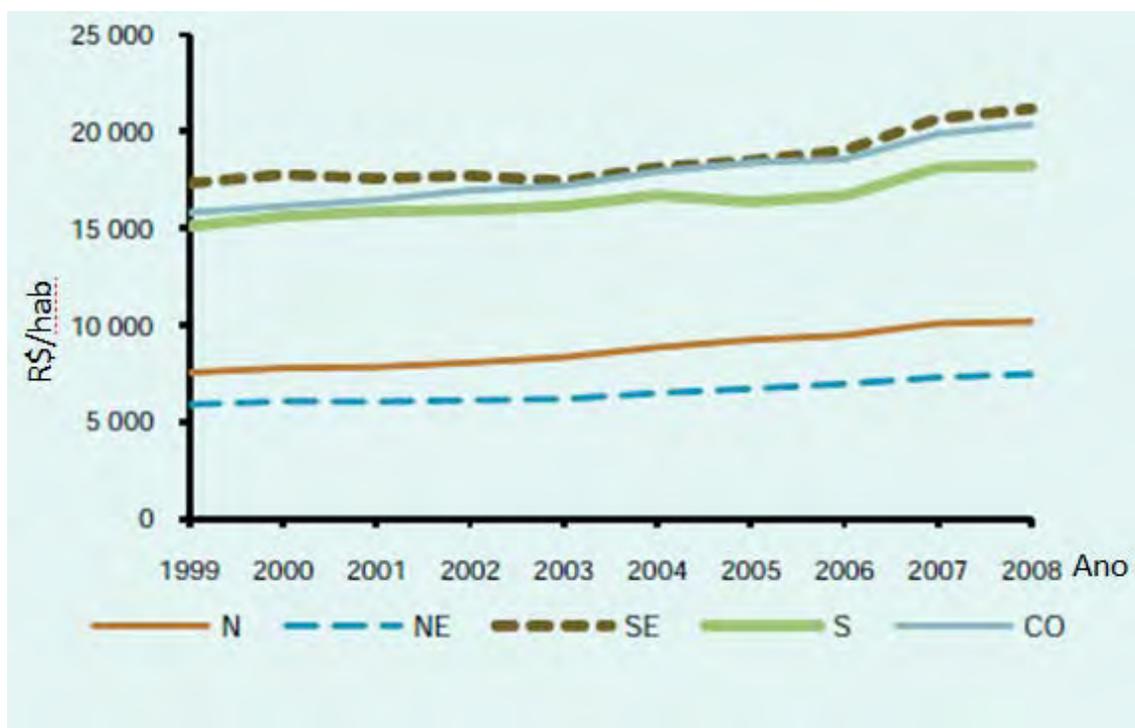


Figura 2.37 - PIB *per capita* regional - R\$1000 de 2008.

Fonte: BC, 2010

A Figura 2.38 mostra as razões entre os PIBs *per capita* de cada região e do país para o período de 1999 a 2008.

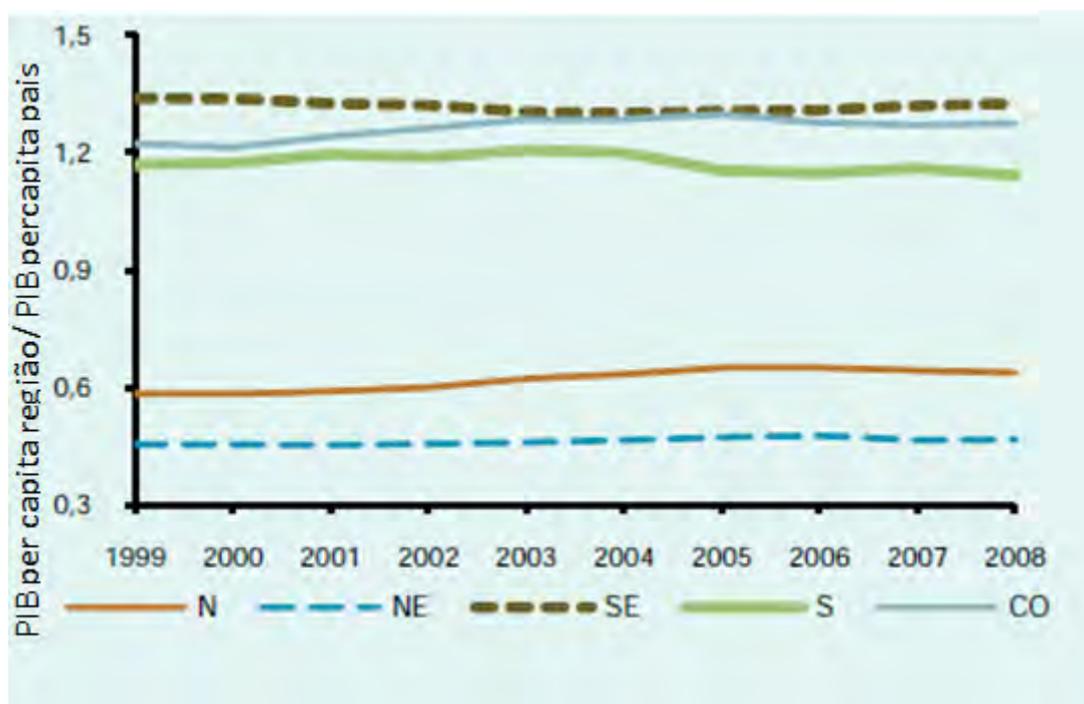


Figura 2.38 - PIB *per capita* Regional/ PIB *Per capita* Nacional.

Fonte: BC, 2010.

Ainda observando a Figura 2.38, observa-se que as elevações mais acentuadas ocorreram na região Norte, de 0,58 para 0,64, e na região centro-oeste, de 1,22 para 1,27, contrastando com o recuo de 1,17 para 1,14 registrado na região sul, e com a relativa estabilidade observada na região sudeste e na região Nordeste.

Neste estudo do Banco Central, o indicador T-Theil (T) foi utilizado para a mensuração da concentração da renda nas regiões e nos estados, tendo em vista que os Municípios disponibilizam estatísticas relativas à esfera municipal para o BC.

Uma característica do T-Theil é a possibilidade de sua decomposição em termos aditivos. Assim, a concentração territorial da renda de cada região pode ser analisada em seus componentes estadual ( $T_e$ ) e municipal ( $T_m$ ), e a relativa ao país, nos componentes regional ( $T_r$ ), estadual e municipal.

As Figuras 2.39 a 2.43 mostram os valores anuais dos componentes estaduais e municipais do T-Theil para as distribuições dos PIB *per capita* de cada região do Brasil, no período de 1999 a 2008. Vale mencionar as contribuições para o

movimento de desconcentração da renda, em termos nacional e regional, exercidas pelos crescimentos relativamente mais acentuados nas áreas com renda inicial abaixo da média em relação aos registrados nas áreas com renda inicial acima da média.

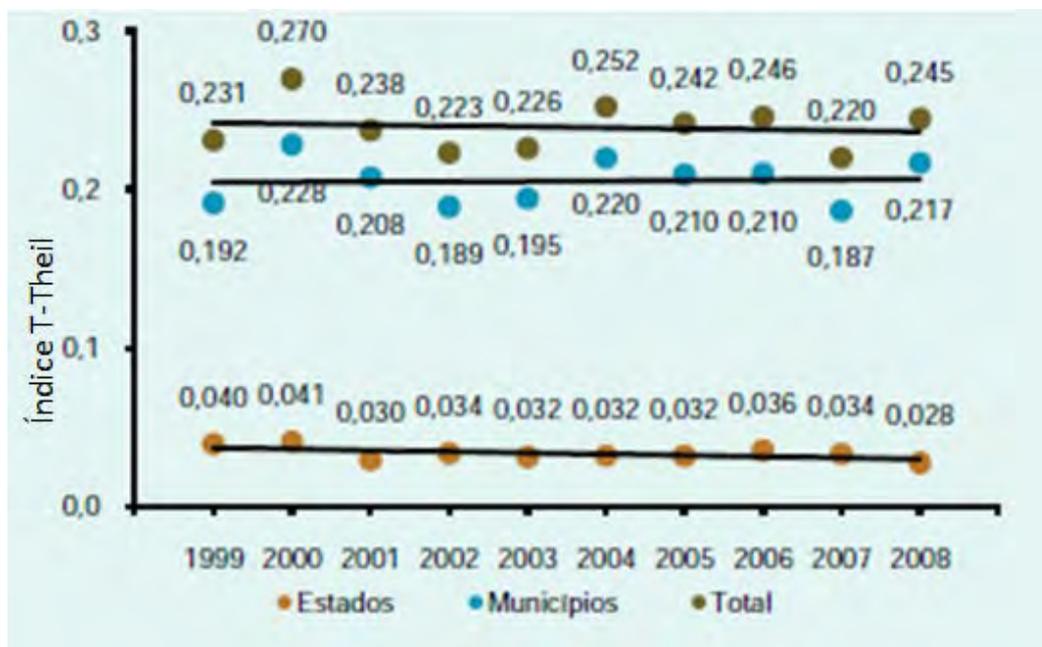


Figura 2.39 - Norte – Concentração Territorial da renda (T-Theil).

Fonte: BC, 2010

Os resultados para da região Norte, mostrados na Figura 2.39 mostram desconcentração moderada da renda entre os estados, com principal contribuição do crescimento acima da média do Tocantins, e flutuação sem tendência definida entre os municípios.

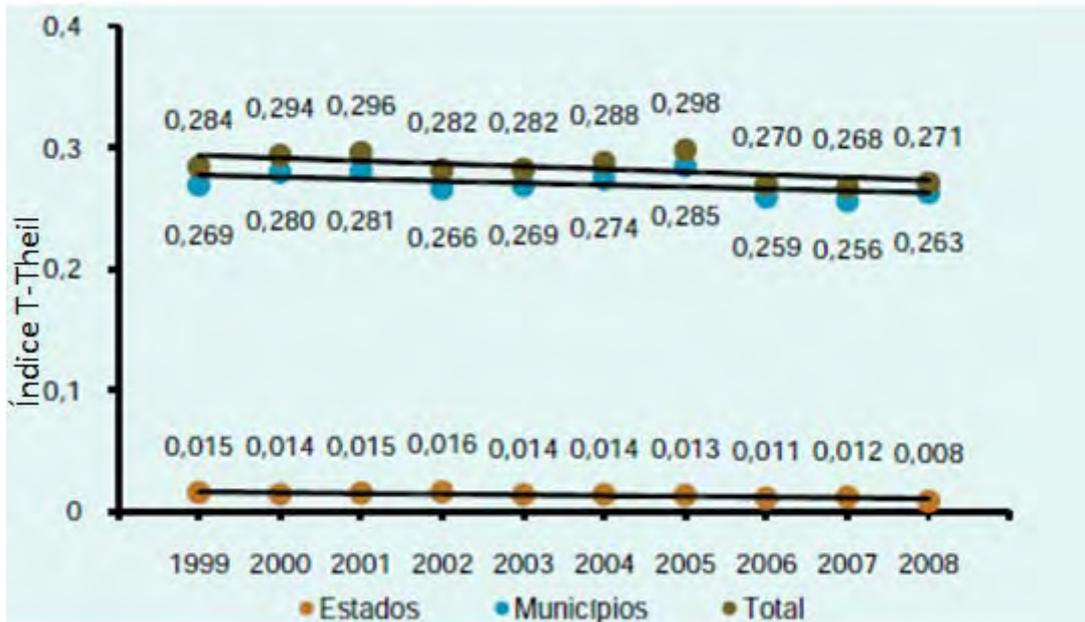


Figura 2.40 - Nordeste - Concentração Territorial da renda (T-Theil).

Fonte: BC, 2010

A desconcentração do PIB *per capita*, tanto entre os estados quanto entre os municípios, registrada na região Nordeste, mostradas na Figura 2.40 foi determinada, em especial, pelos crescimentos acima da média no Maranhão e abaixo da média nas regiões metropolitanas de Salvador, do Recife e de Fortaleza.

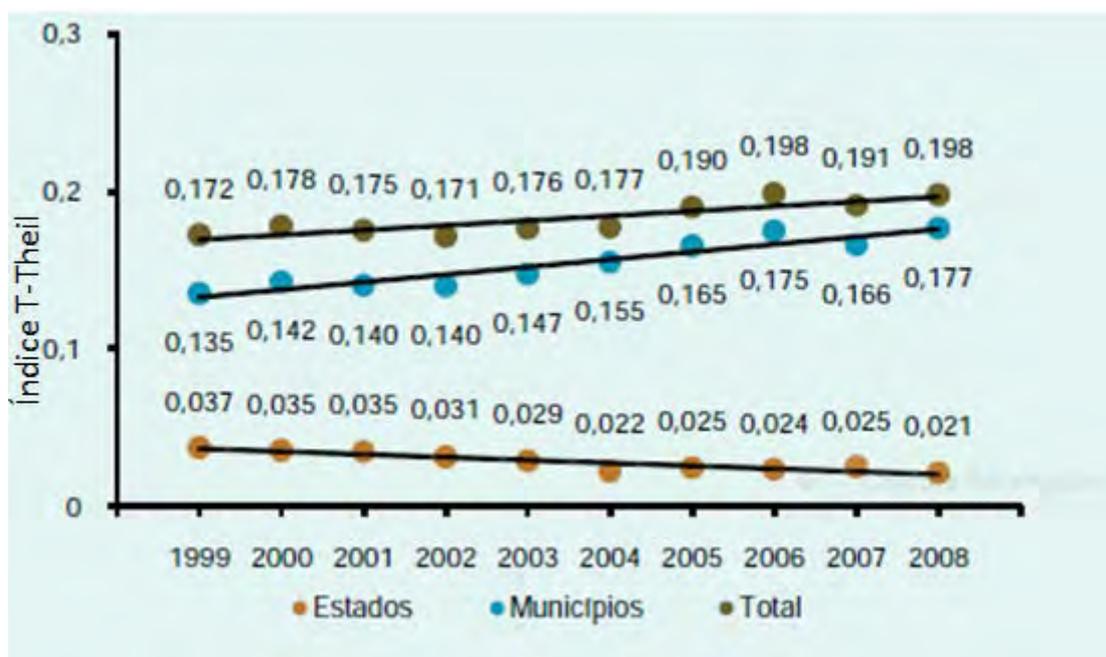


Figura 2.41 - Sudeste – Concentração Territorial da renda (T-Theil).

Fonte: BC, 2010

A Figura 2.41 mostra que na região sudeste ocorreu desconcentração territorial da renda entre os estados e concentração entre os municípios e na região. A desconcentração decorreu do crescimento acima da média em Minas Gerais e no Espírito Santo e abaixo da média no Rio de Janeiro e em São Paulo.

O aumento da concentração entre os municípios foi bastante disseminado, ainda que os crescimentos acima da média na Região Metropolitana de Belo Horizonte e da microrregião de Osasco possam ser ressaltados.

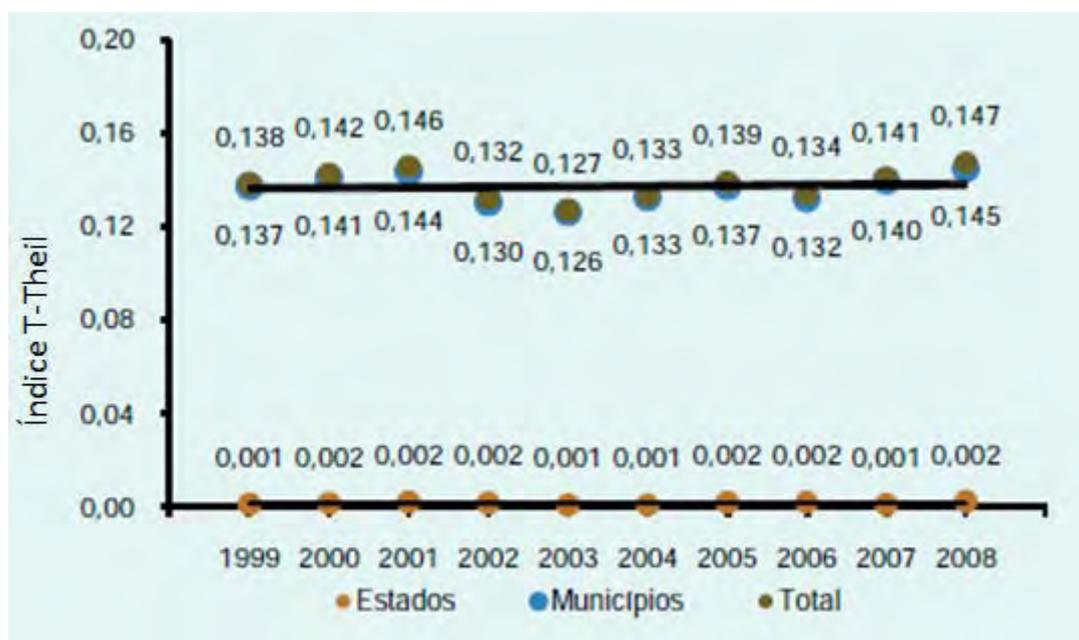


Figura 2.42 - Sul – Concentração Territorial da renda (T-Theil).

Fonte: BC, 2010

Os resultados para a região sul, mostrados na Figura 2.42 não indicam alterações significativas na concentração do PIB *per capita* da região, registrando-se crescimento abaixo da média nas regiões metropolitanas de Curitiba e de Porto Alegre e crescimento acima da média no vale do Itajaí e no norte Catarinense. Em todo o período, na distribuição da região sul, destaca-se a igualdade entre os estados.

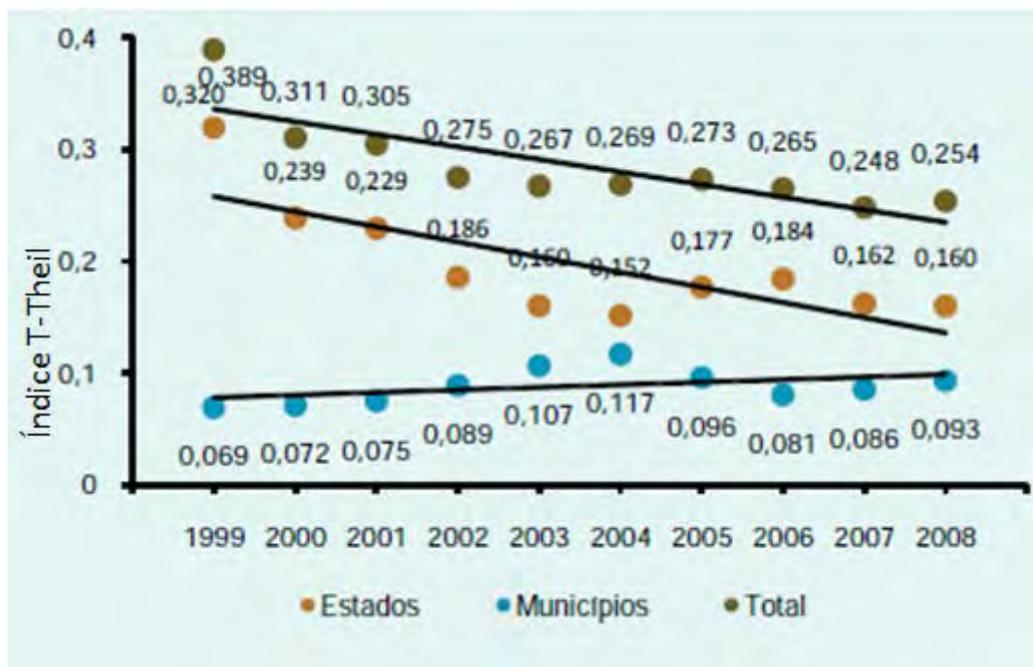


Figura 2.43 – Centro-Oeste – Concentração Territorial da renda (T-Theil).

Fonte: BC, 2010.

A região centro-oeste, mostrada na Figura 2.43, registra o processo mais acentuado de desconcentração, no período, ressaltando-se a contribuição do ritmo de crescimento do Distrito Federal, em patamar inferior à média regional. Apesar do aumento da concentração na esfera municipal, o efeito total que prevalece na região é de desconcentração.

De modo geral, excetuando-se o sudeste, o PIB *per capita* das grandes regiões metropolitanas, inclusive do Distrito Federal, cresceu abaixo da média regional no período considerado, como resultado da desconcentração espacial na geração de renda. Esse movimento foi estimulado, em especial, pelos aumentos reais do salário mínimo e das transferências, previdenciárias e assistenciais, que favoreceram principalmente os municípios mais pobres, bem como pelas elevações dos preços e do *quantum* exportado de importantes *commodities* agrícolas, principalmente soja e milho. No sudeste, as expansões de preço e *quantum* das *commodities* minerais, sobretudo minério de ferro e petróleo, contribuíram para o aumento da concentração territorial da renda.

Em escala nacional, a Figura 2.44 mostra a moderada desconcentração da renda, resultado do impacto mais acentuado da desconcentração nos níveis regional e estadual, em relação ao decorrente da concentração na esfera municipal.

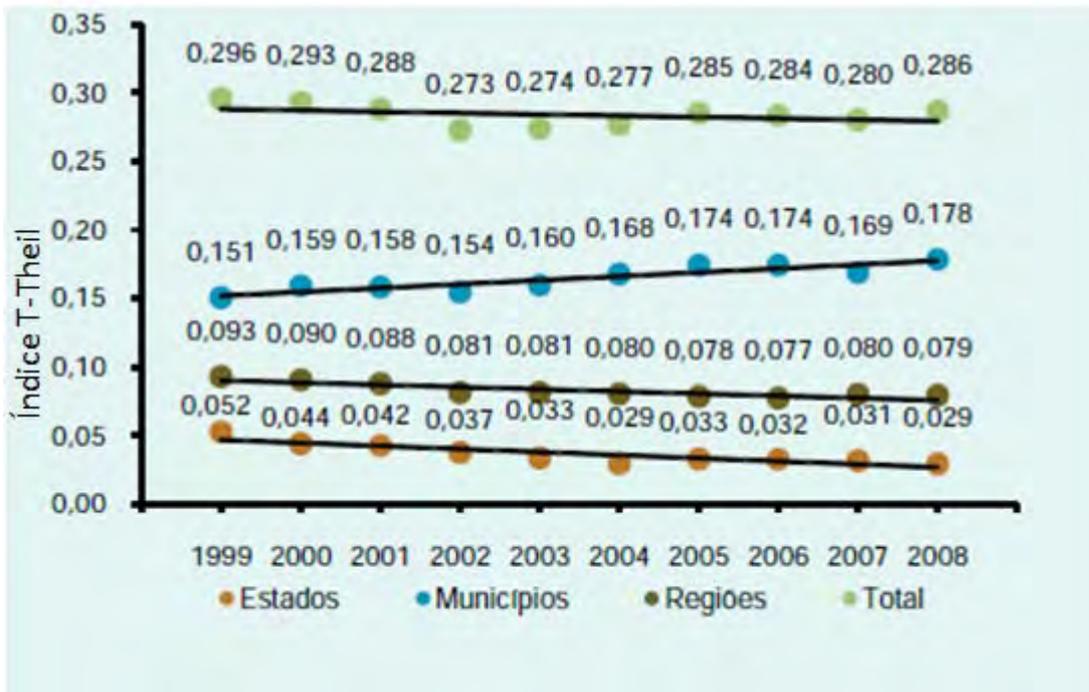


Figura 2.44 - Brasil – Concentração Territorial da renda (T-Theil).

Fonte: BC, 2010.

### 2.5.2 Índice de Desenvolvimento Humano - IDH

O IDH é uma medida resumida para avaliar o progresso a longo prazo em três dimensões básicas do desenvolvimento humano: uma vida longa e saudável, acesso ao conhecimento e um padrão decente de vida. Como no Relatório de Desenvolvimento Humano de 2010, uma vida longa e saudável é medida pela expectativa de vida; o acesso ao conhecimento é medido por: i) média de anos de educação de adultos, que é o número médio de anos de educação recebidos durante a vida por pessoas a partir de 25 anos; e ii) a expectativa de anos de escolaridade para crianças na idade de iniciar a vida escolar, que é o número total de anos de escolaridade que uma criança na idade de iniciar a vida escolar pode esperar receber se os padrões prevalecentes de taxas de matrículas específicas por idade permanecerem os mesmos durante a vida da criança; e o padrão de vida é medido pela Renda Nacional Bruta (RNB) *per capita*. Este índice pode influenciar na aplicação do modelo hierárquico, já que apresenta índices regionais diferentes.

O IDH varia de 0 a 1 (quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano) e mede as realizações em três dimensões básicas do

desenvolvimento humano. As três variáveis analisadas, dessa forma, são relacionadas à saúde, educação e renda.

O Índice de Desenvolvimento Humano do Brasil avançou de 0,715 em 2010 para 0,718 em 2011, e fez o país subir uma posição no ranking global do Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) deste ano. Com isso, o Brasil saiu da 85ª para a 84ª posição, permanecendo no grupo dos países de alto desenvolvimento humano. (PNUD,2012)

O Relatório de Desenvolvimento Humano 2011 apresenta valores e classificações do IDH para um número recorde de 187 países e territórios reconhecidos pela ONU. Um aumento significativo em relação aos 169 países incluídos no Índice de 2010, quando os indicadores-chave de muitos dos novos países analisados neste ano ainda estavam indisponíveis.

No ranking global do IDH 2010, o Brasil obteve a classificação 73, entre os 169 países. No entanto, é enganoso comparar valores e classificações do Relatório de desenvolvimento humano - RDH 2011 com os de relatórios publicados anteriormente. Isto porque, além da inclusão de 18 novos países e territórios, os dados e métodos sofreram ajustes e algumas mudanças.

Intitulado “Sustentabilidade e equidade: Um futuro melhor para todos”, o RDH 2011 mostra que o Brasil faz parte do seletto grupo de apenas 36 dos 187 países que subiram no ranking entre 2010 e 2011, seguindo os dados recalculados para a nova base deste ano. Os outros 151 permaneceram na mesma posição ou caíram. No caso brasileiro, esta evolução do IDH do ano passado para este ano contou com um impulso maior da dimensão saúde – medida pela expectativa de vida –, responsável por 40% da alta. As outras duas dimensões que compõem o IDH, educação e renda, responderam cada uma, por cerca de 30% desta evolução e que poderá influenciar na adoção de tecnologia adotada para a região, observando-se o índice relativo a educação ambiental.

A Figura 2.45 mostra o IDH no mundo, com uma maior concentração de IDH nos Países do OECD, etc.

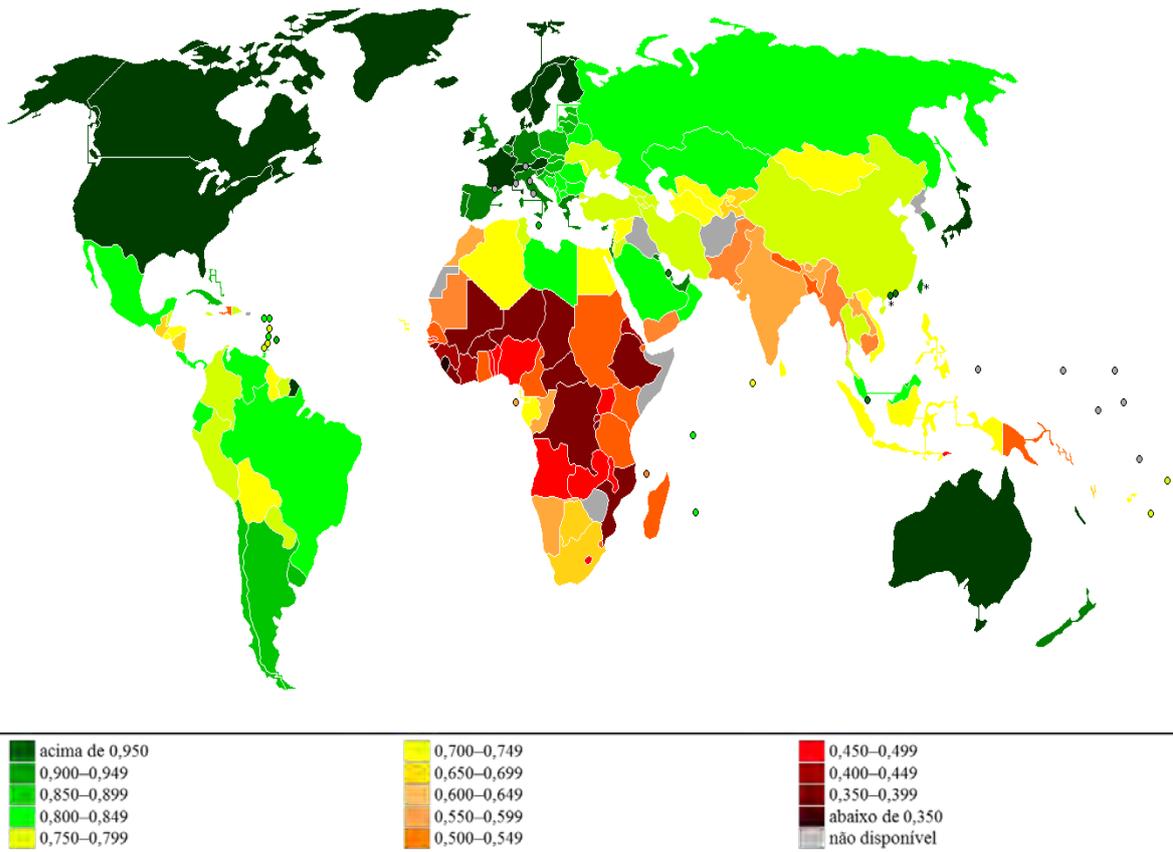


Figura 2.45- IDH por região geográfica no mundo.  
 Fonte: BC, 2010

A Figura 2.46 mostra que, segundo o IBGE (2010), o IDH no Brasil em 2000 era de 0,65 passando para 0,69 em 2010. Com esse resultado o país melhorou duas posições no ranking mundial, ocupando agora o 73º lugar.



Figura 2.46 - IDH no Brasil de 2000 a 2010.  
 Fonte: IBGE, 2010.

A Figura 2.47 mostra o IDH no Brasil, nas regiões geográficas nos anos de 2005 a 2007.

Discriminação	Ano		
	2005 <sup>1/</sup>	2006 <sup>2/</sup>	2007 <sup>2/</sup>
Brasil	0,794	0,803	0,816
Região Sul	0,829	0,837	0,850
Região Sudeste	0,824	0,835	0,847
Região Centro-Oeste	0,815	0,824	0,838
Região Norte	0,764	0,772	0,786
Região Nordeste	0,720	0,733	0,749

Figura 2.47 - IDH no Brasil, nas regiões geográficas nos anos de 2005 a 2007.

Fonte: Banco Central do Brasil, 2010.

A Figura 2.48 mostra o IDH por região geográfica, nas regiões geográficas nos anos de 1995 a 2007.

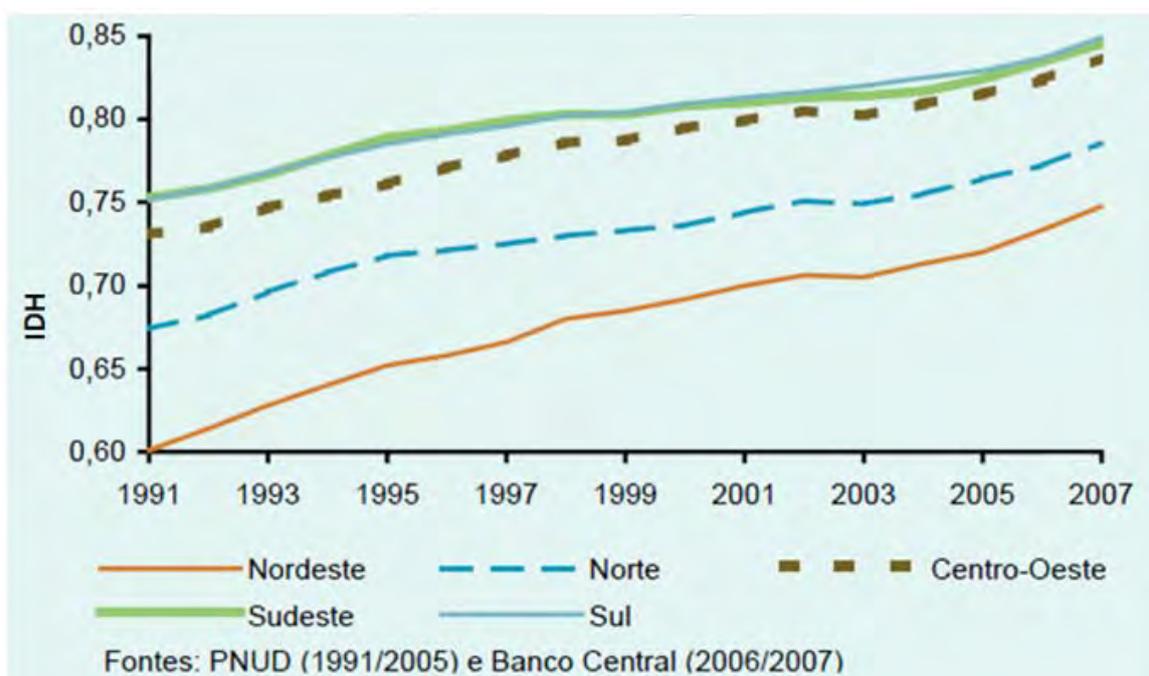


Figura 2.48 - IDH por região, de 1995 a 2007.

Fonte: BC, 2010

A Figura 2.49 mostra o IDH no Brasil com sua composição, nas regiões geográficas nos anos de 2005 a 2007.

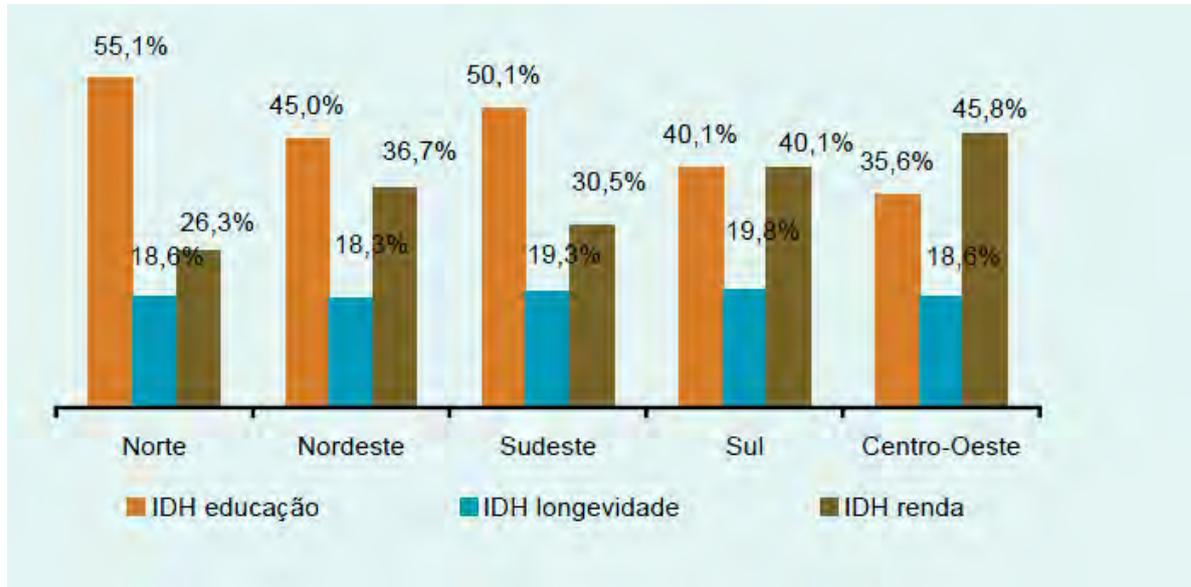


Figura 2.49 - IDH Regionais de 2005 a 2007.  
Fonte: BC, 2010.

### 2.5.3 Matriz energética no Brasil

Por estar intimamente ligada à produção econômica, a demanda por energia é um excelente termômetro da atividade econômica do país, o que evidencia a sua utilização para a escolha de alternativas tecnológicas de tratamento de RSU, pela qual se pode tirar proveito dos resíduos para geração de energia e calor e alavancar o crescimento econômico da região gerando empregos, recursos financeiros e acima de tudo atendendo a critérios ambientais vigentes na linha do desenvolvimento sustentável. A seguir será feita a relação da geração de energia elétrica no Brasil, sua capacidade instalada, seu consumo e demandas futuras de sua matriz energética para fins deste estudo.

#### 2.5.3.1 Matriz energética no Brasil

Matriz energética é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos, é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país

ou por uma região geográfica. A Figura 2.50 mostra algumas formas utilizadas de matriz energética.



Figura 2.50 - Matriz energética - formas utilizadas.

Fonte: EPE,2010.

De acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE(2010), o Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. As usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do País. Vale lembrar que a matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de Países industrializados, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento.

Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil em 2011 atinge 117.134,72 Megawatts (MW) provenientes de 2608 usinas hidrelétricas, termoelétricas, eólicas, nucleares e pequenas centrais hidrelétricas e centrais geradoras hidrelétricas, (Figura 2.51).

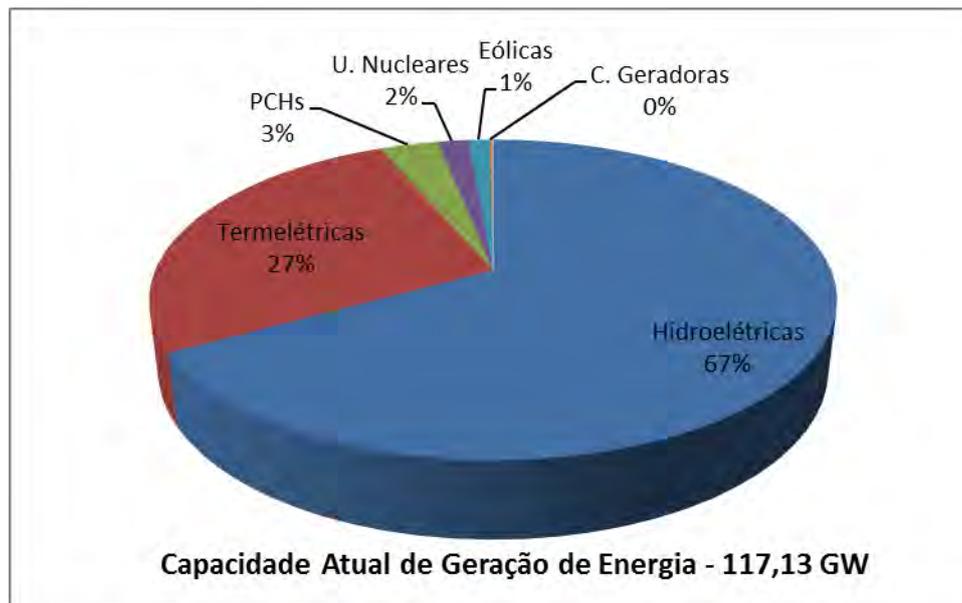


Figura 2.51 - Capacidade Atual de Geração de Energia.

Fonte: ANEEL,2010.

A ANEEL (2010), relata que a energia das hidrelétricas predomina e responde por 66,91 % da capacidade instalada do país, seguida das termelétricas com 26,67%, e, das pequenas centrais hidrelétricas com 3,3%. Compõe ainda a matriz energética do Brasil 1,71% provenientes da energia nuclear, 1,22% da energia eólica e 0,18% das centrais geradoras.

Segundo a ANEEL(2010), o Brasil possui 43 usinas com a seguinte distribuição regional de capacidade:

Norte = 5%, Nordeste=19%, Centro-Oeste =33%, Sudeste =18% e Sul =25%. Isso representa capacidade instalada suficiente de 3,6 bilhões de litros/ano.

O Brasil possui uma matriz de energia elétrica que conta com a participação de 77,1% da hidroeletricidade. Essa energia é proveniente de 140 usinas em operação, com perspectiva de aumento do uso dessa fonte. Ao longo dos últimos 30 anos, o País evitou a emissão de cerca de 800 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por meio do uso de etanol como substituto ou aditivo da gasolina.(ANEEL,2010).

A previsão do Plano Decenal de Energia é que o país terá 71 novas usinas até 2017, com potencial de geração de 29.000 MW, sendo 15 na bacia do Amazonas, 13 na bacia do Tocantins-Araguaia, 18 no rio Paraná e 8 no rio Uruguai. As 28 usinas hidrelétricas planejadas na região amazônica têm no seu conjunto, a capacidade instalada de 22.900 MW (EPE,2011).

Os dados da EPE mostram também que, para cada quilowatt-hora produzido no país, são emitidos 64 gramas de gás carbônico, enquanto a média mundial é de 500 gramas. Isso porque 88% da energia gerada no Brasil provêm de fontes renováveis como a hidreletricidade, a energia eólica e a biomassa.

Segundo a EPE(2010), cada brasileiro emite cerca de 1,8 tonelada de gás carbônico com a geração de energia elétrica, enquanto a média mundial é superior a 4 toneladas. Nos Estados Unidos, são produzidas 16,9 toneladas de gás carbônico por habitante na geração de energia. Para a produção de US\$ 1 de Produto Interno Bruto (PIB) é emitido 0,16 quilo de gás carbônico no Brasil, que é a metade da média mundial, de 0,33 quilo. Na Rússia, esse indicador é 0,73.

A Figura 2.52 mostra os custos de produção de energia elétrica no Brasil, onde observa-se que o custo maior é o da produção de energia elétrica através do óleo diesel seguida pela de óleo combustível, com custos de R\$ 491,61/MWh e R\$ 330,11/MWh respectivamente e os mais baixos são da produção de energia elétrica através da hidreletricidade, da PCH e de biomassa, com custos de R\$ 118,40/MWh, R\$ 116,55/MWh e R\$ 101,75/MWh. A energia eólica apresenta com custo de R\$ 197,95/MWh.

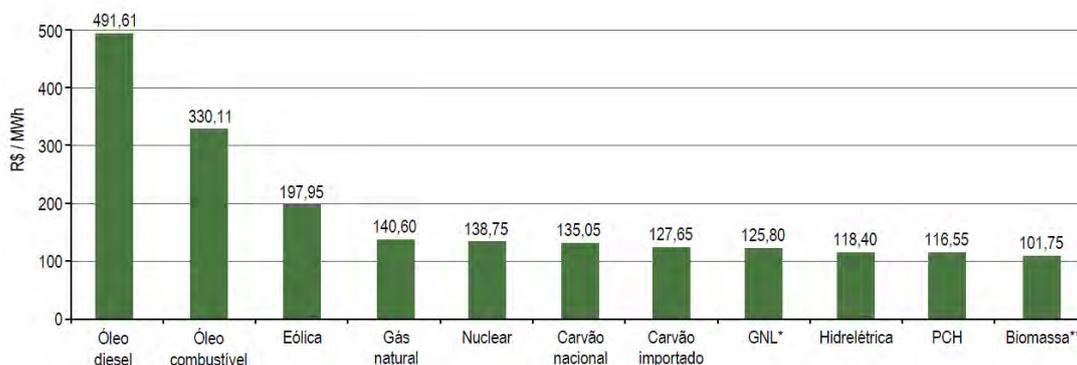


Figura 2.52 - Custos de produção de energia elétrica no Brasil.

Fonte: ANEEL, 2010.

A Figura 2.53 mostra a variação do consumo de energia elétrica e do PIB no Brasil onde observa-se que esta variação está intrinsecamente ligada, pois a sua variação em termos de comparações são semelhantes.

A economia mundial viveu um ciclo de vigorosa expansão, refletida pela variação crescente do PIB: 3,6% em 2003; 4,9% em 2004; 4,4% em 2005; 5% em 2006

e 4,9% em 2007 (Figura 2.52), segundo série histórica produzida pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (I). No mesmo período, a variação acumulada do consumo de energia foi de 13%, passando de 9.828 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) em 2003 para 11.099 milhões de tep em 2007, como pode ser observado no BP Statistical Review of World Energy, publicado em junho de 2008 pela BP Global (Beyond Petroleum, nova denominação da companhia British Petroleum).

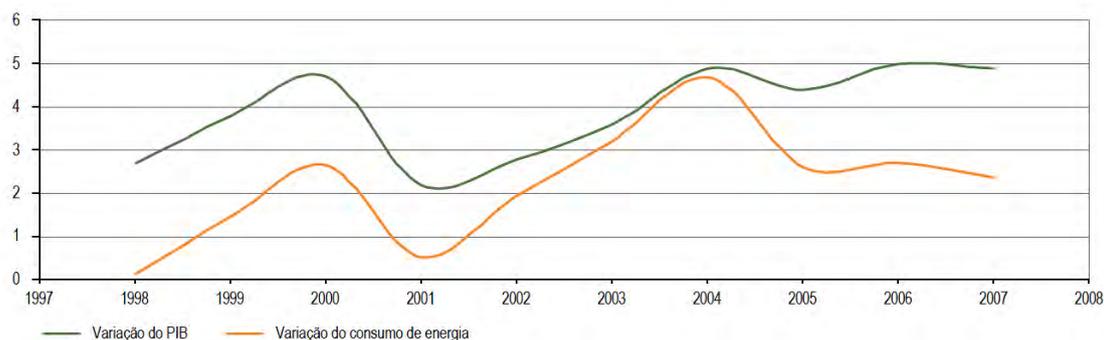


Figura 2.53 - Variação do PIB e a variação do consumo de energia no Brasil (1998-2007).

Fonte: ANEEL, 2008.

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica).

Essa inter-relação foi o principal motivo do acentuado crescimento no consumo mundial de energia verificado nos últimos anos.

A Figura 2.54 mostra que entre 1973 e 2006, a participação do carvão nos países da OCDE recuou de 10,1% para 3,5% do total de energia consumida. No petróleo, a queda foi de 56,6% para 51,8%. Ao mesmo tempo, o consumo de energia elétrica quase dobrou (11,4% para 20,3%) enquanto a posição das fontes renováveis e do grupo “Outras Fontes” (eólica e solar, entre outras) também apresentou um salto significativo, embora sua posição no *ranking* total continuasse pouco expressiva. As fontes renováveis (lideradas pela biomassa) apresentaram variação de 2,9% para 3,8% no período e o grupo “Outras Fontes”, de 0,8% para 1,9%. (EPE,2010)

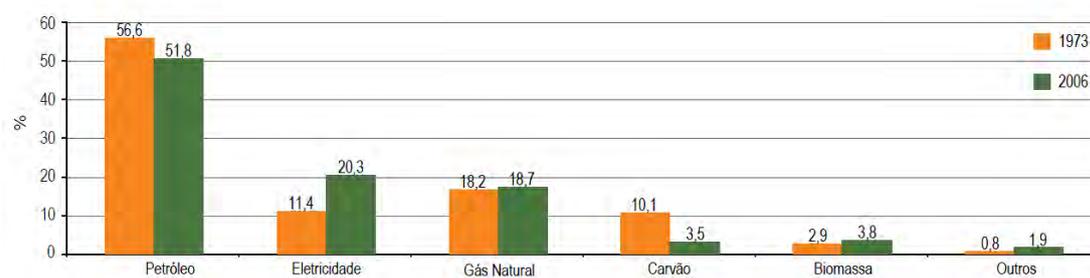


Figura 2.54 - Participação das diversas fontes de energia no consumo (1973 e 2006).

Fonte: ANEEL, 2008.

No Brasil, as diferenças regionais, principalmente relacionadas ao ritmo de atividade econômica – que, em alguns casos, provoca fluxos migratórios – e à disponibilidade da oferta de eletricidade também interferiram nos volumes de energia elétrica absorvidos no país. Assim, embora a região sudeste/centro-oeste, mais industrializada e com atividade agropecuária bastante ativa, continue a liderar o *ranking* dos consumidores, nas demais regiões a evolução do consumo tem sido bem mais acentuada. A Figura 2.55 mostra o consumo de energia elétrica por região, em 2007.

A série histórica produzida pelo Operador Nacional do Sistema - ONS, que de 1988 a 2007, conclui que o volume absorvido pela região sudeste/centro-oeste aumentou 83,71%. Na região Norte, porém, a variação foi de 184,51%, no Nordeste, de 130,79% e, no Sul, 128,53% (ANEEL, 2008).

O caso da região Norte mostra como a oferta local é um elemento importante no impulso ao consumo. Segundo a EPE(2010) a absorção de energia na região foi incrementada a partir dos anos 1970, em função de dois fatos marcantes: a criação da Zona Franca de Manaus e a entrada em operação da usina hidrelétrica Tucuruí, no Rio Tocantins, em fins de 1985, o que favoreceu a instalação de indústrias de alumínio na região. Em 1970, essa região consumiu 466 GWh (gigawatts-hora). Em 1990, 12.589 GWh. Em 2007, 30.455 GWh.

Já o caso do Nordeste é forte o impacto da geração de renda no consumo de energia elétrica. Em maio de 2008, a EPE detectou que, pela primeira vez, o volume de energia elétrica requerido pelas residências dessa região (que abriga 28% da população nacional) ultrapassou o da região sul (15% da população nacional).

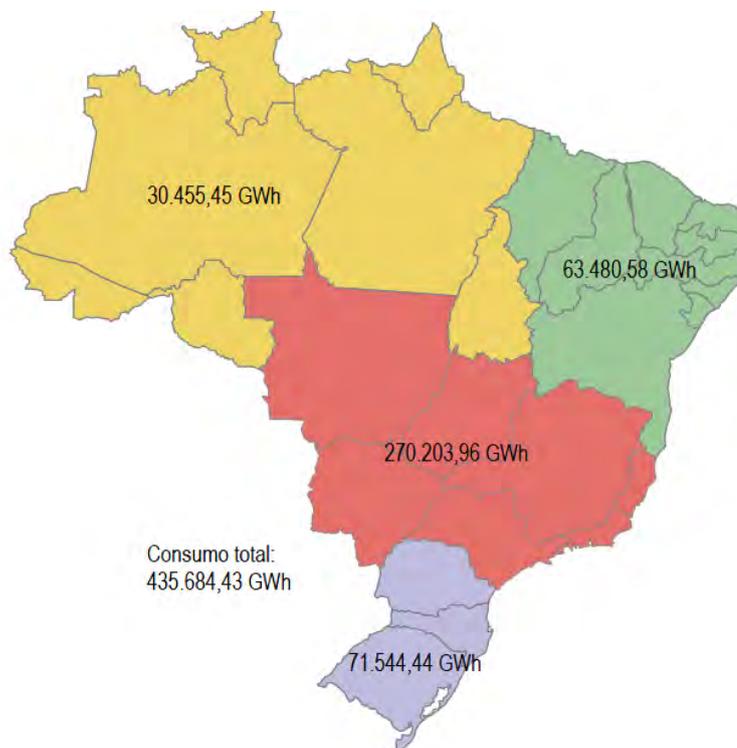


Figura 2.55 - Consumo de Energia Elétrica por região, em 2007.

Fonte: ANEEL, 2008.

Observa-se na Figura 2.56 que por setores, o industrial, como ocorre tradicionalmente, continuou a liderar o *ranking* dos maiores consumidores de energia elétrica, com a aplicação de 192.616 GWh em 2007. Este setor se caracteriza, também, por ser o principal abrigo de uma tendência que tem evoluído nos últimos anos: a autoprodução de energia, ou investimentos realizados por consumidores de grande porte em usinas geradoras para suprimento próprio e venda do excedente em mercado. Conforme série histórica constante do Boletim de Energia Nacional - BEN 2008, em 1992 essa atividade foi responsável pelo consumo de 13.020 GWh. Em 2007, por 47.138 GWh. Em 15 anos, a variação acumulada foi, portanto, de 262%.

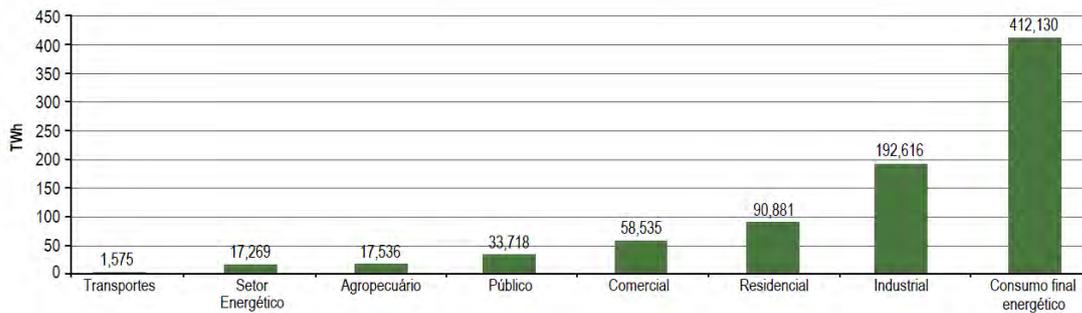


Figura 2.56 - Consumo de energia elétrica por setor no Brasil, em 2007.

Fonte: ANEEL, 2008.

As Figuras 2.57 e 2.58 apresentam os mapas do potencial hidrelétrico por bacia hidrográfica e a potência instalada por estado, no ano de 2008, respectivamente.



Figura 2.57 – Potencial Hidrelétrico por Bacia Hidrográfica – 2008.

Fonte: ANEEL, 2008.



Figura 2.58 - Potência instalada por Estado - 2008.

Fonte: ANEEL, 2008.

A bacia do Tocantins/Araguaia possui potencial de 28.000 MW, dos quais quase 2.200 MW já estão aproveitados pelas UHEs Serra da Mesa e Tucuruí. Do potencial a ser aproveitado 90%, porém, sofrem alguma restrição ambiental, mostrada na Figura 2.59.



Figura 2.59 - Usina Hidrelétrica de Tucuruí - PA.

Fonte: Eletronorte.

É na bacia do Amazonas, especificamente no rio Madeira, que estão localizadas as principais usinas planejadas para os próximos anos e incluídas no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal. Ambas são

classificadas como projetos estruturantes, considerados como iniciativas que proporcionam expansão da infraestrutura – no caso, a oferta de energia elétrica - no médio e longo prazo e, ao mesmo tempo, demonstram capacidade para estimular o desenvolvimento econômico, tecnológico e social.

Neste sentido evidencia-se o fato de ser a região Norte do Brasil a região com maior capacidade instalada de geração de energia com fontes diversificadas em estágio atual e também em estudos e planejamentos de futuras instalações de geração de energia.

## 2.6. MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO

O processo de decisão em um ambiente complexo normalmente envolve dados imprecisos e/ou incompletos, múltiplos critérios e vários agentes de decisão (GOMES E MOREIRA,1998). Além disso, os problemas de decisão, de modo geral, envolvem múltiplos objetivos, e estes, por sua vez, são conflitantes entre si. Desse modo, a contribuição para um deles implica quase sempre em prejuízo do outro.

A tomada de decisão, por conseguinte, deve buscar a opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas do “decisor” e as suas disponibilidades em adotá-la, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2003). Segundo Bana e Costa (1995) e Fernandes (1996), este é um sistema aberto composto pelos atores (*stakeholders*), seus valores e seus objetivos.

Os atores são identificados como “facilitadores” e “decisores” O papel do “facilitador” é esclarecer o processo de avaliação e/ou negociação inerente à tomada de decisões e construir um modelo que considere os pontos de vistas dos atores e seus juízos de valores (BANA E COSTA, 1993). Os “decisores” são aqueles a quem foi formalmente ou moralmente delegado o poder de decisão, podendo intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação (FERNANDES, 1996). Ou ainda, "*decisor é a pessoa que assume a culpa se a decisão gera um resultado desastroso*" (BANA E COSTA, 1992) e SOUZA (1999).

Assim, pode-se definir a tomada de decisão como um esforço para resolver o dilema dos objetivos conflitantes, cuja presença impede a existência da 'solução ótima' e conduz para a procura da 'solução de melhor acordo'. Nota-se, portanto, que a complexidade da tomada de decisão requer um tratamento qualificado e

justifica a utilização de métodos de apoio à decisão em diversas circunstâncias, como para aplicações em diversas áreas da engenharia: recursos hídricos, urbanismo, gestão de bacias hidrográficas, engenharia de transportes, e gestão de tratamento de resíduos sólidos.

A problemática da tomada de decisão nos dias atuais é caracterizada por um número crescente de alternativas e critérios conflitantes, posto que os decisores necessitem selecionar, ordenar, classificar ou ainda descrever com detalhes as alternativas a serem selecionadas, considerando múltiplos critérios.

Em função dessa complexidade, a metodologia Multicritério de Apoio à Decisão objetiva fornecer a quem necessita tomar uma decisão as ferramentas necessárias e suficientes para habilitá-lo nas soluções de problemas em que vários pontos de vista, até mesmo contraditórios, devem ser levados em consideração (ALMEIDA, 2009; ALMEIDA e COSTA, 2002).

Para esses autores, a problemática da decisão multicritério, pode ser modelada com o apoio de várias metodologias que avaliam e selecionam alternativas à luz de múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes.

Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para a solução de problemas que necessitem de vários critérios de avaliação.

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) surgiram com a finalidade não só de auxiliar o decisor a resolver problemas com objetivos conflitantes, mas também para dar suporte em todo o processo de decisão de forma que sejam claros todos os elementos da decisão e consequências das ações potenciais. Foi assim que, por volta da década de 1970, surgiram os primeiros métodos multicritério de apoio à decisão ou Multicriteria Decision Aid (MCDA), que utilizavam uma abordagem diferenciada para problemas com objetivos múltiplos. Sua metodologia possibilitava não só a visão multidimensional dos problemas, mas também incorporava procedimentos bem distintos.

Resolver um problema multicritério significa procurar não apenas a solução escondida, mas consiste em auxiliar o tomador de decisão a dominar os dados (em geral, complexos) e avançar para decisão final. Na literatura encontram-se vários problemas MCDA e suas aplicações estão estritamente relacionadas com a natureza das informações do problema. Vincke (1986) classifica os métodos multicritérios em três grupos: programação matemática multiobjetivo; teoria da utilidade multiatributo; e métodos de sobreclassificação (outranking methods).

O primeiro grupo busca encontrar a solução ótima para a função-objetivo. A solução para essa classe de problemas é, muitas vezes, difícil mas, mesmo assim, são inúmeras aplicações encontradas na literatura. Baltar e Cordeiro Netto (1998) explicam que, apesar de suas limitações, os métodos que utilizam os princípios de otimização matemática ainda são vastamente aplicados, em razão do seu rigor matemático e da sua formulação mais evidente.

A Teoria da Utilidade Multiatributo ou Multi-attribute Utility Theory (MAUT) faz parte de uma corrente chamada de Escola Americana, fundamentada nos princípios axiomáticos que provêm do trabalho de von Neuman e Morgensten. A teoria tem como princípio o conceito de agregação dos diferentes critérios em única função-utilidade que deve ser otimizada.

Conforme Keeney e Raiffa (1976), a utilidade apropriada é estabelecida para cada ação. A melhor ação consiste naquela em que se obtém a maior utilidade esperada. Os referidos autores formulam um procedimento axiomático a ser seguido para a elicitación da função utilidade multiatributo: apresentação da terminologia, identificação das condições de independência, desenvolvimento das funções de utilidade condicionais, determinação das constantes de escala, realização de testes de consistências.

O Analytic Hierarchy Process ou AHP foi um dos primeiros métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios, desenvolvido por Thomas L. Saaty durante a década de 1970. A formulação matemática do AHP alterou bastante desde a sua primeira versão. O método tem como propósito organizar os objetivos ou critério em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores e no nível inferior da hierarquia encontram-se as alternativas. As comparações entre elas são feitas par a par entre os elementos da hierarquia sejam as alternativas e os critérios de decisão. Os cálculos da metodologia são guiados pelo teorema da Álgebra Linear ou teorema de Perron-Frobenius (GOMES, 2007).

Os métodos são inspirados pela Escola Francesa ou Escola Europeia e utilizam as relações de sobreclassificação, superação ou outranking. Essas relações correspondem àquelas em que duas ações são incomparáveis: em situações de decisão pelas quais o decisor "não pode", "não sabe como" ou "não quer decidir".

Outra característica para os métodos multicriteriais diz respeito à análise de compensação entre os atributos. A teoria da utilidade multiatributo ou métodos considerados da Escola Americana, como o AHP, por exemplo, são considerados

compensatórios enquanto os métodos de superação ou da Escola Europeia são vistos como não compensatórios.

A diferença entre os métodos compensatórios e não compensatórios está relacionada com a comparação entre critérios. Para Yoon e Hwang (1995), a compensação questiona se as vantagens de um atributo podem ser ou não trocadas pelas desvantagens de outro. No caso em que o decisor deve optar por determinado critério em detrimento de outro, é necessário estabelecer uma relação de trade-off ou compensação.

Segundo Gomes (2007), os métodos da Escola Norte-Americana têm o propósito de agregar todas as informações por meio de uma síntese, no caso do MAUT. Essa síntese vem da função utilidade multiatributo; no AHP, a síntese resulta da sucessão de aplicações do teorema de Perron-Frobenius até a obtenção final dos pesos globais das diversas alternativas. Já os métodos da Escola Francesa agregam, por meio de conceitos de superação, todas as informações provenientes do agente de decisão sem efetuar uma só operação de síntese.

Há um crescente interesse pela aplicação das metodologias multicriteriais, de forma que atualmente se percebe, na literatura, uma variedade de métodos, entre os quais é possível citar além daqueles já mencionados: ANP (Analytic Network Process), TOPSIS (Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution), MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique), entre outros.

Destaca-se a classificação das metodologias com múltiplos critérios aquela estabelecida por Hajkowicz e Collins (2007) para área de planejamento de recursos hídricos. Os autores supracitados identificaram seis tipos de metodologias:

- funções valores multiatributo - tem o propósito de agregar as preferências do decisor em uma função valor e considera os pesos para cada atributo;
- métodos de sobreclassificação ou superação - abrangem métodos que fazem a comparação entre ações potenciais por meio de relações binárias, determinando a superação de uma alternativa em relação à outra. São exemplos desta família de métodos: ELECTRE e PROMETHEE;
- métodos que analisam a distância ideal - abordagens que identificam valores ideais e não ideais para os critérios de decisão. São exemplos desta classificação a Programação de Compromisso e o método TOPSIS;

- métodos de comparação entre pares - envolvem a comparação entre alternativas e critérios em pares. As comparações podem ser feitas para obter valores de pesos para os critérios. São exemplos dessas metodologias: AHP, ANP e MACBETH;
- Lógica Fuzzy, também conhecida como lógica difusa ou booleana - são modelos que trabalham com situações de incerteza em que admite valores lógicos intermediários entre o falso (0) e o verdadeiro (1); e
- Métodos baseados em série de Taylor - correspondem à criação de novos métodos AMD com base naqueles existentes, ou desenvolvem novos algoritmos em séries.

Observa-se diferença significativa comparada à concepção de Vincke (1986), na classificação de teorias e métodos que envolvem múltiplos critérios. A visão de Hajkowicz e Collins (2007) é interessante, pois mostra a análise multicritério no contexto de gerenciamento de recursos hídricos.

Em sequência, são apresentadas duas classes de métodos que fazem parte do escopo do modelo multicritério de priorização para a escolha de alternativas tecnológica de tratamento de resíduos: AHP e PROMETHEE.

Alguns métodos podem auxiliar no tratamento de informações imprecisas, entre os quais se destacam duas escolas: A Escola Americana com o método Analytic Hierarchy Process - AHP e a escola Francesa com o método *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* - PROMETHEE.

#### Escolha dos métodos

Dentre os métodos MDCA definiu-se os métodos da teoria da utilidade multiatributo e o método de sobreclassificação. Com relação ao da teoria da utilidade multiatributo adotou-se o AHP e o da sobreclassificação adotou-se o Promethee.

O método AHP pode ser utilizado para o processo decisório como suporte nas fases de concepção, em que os tomadores de decisão analisam os dados, determinam os porquês, refinam os critérios de avaliação e definem as alternativas, uma vez que permite comparar elementos de decisão quantitativos e qualitativos e, na fase de escolha, em que são avaliadas as alternativas, verificados o impacto dos fatores não quantificáveis e selecionada a alternativa mais adequada.

Já os métodos da família PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*), que objetivam, de acordo com Vincke (1992), construir

relações de sobreclassificação de valores em problemas de tomada de decisão. Estes métodos subsidiam a realização e a comparação de várias alternativas de decisão, a partir de critérios de sobreclassificação, no intuito de contribuir para a escolha da (s) melhor(es) alternativa(s) dentre aquelas que estão sendo consideradas. De acordo com Araújo e Almeida (2009), Brans, Vincke e Mareschal (1986) as principais características desse método são a simplicidade, a clareza e a estabilidade.

Dentre os métodos baseados na relação de sobreclassificação, decidiu-se então, selecionar o método PROMÉTHÉE II(V) para trabalhar este problema, cuja problemática é a ordenação das alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos em cada região geográfica, por sua vantagem em requerer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor como pelo analista. Esta informação adicional, a noção de critério generalizado, é introduzida com a finalidade de captar a amplitude das diferenças entre as avaliações de cada um dos critérios, enriquecendo a estrutura de preferência. Além do mais, é um método flexível, oferecendo dois graus de liberdade ao decisor: o primeiro é relativo à seleção do tipo de função de preferência e o segundo os limiares a definir (BRANS e MARESCHAL, 1994).

Outro aspecto que foi considerado na escolha do PROMÉTHÉE II(V) ao invés de outros métodos da Escola Francesa, como métodos da família ELECTRE, por exemplo, é o fato de que o método ELECTRE exige uma intensa interação entre os decisores e o analista, a fim de tornar clara a parametrização utilizada, além do que esses parâmetros do modelo (pesos, limiares etc.) devem representar o consenso do grupo por unanimidade ou pelo menos de uma grande maioria (LEVYA-LÓPEZ e FERNANDEZ-GONZÁLEZ, 2003).

Já com a utilização do método PROMÉTHÉE para tomada de decisão em grupo, os decisores impõem seus critérios individuais, os quais podem ser comuns aos outros decisores ou não, e os avaliam de acordo com seus próprios sistemas de valores, atribuindo pesos, escolhendo as funções de preferência e definindo os limiares, o que proporciona uma maior liberdade ao decisor em expor o seu ponto de vista. Assim, todos os decisores passam a ter uma melhor visão pessoal do problema e a partir daí, é realizada a agregação das preferências, gerando a decisão em grupo. Desse modo, o PROMÉTHÉE II(V) se apresentou mais adequado no contexto da aplicação do modelo, onde são considerados vários agentes decisores, cuja interação apresentava certa dificuldade.

De forma geral o PROMÉTHÉE é de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm um significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. Assim, o método propicia a modelagem de preferência de forma simples e de fácil compreensão, usando um paradigma diferente de outras abordagens que agregavam critérios por meio de uma função aditiva. Além disso, os métodos de sobreclassificação não admitem a compensação ilimitada de largas desvantagens e levam em conta o fato que pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas nem sempre são significantes (VINCKE, 1992).

### 2.6.1 Especificidades Do Método AHP

O AHP foi desenvolvido na Wharton School of Business por Thomas A. Saaty (SAATY, 1980). Esta ferramenta permite aos tomadores de decisão modelarem problemas complexos numa estrutura hierárquica, mostrando as relações entre metas, objetivos (critérios), sub-objetivos e alternativas.

Roper, Lowe e Sharp (1990) destacam duas características que diferenciam o AHP de outros enfoques para a tomada de decisão. Uma delas é a capacidade para tratar com atributos tangíveis e intangíveis. O outro é a capacidade para monitorar a consistência com a qual os tomadores de decisão fazem seus julgamentos.

O método de análise hierárquica, o AHP decompõe e sintetiza as relações entre os critérios até que seja obtida a priorização dos seus indicadores, aproximando-se da melhor resposta de medição única de desempenho. A ideia central deste método é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares. A utilidade do método está relacionada ao processo de tomada de decisões, minimizando suas falhas (SAATY, 1991). Saaty (1991) explica que a determinação dos pesos para os critérios em relação ao objetivo é hierarquizar as alternativas A, B, C..., reduz-se a uma sequência de comparação por pares entre as alternativas. O benefício do método AHP é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode auxiliar nos aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

Sob a ótica do processo decisório, Freitas *et al.*, (1997), argumentam que o método AHP pode ser utilizado como suporte nas fases de concepção, em que os tomadores de decisão analisam os dados, determinam os porquês, refinam os critérios de avaliação e definem as alternativas, uma vez que permite comparar elementos de

decisão quantitativos e qualitativos e, na fase de escolha, em que são avaliadas as alternativas, verificados o impacto dos fatores não quantificáveis e selecionada a alternativa mais adequada.

Para Becker (1997), a natureza de problemas de multicritérios soma-se aos processos de priorização, pois envolvem conflitos de escolhas significativos, o que requer atribuição de pesos para cada critério, como o utilizado pelo AHP.

Grandzol (2005) afirma que, por reconhecer que participantes podem estar incertos ou fazer julgamentos imprecisos em algumas comparações, o método de Saaty envolve comparações redundantes para melhorar a validade destas comparações. O referido autor adverte que a tolerância de inconsistências não é uma limitação, mas um retrato da realidade.

O Decision Support Systems Glossary (DSS, 2006), define AHP como "uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha em um padrão hierárquico".

No método AHP, surgem duas questões a serem levadas em consideração na estrutura hierárquica dos sistemas (SAATY, 1991).

1 - Como estruturar hierarquicamente as funções de um sistema?

2 - Como medir impactos de cada elemento na hierarquia?

No método AHP, um problema é estruturado como hierarquia e, posteriormente, sofre um processo de priorização. A priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade (SAATY, 1991).

Para elaborar uma hierarquia, Saaty (1994) fornece sugestões como:

- identificar o problema geral. Qual a questão principal?
- identificar os sub objetivos do objetivo geral;
- identificar os critérios que devem ser satisfeitos para satisfazer os sub objetivos do objetivo geral;
- identificar os subcritérios abaixo de cada critério. Vale ressaltar que critérios e sub- critérios podem ser especificados em termos de faixas de valores de parâmetros ou em termos de intensidades como alta, média, baixa;

- identificar os atores envolvidos;
- identificar os objetivos dos atores (stakeholders);
- identificar opções e resultados;
- para decisões sim-não, tomar o resultado mais preferível e comparar os benefícios e custos de tomar decisão com os de não se tomar à decisão;
- realizar uma análise de custo-benefício usando valores marginais.
- determinar uma alternativa em função de critérios e subcritérios bem definidos.

Entretanto, como se trata de hierarquia de dominância, deve ser perguntado qual das alternativas gera o melhor benefício, que alternativa é mais custosa e, para riscos, qual alternativa é mais arriscada. Uma hierarquia bem construída será um bom modelo da realidade, podendo trazer vantagens.

Para Saaty (1994), há dois meios de sintetizar as prioridades locais das alternativas, usando prioridades globais dos critérios: o modo distributivo e o modo ideal. No distributivo, os pesos das alternativas somam 1 e, é adotado quando há dependência entre as alternativas e uma prioridade unitária é distribuída entre elas, ou seja, quando o objetivo é escolher uma alternativa que é melhor em relação a outras.

Grandzol (2005) descreve que, por meio de comparações aos pares, em cada nível da hierarquia baseadas na escala de prioridades do AHP, os pesquisadores auferem pesos relativos, chamados de prioridades, para diferenciar a importância dos critérios. Este autor exemplifica que o modo distributivo é apropriado para alocação proporcional de um benefício. Traduzindo numericamente, o exemplo do autor, três alternativas com relação de dependência A, B e C teriam prioridades como  $A=0,2$ ,  $B=0,5$  e  $C=0,3$ , que totalizam 1.0.

O método AHP atende aos critérios de processo de tomada de decisão, separa um problema em subproblemas e depois agrega as soluções dos subproblemas em uma solução geral. Facilita a tomada de decisão ao organizar percepções, sentimentos, julgamentos e memórias em uma estrutura que exhibe as forças influentes na decisão e que gera um resultado numérico e conclusivo.

Este método pode ser aplicado em diversas áreas, como exemplos podem ser citados: a aplicação no planejamento de recursos hídricos (ZUFFO, 2002), ao

auxílio à decisão para a adoção de políticas de compras por empresa do ramo automobilístico (SALOMON, 2002) e na avaliação de impactos ambientais (LUCENA, 2004).

### 2.6.2 Especificidades do Promethee

O PROMETHEE (BRANS, 1986 e BEYNON e WELL, 2006) é um método de apoio a decisão que provê uma ordenação das alternativas e, para tanto, pode ser utilizado nesta pesquisa.

Este método pode construir relações de sobreclassificação de valores em problemas de tomada de decisão.

Os métodos de sobreclassificação têm origem na escola francesa. A relação de sobreclassificação é definida como uma relação binária em que o decisor tem argumentos suficientes para afirmar que, no mínimo, uma alternativa é tão boa quanto à outra, e não há uma razão essencial para refutar este estado (ROY, 1968 e BASTOS e ALMEIDA, 2002).

A intensidade de preferência é determinada em todos os critérios para cada par de alternativas. A partir das intensidades de preferência e dos pesos atribuídos a cada um dos critérios pelos decisores, é então calculado o índice de preferência. O índice de preferência é um parâmetro que mede a intensidade de preferência de uma alternativa sobre outra levando em consideração todos os critérios. (SILVA e MORAIS, 2008 e BRANS e VINCKE 1985).

De acordo com Almeida e Costa (2002) o método Promethee se diferencia dos outros da Escola Francesa nos tipos de critérios utilizados. Podem-se empregar seis tipos de funções para descrever os critérios avaliados na implementação do método. Cada tipo de critério é caracterizado por uma função que busca representar a preferência do decisor. A Função de Preferência  $P_j(a_i, a_k)$  que descreve cada critério assume valores entre 0 e 1.

O ponto de partida deste método é uma matriz de avaliação de alternativas em relação aos critérios. Para cada critério  $j$ , deve ser definida uma função de preferência  $P_j$ , que assume valores entre 0 e 1. A função de preferência representa a forma como a preferência do decisor aumenta com a diferença de desempenho entre

alternativas para um dado critério,  $[g_j(a) - g_j(b)]$ , onde  $g_j(a)$  representa o desempenho da alternativa  $a$  no critério  $j$  (BRANS e VINCKE, 1985).

Segundo Brans, Marechal (1986), o PROMETHEE sugere seis (06) formas diferentes para a função de preferência: Função critério usual - (Tipo I) Função critério forma U, Função critério forma V, Função critério com níveis, Função critério linear, Função critério gaussiano.

Brans e Vincke (1985), citam que a intensidade de preferência é determinada em todos os critérios para cada par de alternativas. A partir das intensidades de preferência e dos pesos atribuídos a cada um dos critérios pelos decisores, é então calculado o índice de preferência.

O índice de preferência é um parâmetro que mede a intensidade de preferência de uma alternativa sobre outra levando em consideração todos os critérios.

O índice de preferência define uma relação de preferência valorada que pode ser utilizada na ordenação de alternativas. Depois de calculado o índice de preferência são calculados o fluxo positivo de sobreclassificação,  $Q^+(a)$ , e o fluxo negativo de sobreclassificação,  $Q^-(a)$  (BELTON, STEWART, 2002).

O fluxo positivo representa a intensidade de preferência de uma alternativa sobre todas as outras (BELTON, STEWART, 2002), ou seja, o quanto uma alternativa sobre classifica as demais. Quanto maior  $Q^+(a)$ , melhor a alternativa.

O fluxo negativo representa a intensidade de preferência de todas as alternativas sobre uma determinada alternativa (BELTON, STEWART, 2002), ou seja, o quanto uma determinada alternativa é sobre classificada pelas demais. Quanto menor  $Q^-(a)$ , melhor a alternativa.

No PROMETHEE II, uma pré-ordem completa das alternativas é derivada de um fluxo líquido calculado para cada alternativa. O fluxo líquido é dado pela diferença entre o fluxo positivo e o fluxo negativo (BELTON, STEWART, 2002).

Uma alternativa **a** irá sobre classificar uma alternativa **b** se o fluxo líquido da primeira for maior que o fluxo líquido da última, ou seja,  $Q(a) > Q(b)$ . Uma alternativa **a** será indiferente a uma alternativa **b** se seus fluxos líquidos forem iguais, ou seja,  $Q(a)=Q(b)$  (BELTON, STEWART, 2002).

A partir da informação dos fluxos líquidos, obtêm-se os rankings de cada decisor, ordenando as alternativas de acordo com a ordem decrescente dos respectivos fluxos líquidos.

### 2.6.3 Uso em outros Países

Estes dois métodos de apoio a decisão tem várias utilizações em diversas áreas da engenharia, em diversos países da Europa, Estados Unidos e Brasil. Segundo a Bibliografia do visual Promethee, que relaciona todos os trabalhos publicados sobre o método, até julho de 2012, existiam 408 artigos trabalhos escritos, incluindo artigos, dissertações, teses e papers específicos. Com relação ao AHP até junho de 2012 existiam mais de 1280 trabalhos escritos nas mais diversas áreas, tais como: finanças, economia, meio ambiente, recursos hídricos, urbanização, petróleo e gás, dentre outras.(PROMETHEE, 2012 e AHP, 2012)

### 2.6.4 A utilização dos métodos no Brasil

No Brasil, a utilização do método AHP se dá em várias áreas da engenharia a exemplo de: meio ambiente, recursos hídricos, economia, educação, saúde, gestão de bacias hidrográficas, entre outras.

Com relação ao Promethee este pode ser aplicado em diversas áreas, onde foram elaborados 217 trabalhos acadêmicos e mais de 100 artigos nas áreas com temas de Gestão Ambiental, Hidrologia e Gestão da Água, Negócios e Gestão Financeira, Química, Logística e Transporte, Fabricação e Montagem, Gestão de Energia, Gestão de Resíduos e na Área Social. Os trabalhos acadêmicos também englobam a utilização do PROMETHEE aplicada com GAIA. Dentre os trabalhos publicados pode-se citar: análise tecnológica de alternativas pós-tratamento de reatores anaeróbios: resultados de avaliação multi objetivos (SOUSA e NETTO, 2001), indicadores de sustentabilidade ambiental na indústria da mineração (MACEDO, 2008), o uso do Promethee II para priorizar alternativas da bacia hidrográfica: estudo de caso (MORAES e SILVA, 2008) e modelo de apoio a decisão multicritério para priorização de projetos de saneamento (CAMPOS, 2011).

## Capítulo 3 – MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia de pesquisa, incluindo o planejamento da pesquisa, as etapas metodológicas, o modelo hierárquico com a definição técnica das tecnologias de tratamento de resíduos e dos critérios e subcritérios, a modelagem de preferência e por fim a síntese da pesquisa.

### 3.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

O planejamento de uma pesquisa depende basicamente de três fases: a fase decisória referente à escolha do tema, definição e delimitação do problema de pesquisa; a fase construtiva, referente à constituição de um plano de pesquisa e consiste na execução da pesquisa propriamente dita; e, por último, a fase redacional, consistente na análise dos dados e informações obtidas na fase construtiva em que ocorre a organização das ideias de forma sistematizada, visando à elaboração do relatório final (SILVA e MENEZES, 2001).

O Fluxograma 3.1 mostra a descrição e a organização das etapas, referentes ao planejamento do modelo de priorização para as alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Esse fluxograma é composto por seis atividades, que vão desde o tema com a identificação do problema até os resultados.

Uma vez entendida a importância e utilidade do tema, elaborou-se um projeto de pesquisa cuja finalidade é aplicar a metodologia multicritério de apoio à decisão para resolver a questão de pesquisa: sugerir as alternativas tecnológicas mais adequadas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos de forma a atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos e seu Plano Nacional de Resíduos de forma eficiente?

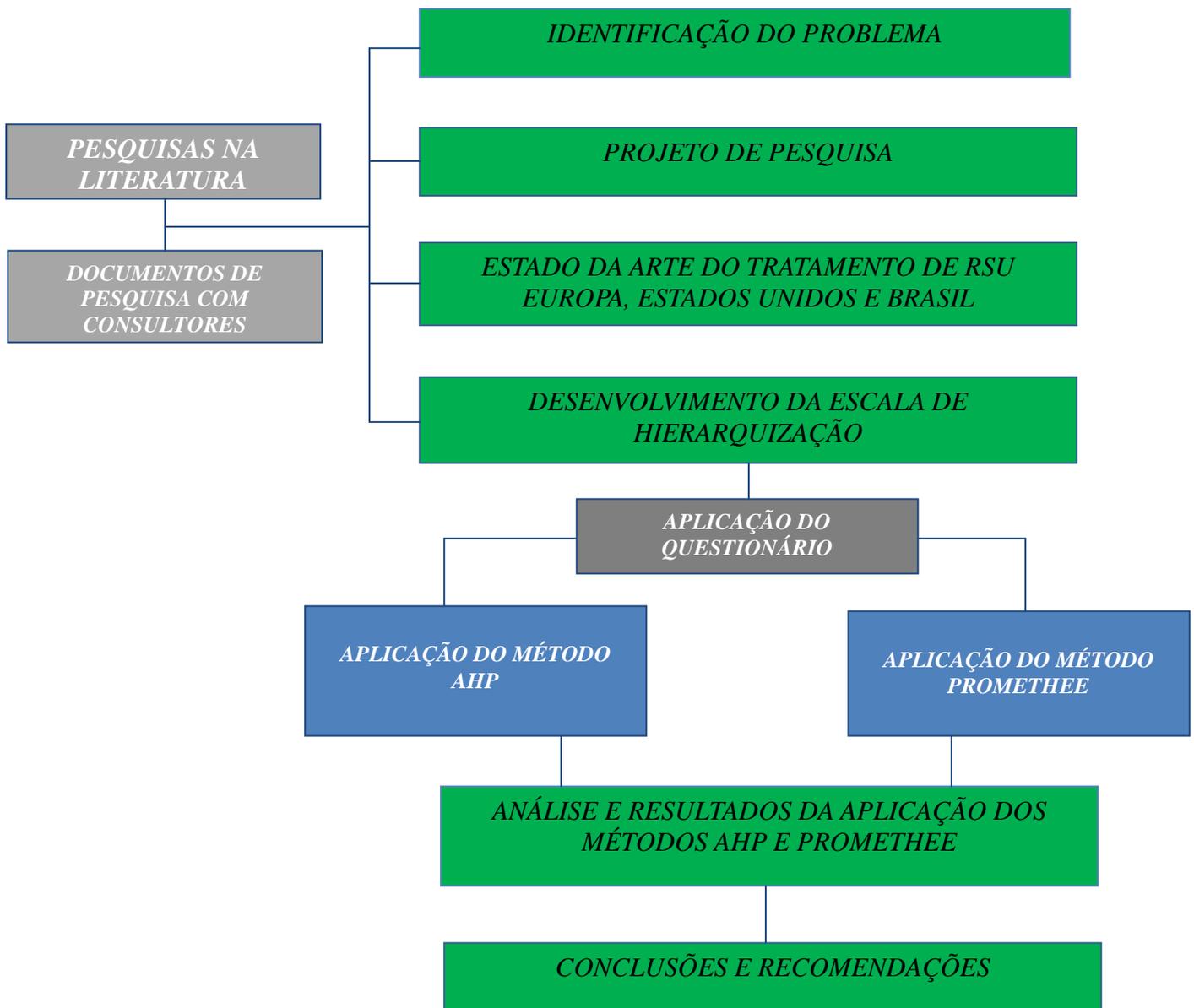


Figura 3.1 - Fluxograma de desenvolvimento da Pesquisa.

### 3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, que visou avaliar e propor as alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, nas cinco regiões do Brasil, a metodologia de trabalho foi concebida em seis etapas, a saber:

A Figura 3.2 mostra o resumo dessas etapas metodológicas, com os critérios ambientais, sociais, econômicos e políticos adotados nesta pesquisa para a hierarquização das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento do RSU.

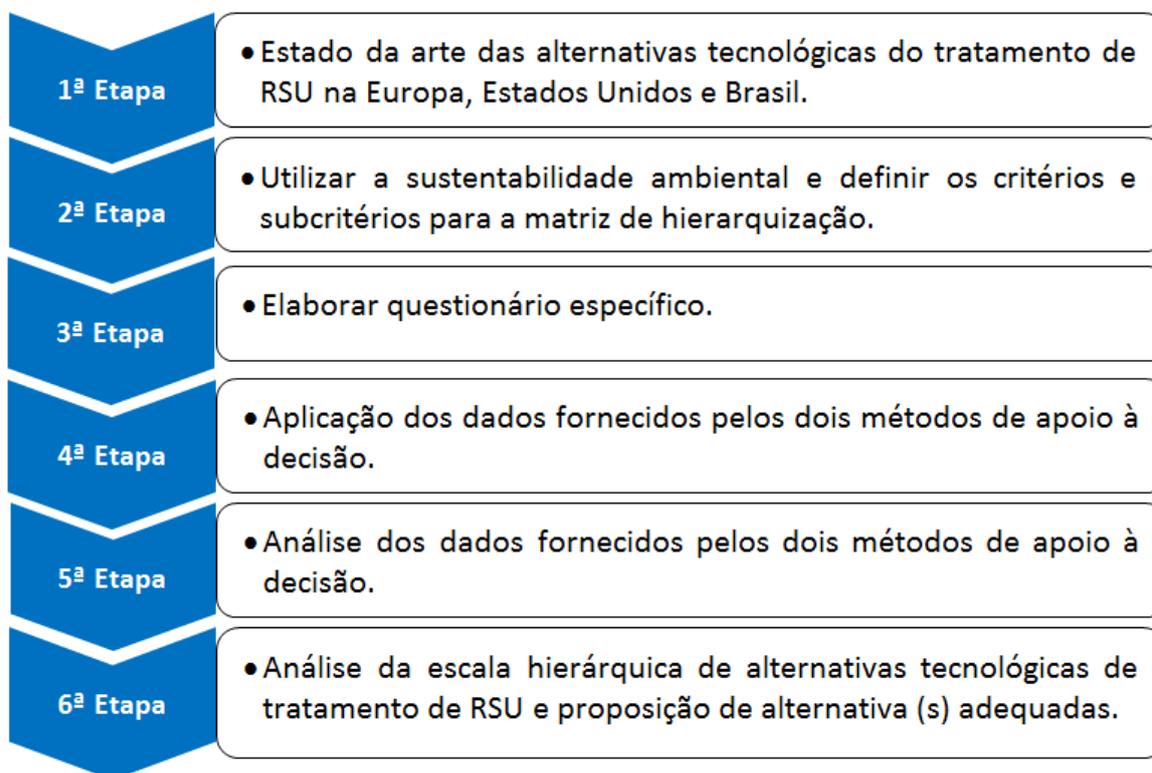


Figura 3.2 - Esquema das Etapas Metodológicas.

Para uma melhor compreensão da pesquisa, apresenta-se a sequência de desenvolvimento em cada Etapa:

### 3.2.1 Primeira Etapa

Nesta etapa, para a identificação das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares em cada região do Brasil, foi realizada uma extensiva revisão da literatura, com pesquisas sobre a existência destas tecnologias, em Países da Europa e Estados Unidos, o que possibilitou a identificação da situação atual - estado da arte referente às tecnologias atualmente adotadas para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares. Portanto, a partir das informações levantadas, foi possível identificar o estado da arte das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos domiciliares; o prazo médio para a

implantação da tecnologia; o custo total do investimento; o custo médio de implantação da tecnologia; o custo de operação e manutenção da tecnologia; o custo de encerramento da tecnologia, o custo de pós-monitoramento da tecnologia, o Produto Interno Bruto (PIB) local/regional, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o número de geração de emprego da tecnologia.

### 3.2.2 Segunda Etapa

Esta etapa consistiu da proposição de critérios gerais para a seleção hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, utilizando-se os dois métodos de avaliação contemplando desde a mais adequada até a menos adequada. Nesta pesquisa, optou-se por utilizar um método de hierarquização da Escola Americana e outro método de hierarquização da Escola Europeia, no caso o AHP e o PROMETHEE.

Para a proposição dos critérios gerais para a seleção hierárquica das alternativas para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, foram considerados os fatores ambientais, em relação à minimização dos possíveis riscos e impactos ambientais ao ambiente natural da tecnologia; os fatores sociais, que levam em consideração a geração de emprego por tecnologia e o PIB e IDH local/regional, os fatores econômicos que levam em consideração a relação do custo total de investimento, o custo de operação e manutenção e o custo de encerramento e o custo de pós-monitoramento, além do tempo médio de implantação da tecnologia para a adoção de cada alternativa à realidade econômico-financeira atual da região ou município e os fatores políticos que levam em consideração o retorno político e a aceitabilidade pública da tecnologia e a adoção de soluções consorciadas.

### 3.2.3 Terceira Etapa

Nesta Etapa foram elaborados e aplicados os questionários desenvolvidos para o fim da pesquisa onde foram submetidos, a cada participante convidado de cada região geográfica do Brasil, com o preenchimento dos critérios e subcritérios adotados em função de cada tecnologia de tratamento de resíduos domésticos.

O envio dos questionários aconteceu em duas etapas: O processo de envio foi o processo de envio eletrônico com um tempo médio de preenchimento de no

máximo 10 minutos para cada etapa. A Figura 3.3 mostra o questionário específico elaborado para uso de dados qualitativos para o modelo Promethee. A Figura 3.4 mostra o Questionário utilizado para os dados qualitativos dos dois métodos e utilizado para dados quantitativos do método Promethee submetido aos convidados.

PROJETO DE PESQUISA – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – CTG

TESE DE DOUTORADO – JOSE DANTAS DE LIMA

DENTRE OS CRITÉRIOS APRESENTADOS ABAIXO, NA COMPARAÇÃO PAR A PAR ENTRE ELES, QUAL VOCÊ CONSIDERA MAIS IMPORTANTE E COM QUE GRAU DE IMPORTÂNCIA:

**Exemplo:** Se considerar o critério ECONÔMICO, 5 (cinco) vezes mais importante que o AMBIENTAL, marque o quadro desta maneira, apenas clicando dentro do quadrado.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ECONÔMICO					

PORTANTO, PARA A SUA REGIÃO GEOGRÁFICA, EFETUE A ESCOLHA DO GRAU DE IMPORTÂNCIA ENTRE OS CRITÉRIOS ABAIXO, INDICANDO COM "X"

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	SOCIAL								
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	ECONÔMICO								
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	POLÍTICO								
SOCIAL	<input type="checkbox"/>	ECONÔMICO								
SOCIAL	<input type="checkbox"/>	POLÍTICO								
ECONÔMICO	<input type="checkbox"/>	POLÍTICO								

DE ACORDO COM O CRITÉRIO **AMBIENTAL**, CLASSIFIQUE OS SUBCRITÉRIOS PAR A PAR, MARCANDO NOS ESPAÇOS O VALOR REFERENTE AO GRAU DE IMPORTÂNCIA QUE UM TEM A MAIS QUE O OUTRO:

**Exemplo:** Se considerar o segundo item 5 (cinco) vezes mais importante que o primeiro, marque o quadro desta maneira, apenas clicando dentro do quadrado.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Poluentes emitidos à atmosfera					

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Poluentes emitidos à atmosfera								

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Quantidade. de resíduo p/ disposição. final								

## ETAPA II

PARA RESPONDER ESTA ETAPA, CONSIDERAR OS PRECEITOS DA LEI 12.305/2010 – POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SEU PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, VIGENTES.

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

CONSIDERANDO QUE NA SUA REGIÃO GEOGRÁFICA HOJE EXISTAM AS SEGUINTE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:

RECICLAGEM; COMPOSTAGEM, ATERRO SANITÁRIO E ATERRO SANITARIO COM GERAÇÃO DE ENERGIA.

CONSIDERE TAMBÉM QUE EXISTA A POSSIBILIDADE TÉCNICA DE TER AS SEGUINTE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS: DIGESTÃO ANAERÓBIA (D.A), INCINERAÇÃO COM GERAÇÃO DE ENERGIA/CALOR (W.T.E), TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO(T.M.B.).

CASO NECESSÁRIO, VEJA O LINK [conceitosobrealternativastecnologicasdetratamentoderesiduos](#), QUE DEFINE CADA UMA DESTAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

NA SUA REGIÃO GEOGRÁFICA E DE ACORDO COM AS ATUAIS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES LISTADOS ACIMA, EM SUA OPINIÃO É POSSIVEL TER OS SEGUINTE ARRANJIOS TECNOLÓGICOS: ESCOLHER APENAS 03(TRÊS) DESTES ARRANJOS TECNOLÓGICOS:

1 – RECICLAGEM + COMPOSTAGEM + ATERRO SANITÁRIO ( )      2 – RECICLAGEM + COMPOSTAGEM + ATERRO SANITÁRIO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ( )

3 - RECICLAGEM + DIGESTÃO ANAERÓBIA + ATERRO SANITÁRIO ( )      4 – RECICLAGEM + DIGESTÃO ANAERÓBIA + ATERRO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ( )

5 – RECICLAGEM + M.B.T + ATERRO SANITÁRIO ( )      6 - RECICLAGEM + M.B.T + ATERRO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ( )

7 – RECICLAGEM + M.B.T + INCINERAÇÃO WTE + ATERRO SANITÁRIO ( )      8 – RECICLAGEM + D.A + INCINERACAO WTE + ATERRO COM GER. ENERGIA ( )

9 – RECICLAGEM + TRIAGEM + ATERRO SANITÁRIO ( )

EXISTE POSSIBILIDADE TECNICA DE TER OUTRO ARRANJO TECNOLÓGICO NA SUA REGIÃO GEOGRÁFICA ? CASO AFIRMATIVO, DESCREVER A SEGUIR:

ESTE ARRANJO DEVE SER CONSIDERADO ENTRE AS TRÊS ALTERNATIVAS ESCOLHIDAS. ( ) SIM ( ) NÃO

Comentários e sugestões:


JOSÉ DANTAS DE LIMA – PESQUISADOR GRS

Figura 3.3 - Questionário específico para uso de dados qualitativos para o modelo Promethee.

**ANÁLISE QUALITATIVA - TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE RSU**

PREZADO CONVIDADO, SOLICITO O PREENCHIMENTO DA PLANILHA, COM A UTILIZAÇÃO DE VALORES EM % ( 0 A 100%) DENTRO DE CADA QUADRO, QUE RELACIONA O CRITÉRIO/SUBCRITÉRIO COM A TECNOLOGIA. AO FINAL DA PLANILHA TEM AS PERGUNTAS A SEREM RESPONDIDAS PARA CADA PREENCHIMENTO.

									TESE DANTAS
CRITÉRIOS/ SUBCRITÉRIOS	% REDUÇÃO VOLUME RSU POS-TRAT	POLUENTES EMITIDOS A ATM	QTE RSU P/DF POS TRAT	USO DE ENERGIA RENOVAVEL	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	AREA UTIL TECNOLOGIA	RETORNO POLÍTICO POLÍTICO	SOLUÇÃO O CONSORCIADA	ACEITAÇÃO PÚBLICA
TECNOLOGIAS	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	(%)	POLÍTICO(%)	POLÍTICO(%)
RECICLAGEM									
COMPOSTAGEM									
DIG. ANAERÓBIA									
TMB									
INCINERAÇÃO GE									
INCINERAÇÃO COM GE(CHP)									
ATERRO SANITÁRIO GE									
ATERRO SANITÁRIO									

ORIENTAÇÕES:	% RED VOLUME - QUANTO A TECNOLOGIA REDUZ DE VOLUME PÓS TRATAMENTO ( 0 A 100%) COSNIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS	<b>TMB -TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO</b>					
CRITERIOS AMBIENTAIS	POLUENTES EMIT ATM - QUANTIDADE EMITIDA A ATM DA TECNOLOGIA (0 A 100%) CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS	INCINERAÇÃO - GERAÇÃO DE ENERGIA					
	QTE RSU PARA DEST. FINAL POS TRATAMENTO POR TECNOLOGIA (0 A 100%) CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS	INCINERAÇÃO GE - GERAÇÃO DE ENERGIA CHP - CICLO COMBINADO(ENERGIA+CALOR)					
	USO DE ENERGIA RENOVAVEL - A TECNOLOGIA PODE SER USADA ENERGIA RENOVÁVEL ( 0 A 100%) IDEM						
	DENSIDADE DEMOGRAFICA - A TECNOLOGIA PODE SER INSTALADA EM AREAS DENSAMENTE POVOADAS (0 A 100%) IDEM						
	AREA UTIL DA TECNOLOGIA - QUAL A ÁREA UTIL DA TECNOLOGIA EM HÁ (0 A 100%) IDEM						
CRITÉRIOS POLÍTICOS	ACEITABILIDADE PÚBLICA - A SOCIEDADE ACEITA FACILMENTE ESTA TECNOLOGIA ( 0 A 100%)						
	SOLUCAO CONSORCIADA - A TECNOLOGIA FAVORECE A ADOCAO DE CONSORCIOS PUBLICOS ( 0 A 100%)						
	RETORNO POLÍTICO - A TECNOLOGIA TRAS RETORNO POLÍTICO QUANDO BEM INSTALADA ( 0 A 100%)						

Figura 3.4 - Questionário utilizado para os dados qualitativos do modelo Promethee.

Com relação aos critérios cada participante convidado preencheu com apenas um X, as comparações par a par entre cada critério em uma escala numérica de 1 a 9. Após esta fase também foram comparados os subcritérios par a par e marcados também a sua escala numérica. Também foi preenchido pelos convidados análise qualitativa entre os critérios ambientais e seus subcritérios e os políticos e seus subcritérios para uso no modelo de apoio a decisão Promethee.

Ainda, nesta etapa, foi solicitada de cada participante convidado a escolha 03(três) arranjos tecnológicos dentre os arranjos de alternativas tecnológicas apresentados no questionário.

Estes arranjos permitiram a análise e a comparação par a par de cada subcritério em relação às tecnologias de tratamento de RSU.

Com esses questionários preenchidos os dados foram, então, sistematizados para cada método de apoio á decisão e realizadas as análises qualitativas, para as indicações das possíveis alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos domésticos para cada região geográfica do Brasil.

A seguir serão calculados pesos aos critérios propostos pelos participantes convidados, para cada alternativa tecnológica disponível para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares. Portanto, para definir a hierarquização das tecnologias, foi aplicado o método de análise multicritério - AHP (Processo Analítico Hierárquico) (SAATY, 1991) e o método Promethee II (V). O Primeiro método de avaliação multicritério é da escola Americana e o segundo método de avaliação da escola Francesa e que são justificados pela escolha dos locais estudados na primeira etapa e pelo uso dos mesmos nas diversas áreas da ciência. Estes métodos foram utilizados para propor uma forma de avaliação hierárquica das tecnologias disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares pela relevância das tecnologias e para o sucesso da Pesquisa.

Nesta Pesquisa, foi utilizado para os dois métodos 04(quatro) dimensões,: ambientais, sociais, econômicas e políticas e 17(dezessete) indicadores ou subcritérios para avaliar a alternativa tecnológica mais adequada a cada região do Brasil. Também foi utilizado no modelo hierárquico análise qualitativa e análise quantitativa entre critérios e subcritérios.

O desafio da pesquisa foi a de compatibilizar o mesmo questionário com os critérios e subcritérios que atendam aos dois métodos de apoio a decisão, o que foi feito aplicando-se neste caso, a escala numérica com pesos de 1 a 9 para as ações e

critérios no método Promethee, para análise qualitativa, onde após determinar-se a ordem de preferência tem os arranjos que representam as alternativas tecnológicas.

A Tabela 3.3, no final do capítulo, mostra a compatibilidade entre os dois métodos pela sua hierarquização.

A definição dos pesos ( $w_j$ ) para os ( $n$ ) critérios presentes na análise do problema de decisão em estudo pode ser visualizada na Tabela 3.1. A atribuição de pesos aos critérios adotados no estudo foi igual para cada atributo.

Tabela 3.1 - Matriz de Pesos e Critérios.

<b>Critérios</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>cj</b>	<b>Cn</b>
<b>Pesos</b>	W1	W2	W3	wj	Wn

De posse desta sequência metodológica se escolhe qual a matriz de preferência para o modelo de hierarquização.

#### 3.2.4 Quarta Etapa

Esta etapa consolidou a importância desta pesquisa visando à tomada de decisões. Neste ponto, foi definida uma escala hierárquica das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, da mais adequada para a menos adequada, a partir da somatória dos pesos auferidos a cada critério de seleção para cada alternativa (Tabela x Resultado Final da Matriz Peso (W) - Hierarquização das Alternativas Tecnológicas Disponíveis para o Tratamento dos Resíduos Sólidos Domiciliares). Nesta Etapa foram aplicados os dados dos dois modelos de apoio a decisão para a escala hierárquica adotada.

#### 3.2.5 Quinta Etapa

Nesta Etapa os dados aplicados aos dois modelos de apoio à decisão foram analisados em cada região do Brasil, realizadas as análises de sensibilidade aos dois modelos mediante cálculo do índice de inconsistência dos modelos e os ajustes necessários a cada região geográfica.

### 3.2.6 Sexta Etapa

Nesta etapa, analisou-se a escala hierárquica de cada alternativa tecnológica indicada para cada uma das regiões e foi proposto as possíveis alternativas tecnológicas realizando-se uma análise qualitativa sobre a gestão destas tecnologias.

A Figura 3.5 mostra os critérios definidos e os subcritérios além das alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos domésticos, com seus níveis hierárquicos.



Figura 3.5 - Hierarquia de critérios e subcritérios.

Gandolla, *et al.* (2011) afirmam que a experiência atual mostra que a geração de energia torna-se rentável em instalações com capacidades de processamento acima de 300 t/dia, ou seja, que operem com 8t/h ou 8.000 h/ano e sempre com no mínimo 02 linhas, pois tecnicamente uma linha deve ser parada 90 dias por ano para manutenção. Abaixo desta capacidade a energia é normalmente aproveitada apenas para uso da própria planta, o que tornaria o custo da operação inviável financeiramente, pois uma das principais receitas para a sustentabilidade de uma usina de tratamento é a geração de energia para venda. E muito acima da capacidade de 300 t/dia (até 1.000 t/dia) de resíduo a ser tratado também se torna interessante a sua viabilidade e acima de 2000 t/dia se torna inconveniente em função do custo do investimento, do controle da

operação e do número de caminhões por dia em direção à usina, o que torna difícil a mobilidade dos veículos. Assim a capacidade instalada deve ser bem concebida quanto ao seu planejamento e utilização no município com estudos específicos e detalhados.

Para o método AHP utiliza-se do Software Expert Choice, amplamente usado para esta metodologia de hierarquização para escolha de decisão da alternativa adequada de tratamento de resíduos.

Neste trabalho o procedimento de tomada de decisões está ligado à avaliação das alternativas tecnológicas disponíveis para o tratamento dos resíduos sólidos domiciliares, todas satisfazendo um conjunto de critérios pretendidos. Entretanto, a dificuldade esteve relacionada à escolha da alternativa que melhor satisfizesse o conjunto total de critérios. Portanto, com este objetivo em mente, a abordagem adotada foi calcular pesos numéricos para alternativas tecnológicas de tratamento dos resíduos sólidos domiciliares em relação aos critérios. Assim, o meio para estruturar logicamente as tecnologias na tomada de decisão foi a hierarquização das tecnologias.

Para o método Promethee utiliza-se do Software Visual Promethee, amplamente usado para esta metodologia de hierarquização para escolha de decisão da alternativa adequada, como é o caso da escolha de alternativas para tratamento de resíduos.

Na Tabela 3.2, mostra a modelagem de preferência utilizada para o Promethee II.

A Tabela 3.3, mostra a distribuição dos critérios e subcritérios utilizados para os dois métodos de hierarquização.

Tabela 3.2 - Modelagem de Preferência Promethee.

Subcritérios	Sigla	MIN/ MAX	Peso (variação)
Percentual de Redução de Volume de RSU Pós-Tratamento	AMB1	MIN	
Poluentes Emitidos à Atmosfera	AMB2	MIN	
Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento	AMB3	MIN	
Uso de Energia Renovável	AMB4	MAX	
Densidade Demográfica	AMB5	MAX	
Área Útil da Tecnologia	AMB6	MAX	
Número de Empregos Gerados	SOC1	MIN	
PIB Local/Regional	SOC2 (PIB)	MAX	
IDH Local/Regional	SOC3 (IDH)	MIN	
Custo Total de Investimento da Tecnologia	ECO1	MIN	
Custo de Manutenção e Operação da Tecnologia	ECO2	MIN	
Tempo Médio de Implantação da Tecnologia	ECO3	MIN	
Custo de Encerramento da Tecnologia	ECO4	MIN	
Custo de Pós-Monitoramento	ECO5	MIN	
Retorno Político	POL1	MAX	
Aceitabilidade da Tecnologia	POL2	MAX	
Adoção de Solução Consorciada	POL3	MAX	

O significado destas siglas estão descritas no item 3.3.

Tabela 3.3 – Compatibilidade entre modelos: critérios x subcritérios.

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	UNID	ATERRO SANITARIO	ATERRO SAN GER ENERGIA	RECICLAGEM	COMPOSTAGEM	D.A	T.M.B	INCINERACAO	INCINERAÇÃO COM WTE
<b>AMBIENTAIS AMB01</b>	Percentual de redução de RSU pós-tratamento	Escala Numérica								
<b>AMBIENTAIS AMB02</b>	Poluentes emitidos a atmosfera	Escala Numérica								
<b>AMBIENTAIS AMB03</b>	Quantidade de RSURSU para destinação final pós-tratam.	Escala Numérica								
<b>AMBIENTAIS AMB04</b>	Uso de energia renovável	Escala Numérica								
<b>AMBIENTAIS AMB05</b>	Densidade Demográfica	Escala Numérica								
<b>AMBIENTAIS AMB06</b>	Área Útil da Tecnologia	Escala Numérica								
<b>SOCIAIS SOC01</b>	Número de Empregos gerados por tecnologia	Escala Numérica								
<b>SOCIAIS SOC02</b>	PIB local/regional	Escala Num.								
<b>SOCIAIS SOC03</b>	IDH local/regional	Escala Num.								
<b>ECONÔMICOS ECO01</b>	Custo total de investimento da tecnologia	Escala Numérica								
<b>ECONÔMICOS ECO02</b>	Custo de manutenção/operação da tecnologia	Escala Numérica								
<b>ECONÔMICOS ECO03</b>	Tempo médio de implantação da tecnologia	Escala Numérica								
<b>ECONÔMICOS ECO04</b>	Custo médio de encerramento da tecnologia	Escala Numérica								
<b>ECONÔMICOS ECO05</b>	Custo de pós-monitoramento da tecnol.	Escala Numérica								
<b>POLÍTICOS POL01</b>	Retorno Político	Escala Numérica								
<b>POLÍTICOS POL02</b>	Aceitabilidade pública da tecnologia	Escala Numérica								
<b>POLÍTICOS POL03</b>	Adoção de solução consorciada	Escala Numérica								

No entanto, para melhor entendimento, é apresentada a estrutura hierárquica dos modelos e a definição técnica de cada critério e subcritério utilizados nesses modelos. Em seguida, se apresenta a matriz de avaliação e a modelagem de preferência dos modelos de apoio a decisão.

### 3.3 MODELO HIERÁRQUICO

O modelo hierárquico adotado, foi utilizado para os dois modelos de apoio à decisão e consiste em: definição do problema (alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos), definição dos critérios (ambientais, sociais, econômicos e políticos) e a definição dos subcritérios, quais sejam:

AMB01 – Percentual de redução de RSU pós-tratamento

AMB02 – Poluentes emitidos à atmosfera

AMB03 – Quantidade de RSU que vai para destinação final pós-tratamento

AMB04 – Uso de energia renovável na tecnologia

AMB05 – Densidade demográfica

AMB06 – Área útil da tecnologia

SOC01 – Número de empregos gerados pela tecnologia

SOC02 – PIB Local/regional

SOC03 – IDH Local/regional

ECO01 – Custo total de investimento na tecnologia

ECO02 – Custo de operação e manutenção da tecnologia

ECO03 – Tempo médio de implantação da tecnologia

ECO04 – Custo médio de encerramento da tecnologia

ECO05 – Custo de pós-monitoramento da tecnologia

POL01 – Retorno político

POL02 – Aceitabilidade pública da tecnologia

POL03 – Adoção de solução consorciada

As Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 mostram a hierarquia para todas as regiões do Brasil, onde pode-se observar os critérios adotados, cada subcritério relativo ao critério e as alternativas tecnológicas relativas aos subcritérios e critérios.

A figura 3.6 mostra os critérios e subcritérios ambientais para as regiões.

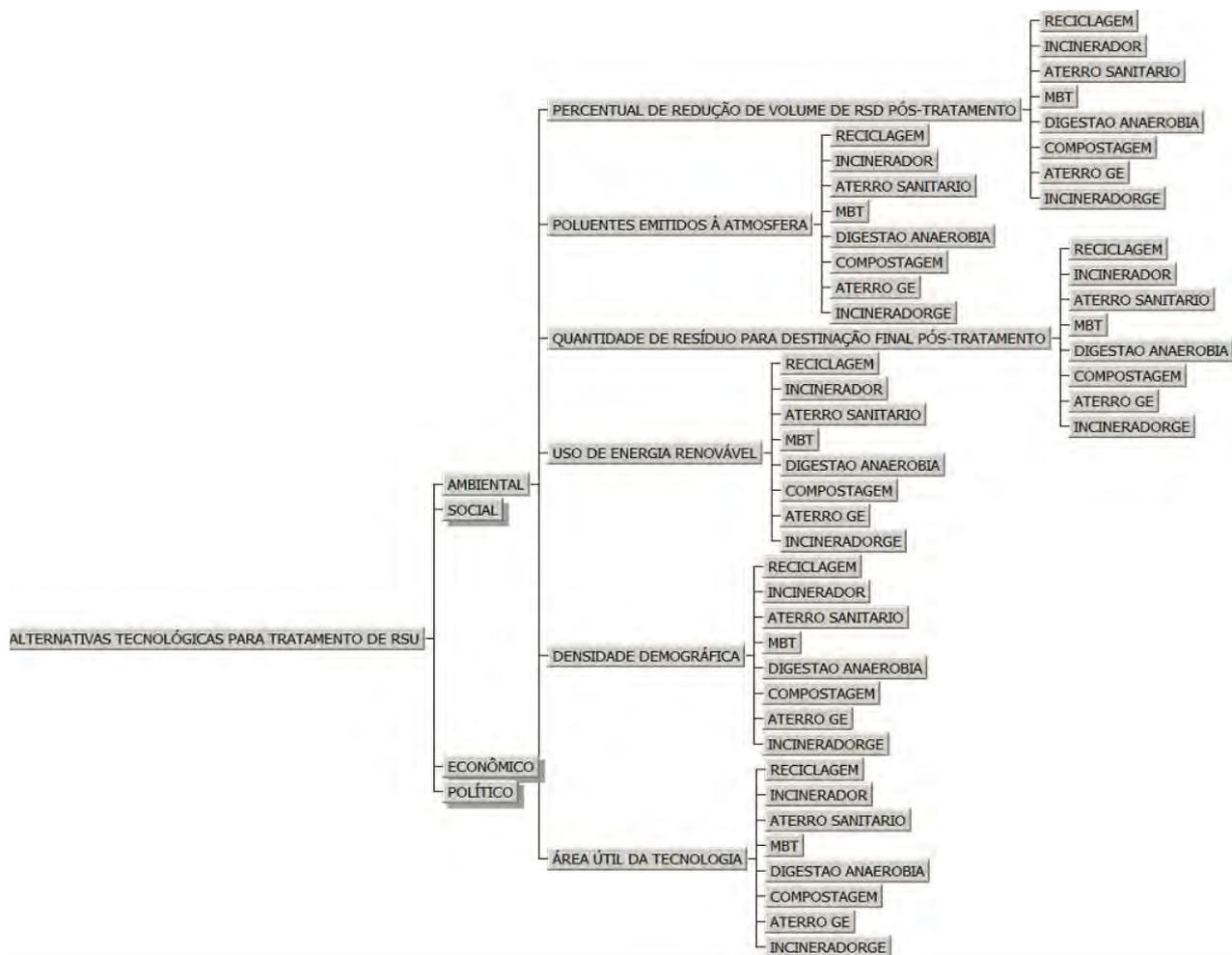


Figura 3.6 – Hierarquia, apresentando o critério ambiental, seus subcritérios e tecnologias , utilizada para todas as regiões do Brasil.

Fonte: AHP, 2012.

A figura 3.7 mostra os critérios social e econômico, seus respectivos subcritérios e as tecnologias para o modelo hierárquico das regiões.

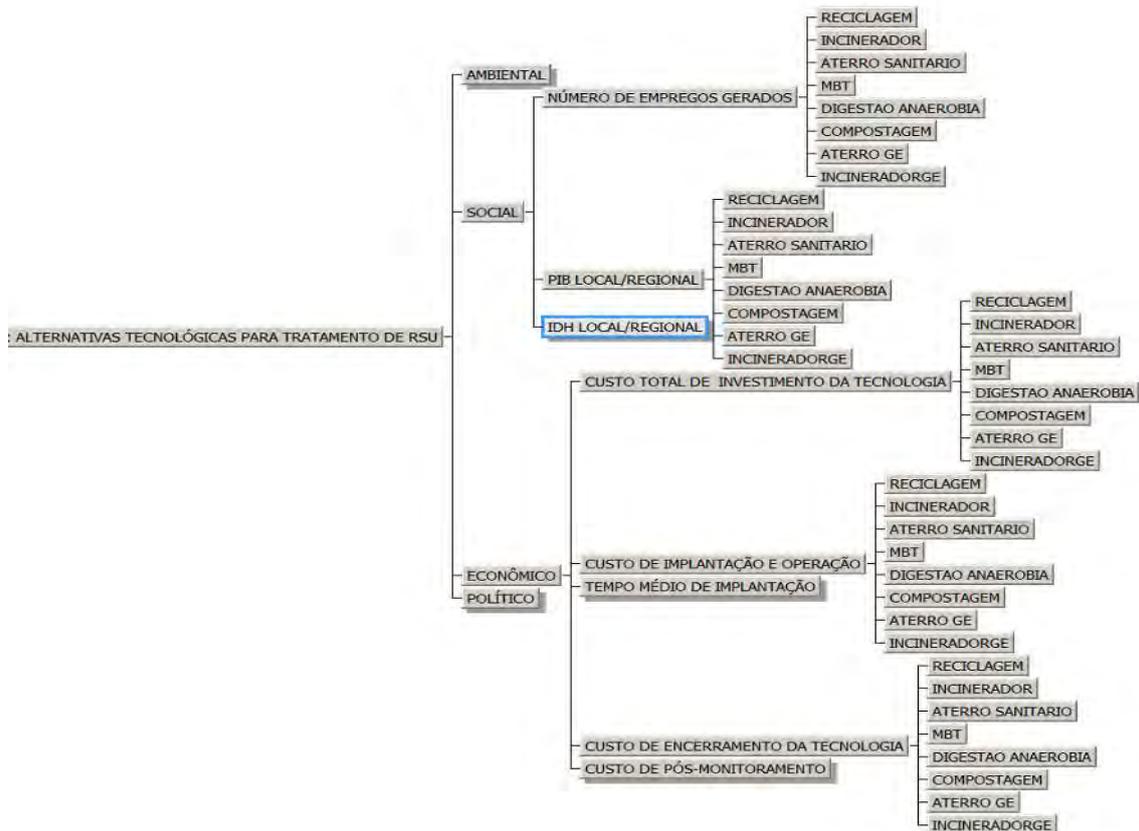


Figura 3.7 - Hierarquia, apresentando os critérios social e econômico, subcritérios e tecnologias utilizada para todas as regiões do Brasil.

Fonte: AHP, 2012.

A Figura 3.8 mostra o critério político, seus subcritérios e tecnologias para o modelo hierárquico.

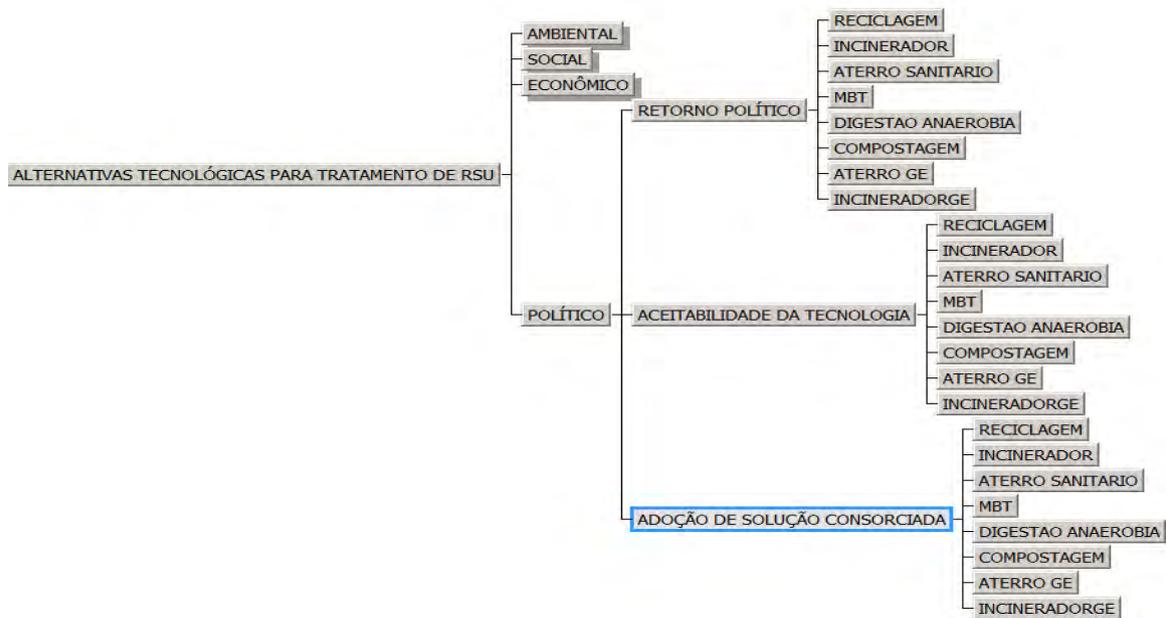


Figura 3.8 - Hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas tecnológicas para todas as regiões do Brasil.

Fonte: AHP, 2012.

### 3.4 DEFINIÇÃO TÉCNICA DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RSU

Nesta pesquisa adotou-se o uso de oito (08) tecnologias para tratamento de resíduos sólidos urbanos. Essas tecnologias foram indicadas, de acordo, com o que foi descrito no capítulo 02, assim como também foi levado em consideração a situação tecnológica, legal e as diferenças regionais brasileiras.

Para tanto, adotou-se a reciclagem, a compostagem, o tratamento mecânico biológico (TMB), a digestão anaeróbia (DA), a incineração com geração de energia, a incineração com geração de energia em ciclo combinado (CHP- Energia + Calor), o aterro sanitário sem geração de energia e o aterro sanitário com geração de energia.

Entende-se que a reciclagem para fins desta pesquisa considera a triagem pós-coleta diferenciada e a valorização econômica dos reciclados até o enfardamento dos recicláveis. Nesse estudo não foi considerada a reciclagem na indústria. Também não se considerou a tecnologia da gaseificação, pelas poucas unidades existentes na Europa e EUA.

### 3.5 DEFINIÇÃO TÉCNICA DOS CRITÉRIOS

Os critérios adotados, nesta pesquisa, se relacionaram com a questão mundial de desenvolvimento e em especial com o momento brasileiro. Por isso, nesse trabalho, foram considerados os pilares do desenvolvimento sustentável, que são: ambiental, social, econômico. Também foi considerado o critério político pelo seu grau de importância e relevância ao tema na atualidade. Na análise de resultados, também foi considerada uma visão sistêmica, que vai além destes critérios, enfocando-se também os aspectos culturais e de saúde pública da região.

### 3.6 DEFINIÇÃO TÉCNICA DOS SUBCRITÉRIOS

No presente estudo foram utilizados dezessete (17) subcritérios relativos aos critérios acima referidos, quais sejam:

#### 3.6.1 Dimensão ambiental

Na avaliação de qualquer tecnologia de tratamento de resíduos, o impacto ambiental torna-se fator de grande importância porque além de beneficiar a sociedade, deve garantir qualidade ao meio ambiente. Os efeitos negativos de degradação/deterioração do meio ambiente causado pela instalação de determinada alternativa tecnológica podem desencadear, futuramente, outros serviços públicos para reparar os danos ocasionados pelos primeiros. Thomas (2012) assegura que, em relação a muitos dos efeitos ambientais decorrentes de execução inadequada de projetos, cedo ou tarde, a coletividade terá que pagar um preço muito alto para tentar remediar as decisões erradas do passado. Portanto, este enfoque ambiental se torna mais que importante, ademais em regiões geográficas do Brasil, com tamanha biodiversidade.

#### **AMB1 - Percentual de redução de RSU pós-tratamento (AMB01)**

O percentual de redução de RSU pós-tratamento é importante, pois indica a quantidade de resíduos em percentual que a tecnologia consegue reduzir durante o seu processo de tratamento dos resíduos sólidos domésticos. Como exemplo tem-se que a

incineração consegue reduzir 90% dos RSU em volume e 75 % em peso e o aterro sanitário consegue reduzir 25 % em volume e 30% em peso.

#### **AMB2 – Poluentes emitidos à atmosfera (AMB02)**

Poluentes atmosféricos causam efeitos adversos em habitats e na saúde humana e animal. A deterioração da qualidade do ar, acidificação, degradação de florestas, assim como preocupações com a saúde pública levaram a regulamentações locais e internacionais visando controlar as emissões atmosféricas. As reduções nos poluentes regulamentados levaram à melhoria das condições de saúde dos trabalhadores e comunidades vizinhas. As reduções ou a demonstração de um desempenho que tenha sido melhor do que o exigido pela legislação pode melhorar as relações com as comunidades e trabalhadores afetados e a capacidade de manter ou ampliar operações. Em regiões onde um teto de emissões foi estabelecido, o volume de emissões tem também implicações diretas de custo para a tecnologia de tratamento de resíduos, especialmente nos tratamentos térmicos de resíduos.

#### **AMB3 – Quantidade de RSU para a destinação final pós-tratamento(AMB03)**

O atendimento a legislação, no que diz respeito, ao atendimento as metas de redução de resíduos enviados ao sistema de destinação final, com o indicativo de somente encaminhar a este os rejeitos em que se direcionam ao fortalecimento das políticas públicas com relação à gestão/gerenciamento dos RSU, definidos na PNRS.

#### **AMB4 – Uso de energia renovável (AMB04)**

Com o atual momento mundial e sua crise energética, é fundamental tanto o conhecimento da matriz energética da região geográfica onde será implantada a tecnologia quanto o conhecimento da necessidade de utilização de matriz energética renovável. A utilização de energia derivada de resíduos se torna importante dentro do que preconiza a política pública de energia renovável no Brasil. O conhecimento da tecnologia e da sua possibilidade de utilização da energia renovável é fundamental para mensuração deste subcritério.

### **AMB 5 - Densidade Demográfica (AMB05)**

Densidade demográfica, densidade populacional ou população relativa é a medida expressa pela relação entre a população e a superfície do território, geralmente aplicada a seres humanos. É geralmente expressa em habitantes por quilómetro quadrado. A densidade demográfica reflete sobre a instalação de determinada alternativa tecnológica, a exemplo de aterros sanitários serem mais aceitos pela população em áreas distantes dos centros urbanos e menos povoadas ao contrário da reciclagem que deve ser instalada em áreas densamente povoadas.

### **AMB 6 - Área útil da tecnologia (AMB06)**

As soluções de aterro exigem áreas extensas. Na medida em que se modernizam as tecnologias, a necessidade de área se torna menor. Já unidades de processamento térmico, como a incineração, demandam áreas menores. Mesmo a solução de aterro vem sendo otimizada com a possibilidade de se promover o processamento mecânico do resíduo e algum tipo de compostagem, o que permite a redução de volume e, conseqüentemente, traz a redução de área ou o prolongamento da vida útil dos aterros.

Não se enquadram, nesta pesquisa, soluções de tratamento de RSU que deixem passivos, além daqueles restritos à área ocupada, visando minimizar conseqüências para as gerações futuras; onde deve atender plenamente a PNRS.

#### 3.6.2 Dimensão econômico financeira

A dimensão econômico-financeira, evidentemente, é fundamental para os gestores públicos e instituições públicas e privadas, pois a decisão de investimento, em muitos casos, está relacionada com a maximização de sua rentabilidade. Do ponto de vista econômico-financeiro, investir em um projeto depende do retorno esperado: quanto maiores são os ganhos futuros de certo investimento, tanto mais atraente o empreendimento parecerá para qualquer investidor, quer seja público ou privado.

Existem vários indicadores e técnicas financeiras utilizadas para avaliar o desempenho econômico do investimento em determinada tecnologia. por exemplo:

*payback*, valor presente líquido, taxa interna de retorno, análise custo-benefício. Também será necessário conhecer qual o custo total de investimento da tecnologia, o custo de operação e manutenção, o custo de encerramento, o custo de pós-monitoramento e o tempo médio de implantação desta tecnologia, em todas as suas fases, desde a sua concepção técnica, planejamento e implantação. Estes pontos serão enfocados a seguir.

### **Custo total do investimento para implantação da tecnologia (ECO01)**

A concepção técnica do projeto da tecnologia e suas licenças ambientais, a compra de máquinas, equipamentos, instrumentos, pessoal para implantação da tecnologia, devem ser consideradas e terão um grande impacto no custo total do sistema adotado.

### **Custo de Manutenção e operação da tecnologia (ECO02)**

Essa variável, embora igualmente traduzida em valores monetários menores devam também ser consideradas. No entanto, como exemplo, os custos de operação da alternativa tecnológica, aterro sanitário tendem a subir com o tempo, em função do passivo que se acumula. Tipicamente, os custos com aterro se mantêm por, no mínimo, um período igual ao de sua vida útil. Pode-se considerar que as soluções de aterro, principalmente os mal operados, transferem custos atuais para gerações futuras, tanto da população quanto de gestão de contas públicas. As soluções mais atuais de incineração com geração de energia/calor em ciclo combinados podem ter um custo operacional, momentaneamente, mais alto, mas não deixam os mesmos passivos ambientais que outras tecnologias.

### **Tempo médio de implantação da tecnologia (ECO03)**

A concepção do projeto e sua operação pode ser um fator decisivo para a decisão do tratamento e destino final dos RSU. O tempo despendido para projetar o sistema, no processo de compra, para construir os equipamentos e instalações, para contratar e treinar o pessoal qualificado, além de outras variáveis, pode inviabilizar uma alternativa de tratamento ou destinação final. Outro ponto, extremamente, importante é a transferência da tecnologia, para o pleno conhecimento em seu local de implantação,

capacitando os diversos níveis gerenciais para melhor desempenho da tecnologia. Cabe ao especialista decidir se o tratamento dos RSU pode ou não ser aceitável em relação ao tempo necessário para entrada em processo da alternativa.

#### **Custo de encerramento da tecnologia (ECO04)**

O custo de encerramento de uma determinada tecnologia pode ser mínimo, tendo-se apenas a sua desmobilização, com paralização das atividades como é o caso para um incinerador, uma D.A e para outras tecnologias podem apresentar um custo bastante alto, pois o seu período de monitoramento pós-fechamento pode durar o mesmo tempo da sua vida útil, como é o caso de um aterro sanitário.

#### **Custo de pós-monitoramento da tecnologia (ECO5)**

O custo de pós-monitoramento de uma tecnologia é importante tendo em vista que em um aterro sanitário pode representar 30% do custo total do investimento pelos seus 20 anos e de um incinerador é muito menor, pois basta a sua desativação e controle por dois anos, até o seu controle total. Da mesma forma acontece com a reciclagem, a compostagem e a digestão anaeróbia e o TMB.

#### 3.6.3 Dimensão social

No setor de saneamento ambiental e em especial no de gestão/gerenciamento de resíduos, os aspectos sociais assumem papel significativo, visto que o investimento está estritamente ligado com políticas públicas. A avaliação social propicia que sejam investigados os efeitos de um determinado projeto de uma alternativa tecnológica sobre o desenvolvimento da sociedade. Sob o aspecto social, os projetos visam a: integrar as soluções para o modelo de gestão pública, facilitar o gerenciamento dos serviços de limpeza pública; propiciar conforto, bem-estar e segurança e aumentar a vida da população, gerar emprego e renda, controlar e prevenir doenças. Assim, os benefícios de um projeto podem ser estimados com suporte em indicadores sociais, como tamanho da população beneficiada, número de empregos, gerados, mortalidade infantil, entre outros.

Os indicadores sociais revelam a situação de determinada população,

segundo diversos aspectos, pois servem também para realizar comparações entre regiões, estados e municípios. Nesta pesquisa, as principais fontes de dados para análise social têm origem em pesquisas do IBGE, como as pesquisas censitárias, amostra de domicílios (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD), SNIS, entre outros.

Alguns autores, como Costa et al (2005), Teixeira e Heller (2003), Id. (2003), conferem atenção especial aos indicadores epidemiológicos para representar os efeitos da insuficiência das ações de saneamento nos municípios. Os autores supracitados destacam, como indicadores: mortalidade infantil, mortalidade e morbidade e índice de desenvolvimento humano (IDH). Neste estudo, também foi considerado o número de empregos gerados pela tecnologia, o PIB local/regional e o seu IDH local/regional como elementos para análise.

### **Número de empregos gerados pela tecnologia (SOC01)**

A geração de emprego e renda é fundamental para a escolha de determinada tecnologia. Sabe-se que existem tecnologias que são geradoras de emprego e renda e outras tecnologias que são redutoras, como é o caso de aterros sanitários e incineração, respectivamente. Esta análise é fundamental para a região geográfica em que será inserida esta tecnologia, refletidas pelo seu PIB e IDH.

### **Produto Interno Bruto (PIB) (SOC02)**

O Produto Interno Bruto *per capita* indica o nível médio de renda da população em um país, em um estado ou em um município. Define-se como PIB a renda devida à produção dentro dos limites territoriais.

Esse indicador é útil para sinalizar o estado do desenvolvimento econômico, em muitos aspectos e o estudo de sua variação informa sobre o comportamento da economia ao longo do tempo. O PIB *per capita* é, normalmente, utilizado como um indicador do ritmo de crescimento da economia e tem relação direta com a geração de resíduos. Assim, o crescimento indicado pode estar relacionado com a condição para a satisfação das necessidades humanas correntes, para o combate à pobreza diminuição do desemprego e para minorar outros problemas sociais (IBGE, 2010).

### **Índice de desenvolvimento humano (IDH) (SOC03)**

Este indicador é revelado pela interação sob o ponto de três dimensões - longevidade, educação e renda - obtidas pelas variáveis com pesos iguais: expectativa de vida ao nascer, alfabetização de adultos, matrículas combinadas nos três níveis de ensino, produto interno bruto (PIB) *per capita*, cujos resultados são entre 0 e 1. O IDH para municípios (IDH-M) é calculado de forma diferente pelas seguintes alterações: substituição do PIB *per capita* pela renda familiar *per capita* média do município e mudanças nos valores-limite de cálculo dos índices parciais.

Diversos estudos indicam estreita relação entre saneamento e saúde. Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005) constataram a importância da discussão das interfaces da gestão de recursos hídricos com setores dependentes de água de boa qualidade, indispensável à promoção da saúde pública. A correlação entre o IDH e a os serviços de saneamento é demonstrada pela análise conjunta de indicadores sociais e os serviços de saneamento no Brasil, o que está inserido nessa pesquisa.

#### 3.6.4 Dimensão política

Os fatores políticos na escolha tecnológica de alternativas para tratamento de resíduos são fundamentais para a sustentação do sistema aliados aos fatores culturais e de saúde pública. Um ponto fundamental é a continuidade administrativa da solução adotada, o que em histórico recente no Brasil tem sido um dos gargalos que ocorrem a cada mudança de gestão.

### **Retorno Político (POL01)**

Quando uma alternativa tecnológica é bem definida e com apoio do gestor público a tendência do retorno político se transforme em melhoria da qualidade de vida dos cidadãos beneficiados.

### **Aceitabilidade Pública da Tecnologia (POL02)**

A aceitabilidade pública de determinada tecnologia para tratamento de resíduos é fundamental, pois quando a solução adotada é discutida com a comunidade envolvendo-a esta, se torna mais forte e mais difícil a sua interrupção.

### **Adoção de solução Consorciada (POL03)**

A adoção de solução consorciada para os arranjos tecnológicos são fundamentais, pois trabalham com a escala qualitativa e quantitativa econômico-financeira, tecnológica e social das alternativas adotadas.

#### 3.6.5 Matriz de Avaliação

A matriz de avaliação utilizada para o método de apoio à decisão Promethee II é mostrada na Figura 3.9.

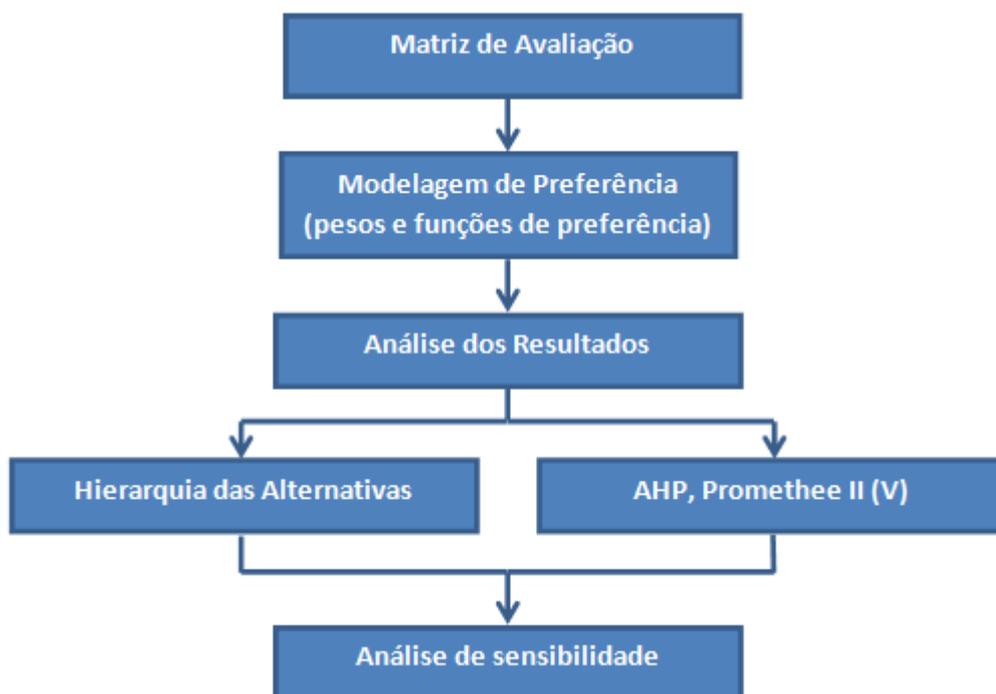


Figura 3.9 - Matriz de avaliação dos Métodos AHP e Promethee II(V).

### 3.7 MODELAGEM DE PREFERÊNCIA

A modelagem de preferência foi feita por meio de envio de questionário específico para os participantes convidados em cada região do Brasil. Foram enviados 92 (Noventa e dois) questionários a todas as regiões, sendo 15 para a região Norte e 15 para a região Centro Oeste, 20 para a região Nordeste, 20 para a região sul e 22 para a região Sudeste. Destes foram respondidos 67 questionários, o que representa 72,82%, sendo, portanto um excelente nível de aceitação, quanto aos respondidos.

O questionário foi elaborado de forma clara e objetiva, de modo ao convidado apenas marcar com “X” a comparação par a par entre os critérios e subcritérios, atribuindo um peso para a sua preferência. Ao final do questionário foi solicitado ao convidado que escolhesse sua preferência por 03 (três) arranjos tecnológicos possíveis para o tratamento de resíduos em sua região. De posse destas escolhas, foi analisada cada região e realizada as comparações entre os subcritérios e tecnologias, determinando-se assim os possíveis arranjos tecnológicos segundo cada um dos modelos de apoio a decisão para cada região geográfica do Brasil. Assim, foi possível estabelecer três cenários de hierarquia das tecnologias para cada região geográfica e analisar com os dois métodos de hierarquização, no caso o AHP e o PROMETHEE. Os decisores são representantes das seguintes entidades: representantes da sociedade civil, professores de universidades, consultores e especialistas do setor. Dessa forma, pretendeu-se analisar os julgamentos individuais em relação à ponderação dos critérios e resultados de hierarquia por cada método e por região geográfica.

Vale ressaltar que a modelagem de preferência não é uma tarefa simples, pois o decisor pode sentir dificuldade em entender os conceitos sobre os parâmetros da metodologia multicritério. Para isso é importante à atuação do analista, a fim de que o agente de decisão compreenda com clareza quais são os questionamentos feitos para o processo de decisão.

O resumo da modelagem de preferência realizada para o método de apoio a decisão, AHP e Promethee II, é mostrado na Figura 3.10 e na Tabela 3.4.

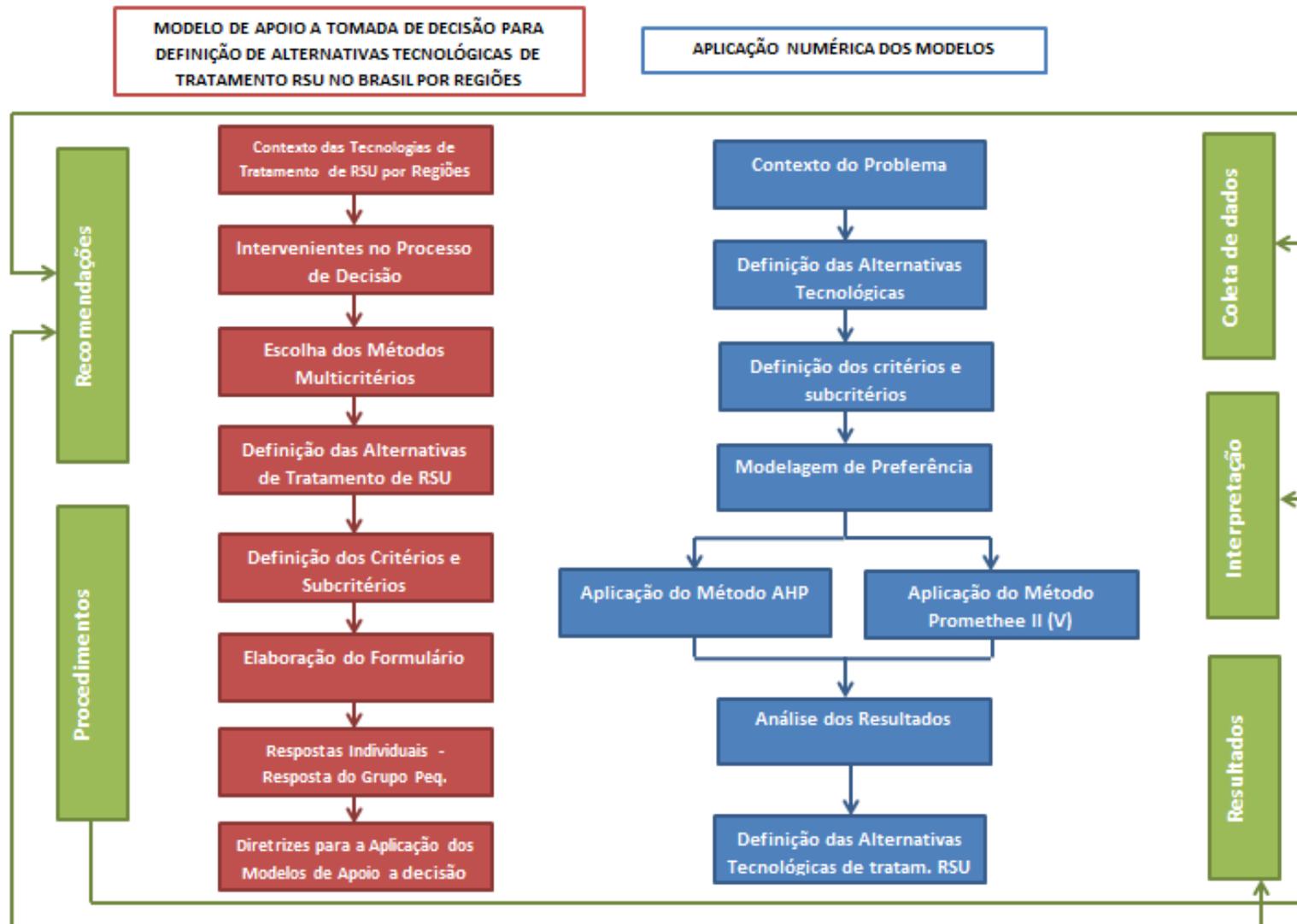


Figura 3.10 - Fluxograma do modelo de apoio a decisão – Fonte : José Dantas de Lima adaptado Campos,2011.

Tabela 3.4- Modelagem de Preferência do Modelo Promethee II(V).

<i>Modelagem de Preferência Promethee</i>				
<b>Critérios</b>	<b>MIN/ MAX</b>	<b>Função Referência</b>	<b>Unidade</b>	<b>Peso (variação)</b>
AMB1	MIN	Tipo I – Usual		
AMB2	MIN	Tipo I – Usual		
AMB3	MIN	Tipo I – Usual		
AMB4	MAX	Tipo I – Usual		
AMB5	MAX	Tipo I – Usual		
AMB6	MAX	Tipo I – Usual		
SOC1	MIN	Tipo I – Usual		
SOC2 (PIB)	MAX	Tipo I – Usual		
SOC3 (IDH)	MIN	Tipo I – Usual		
ECO1	MIN	Tipo I – Usual		
ECO2	MIN	Tipo I – Usual		
ECO3	MIN	Tipo I – Usual		
ECO4	MIN	Tipo I – Usual		
ECO5	MIN	Tipo I – Usual		
POL1	MAX	Tipo I – Usual		
POL2	MAX	Tipo I – Usual		
POL3	MAX	Tipo I – Usual		

### 3.10 SÍNTESE DA PESQUISA

Os métodos de pesquisa são classificados, quanto à forma de abordagem, em qualitativos e quantitativos. O enfoque qualitativo procura coletar dados sem a necessidade de medição numérica para descobrir ou aperfeiçoar as questões de pesquisa. Nesse caso, pode haver no processo de interpretação a prova ou não das hipóteses. O enfoque quantitativo faz uso da coleta de dados para testar hipóteses por meio de

medição numérica e análise estatística com a finalidade de estabelecerem padrões de comportamento (CAMPOS, 2011).

O problema multicritério pode ser visto sob dois enfoques - prescritivo e construtivo. Para Gomes (2007), no enfoque construtivo, a estruturação da decisão se dá de forma interativa do analista com os agentes de decisão. Nesse caso, há uma evolução do processo pela troca de informações entre o analista e seus demais integrantes do processo. O enfoque prescritivo parte da descrição de todos os elementos do problema e pode considerar inclusive a descrição sobre as preferências dos decisores.

Outra classificação para os problemas de decisão é dividi-los em discretos ou contínuos.

Conforme Campos (2011), os problemas discretos são aqueles em que o número de alternativas é finito e contínuo. Entre os métodos discretos, destacam-se: MAUT, AHP, ELECTRE e PROMETHEE. Os métodos contínuos são aqueles de otimização multicritério ou métodos interativos. Suas aplicações envolvem programação matemática com mais de uma função-objetivo (GOMES, L.; GOMES, F.; ALMEIDA, 2002).

Com isto, pode-se afirmar que esta pesquisa tem enfoque qualitativo como também quantitativos. O modelo de apoio à decisão utiliza modelos matemáticos e as variáveis empregadas resultam em pesquisa na literatura. Para isso foi necessário entender o fenômeno, no caso, o processo de tomada de decisão de priorização e de hierarquização das alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos.

De acordo com esses conceitos, pode-se verificar que este estudo é metodológico. Essa pesquisa propõe um modelo que tem como objetivo sugerir as alternativas tecnológicas mais adequadas para o tratamento de resíduos domésticos em cada região geográfica do Brasil.

Observa-se também que a aplicação da pesquisa tem semelhança com o enfoque prescritivo uma vez que os elementos da decisão foram coletados com base em documentos e pesquisas. Nesses documentos, foram estudados as alternativas e os critérios, assim como as regras de hierarquização das alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos.

O Quadro 3.1 mostra a síntese da pesquisa quanto ao seu enfoque, quanto a área da ciência, os instrumentos da pesquisa, o modelo e o método utilizado, a classe do método e a estrutura de preferência.

ITEM	CLASSIFICAÇÃO
Quanto ao enfoque da Pesquisa	MÉTODO CIENTÍFICO
Quanto a área da ciência	Qualitativo/Quantitativo
Instrumentos de Pesquisa	Metodológica Pesquisa literária, análise de documentos.
Enfoque	MODELO DE APOIO A DECISÃO
Método	MULTICRITÉRIO
Classe do método	Prescritivo
Métodos	Discreto
Estrutura de Preferência	Método de priorização e de Sobreclassificação
Problemática	AHP e PROMETHEE II(v) Pré-ordem completa e hierarquia de dominância Hierarquia
OBJETIVO	ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES PARA AS REGIÕES GEOGRÁFICAS DO BRASIL

Quadro 3.1 - Quadro Síntese da Pesquisa.

Espera-se que este método de avaliação permita mostrar qual a tecnologia a ser utilizada, associada a um modelo de gestão, com a inclusão e a mensuração das variáveis abordadas. Esta metodologia foi aplicada a vários cenários, que representam alternativas de tratamento de RSU no Brasil, considerando diferentes regiões, tamanhos de municípios e condição social, política e econômica.

## Capítulo 4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados observados na aplicação dos dois modelos de análise multicriterial e suas análises em cada região geográfica do Brasil . A seguir serão apresentados, inicialmente, os resultados e análises no modelo AHP, seguido da apresentação dos resultados e análises do modelo Promethee II(V) das regiões Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul .

Os resultados da aplicação numérica do método AHP e PROMETHEE II(V) são mostrados por meio de gráficos, quadros e tabelas extraídos do sistema Expert Choice e Visual Promethee, respectivamente. Estes estão apresentados a seguir por região geográfica do Brasil e representa os resultados referentes as preferências dos convidados por cada região, que tornaram-se a preferência do grupo de cada região geográfica.

Para fins de composição da escala hierárquica nos dois modelos de apoio a decisão, considerou-se a incineração como a com geração de energia e a incineração GE como a de ciclo combinado CHP (energia + calor). A análise dos resultados foram realizadas baseadas nos gráficos e nas figuras disponibilizadas pelos dois modelos de apoio a decisão.

### 4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO AHP

#### 4.1.1 Região Norte

##### *4.1.1.1 Resultados do AHP*

A Figura 4.1 mostra a hierarquia principal e o modelo hierárquico definido para a região Norte do Brasil. Esta hierarquia para o tratamento dos resíduos sólidos na região mostra os quatro critérios definidos para a pesquisa, o ambiental, o social, o econômico e o político.

Em cada um dos critérios, está definida sua estrutura de subcritérios, tais como: o ambiental apresenta em seu arranjo os subcritérios: Área útil da tecnologia, Percentual de redução de RSU pós-tratamento, Quantidade de RSU que vai para destinação final, Poluentes emitidos á atmosfera, Uso de energia renovável na tecnologia e Densidade demográfica. Para o critério social, têm-se os seguintes subcritérios: Número de empregos gerados pela tecnologia, PIB Local/regional, IDH

Local/regional. Para o critério econômico têm-se os seguintes subcritérios: Custo total de investimento na tecnologia, Custo de operação e manutenção da tecnologia, Tempo médio de implantação da tecnologia, Custo médio de encerramento da tecnologia, Custo de pós-monitoramento da tecnologia e para o critério político têm-se os seguintes subcritérios: Aceitabilidade pública da tecnologia, Retorno político e Adoção de solução consorciada.

Este arranjo hierárquico permite a aplicação deste modelo de apoio a decisão para as cinco regiões geográficas e a consequente avaliação dos resultados obtidos mediante a aplicação dos questionários aplicados aos convidados da região. Os resultados fornecidos em cada comparação par a par pelos convidados foram analisados e a moda – a resposta que mais se repetiu na região em cada comparação par a par se tornou a resposta do grupo da região, representando assim a preferência para cada resposta a região Norte. Os resultados da aplicação deste modelo de apoio a decisão estão mostrados na Figura 4.1:

Este mesmo procedimento é utilizado para as demais regiões geográficas.

17/11/2012 17:29:39

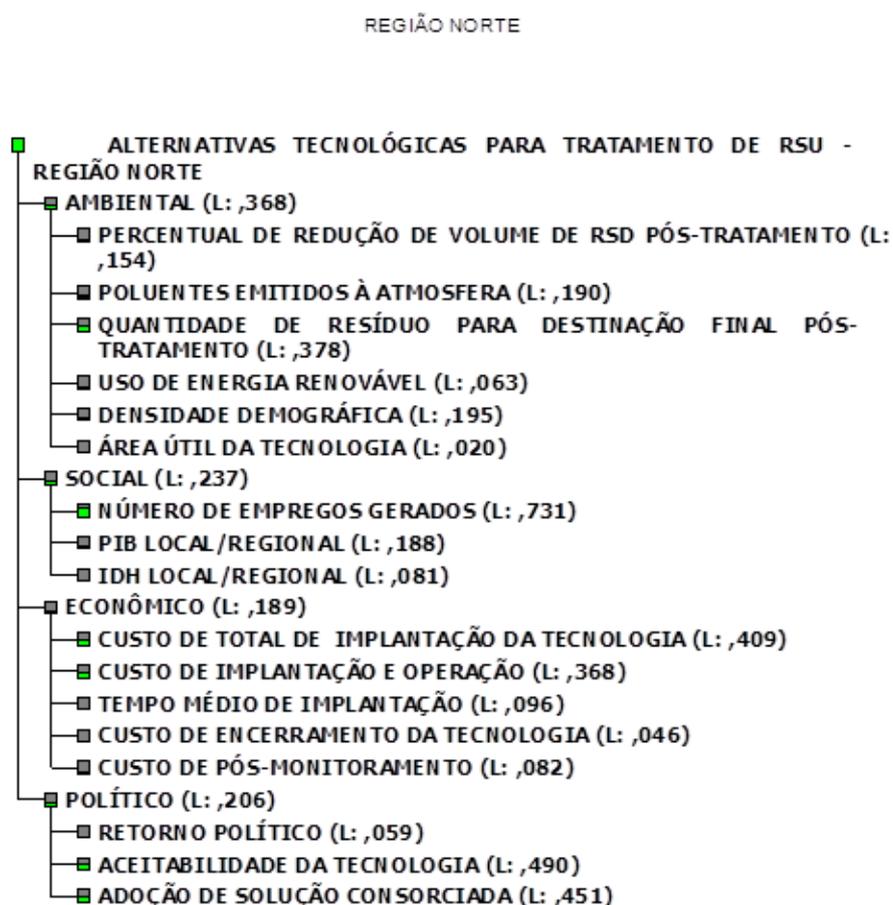


Figura 4.1 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da Região Norte.

A Figura 4.1 mostra a hierarquia principal com os critérios (ambientais, sociais, econômicos e políticos) e os seus respectivos subcritérios, que após definido as preferências (peso) por cada convidado e aplicado ao software Expert Choice, são mostrados na Figura 4.2 para as comparações par a par entre os critérios. Estes pesos foram ajustados, com a utilização da moda apresentada (número que mais se repetiu como resposta) entre os pesos dos convidados, onde depois de ajustados se tornam o peso do grupo e não individuais.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU – REGIÃO NORTE

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SOCIAL
2	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÓMICO
3	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
4	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÓMICO
5	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
6	ECONÓMICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO

Figura 4.2 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos.

A Figura 4.3 mostra a importância relativa entre o critério ambiental e seus respectivos subcritérios com a comparação par a par entre cada subcritério e seu critério em análise.

Esta figura representa comparação par a par de cada subcritério em relação ao critério ambiental com peso relativo  $L = 0,266$ , em relação aos demais critérios.

Importância relativa em relação ao critério AMBIENTAL (L: ,266) – Região Norte

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	PERCENTUAL DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLUENTES EMITID
2	PERCENTUAL DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	QUANTIDADE DE RE
3	PERCENTUAL DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	USO DE ENERGIA RI
4	PERCENTUAL DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
5	PERCENTUAL DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
6	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	QUANTIDADE DE RE
7	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	USO DE ENERGIA RI
8	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
9	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
10	QUANTIDADE DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	USO DE ENERGIA RI
11	QUANTIDADE DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
12	QUANTIDADE DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
13	USO DE ENERGIA RI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
14	USO DE ENERGIA RI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
15	DENSIDADE DEMOG	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN

Figura 4.3 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério ambiental.

A Figura 4.4 mostra os pesos atribuídos ao critério social, que totalizou um peso relativo de  $L=0,262$ , após o cálculo dos pesos atribuídos a cada subcritérios em suas comparações par a par.

Importância relativa em relação ao critério SOCIAL (L: ,262) – Região Norte

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	NÚMERO DE EMPREGO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PIB LOCAL/REGIONAL
2	NÚMERO DE EMPREGO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IDH LOCAL/REGIONAL
3	PIB LOCAL/REGIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IDH LOCAL/REGIONAL

Figura 4.4 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério social.

A Figura 4.5 mostra os pesos atribuídos ao critério econômico, que totalizou um peso relativo de  $L=0,219$ , após o cálculo dos pesos atribuídos a cada subcritérios em suas comparações par a par.

Importância relativa em relação ao critério ECONÔMICO (L: ,219) – Região Norte

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE IMPLANTAÇ
2	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TEMPO MÉDIO DE IMI
3	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE ENCERRAM
4	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI
5	CUSTO DE IMPLANTAÇ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TEMPO MÉDIO DE IMI
6	CUSTO DE IMPLANTAÇ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE ENCERRAM
7	CUSTO DE IMPLANTAÇ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI
8	TEMPO MÉDIO DE IMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE ENCERRAM
9	TEMPO MÉDIO DE IMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI
10	CUSTO DE ENCERRAM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI

Figura 4.5 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério econômico.

A Figura 4.6 mostra os pesos atribuídos ao critério político, que totalizou um peso relativo de  $L=0,254$ , após o cálculo dos pesos atribuídos a cada subcritérios em suas comparações par a par.

Importância relativa em relação ao critério POLÍTICO (L: ,254) – Região Norte

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	RETORNO POLÍTICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ACEITABILIDADE DA TI
2	RETORNO POLÍTICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ADOÇÃO DE SOLUÇÃO
3	ACEITABILIDADE DA TI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ADOÇÃO DE SOLUÇÃO

Figura 4.6 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério político.

Observa-se que a soma dos pesos relativos calculados dos critérios ambiental, social, econômico e político,  $L(0,266 + 0,262 + 0,219 + 0,254)$ , totaliza  $L=1,00$ .

A Figura 4.7 mostra os pesos calculados para o critério ambiental e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Norte.

## REGIÃO NORTE pós análise

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RESÍDUO PÓS-TRATAMENTO (L: ,154)	AMBIENTAL POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: ,190)	AMBIENTAL QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: ,378)
✓ RECICLAGEM	,054	1,000	,057
✓ INCINERADOR	,870	,092	,228
✓ ATERRO	,114	,165	,831
✓ MBT	,083	,449	,083
✓ DIGESTÃO	,202	,354	,130
✓ COMPOSTAGEM	,213	,483	,099
✓ ATERROGE	,333	,262	1,000
✓ INCINERADORGE	1,000	,143	,248

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: ,063)	AMBIENTAL DENSIDADE DE DEMOGRÁFICA (L: ,195)	AMBIENTAL ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: ,020)
✓ RECICLAGEM	1,000	,942	1,000
✓ INCINERADOR	,065	,567	,205
✓ ATERRO	,254	,075	,094
✓ MBT	,289	,270	,520
✓ DIGESTÃO	,315	,382	,364
✓ COMPOSTAGEM	,509	,367	,729
✓ ATERROGE	,193	,092	,069
✓ INCINERADORGE	,089	1,000	,126

Figura 4.7 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Norte.

A Figura 4.8 mostra os pesos calculados para o critério social e econômico e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Norte.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	SOCIAL NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: ,731)	SOCIAL PIB LOCAL/REGIONAL (L: ,188)	SOCIAL IDH LOCAL/REGIONAL (L: ,081)
✓ RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
✓ INCINERADOR	,060	,070	,437
✓ ATERRO	,489	,144	,069
✓ MBT	,248	,377	,084
✓ DIGESTAO	,153	,242	,094
✓ COMPOSTAGEM	,149	,488	,144
✓ ATERRO GE	,729	,163	,216
✓ INCINERADOR GE	,077	,083	,509

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA (L: ,409)	ECONÔMICO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (L: ,368)	ECONÔMICO TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: ,096)
✓ RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
✓ INCINERADOR	,080	,158	,081
✓ ATERRO	,212	,314	,172
✓ MBT	,560	,839	,410
✓ DIGESTAO	,368	,483	,220
✓ COMPOSTAGEM	,505	,665	,305
✓ ATERRO GE	,155	,198	,109
✓ INCINERADOR GE	,060	,100	,080

Figura 4.8 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Norte.

A Figura 4.9 mostra os pesos calculados para os critérios econômicos e político e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Norte.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: ,046)	ECONÔMICO CUSTO DE PÓS-MONITORAME NTO (L: ,082)	POLÍTICO RETORNO POLÍTICO (L: ,059)
✓ RECICLAGEM	,871	,746	1,000
✓ INCINERADOR	,139	,141	,077
✓ ATERRO	,076	,066	,227
✓ MBT	,385	,411	,227
✓ DIGESTAO	,287	,366	,135
✓ COMPOSTAGEM	1,000	1,000	,469
✓ ATERROGE	,055	,047	,403
✓ INCINERADORGE	,110	,077	,104

Modo distribuição	Par a par	Par a par
	POLÍTICO ACEITABILIDADE DE DA TECNOLOGIA (L: ,490)	POLÍTICO ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIA DA (L: ,451)
✓ RECICLAGEM	1,000	,123
✓ INCINERADOR	,104	,076
✓ ATERRO	,155	,827
✓ MBT	,806	,145
✓ DIGESTAO	,547	,153
✓ COMPOSTAGEM	,365	,193
✓ ATERROGE	,297	1,000
✓ INCINERADORGE	,227	,073

Figura 4.9 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Norte.

A Figura 4.10 mostra, por ordem de preferência, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Norte.

Pela ordem de preferência, a alternativa tecnológica da Reciclagem foi a mais indicada, seguida do aterro sanitário com geração de energia, do aterro sanitário, do TMB - do tratamento mecânico biológico, da compostagem e da digestão anaeróbia. Por outro lado, a incineração com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram as alternativas menos indicadas. O eixo horizontal da Figura 4.10 representa os critérios adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa a escala de preferencia dos pesos adotados. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

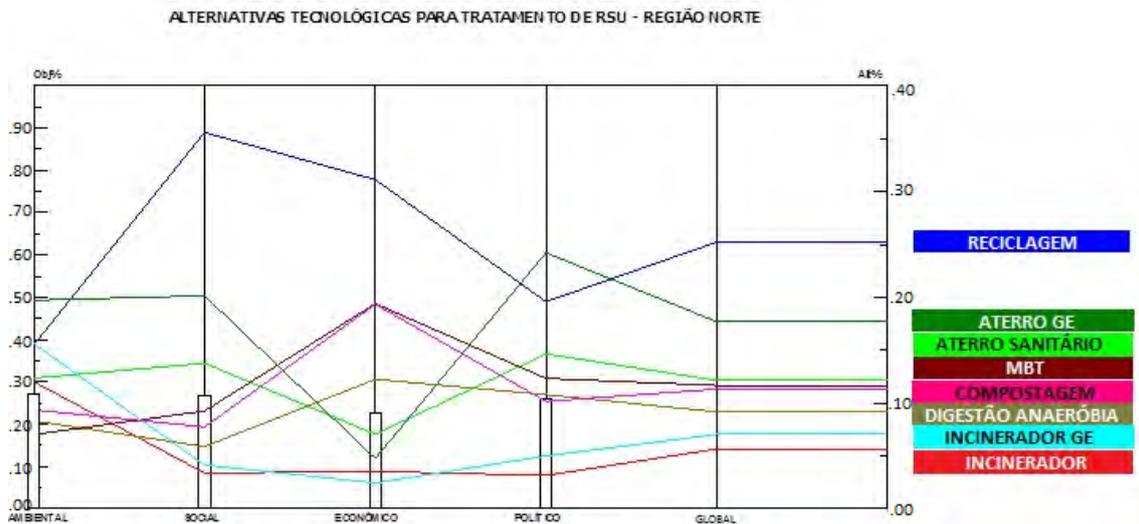


Figura 4.10 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a Região Norte.

A Figura 4.11 mostra, por ordem de prioridade, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Norte com o cálculo do índice de inconsistência, que neste caso foi de 0,49. Para o AHP a análise de sensibilidade é realizada através do índice de inconsistência, que deve ser menor que 0,10, ou seja, a consistência do modelo apresentado deve ser superior a 90%.

27/10/2012 11:49:26

REGIÃO NORTE

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU – REGIÃO NORTE  
Inconsistência Global = ,49

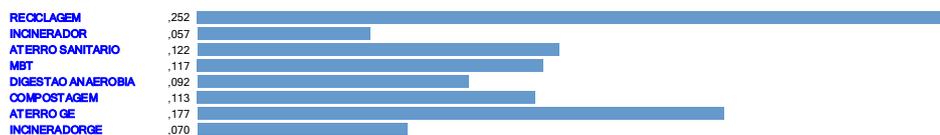


Figura 4.11 - Indicação do índice de inconsistência do modelo para a importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Norte.

A Figura 4.12 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e social. O eixo vertical da Figura representa o critério social

adotados no modelo hierárquico e o eixo horizontal representa o critério ambiental. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência na comparação entre os critérios sociais e ambientais e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a compostagem e a digestão anaeróbia foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram às tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Norte.

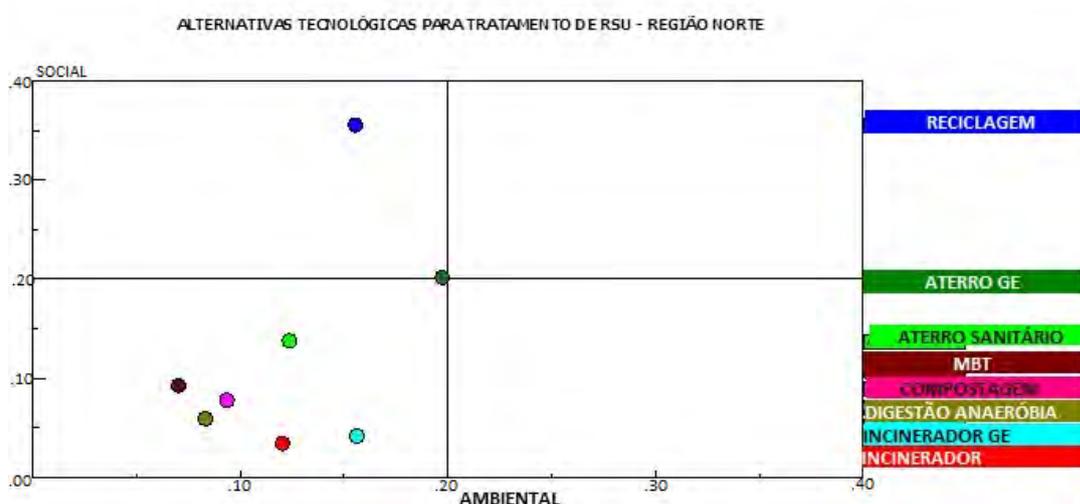


Figura 4.12 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Norte.

A Figura 4.13 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e econômico. O eixo horizontal da Figura representa o critério ambiental adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa o critério econômico. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência na comparação entre os critérios ambientais e econômicos e o TMB foi escolhido como a segunda preferência. A compostagem, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário com e sem geração de energia foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de

energia e com geração de energia em ciclo combinado foram às tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Norte.

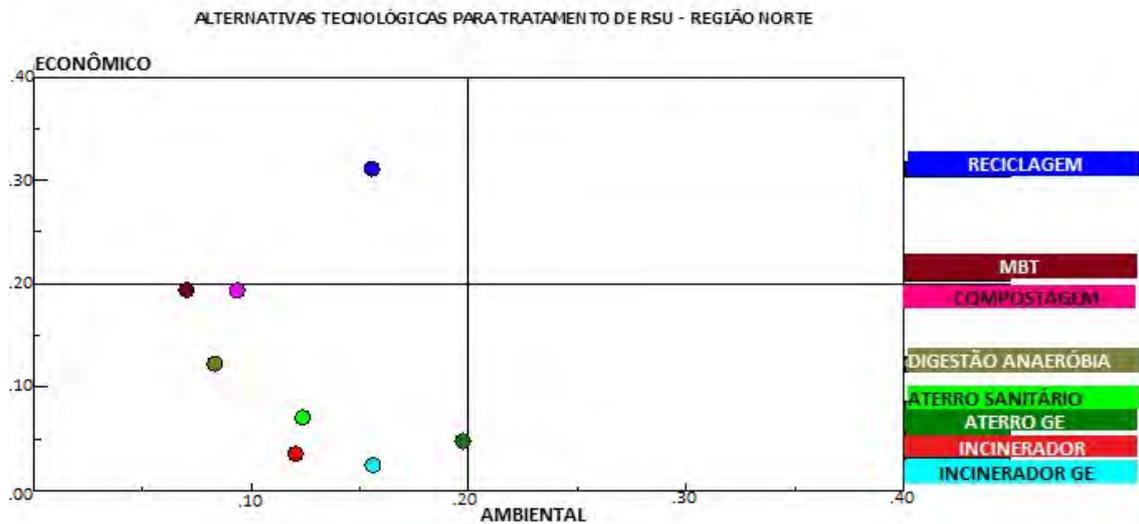


Figura 4.13 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Norte.

A Figura 4.14 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e político. O eixo horizontal da referida figura representa o critério ambiental adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa o critério político. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência na comparação entre os critérios ambientais e político e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira, quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração sem geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram às tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Norte.

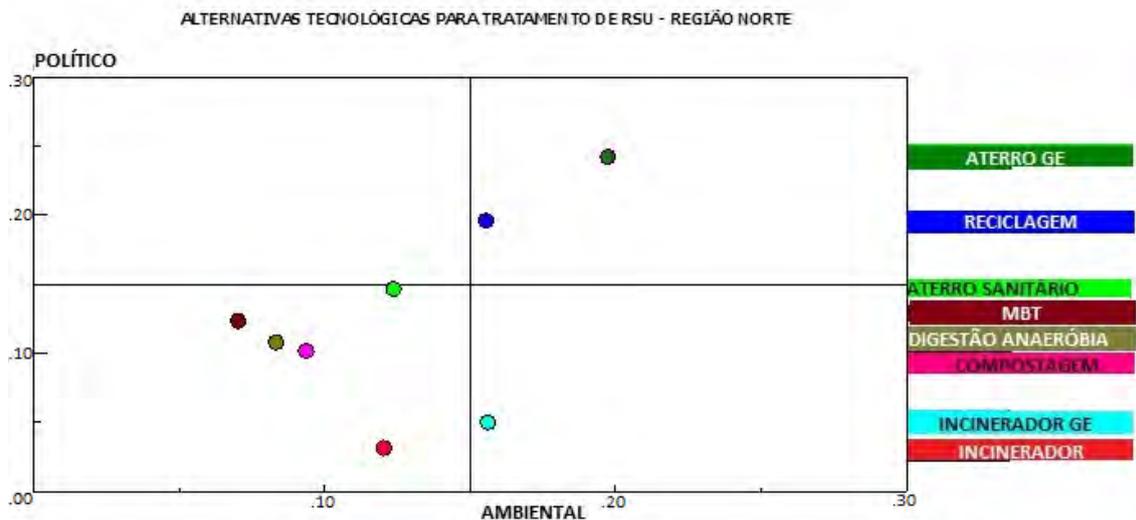


Figura 4.14 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Norte.

A Figura 4.15 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e econômico. O eixo horizontal da Figura representa o critério social adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa o critério econômico. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência na comparação entre os critérios sociais e econômicos e o TMB foi escolhida como a segunda preferência. A compostagem, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário, o aterro sanitário com geração de energia, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram às tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Norte.

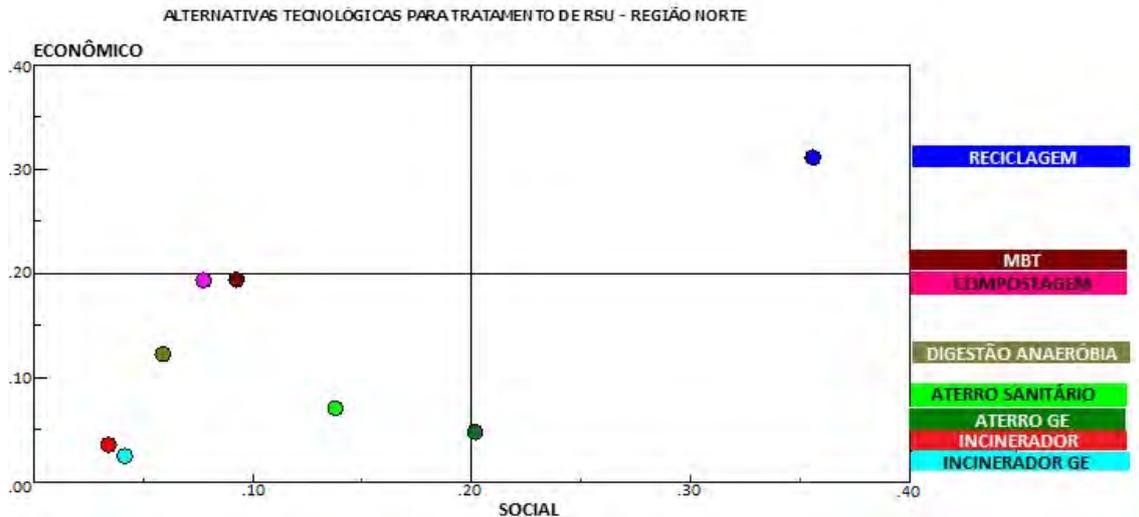


Figura 4.15 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Norte.

A Figura 4.16 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e político. O eixo horizontal da Figura representa o critério social adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa o critério político. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência na comparação entre os critérios sociais e político e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira, quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram às tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Norte.

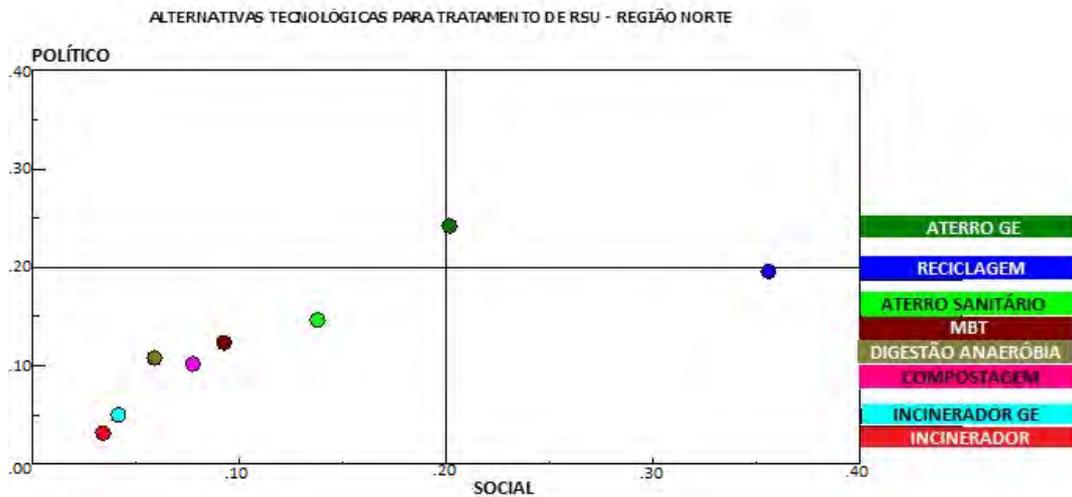


Figura 4.16 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Norte.

A Figura 4.17 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios econômicos e político. O eixo horizontal da Figura representa o critério econômico adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa o critério político. Esta orientação de eixos é a mesma para todas as regiões.

Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência na comparação entre os critérios ambientais e político e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e com geração de energia em ciclo combinado foram às tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Norte.

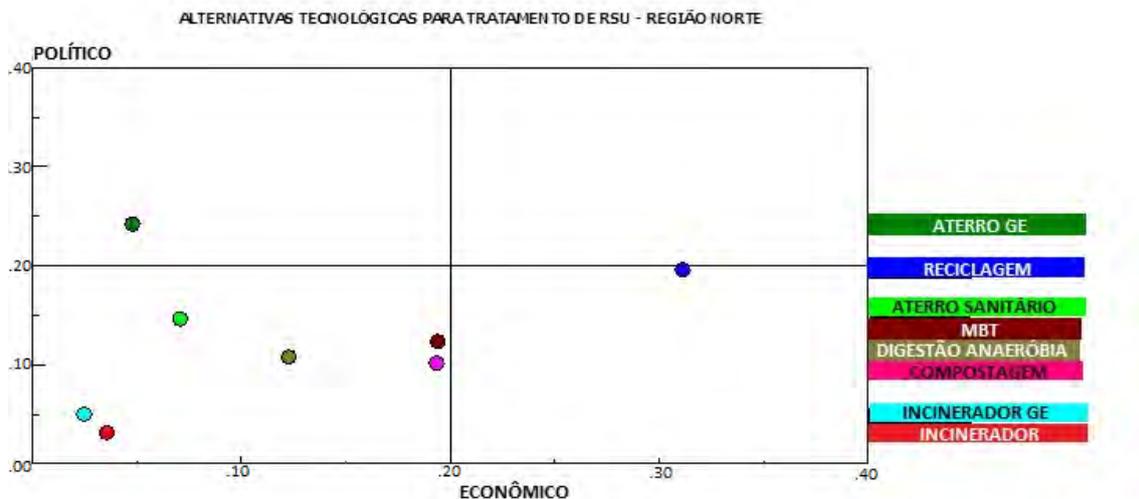


Figura 4.17 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Norte.

Com relação o índice de inconsistência de 0,49, apresentado para a região Norte, se torna necessário o ajuste para que este índice de inconsistência fique na margem tolerável, máxima de 0,10, mediante a realização da análise de sensibilidade.

Neste sentido realizou-se a análise de sensibilidade, ajustando-se os pesos dos critérios políticos e econômicos.

A Figura 4.18 mostra os resultados das tecnologias para a região Norte depois da análise de sensibilidade:

Reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, incinerador com geração de energia em ciclo combinado e aterro sanitário, compostagem e TMB.

O eixo horizontal da Figura representa os critérios adotados no modelo hierárquico e o eixo vertical representa a escala de preferencia dos pesos adotados. Esta é a mesma para todas as regiões.

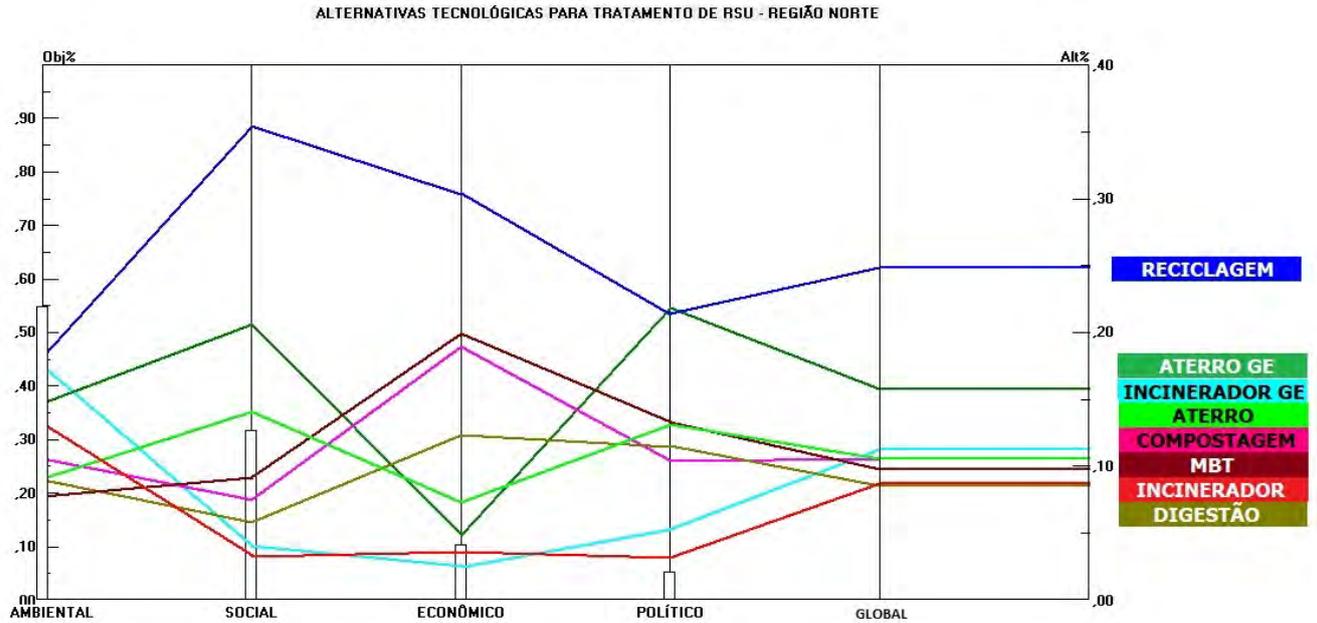


Figura 4.18 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade ajustadas para a Região Norte.

A Figura 4.19 mostra o índice de inconsistência pós-ajustes, o que indica que o índice de 0,09, está dentro do limite de inconsistência tolerável, inferior a 0,10.



Figura 4.19 - Indicação do índice de inconsistência do modelo ajustado para a importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Norte.

#### 4.1.1.2 Análise dos Resultados do AHP

A seguir apresenta-se a análise dos resultados da Região Norte:

Adotou-se para esta região que a tecnologia da incineração com geração de energia ou em ciclo combinado não será considerada a sua aplicabilidade, em função de toda a questão ambiental e da localização da Amazônia e sua importância para o mundo, pela sua biodiversidade.

Na aplicação do modelo AHP, o critério ambiental, após aplicação dos pesos da região, foi o que apresentou o maior peso, respondendo por 26,60% do total de todos critérios (representando 100%) e neste critério o maior peso atribuído foi a quantidade de resíduos destinados, conforme mostra o Gráfico 4.1. O segundo critério mais importante nesta região foi o social, que representou 26,20% do peso total e o critério econômico representou apenas 21,90% do peso total sendo o menor peso atribuído pela região, por fim o critério político representou 25,40% sendo maior inclusive que o critério econômico. Este fato gerou inconsistência na comparação par a par entre os critérios e subcritérios, o que pode ter explicado no resultado das 4 tecnologias de preferência da região.

O Gráfico 4.1 mostra os critérios e seus pesos após aplicação do modelo, com sua comparação par a par.

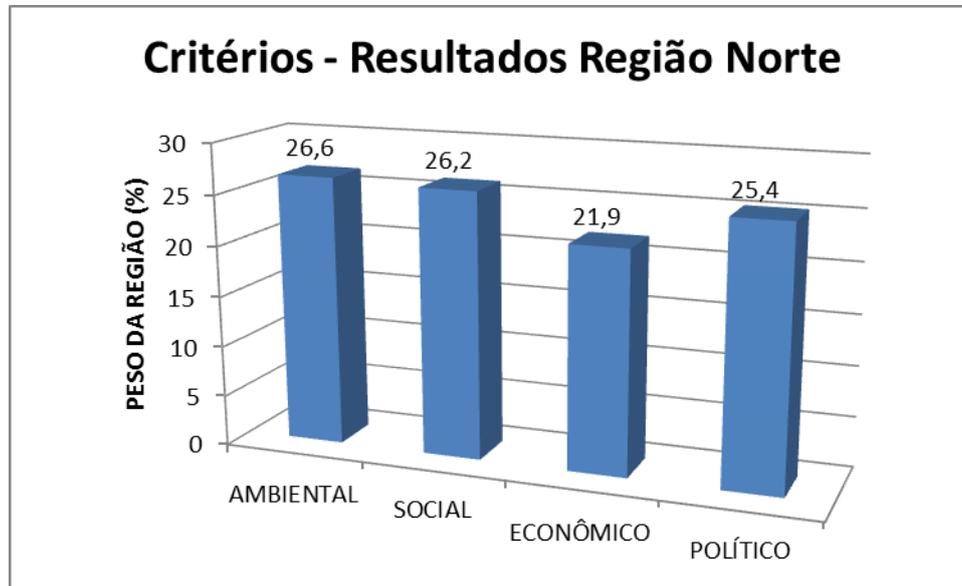


Gráfico 4.1 – Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Norte.

A Figura 4.7 mostra que em relação ao critério ambiental para o sub critério percentual de redução de volume pós-tratamento, para a tecnologia da incineração com geração de energia e incineração em ciclo combinado apresentam os maiores valores (percentuais) com 1,00 e 0,870 e a reciclagem e o aterro sanitário sem

geração de energia apresentam os menores valores com 0,54 e 0,114, onde o peso total deste subcritério é de 0,154, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento, pois se complementa ao se analisar o sub critério de quantidade de resíduo pós- tratamento que apresenta o aterro sanitário como maior valor e o incinerador com menor valor.

A Figura 4.8 mostra que quanto ao critério social para o sub critério número de empregos gerados para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentuais) com 1,00 e a compostagem apresentou o menor valor com 0,149 e 0,114, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de IDH local/regional que apresenta a reciclagem com maior valor e o aterro com geração de energia com menor valor, desde que considerado o indicador de educação contido no cálculo do IDH, que reflete relação direta com a reciclagem e relação inversa com aterro sanitário.

Analisando-se a Figura 4.8 e 4.9 quanto ao critério econômico para o sub critério do custo total de implantação da tecnologia para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e para os sub critérios de custo de encerramento e de pós encerramento da tecnologia apresenta a compostagem com o maior valor de 1,00, o que está correto na análise deste subcritério com suas tecnologias de tratamento para a região norte, pois os convidados indicaram na escolha do seu peso atribuído a dificuldade técnica e operacional de implantação da tecnologia, considerando-se alguns fatores como grande pluviometria regional, baixo nível de educação refletido pelo IDH local/regional aliado a cultura local de ainda se queimar lixo.

Analisando-se a Figura 4.9 quanto ao critério político para o sub critério retorno político e aceitabilidade da tecnologia pela população a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentuais) com 1,00 e o aterro sanitário apresentou o maior valor com 1,00, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento e traduz o atual estágio de compreensão da tecnologia pela população local/regional.

A Figura 4.18 pós análise de sensibilidade mostra que as tecnologias da reciclagem e aterro sanitário com geração de energia foram as que apresentaram maiores pesos e as tecnologias do incinerador e da digestão anaeróbia foram as que

apresentaram menores pesos e pode ser justificado pelos pesos do grupo que indicaram que o critério ambiental foi o que mais pesou na análise(26,6%), seguido pelo social e pelo político, com pesos bem próximos (26,2% e 25,4%) e o critério econômico foi o de menor peso com 21,9%. Nas comparações par a par entre os critérios e os seus respectivos sub critérios estes pesos foram determinantes na configuração final das tecnologias e seus respectivos arranjos tecnológicos para a região. Para consolidar a análise mostra-se a seguir a análises dos sub critérios e seus índices de inconsistências.

O Gráfico 4.2 mostra que o percentual de redução de volume pós tratamento apresentou um índice de inconsistência de 0,10 e que as tecnologias da incineração com geração de energia e a incineração recebeu os maiores pesos e que a reciclagem e o TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios uso de energia renovável e área útil para a tecnologia apresentaram inconsistência de 0,15 e 0,14 e que poluentes emitidos a atmosfera e quantidade de RSU para a destinação final apresentaram índice de inconsistência de 0,10 e 0,11, respectivamente. Como o peso do critério ambiental foi o maior, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

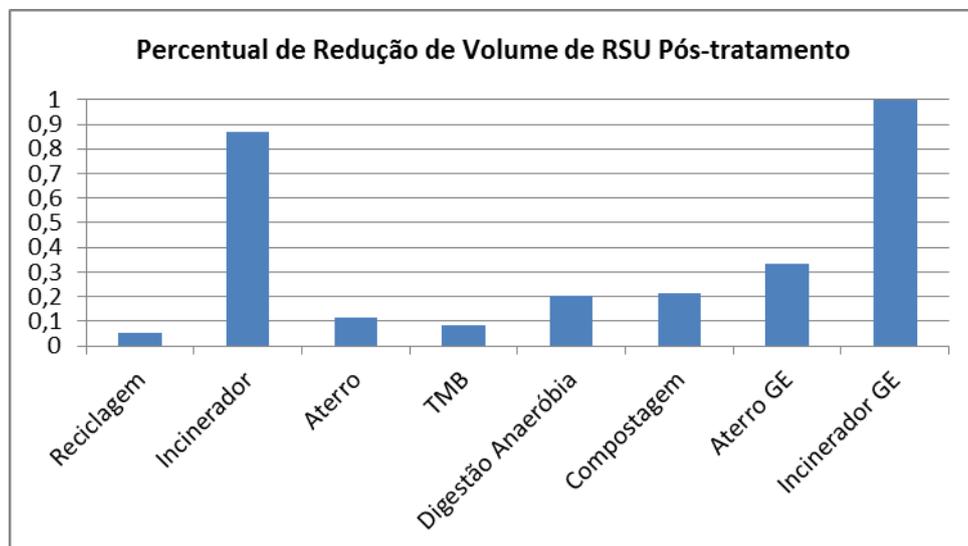


Gráfico 4.2 – Subcritério Percentual de Redução de Volume de RSU Pós-Tratamento versus tecnologias – Região Norte.

O Gráfico 4.3 mostra que o PIB Local/regional apresentou um índice de inconsistência de 0,07 e que as tecnologias da reciclagem e da compostagem receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam

os menores pesos. Observa-se que os subcritérios IDH Local/regional e número de empregos gerados na tecnologia apresentaram inconsistência de 0,07 e 0,10 respectivamente. Como o peso do critério social foi o maior que o econômico, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

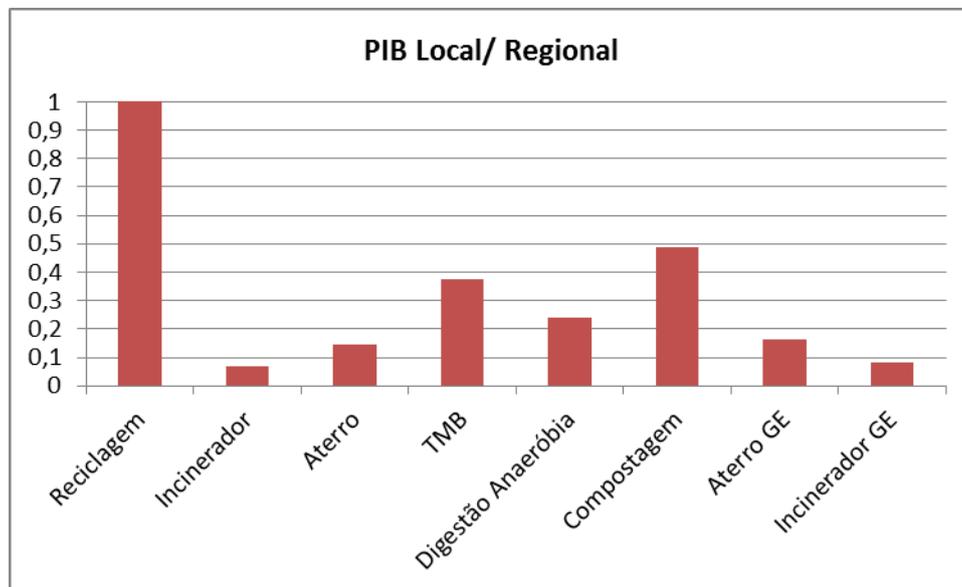


Gráfico 4.3 - Subcritério PIB Local/ Regional versus tecnologias - Região Norte.

O Gráfico 4.4 mostra que o custo total de investimento da tecnologia apresentou um índice de inconsistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e da compostagem receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios custo de implantação e operação e custo de pós monitoramento apresentaram inconsistência de 0,10. Como o peso do critério econômico foi o menor que o social e igual ao político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

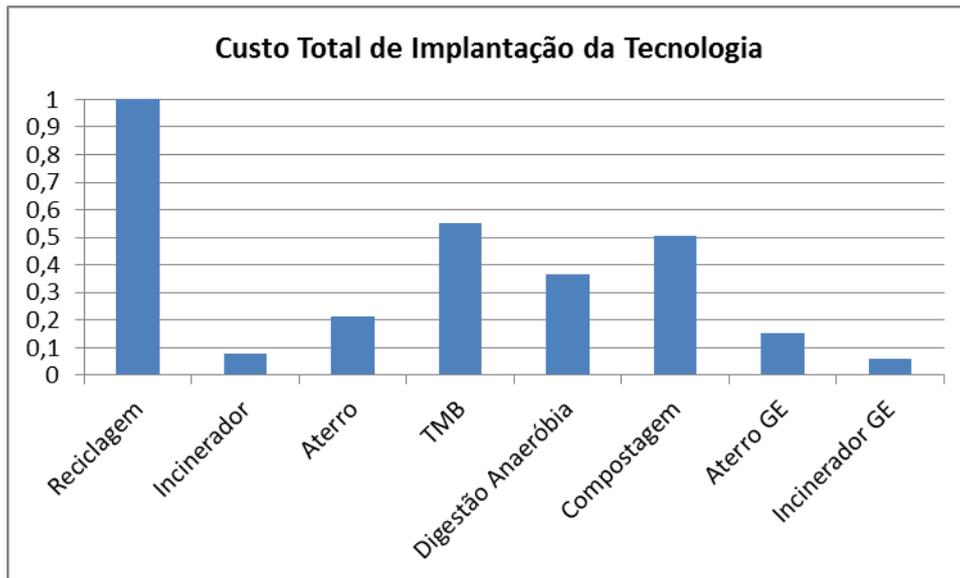


Gráfico 4.4 - Subcritério Custo Total de Implantação da Tecnologia versus tecnologias - Região Norte.

O Gráfico 4.5 mostra que a adoção de solução consorciada apresentou um índice de inconsistência de 0,08 e que as tecnologias do aterro com geração de energia e do aterro sanitário receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios retorno político e aceitabilidade da tecnologia apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,15 respectivamente. Como o peso do critério social foi maior que o econômico e igual ao político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

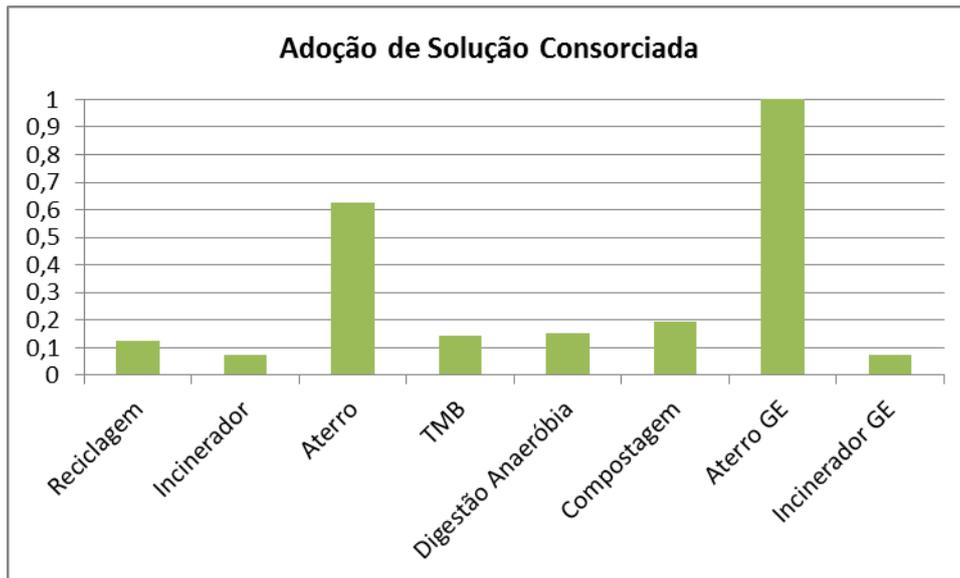


Gráfico 4.5 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Norte.

Após os ajustes efetivados nos resultados apresentados, o resultado do modelo foi: reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, incineração com geração de energia, aterro sanitário e TMB.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecer os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + TMB + aterro sanitário
- 2 arranjo : reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário
- 3 arranjo : reciclagem + aterro sanitário com geração de energia

Com isto a aplicação do modelo AHP se mostrou capaz de oferecer alternativas consistentes, neste sentido o modelo do AHP não é um modelo que acha a resposta certa, mas um modelo que ajuda tomadores de decisão a achar a melhor resposta.

#### 4.1.2 Região Nordeste

##### 4.1.2.1 Resultados do AHP

A Figura 4.20 mostra a hierarquia principal e o modelo hierárquico definido para a região Nordeste do Brasil. Esta hierarquia para o tratamento dos resíduos sólidos na região mostra os quatro critérios definidos para a pesquisa, o ambiental, o social, o econômico e o político e os seus referidos subcritérios.

Os resultados da aplicação deste modelo de apoio à decisão estão mostrados na Figura 4.20.

13/11/2012 15:02:18

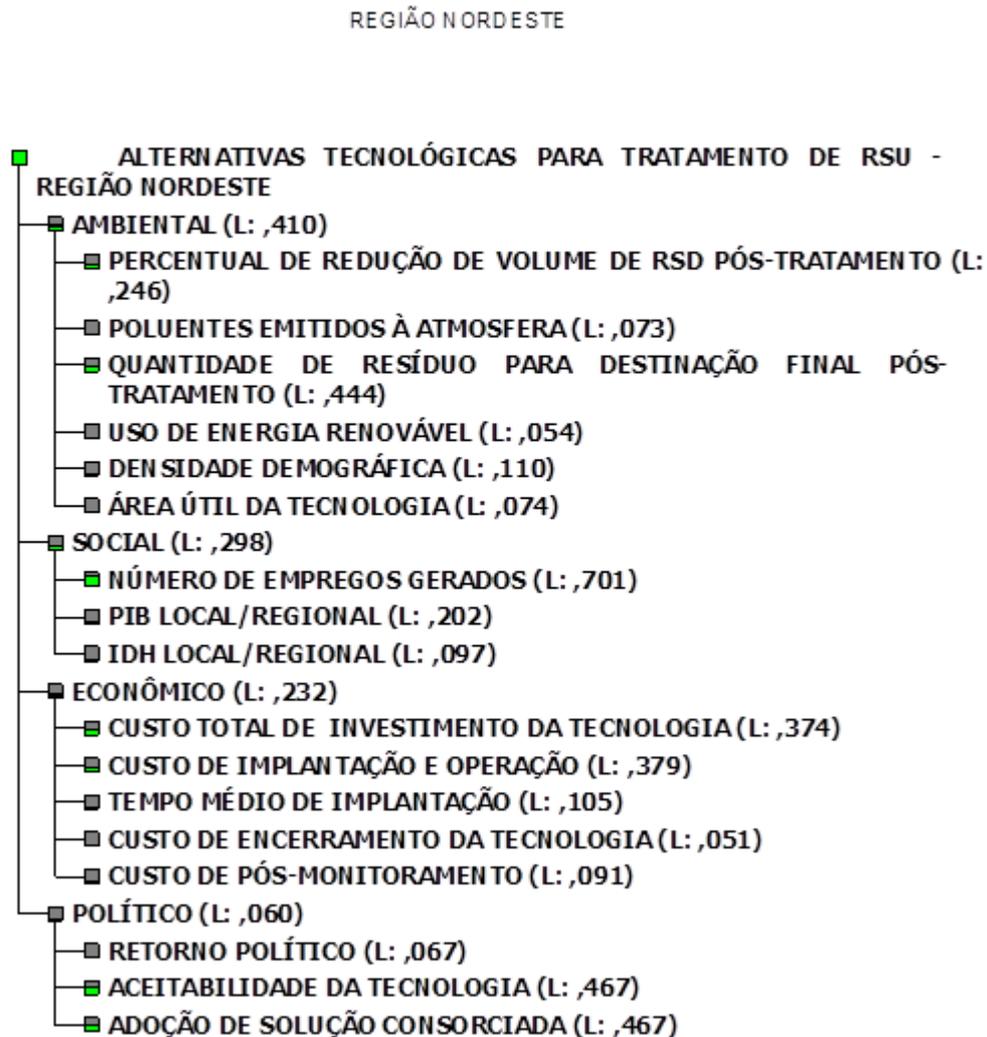


Figura 4.20 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da região Nordeste.

A Figura 4.20 mostra a hierarquia principal com os critérios (ambientais, sociais, econômicos e políticos) e os seus respectivos subcritérios, que após as preferências (peso) indicadas por cada convidado e aplicado ao software Expert Choice, são mostrados na Figura 4.21 para as comparações par a par entre os critérios. Estes pesos foram analisados e ajustados, com a utilização da moda apresentada (número que mais se repetiu como resposta na região) entre os pesos dos convidados, onde depois de ajustados se tornam a média do grupo e não individuais.

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SOCIAL
2	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
3	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
4	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
5	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
6	ECONÔMICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO

Figura 4.21 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos para a Região Nordeste.

A Figura 4.22 mostra os resultados referentes a aplicação do modelo da importância relativa entre o critério ambiental e seus respectivos subcritérios, entre o critério social e seus respectivos subcritérios, do critério econômico e seus respectivos subcritérios e do critério político e seus respectivos subcritérios com a comparação par a par entre cada subcritério e seu critério em análise. A soma dos pesos relativos calculados dos critérios é igual a 1,00.

REGIÃO NORDESTE	
Critério	Importância relativa (L)
Ambiental	0,41
Social	0,298
Econômico	0,232
Político	0,06

Figura 4.22 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Nordeste.

A Figura 4.23 mostra os pesos calculados para o critério ambiental e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Nordeste.

## REGIÃO NORDESTE pós análise

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RESÍDUO PÓS-TRATAMENTO (L: ,210)	AMBIENTAL POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: ,153)	AMBIENTAL QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: ,387)
✓ RECICLAGEM	,054	1,000	,057
✓ INCINERADOR	,870	,092	,228
✓ ATERRO	,114	,165	,631
✓ MBT	,083	,149	,083
✓ DIGESTÃO	,202	,354	,130
✓ COMPOSTAGEM	,213	,433	,099
✓ ATERRO GE	,333	,282	1,000
✓ INCINERADOR GE	1,000	,143	,246

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: ,043)	AMBIENTAL DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: ,101)	AMBIENTAL ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: ,106)
✓ RECICLAGEM	1,000	,942	1,000
✓ INCINERADOR	,085	,587	,205
✓ ATERRO	,254	,075	,094
✓ MBT	,289	,270	,530
✓ DIGESTÃO	,315	,382	,384
✓ COMPOSTAGEM	,509	,387	,729
✓ ATERRO GE	,193	,092	,089
✓ INCINERADOR GE	,089	1,000	,126

Figura 4.23 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Nordeste.

A Figura 4.24 mostra os pesos calculados para o critério social e econômico e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Nordeste.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	SOCIAL NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: ,672)	SOCIAL PIB LOCAL/REGIONAL (L: ,257)	SOCIAL IDH LOCAL/REGIONAL (L: ,070)
✓ RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
✓ INCINERADOR	,060	,070	,437
✓ ATERRO	,469	,144	,069
✓ MBT	,248	,377	,084
✓ DIGESTAO	,153	,242	,094
✓ COMPOSTAGEM	,149	,488	,144
✓ ATERROGE	,729	,163	,216
✓ INCINERADORGE	,077	,083	,509

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA (L: ,374)	ECONÔMICO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (L: ,379)	ECONÔMICO TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: ,105)
✓ RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
✓ INCINERADOR	,080	,158	,061
✓ ATERRO	,212	,314	,172
✓ MBT	,550	,839	,410
✓ DIGESTAO	,366	,483	,220
✓ COMPOSTAGEM	,505	,885	,305
✓ ATERROGE	,155	,198	,109
✓ INCINERADORGE	,060	,100	,060

Figura 4.24 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Nordeste.

A Figura 4.25 mostra os pesos calculados para os critérios econômicos e político e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Nordeste.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: .051)	ECONÔMICO CUSTO DE PÓS-MONITORAME NTO (L: .091)	POLÍTICO RETORNO POLÍTICO (L: .067)
✓ RECICLAGEM	.871	.746	1,000
✓ INCINERADOR	.139	.141	.077
✓ ATERRO	.076	.086	.227
✓ MBT	.385	.411	.227
✓ DIGESTAO	.287	.366	.135
✓ COMPOSTAGEM	1,000	1,000	.469
✓ ATERROGE	.055	.047	.403
✓ INCINERADORGE	.110	.077	.104

Modo distribuição	Par a par	Par a par
	POLÍTICO ACEITABILIDADE DA TECNOLOGIA (L: .467)	POLÍTICO ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIA DA (L: .467)
✓ RECICLAGEM	1,000	.123
✓ INCINERADOR	.104	.078
✓ ATERRO	.155	.827
✓ MBT	.806	.145
✓ DIGESTAO	.507	.153
✓ COMPOSTAGEM	.365	.193
✓ ATERROGE	.297	1,000
✓ INCINERADORGE	.227	.073

Figura 4.25 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.

A Figura 4.26 mostra por ordem de preferência as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Nordeste.

Pela ordem de preferência a alternativa tecnológica da reciclagem foi a mais indicada, seguida do aterro sanitário com e sem geração de energia, da compostagem e do TMB e da incineração com geração de energia em ciclo combinado. Por outro lado, a digestão anaeróbia e a incineração com geração de energia foram as alternativas menos indicadas.

### ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU - REGIÃO NORDESTE

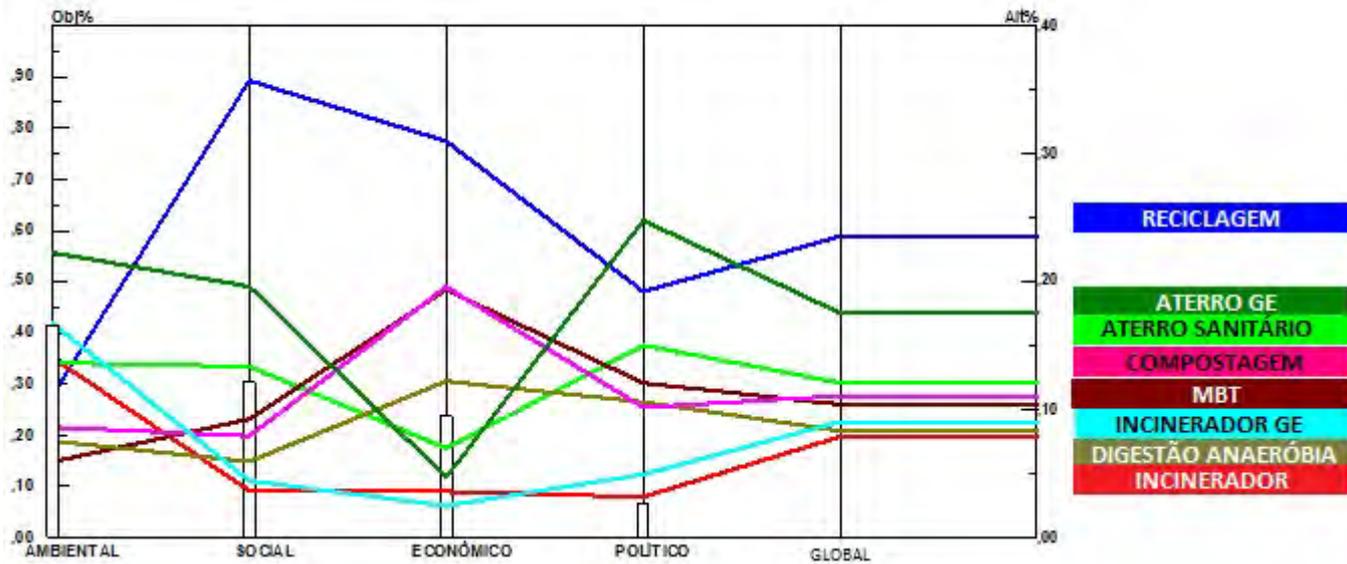


Figura 4.26 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a Região Nordeste.

A Figura 4.27 mostra, por ordem de prioridade, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Nordeste com o cálculo do índice de inconsistência, que neste caso foi de 0,09, ou seja, uma consistência de 91% para esta aplicação.



Figura 4.27 - Indicação do índice de inconsistência da importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Nordeste.

A Figura 4.28 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e social. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambiental e social e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhida como a segunda preferência. O aterro

sanitário, o TMB, a compostagem e a digestão anaeróbia, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram às tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Nordeste.

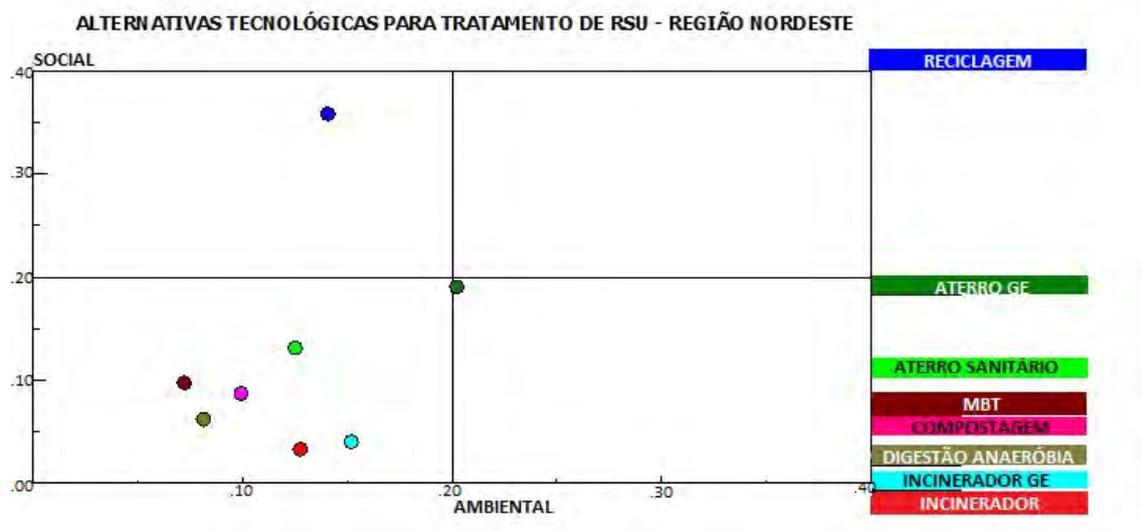


Figura 4.28 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Nordeste.

A Figura 4.29 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambientais e econômicos e a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Nordeste.

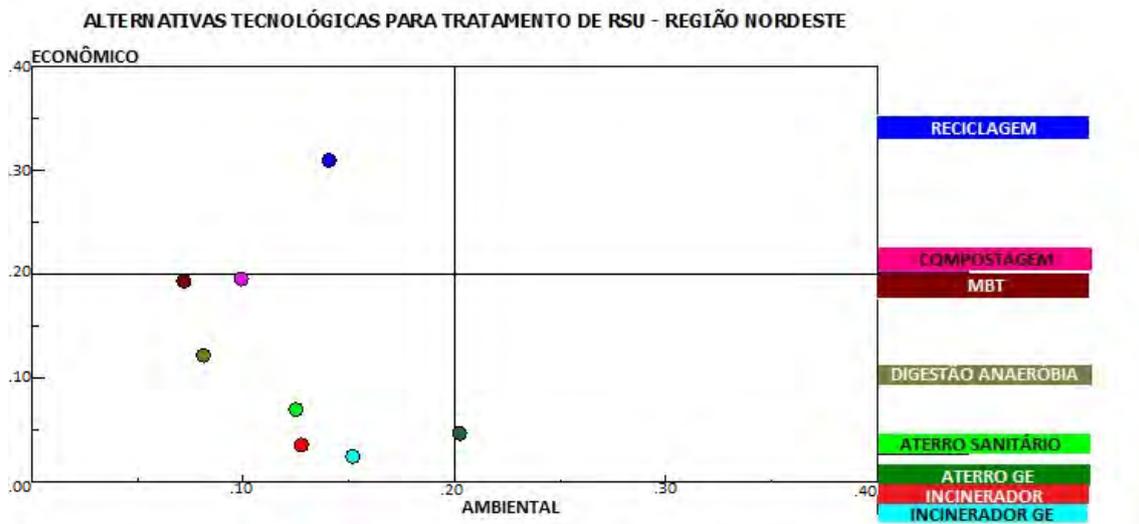


Figura 4.29 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Nordeste.

A Figura 4.30 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambientais e políticos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Nordeste.

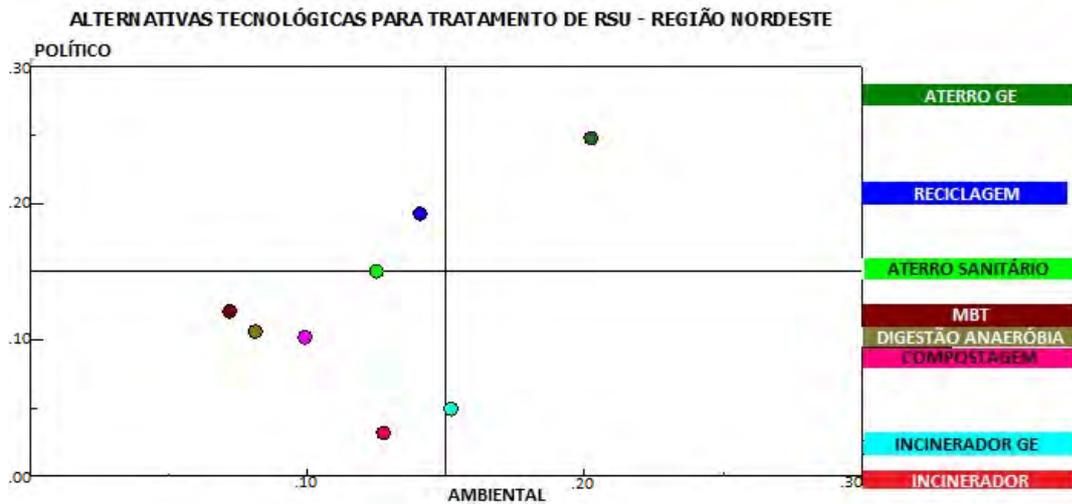


Figura 4.30 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Nordeste.

A Figura 4.31 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e econômicos e a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário e o aterro sanitário com geração de energia, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Nordeste.

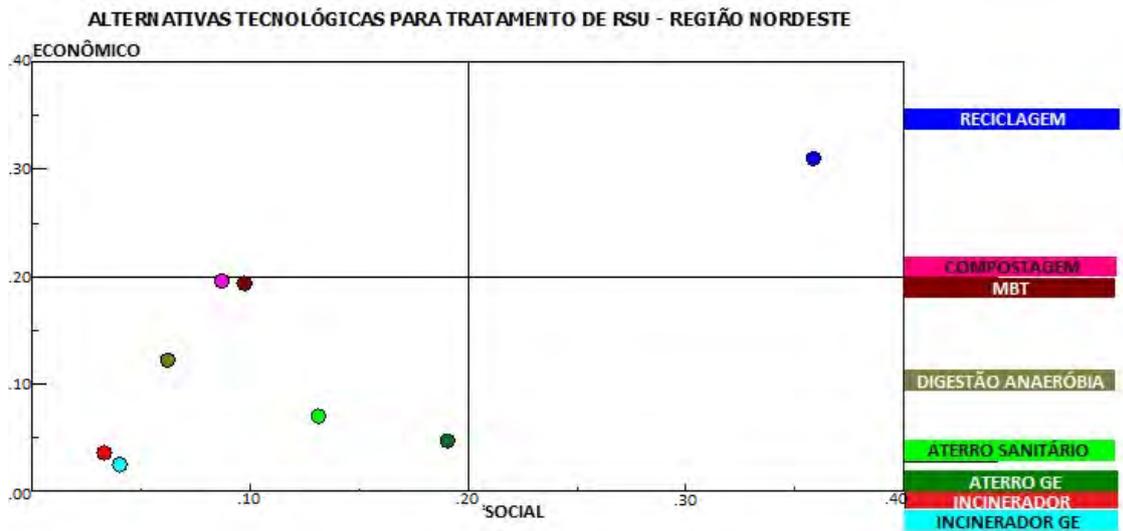


Figura 4.31 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Nordeste.

A Figura 4.32 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e políticos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando- se estes critérios para a região Nordeste.

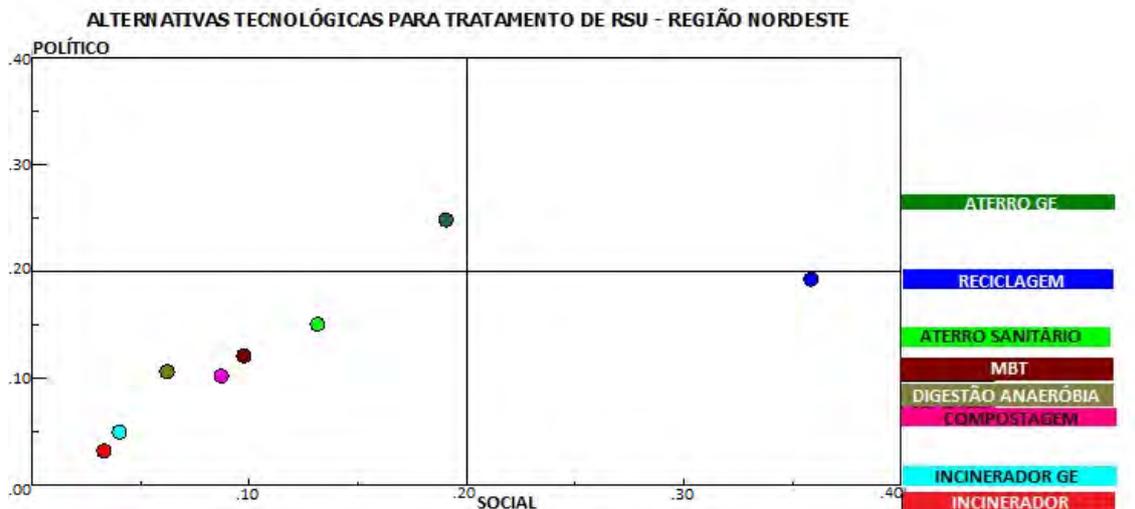


Figura 4.32 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Nordeste.

A Figura 4.33 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios econômicos e político. Observa-se que o aterro com geração de energia foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e econômicos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Nordeste.

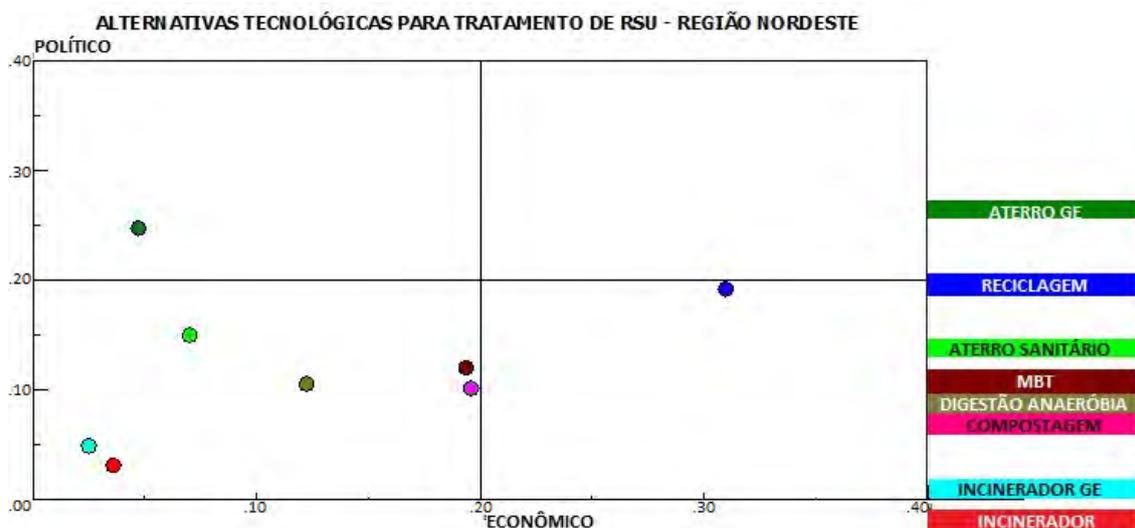


Figura 4.33 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Nordeste.

Como o índice de inconsistência foi de 0,09 não se faz necessário o ajuste do modelo, pois apresenta uma consistência de 91%.

#### 4.1.2.2 Análise dos Resultados do AHP

A seguir apresenta-se a análise dos resultados da Região Nordeste:

Na aplicação do modelo AHP, o critério ambiental, após aplicação dos pesos da região, foi o que apresentou o maior peso, respondendo por 41,80% do total de todos os critérios (representando 100%) e neste critério o maior peso atribuído foi quantidade de resíduos destinados pós- tratamento. O segundo critério mais importante nesta região foi o social, que representou 29,80% do peso total e o critério econômico representou apenas 23,2% do peso total sendo o menor peso atribuído pela região, por fim o critério político representou apenas 6%. Na aplicação deste modelo o índice de inconsistência foi de 0,09, o que atende a robustez do modelo.

O Gráfico 4.6 mostra os critérios e seus pesos após aplicação do modelo, com sua comparação par a par.



Gráfico 4.6 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Nordeste.

Analisando-se a Figura 4.23 quanto ao critério ambiental para o sub critério percentual de redução de volume pós-tratamento para a tecnologia da incineração com geração de energia e incineração em ciclo combinado apresentou os maiores valores (percentuais) com 1,00 e 0,890 e a digestão anaeróbia e o aterro

sanitário sem geração de energia apresentaram os menores valores com 0,202 e 0,114, onde o peso total deste subcritério é de 0,210, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o subcritério de quantidade de resíduo pós tratamento que apresenta o aterro sanitário como maior valor e o incinerador com menor valor.

Considerando-se a Figura 4.24 quanto ao critério social para o subcritério número de empregos gerados para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentuais) com 1,00 e a compostagem e a digestão apresentou o menor valor com 0,149 e 0,153, com peso total de 0,632, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o subcritério de IDH local/regional que apresenta a reciclagem com maior valor e o a compostagem com menor valor, desde que considerado o indicador de educação contido no cálculo do IDH, que reflete relação direta com a reciclagem e relação inversa com a digestão anaeróbia.

Analisando-se a Figura 4.24 e 4.25 quanto ao critério econômico para o subcritério do custo total de implantação da tecnologia para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e para os subcritérios de custo de encerramento e de pós-encerramento da tecnologia apresenta a compostagem com o maior valor de 1,00, o que está correto na análise deste subcritério com suas tecnologias de tratamento para a região nordeste, pois os convidados indicaram na escolha do seu peso atribuído um indicativo de utilização da tecnologia da compostagem, considerando-se alguns fatores como grande melhoria do IDH local e regional e do PIB da região nos últimos 8 anos.

Analisando-se a Figura 4.25 quanto ao critério político para o subcritério retorno político e aceitabilidade da tecnologia pela população a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e o aterro sanitário apresentou o maior valor com 1,00, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento e traduz o atual estágio de compreensão da tecnologia pela população local/regional.

A Figura 4.26 pós-análise de sensibilidade mostra que as tecnologias da reciclagem e aterro sanitário com geração de energia foram as que apresentaram maiores pesos e as tecnologias da digestão anaeróbia e incinerador foram as que apresentaram menores pesos e pode ser justificado pelos pesos do grupo que indicaram que o critério ambiental foi o que mais pesou na análise(41%), seguido pelo social e

pelo econômico, com pesos bem próximos (29,8% e 23,2%) e o critério político foi o de menor peso com 6,0%. Nas comparações par a par entre os critérios e os seus respectivos sub critérios estes pesos foram determinantes na configuração final das tecnologias e seus respectivos arranjos tecnológicos para a região justificados nos gráficos de importância relativas dos critérios e sub critérios mostrando suas tendências por pontos. Para consolidar a análise da região mostra-se a seguir a análise dos sub critérios e seus índices de inconsistências.

O Gráfico 4.7 mostra que o subcritério quantidade de resíduo para destinação final pós-tratamento apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias do aterro sanitário e aterro sanitário com geração de energia recebeu os maiores pesos e que a reciclagem e o TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios uso de energia renovável e área útil para a tecnologia apresentaram inconsistência de 0,15 e 0,14 e que poluentes emitidos a percentual de redução de volume pós tratamento apresentaram índice de inconsistência de 0,15 e 0,10 respectivamente. Como o peso do critério ambiental foi o maior, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.



Gráfico 4.7 - Subcritério Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Nordeste.

O Gráfico 4.8 mostra que o subcritério número de empregos gerados apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e de aterro sanitário com geração de energia receberam os maiores pesos e que o incinerador

e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios IDH Local/regional e PIB Local/Regional apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,07 respectivamente. Como o peso do critério social foi maior que o econômico, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

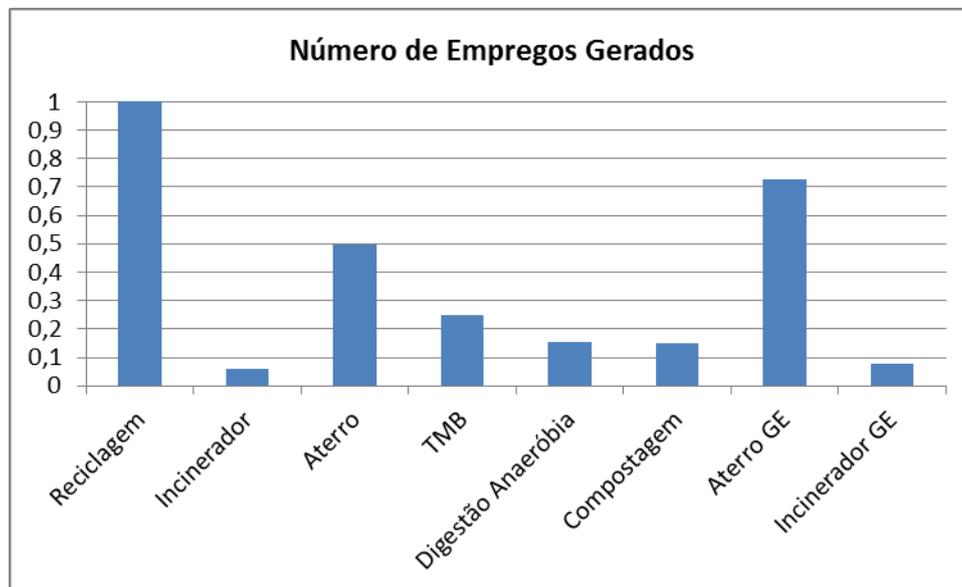


Gráfico 4.8 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus tecnologias - Região Nordeste.

O Gráfico 4.9 mostra que o custo total de investimento tecnologia apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e do TMB receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios custo de manutenção e operação e custo de pós monitoramento apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,11. Como o peso do critério econômico foi o menor que o social e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

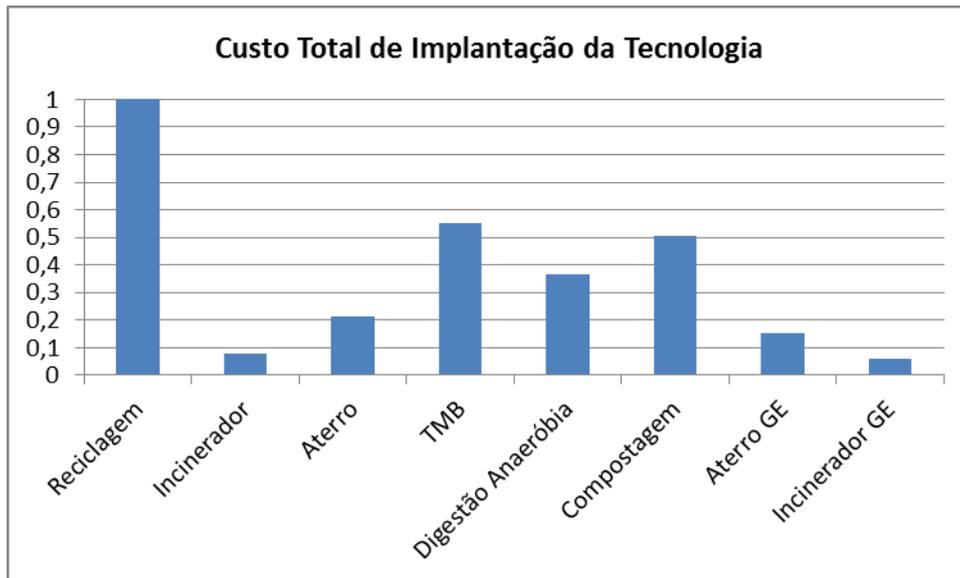


Gráfico 4.9 - Subcritério Custo Total de Implantação da Tecnologia versus tecnologias - Região Nordeste.

O Gráfico 4.10 mostra que a adoção de solução consorciada apresentou um índice de consistência de 0,07 e que as tecnologias do aterro com geração de energia e do aterro sanitário receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios retorno político e aceitabilidade da tecnologia apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,08 respectivamente. Como o peso do critério social foi maior que o econômico e menor que o ambiental e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.



Gráfico 4.10 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Nordeste.

Este modelo apresentou como resultado das 4 tecnologias de preferência da região, que foram: reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário sem geração de energia, compostagem e TMB.

Diante deste resultado e atendendo à PNRS, existe a possibilidade de serem propostos os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : Reciclagem + TMB + aterro sanitário
- 2 arranjo : Reciclagem + Digestão anaeróbia + aterro sanitário
- 3 arranjo : Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia
- 4 arranjo : Reciclagem + aterro sanitário

#### 4.1.3 Região Centro-Oeste

##### 4.1.3.1 Resultados do AHP

A Figura 4.34 mostra a hierarquia principal e o modelo hierárquico definido para a região Centro-Oeste do Brasil. Esta hierarquia para o tratamento dos resíduos sólidos na região mostra os quatro critérios definidos para a pesquisa, o ambiental, o social, o econômico e o político e seus referidos subcritérios.

Os resultados da aplicação deste modelo de apoio à decisão estão mostrados na Figura 4.34.

## REGIÃO CENTRO-OESTE



Figura 4.34 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da região Centro-Oeste.

A Figura 4.34 mostra a hierarquia principal com os critérios (ambientais, sociais, econômicos e políticos) e os seus respectivos subcritérios, que após as preferências indicadas por cada convidado e aplicado ao software Expert Choice, são mostrados na Figura 4.35 para as comparações par a par entre os critérios. Estes pesos foram ajustados, com a utilização da moda apresentada (número que mais se repetiu como repostas) entre os pesos dos convidados, onde depois de ajustados se tornam a média do grupo e não individuais.

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SOCIAL
2	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
3	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
4	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
5	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
6	ECONÔMICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO

Figura 4.35 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos para a Região Centro-Oeste.

A Figura 4.36 mostra os resultados referentes a aplicação do modelo da importância relativa entre o critério ambiental e seus respectivos subcritérios, entre o critério social e seus respectivos subcritérios, do critério econômico e seus respectivos subcritérios e do critério político e seus respectivos subcritérios com a comparação par a par entre cada subcritério e seu critério em análise. A soma dos pesos relativos calculados dos critérios é igual a 1,00.

REGIÃO CENTRO-OESTE	
Critério	Importância relativa (L)
Ambiental	0,605
Social	0,141
Econômico	0,222
Político	0,033

Figura 4.36 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Centro-Oeste.

A Figura 4.37 mostra os pesos calculados para o critério ambiental e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Centro Oeste.

## REGIÃO CENTRO-OESTE pós análise

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RESÍDUO PÓS-TRATAMENTO (L: ,231)	AMBIENTAL POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: ,199)	AMBIENTAL QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: ,272)
✓ RECICLAGEM	,054	1,000	,057
✓ INCINERADOR	,870	,092	,228
✓ ATERRO	,114	,165	,631
✓ MBT	,083	,449	,083
✓ DIGESTÃO	,202	,354	,130
✓ COMPOSTAGEM	,213	,483	,099
✓ ATERRO GE	,333	,262	1,000
✓ INCINERADOR GE	1,000	,143	,248

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: ,069)	AMBIENTAL DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: ,187)	AMBIENTAL ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: ,042)
✓ RECICLAGEM	1,000	,942	1,000
✓ INCINERADOR	,065	,567	,205
✓ ATERRO	,254	,075	,094
✓ MBT	,289	,270	,520
✓ DIGESTÃO	,315	,382	,384
✓ COMPOSTAGEM	,509	,367	,729
✓ ATERRO GE	,192	,092	,089
✓ INCINERADOR GE	,089	1,000	,128

Figura 4.37 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Centro-Oeste.

A Figura 4.38 mostra os pesos calculados para o critério social e econômico e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Centro Oeste.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	<b>SOCIAL NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: ,672)</b>	<b>SOCIAL PIB LOCAL/REGIONAL (L: ,257)</b>	<b>SOCIAL IDH LOCAL/REGIONAL (L: ,070)</b>
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,080	,070	,437
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,489	,144	,089
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,248	,377	,084
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTÃO	,153	,242	,094
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,149	,488	,144
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	,729	,183	,216
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR GE	,077	,083	,509

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	<b>ECONÔMICO CUSTO DE TOTAL DE INVESTIMENTO DA TECNOLOGIA (L: ,209)</b>	<b>ECONÔMICO CUSTO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO (L: ,516)</b>	<b>ECONÔMICO TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: ,116)</b>
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,080	,158	,081
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,212	,314	,172
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,550	,839	,410
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTÃO	,366	,483	,220
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,505	,665	,305
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	,155	,198	,109
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR GE	,080	,100	,080

Figura 4.38 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Centro-Oeste.

A Figura 4.39 mostra os pesos calculados para os critérios econômicos e político e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Centro Oeste.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: ,046)	ECONÔMICO CUSTO DE PÓS-MONITORAME NTO (L: ,112)	POLÍTICO RETORNO POLÍTICO (L: ,092)
✓ RECICLAGEM	,671	,746	1,000
✓ INCINERADOR	,139	,141	,077
✓ ATERR O	,078	,086	,227
✓ MBT	,385	,411	,227
✓ DIGESTAO	,287	,366	,135
✓ COMPOSTAGEM	1,000	1,000	,489
✓ ATERR O GE	,055	,047	,403
✓ INCINERADORGE	,110	,077	,104

Modo distribuição	Par a par	Par a par
	POLÍTICO ACEITABILIDADE DA TECNOLOGIA (L: ,738)	POLÍTICO ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIADA (L: ,170)
✓ RECICLAGEM	1,000	,123
✓ INCINERADOR	,104	,078
✓ ATERR O	,155	,627
✓ MBT	,608	,145
✓ DIGESTAO	,507	,153
✓ COMPOSTAGEM	,365	,193
✓ ATERR O GE	,297	1,000
✓ INCINERADORGE	,227	,073

Figura 4.39 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a Região Centro-Oeste.

A Figura 4.40 mostra por ordem de preferência as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Centro-Oeste.

Pela ordem de preferência a alternativa tecnológica da Reciclagem foi a mais indicada, seguida do aterro sanitário com geração de energia, da compostagem, da incineração com geração de energia em ciclo combinado, do TMB e do incinerador com geração de energia. Por outro lado, a digestão anaeróbia e o aterro sanitário foram as alternativas menos indicadas.

### ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU - REGIÃO CENTRO-OESTE

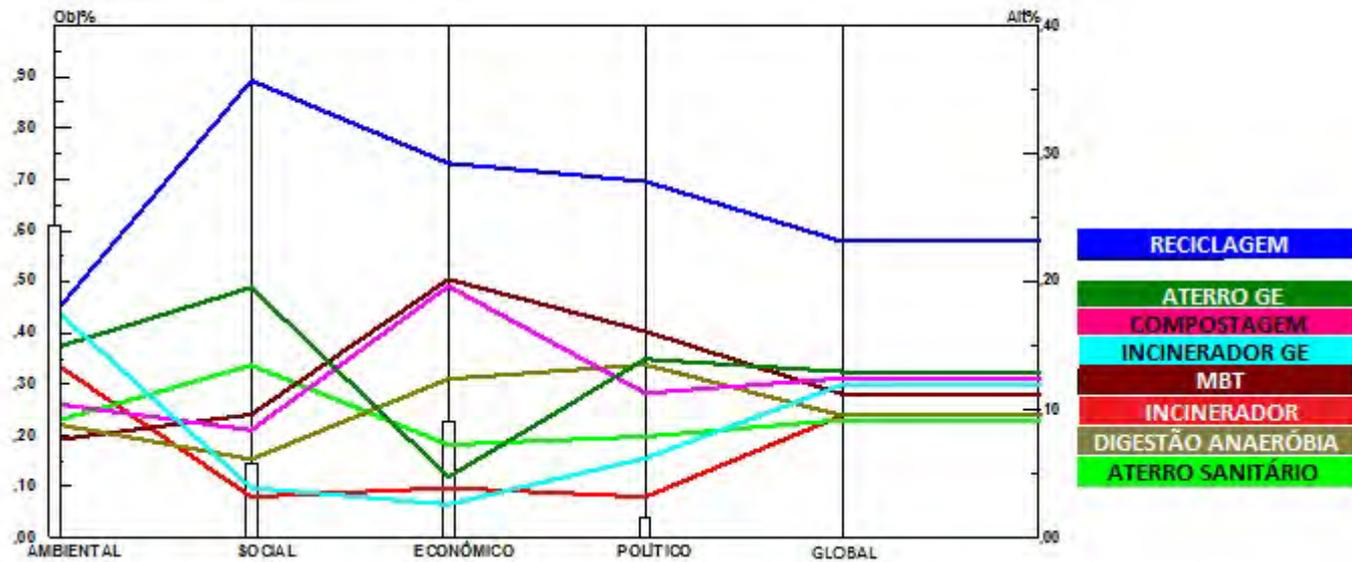


Figura 4.40 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a Região Centro-Oeste.

Por outro lado, a Figura 4.41 mostra, por ordem de prioridade, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Centro Oeste com o cálculo do índice de inconsistência, que neste caso foi de 0,10, ou seja, com um índice de consistência de 90%.



Figura 4.41 - Indicação do índice de inconsistência para importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Centro-Oeste.

A Figura 4.42 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e social. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e ambientais e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido como a segunda preferência. O aterro sanitário com e sem geração de energia, o TMB, a compostagem e a digestão anaeróbia

foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Centro-Oeste.

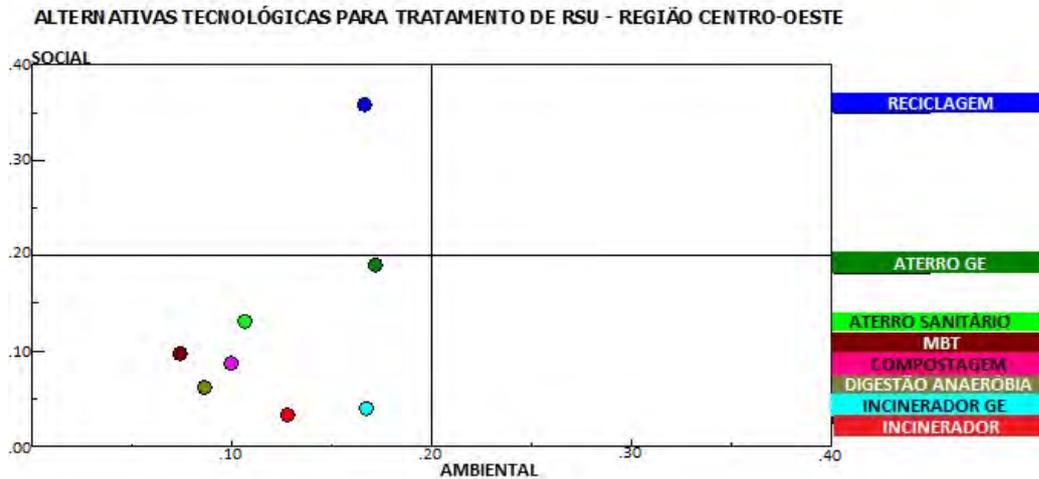


Figura 4.42 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Centro-Oeste.

A Figura 4.43 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios econômicos e ambientais e a compostagem com geração de energia foi escolhido como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário e aterro sanitário com geração de energia foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Centro-Oeste.

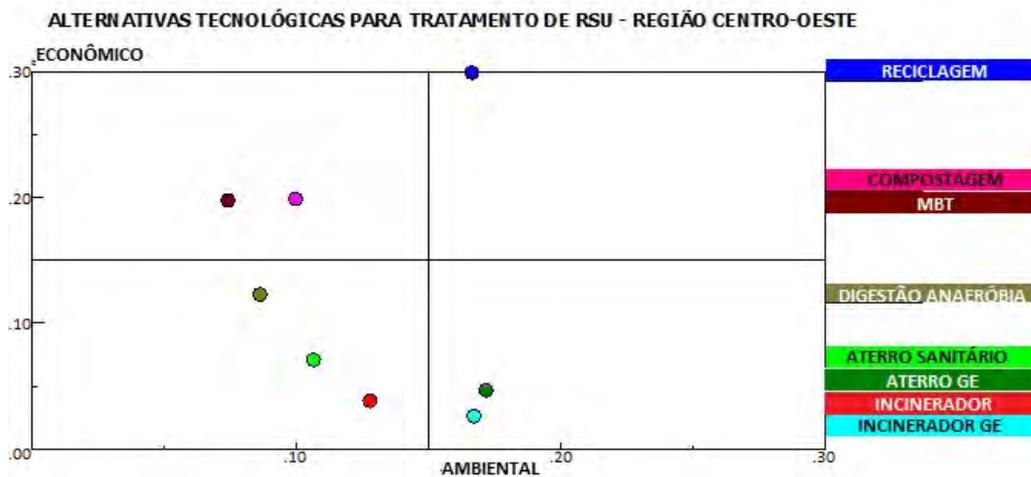


Figura 4.43 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Centro-Oeste.

A Figura 4.44 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e político. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambientais e político e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, a compostagem e aterro sanitário foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Centro-Oeste.

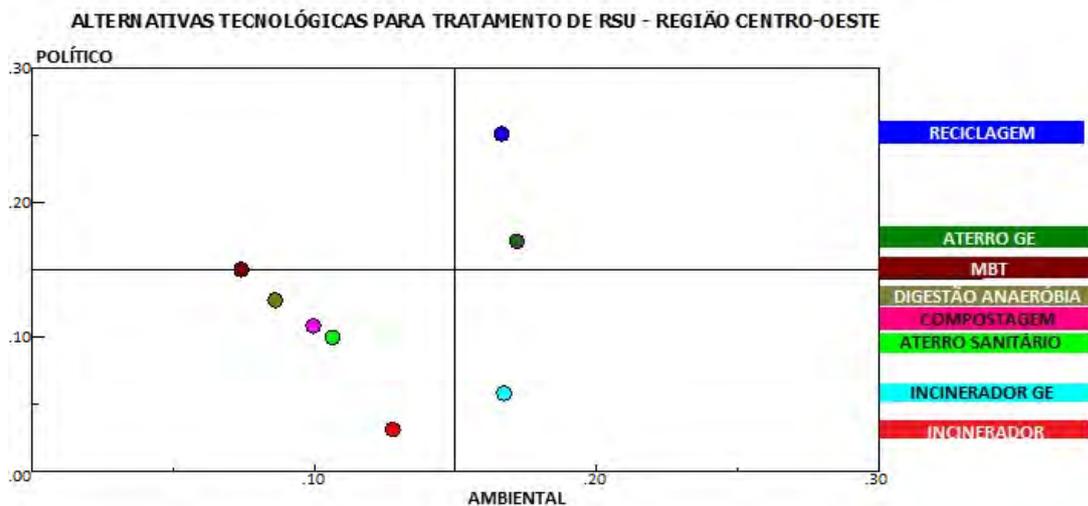


Figura 4.44 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Centro-Oeste.

A Figura 4.45 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e econômicos e a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário e o aterro sanitário com geração de energia foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Centro-Oeste.

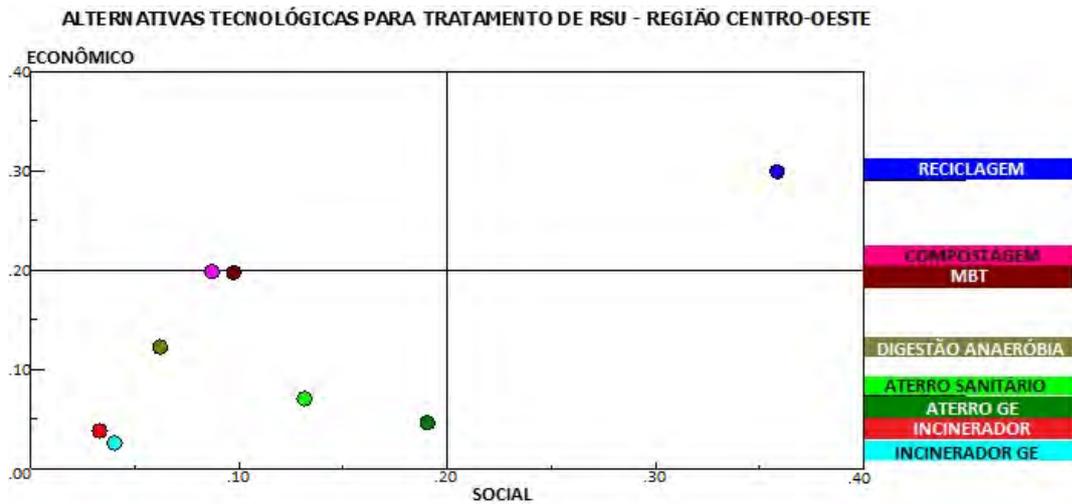


Figura 4.45 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Centro-Oeste.

A Figura 4.46 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e político. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e políticos e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, a compostagem e o aterro sanitário foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Centro-Oeste.

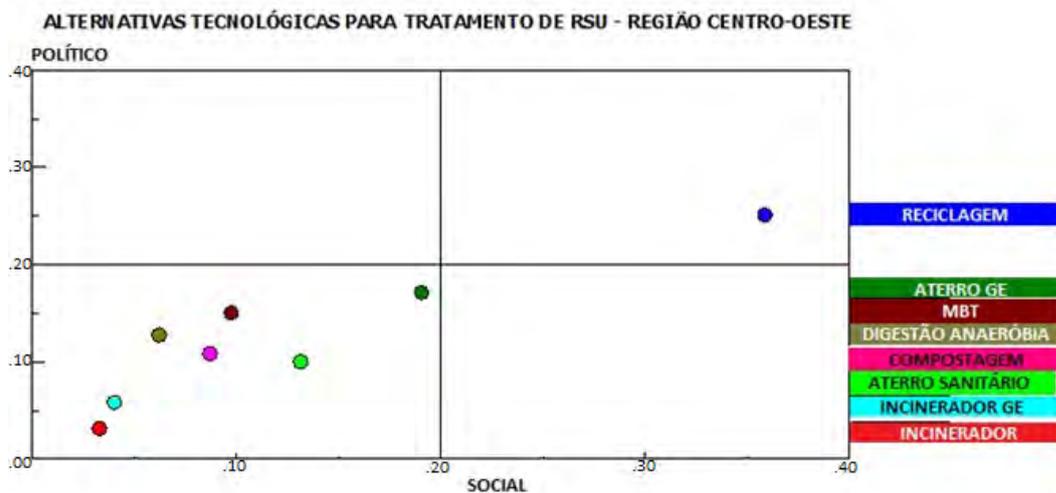


Figura 4.46 - Importância relativa dos critérios político e social por tecnologias na Região Centro-Oeste.

A Figura 4.47 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios econômicos e político. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios econômicos e políticos e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, a compostagem e o aterro sanitário foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Centro-Oeste.

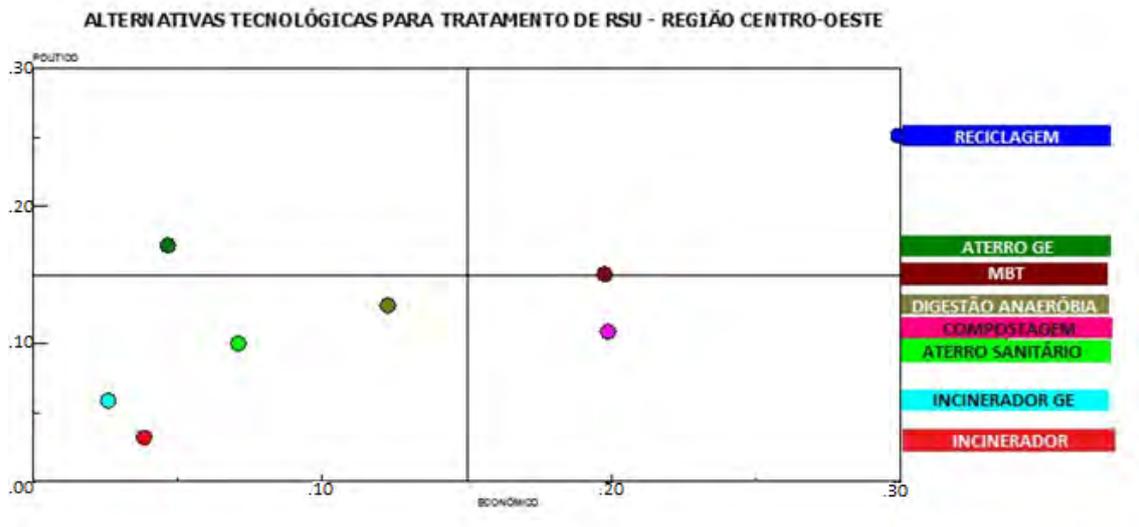


Figura 4.47 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Centro-Oeste.

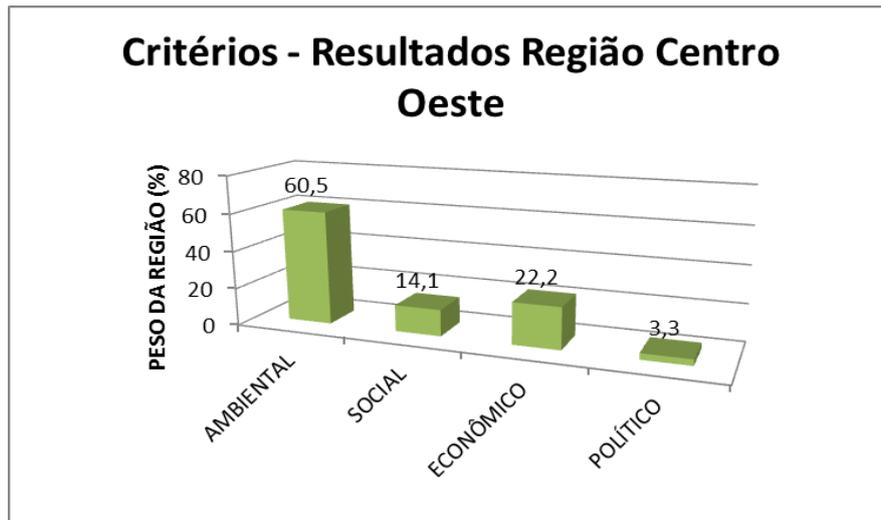
Como o índice de inconsistência foi de 0,10 não se faz necessário o ajuste do modelo, pois apresenta uma consistência de 90%.

#### 4.1.3.2 Análise dos Resultados do AHP

A seguir apresenta-se os resultados da Região Centro Oeste.

Na aplicação do modelo AHP, o critério ambiental após aplicação dos pesos da região foi o que apresentou o maior peso, respondendo por 60,50% do total de todos os critérios (representando 100%) e neste critério o maior peso atribuído foi quantidade de resíduos destinados pós- tratamento. O segundo critério mais importante nesta região foi o econômico, que representou 22,20% do peso total e o critério social representou apenas 14,1% do peso total sendo o menor peso atribuído pela região, por fim o critério político representou apenas 3,3%. Na aplicação deste modelo o índice de inconsistência foi de 0,10 o que atende a robustez do modelo.

O Gráfico 4.11 mostra os critérios e seus pesos após aplicação do modelo, com suas comparações par a par.



Gráfico 4.11 - Critérios com seus pesos após aplica o do modelo – Região Centro Oeste.

Analisando-se a Figura 4.37 quanto ao critério ambiental para o sub critério percentual de redu o de volume pós-tratamento para a tecnologia da incinera o com gera o de energia e incinera o em ciclo combinado apresentou os maiores valores (percentuais) com 1,00 e 0,870 e a digestão anaeróbia e o aterro sanitário sem gera o de energia apresentaram os menores valores com 0,202 e 0,114, onde o peso total deste subcritério   de 0,231, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de quantidade de resíduo pós-tratamento que apresenta o aterro sanitário como maior valor e o incinerador com menor valor.

Analisando-se a Figura 4.38 quanto ao critério social para o sub critério número de empregos gerados para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentuais) com 1,00 e a compostagem e a digestão apresentou o menor valor com 0,149 e 0,153, com peso total de 0,731, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de IDH local/regional que apresenta a reciclagem com maior valor e o a compostagem com menor valor, desde que considerado o indicador de educa o contido no cálculo do IDH, que reflete rela o direta com a reciclagem e rela o inversa com a digestão anaeróbia.

Analisando-se a Figura 4.38 e 4.39 quanto ao critério econômico para o sub critério do custo total de implanta o da tecnologia para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e para os sub critérios de custo de encerramento e de p s-encerramento da tecnologia apresenta a compostagem com o

maior valor de 1,00, o que está correto na análise deste subcritério com suas tecnologias de tratamento para a região centro oeste, pois os convidados indicaram na escolha do seu peso atribuído um indicativo de utilização da tecnologia da compostagem, considerando-se alguns aspectos como grande melhoria do IDH local e regional e do PIB da região nos últimos 8 anos.

Analisando-se a Figura 4.39 quanto ao critério político para o sub critério retorno político e adoção de solução consorciada da tecnologia pela população a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e o aterro sanitário apresentou o maior valor com 1,00, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento e traduz o atual estágio de compreensão da tecnologia pela população local/regional.

A Figura 4.40 pós-análise de sensibilidade mostra que as tecnologias da reciclagem e aterro sanitário com geração de energia foram as que apresentaram maiores pesos e as tecnologias da digestão anaeróbia e aterro sanitário foram as que apresentaram menores pesos e pode ser justificado pelos pesos do grupo que indicaram que o critério ambiental foi o que mais pesou na análise(60,5%), seguido pelo social e pelo econômico, com pesos bem próximos (24,1% e 22,2%) e o critério político foi o de menor peso com 3,3%. Nas comparações par a par entre os critérios e os seus respectivos sub critérios estes pesos foram determinantes na configuração final das tecnologias e seus respectivos arranjos tecnológicos para a região justificados nos gráficos de importância relativas dos critérios e sub critérios mostrando suas tendências por pontos. Para consolidar a análise da região mostra-se a seguir a análise dos sub critérios e seus índices de inconsistências.

O Gráfico 4.12 mostra que o subcritério quantidade de resíduo para destinação final pós tratamento apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias do aterro sanitário com geração de energia e aterro sanitário receberam os maiores pesos e que a reciclagem e o TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios uso de energia renovável e área útil para a tecnologia apresentaram inconsistência de 0,15 e 0,14 e que poluentes emitidos e percentual de redução de volume pós tratamento apresentaram índice de inconsistência de 0,13 e 0,10 respectivamente. Como o peso do critério ambiental foi o maior, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.



Gráfico 4.12 - Subcritério Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Centro Oeste.

O Gráfico 4.13 mostra que o subcritério número de empregos gerados apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e de aterro sanitário com geração de energia receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios IDH Local/regional e PIB Local/Regional apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,07 respectivamente. Como o peso do critério social foi maior que o econômico, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

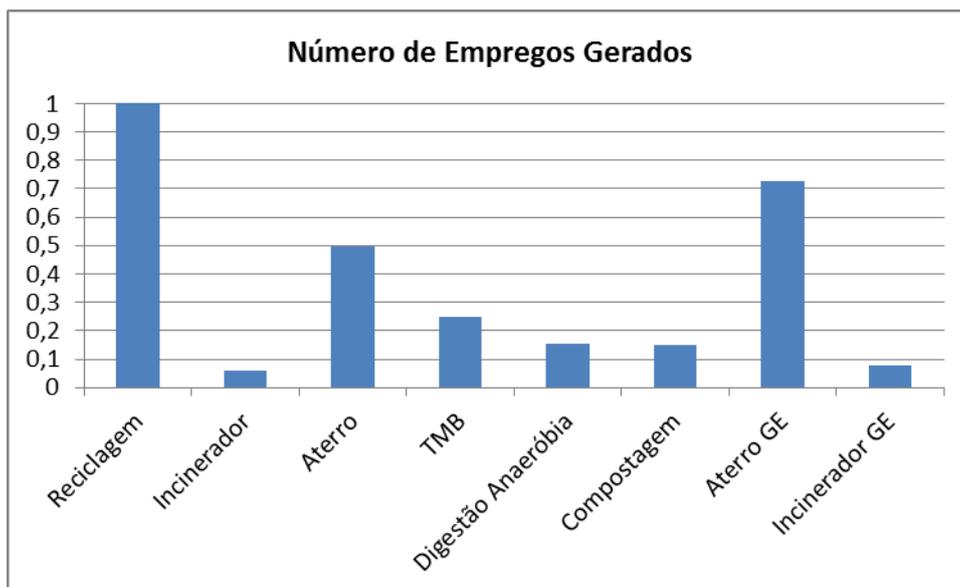


Gráfico 4.13 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus tecnologias - Região Centro Oeste.

O Gráfico 4.14 mostra que o custo total de investimento da tecnologia apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e do TMB receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios custo de operação e manutenção e o custo de pós monitoramento apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,10. Como o peso do critério econômico foi menor que o social e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

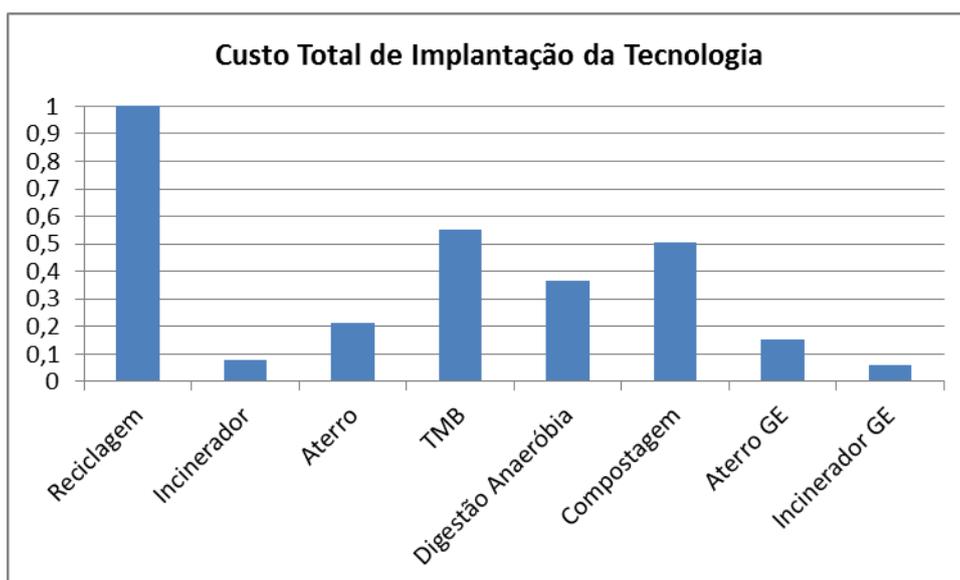


Gráfico 4.14 - Subcritério Custo Total de Implantação e Operação da Tecnologia versus tecnologias - Região Centro Oeste.

O gráfico 4.15 mostra que a adoção de solução consorciada apresentou um índice de consistência de 0,08 e que as tecnologias do aterro com geração de energia e do aterro sanitário receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios retorno político e aceitabilidade da tecnologia apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,15 respectivamente. Como o peso do critério social foi maior que o econômico e menor que o ambiental e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

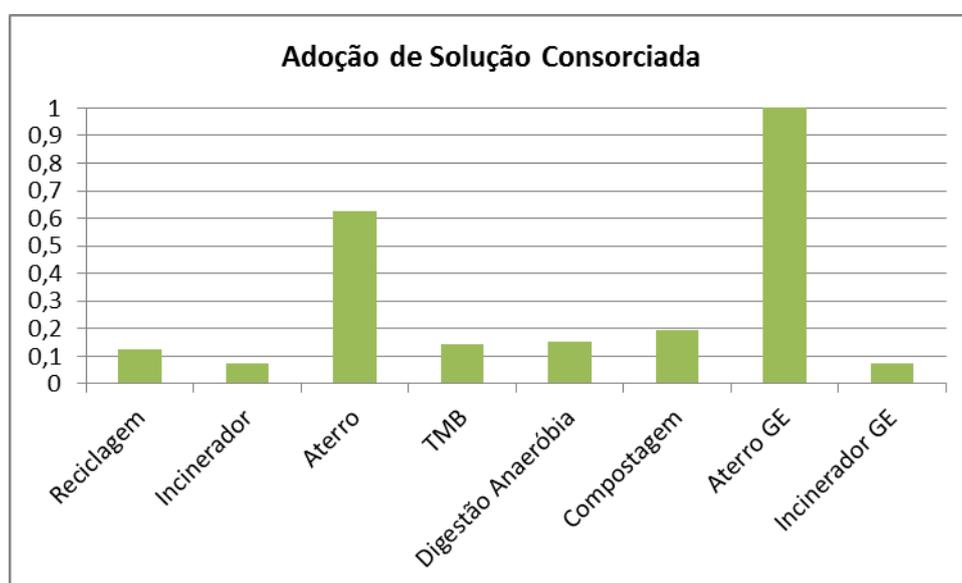


Gráfico 4.15 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Centro Oeste.

Este modelo apresentou como resultado das 4 tecnologias de preferência da região, que foram: reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, compostagem, incineração com geração de energia e aterro sanitário.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de serem estabelecidos os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + aterro sanitário com geração de energia
- 2 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário
- 3 arranjo : reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário

#### 4.1.4 Região Sudeste

##### 4.1.4.1 Resultados do AHP

A Figura 4.48 mostra a hierarquia principal e o modelo hierárquico definido para a região Sudeste do Brasil. Esta hierarquia para o tratamento dos resíduos sólidos na região mostra os quatro critérios definidos para a pesquisa, o ambiental, o social, o econômico e o político e seus referidos subcritérios.

Os resultados da aplicação deste modelo de apoio à decisão estão mostrados na Figura 4.48.

16/11/2012 15:43:46

#### REGIÃO SUDESTE

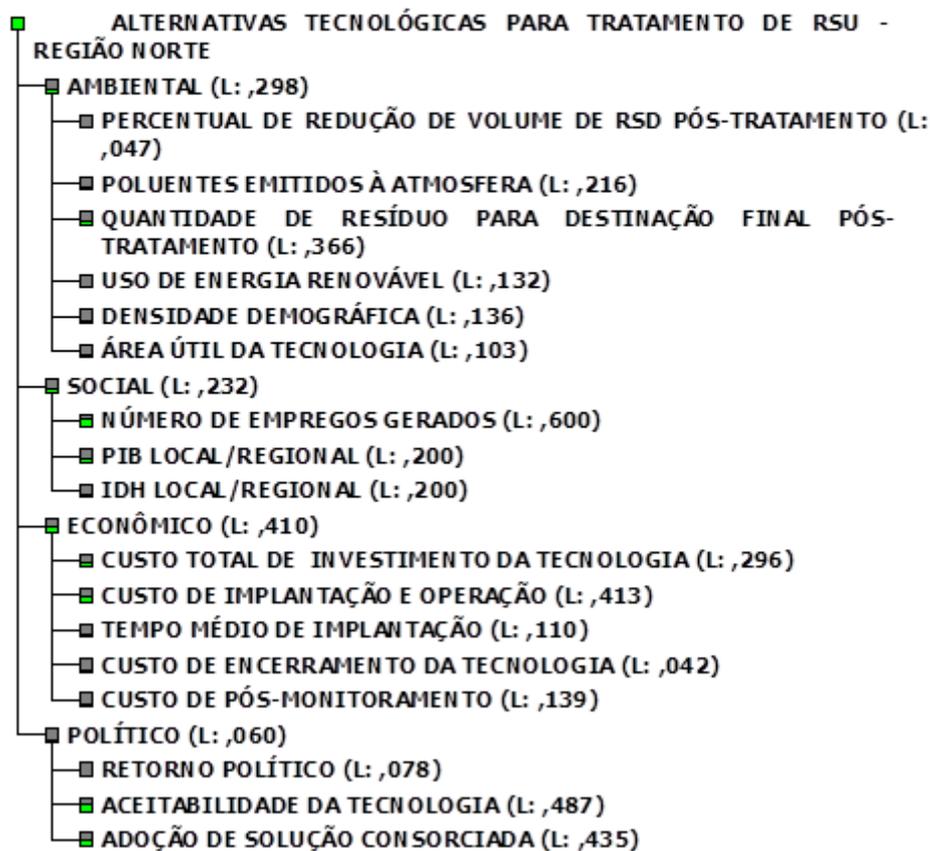


Figura 4.48 - Hierarquia principal com os 4 critérios para a região Sudeste.

A Figura 4.48 mostra a hierarquia principal com os critérios (ambientais, sociais, econômicos e políticos) e os seus respectivos subcritérios, que após as

preferências (pesos) indicadas por cada convidado e aplicado ao software Expert Choice, são indicados na Figura 4.49 para as comparações par a par entre os critérios. Estes pesos foram ajustados, com a utilização da moda apresentada (número que mais se repetiu como resposta) entre os pesos dos pesquisadores, onde depois de ajustados se tornam a média do grupo e não individuais.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU – REGIÃO SUDESTE

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SOCIAL
2	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
3	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
4	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
5	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
6	ECONÔMICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO

Figura 4.49 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos.

A Figura 4.50 mostra os resultados referentes a aplicação do modelo da importância relativa entre o critério ambiental e seus respectivos subcritérios, entre o critério social e seus respectivos subcritérios, do critério econômico e seus respectivos subcritérios e do critério político e seus respectivos subcritérios com a comparação par a par entre cada subcritério e seu critério em análise. A soma dos pesos relativos calculados dos critérios é igual a 1,00.

REGIÃO SUDESTE	
Critério	Importância relativa (L)
Ambiental	0,298
Social	0,232
Econômico	0,41
Político	0,06

Figura 4.50 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Sudeste.

A Figura 4.51 mostra os pesos calculados para o critério ambiental e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Sudeste.

27/10/2012 10:57:55

REGIÃO SUDESTE pós análise

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RESÍDUO PÓS-TRATAMENTO (L: ,047)	AMBIENTAL POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: ,216)	AMBIENTAL QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: ,366)
✓ RECICLAGEM	,054	1,000	,057
✓ INCINERADOR	,870	,092	,228
✓ ATERRO	,114	,185	,831
✓ MBT	,083	,449	,083
✓ DIGESTÃO	,202	,354	,130
✓ COMPOSTAGEM	,213	,483	,089
✓ ATERROGE	,333	,262	1,000
✓ INCINERADORE	1,000	,143	,248

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: ,132)	AMBIENTAL DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: ,136)	AMBIENTAL ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: ,103)
✓ RECICLAGEM	1,000	,942	1,000
✓ INCINERADOR	,085	,587	,205
✓ ATERRO	,254	,075	,094
✓ MBT	,289	,270	,520
✓ DIGESTÃO	,315	,362	,364
✓ COMPOSTAGEM	,509	,387	,729
✓ ATERROGE	,193	,092	,069
✓ INCINERADORE	,089	1,000	,128

Figura 4.51 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sudeste.

A Figura 4.52 mostra os pesos calculados para o critério social e econômico e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Sudeste.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	SOCIAL NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: ,600)	SOCIAL PIB LOCAL/REGIONAL (L: ,200)	SOCIAL IDH LOCAL/REGIONAL (L: ,200)
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	,141	,415
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,080	,530	,530
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,409	,076	,086
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,248	,150	,079
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTAO	,153	,248	,086
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,149	,052	,119
<input checked="" type="checkbox"/> ATERROGE	,729	,334	,182
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	,077	1,000	1,000

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA (L: ,296)	ECONÔMICO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (L: ,413)	ECONÔMICO TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: ,110)
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,080	,094	,081
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,212	,192	,172
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,550	,502	,410
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTAO	,366	,506	,220
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,505	,643	,305
<input checked="" type="checkbox"/> ATERROGE	,155	,122	,109
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	,080	,604	,080

Figura 4.52 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sudeste.

A Figura 4.53 mostra os pesos calculados para os critérios econômicos e político e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Sudeste.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	<b>ECONÔMICO CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: ,042)</b>	<b>ECONÔMICO CUSTO DE PÓS-MONITORAME NTO (L: ,139)</b>	<b>POLÍTICO RETORNO POLÍTICO (L: ,078)</b>
✓ RECICLAGEM	,877	,745	1,000
✓ INCINERADOR	,141	,178	,077
✓ ATERRO	,070	,054	,227
✓ MBT	,411	,38	,227
✓ DIGESTAO	,289	,390	,135
✓ COMPOSTAGEM	1,000	1,000	,489
✓ ATERROGE	,047	,039	,403
✓ INCINERADORGE	,139	,134	,104

Modo distribuição	Par a par	Par a par
	<b>POLÍTICO ACEITABILIDADE DE DA TECNOLOGIA (L: ,487)</b>	<b>POLÍTICO ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIA DA (L: ,435)</b>
✓ RECICLAGEM	1,000	,123
✓ INCINERADOR	,104	,076
✓ ATERRO	,155	,827
✓ MBT	,806	,145
✓ DIGESTAO	,517	,153
✓ COMPOSTAGEM	,385	,193
✓ ATERROGE	,297	1,000
✓ INCINERADORGE	,227	,073

Figura 4.53 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sudeste.

A Figura 4.54 mostra, por ordem de preferência, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Sudeste.

Pela ordem de preferência, a alternativa tecnológica da Reciclagem foi a mais indicada, seguida da compostagem, do aterro sanitário com geração de energia, do TMB e da incineração com geração de energia em ciclo combinado e da digestão anaeróbia. Por outro lado, o aterro sanitário e a incineração com geração de energia, foram as alternativas menos indicadas.

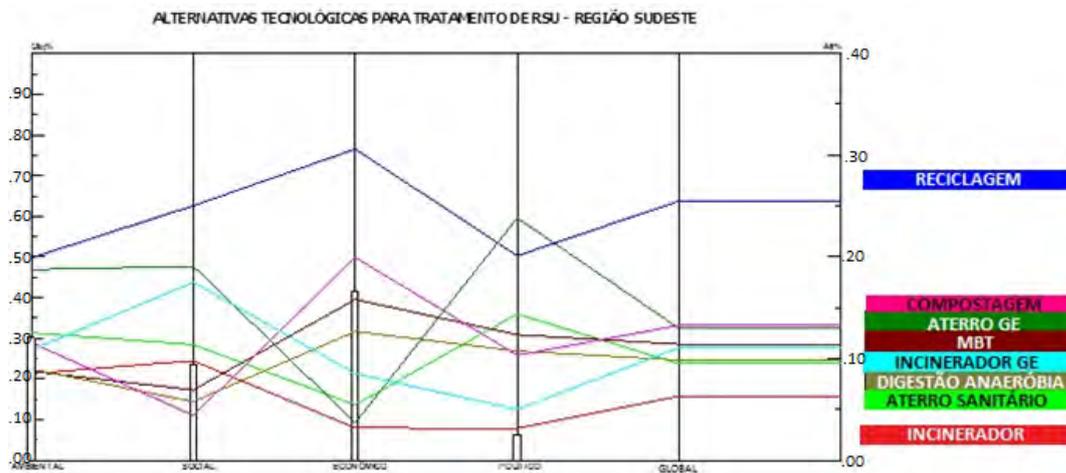


Figura 4.54 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a região Sudeste.

A Figura 4.55 mostra, por ordem de prioridade, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Sudeste com o cálculo do índice de inconsistência, que neste caso foi de 0,10, ou seja, a consistência do modelo foi de 90%.

27/10/2012 11:23:28

REGIÃO SUDESTE



Figura 4.55 - Indicação do índice de inconsistência para importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Sudeste.

A Figura 4.56 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e social. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambientais e sociais e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido como a segunda preferência. A incineração com geração de energia em ciclo combinado, o aterro sanitário e da

incineração com geração de energia e o TMB, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da digestão anaeróbia e a compostagem foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Sudeste.

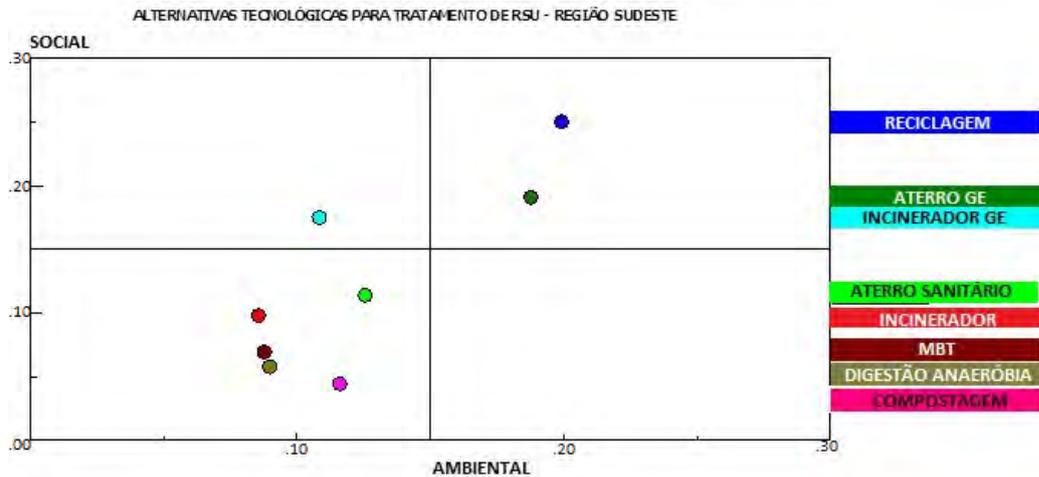


Figura 4.56 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Sudeste.

A Figura 4.57 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambientais e econômicos e a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o incinerador com geração de energia em ciclo combinado e o aterro sanitário foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso do aterro sanitário com geração de energia e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Sudeste.

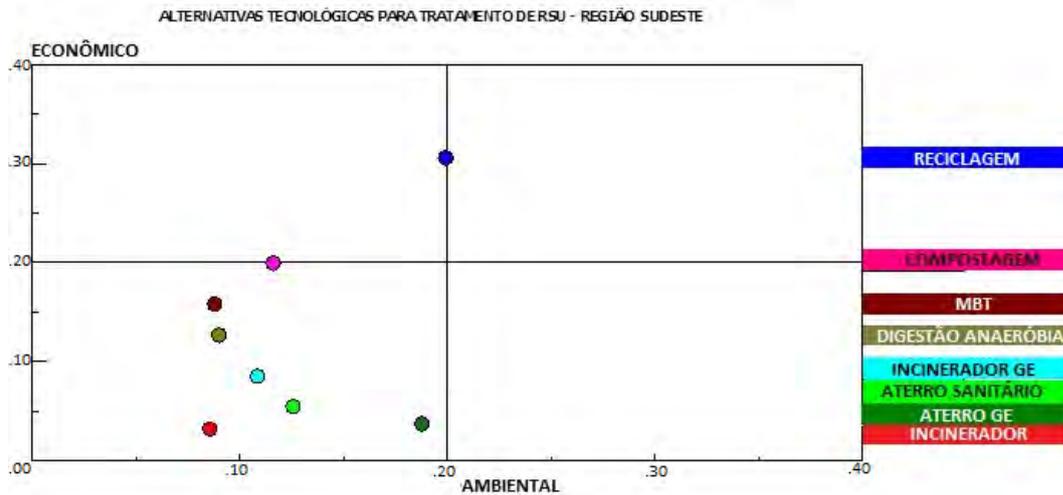


Figura 4.57 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Sudeste.

A Figura 4.58 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambientais e políticos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Sudeste.

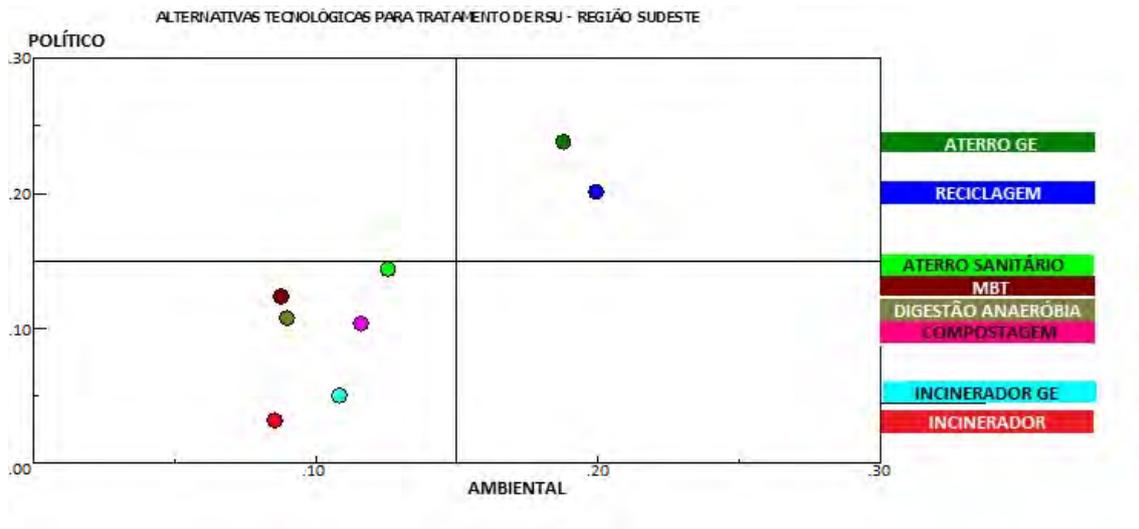


Figura 4.58 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Sudeste.

A Figura 4.59 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e econômicos e a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, a incineração com geração de energia em ciclo combinado e o aterro sanitário a foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e o aterro sanitário com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Sudeste.

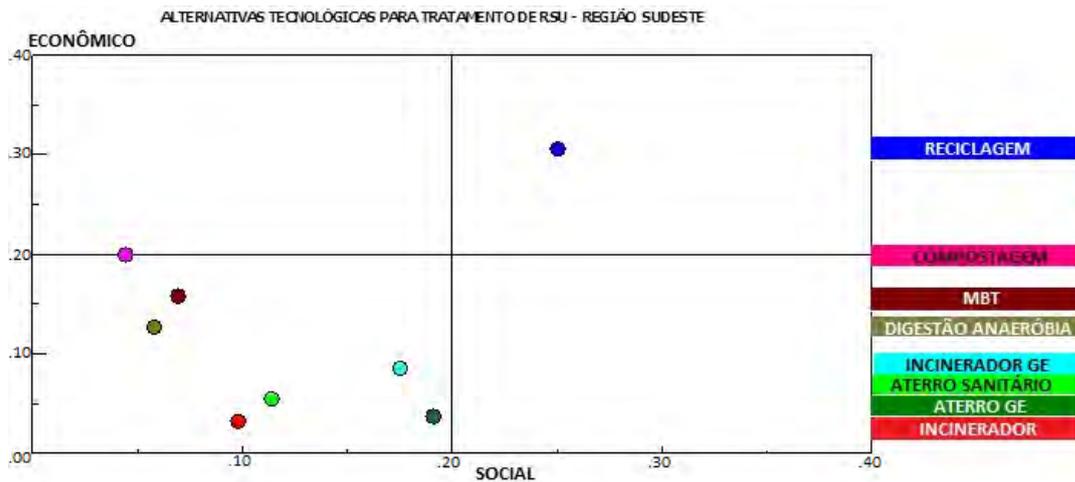


Figura 4.59 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Sudeste.

A Figura 4.60 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e políticos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Sudeste.

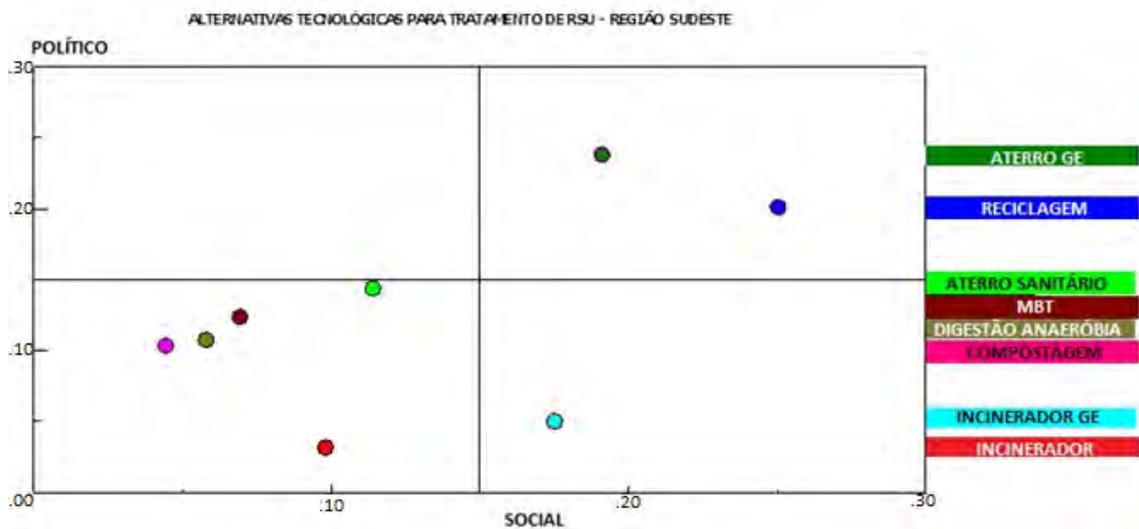


Figura 4.60 - Importância relativa dos critérios político e social por tecnologias na Região Sudeste.

A Figura 4.61 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios econômicos e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios econômicos e políticos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência utilizando-se estes critérios pelo grupo para a região Sudeste.

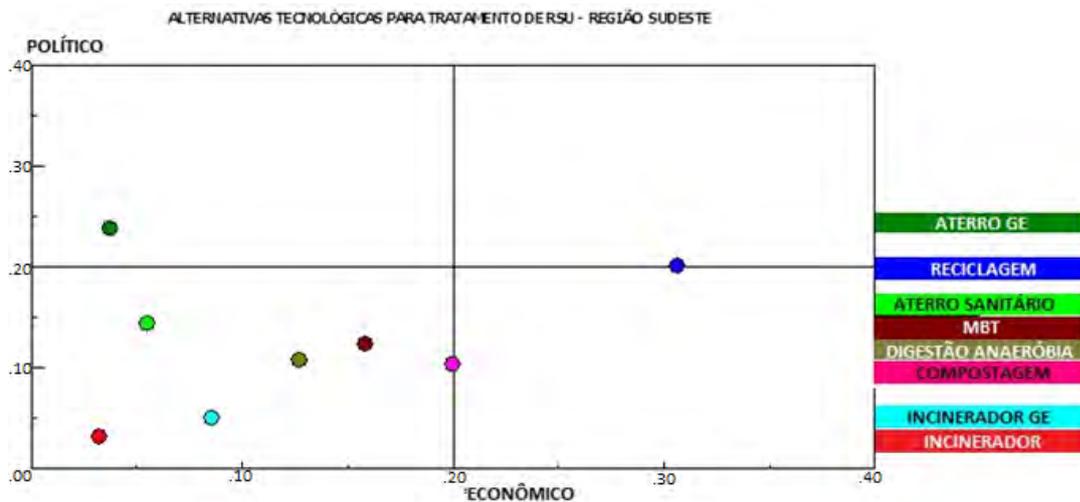


Figura 4.61 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Sudeste.

Como o índice de consistência foi de 0,10 não se faz necessário o ajuste do modelo, pois apresenta uma consistência de 90%.

#### 4.1.4.2 Análise dos Resultados do AHP

A seguir apresenta-se os resultados da Região Sudeste:

Na aplicação do modelo AHP, o critério econômico, após aplicação dos pesos da região, foi o que apresentou o maior peso, respondendo por 41,20% do total de todos os critérios (representando 100%) e neste critério o maior peso atribuído foi quantidade de resíduos destinados pós- tratamento. O segundo critério mais importante nesta região foi o ambiental, que representou 29,80% do peso total e o critério social representou apenas 23,20% do peso total sendo o menor peso atribuído pela região, por fim o critério político representou apenas 5,8 %. Na aplicação deste modelo o índice de inconsistência foi de 0,11 o que atende a robustez do modelo.

O Gráfico 4.16 mostra os critérios e seus pesos após aplicação do modelo, com suas comparações par a par.

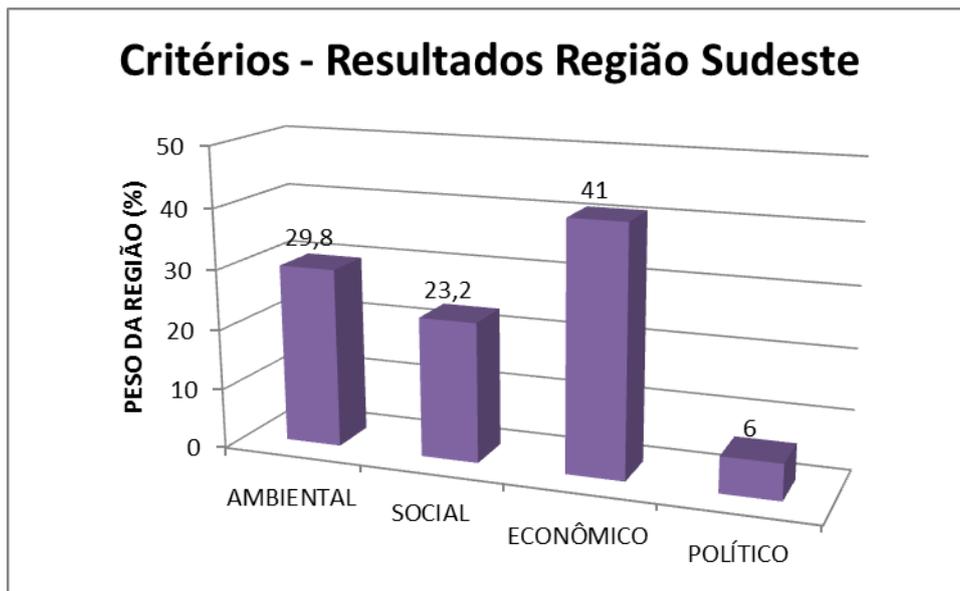


Gráfico 4.16 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Sudeste.

Analisando-se a Figura 4.51 quanto ao critério ambiental para o sub critério percentual de redução de volume pós-tratamento para a tecnologia da incineração com geração de energia e incineração em ciclo combinado apresentou os maiores valores (percentuais) com 1,00 e 0,890 e a digestão anaeróbia e o aterro sanitário sem geração de energia apresentaram os menores valores com 0,202 e 0,114, onde o peso total deste subcritério é de 0,47, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de quantidade de resíduo pós tratamento que apresenta o aterro sanitário como maior valor e o incinerador com menor valor.

Analisando-se a Figura 4.52 quanto ao critério social para o sub critério número de empregos gerados para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentuais) com 1,00 e a compostagem e a digestão apresentou o menor valor com 0,149 e 0,153, com peso total do subcritério de 0,600, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de IDH local/regional que apresenta a reciclagem com maior valor e o a compostagem com menor valor, desde que considerado o indicador de educação contido no cálculo do IDH, que reflete relação direta com a reciclagem e relação inversa com a digestão anaeróbia.

Analisando-se a Figura 4.52 e 4.253 quanto ao critério econômico para o sub critério do custo total de implantação da tecnologia para a tecnologia da reciclagem

apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e para os sub critérios de custo de encerramento e de pós-encerramento da tecnologia apresenta a compostagem com o maior valor de 1,00, o que está correto na análise deste subcritério com suas tecnologias de tratamento para a região sudeste, pois os convidados indicaram na escolha do seu peso atribuído um indicativo de utilização da tecnologia da compostagem com boa aceitabilidade, considerando-se alguns fatores como uma moderada melhoria do IDH local e regional e do PIB da região.

Analisando-se a Figura 4.53 quanto ao critério político para o sub critério retorno político e aceitabilidade da tecnologia pela população a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e o aterro sanitário apresentou o maior valor com 1,00, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento e traduz o atual estágio de compreensão e de avanço da tecnologia pela população local/regional.

A Figura 4.54 pós-análise de sensibilidade mostra que as tecnologias da reciclagem e a compostagem foram as que apresentaram maiores pesos e as tecnologias da incineração e aterro sanitário foram as que apresentaram menores pesos e pode ser justificado pelos pesos do grupo que indicaram que o critério econômico foi o que mais pesou na análise(41%), seguido pelo critério ambiental e pelo social, com pesos bem próximos (29,8% e 23,2%) e o critério político foi o de menor peso com 6,0%. Nas comparações par a par entre os critérios e os seus respectivos sub critérios estes pesos foram determinantes na configuração final das tecnologias e seus respectivos arranjos tecnológicos para a região justificados nos gráficos de importância relativas dos critérios e sub critérios mostrando suas tendências por pontos. Para consolidar a análise da região mostra-se a seguir a análise dos sub critérios e seus índices de inconsistências.

O Gráfico 4.17 mostra que o subcritério percentual de redução de volume pós tratamento apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias de incineração com geração de energia e incineração sem geração de energia recebeu os maiores pesos e que a reciclagem e o TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios uso de energia renovável e área útil para a tecnologia apresentaram inconsistência de 0,15 e 0,12 e que poluentes emitidos a percentual de redução de volume pós tratamento apresentaram índice de inconsistência de 0,13 e 0,10

respectivamente. Como o peso do critério econômico foi maior que o ambiental e o social, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

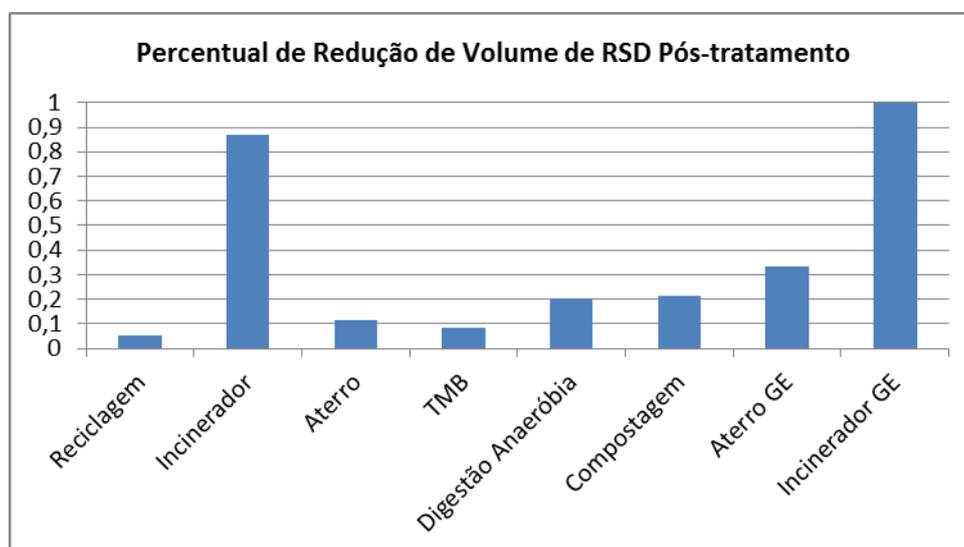


Gráfico 4.17 - Subcritério Percentual de Redução de Volume de RSU Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Sudeste.

O Gráfico 4.18 mostra que o subcritério número de empregos gerados apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e de aterro sanitário com geração de energia receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios IDH Local/regional e PIB Local/Regional apresentaram inconsistência de 0,15 e 0,14 respectivamente. Como o peso do critério social foi menor que o econômico, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

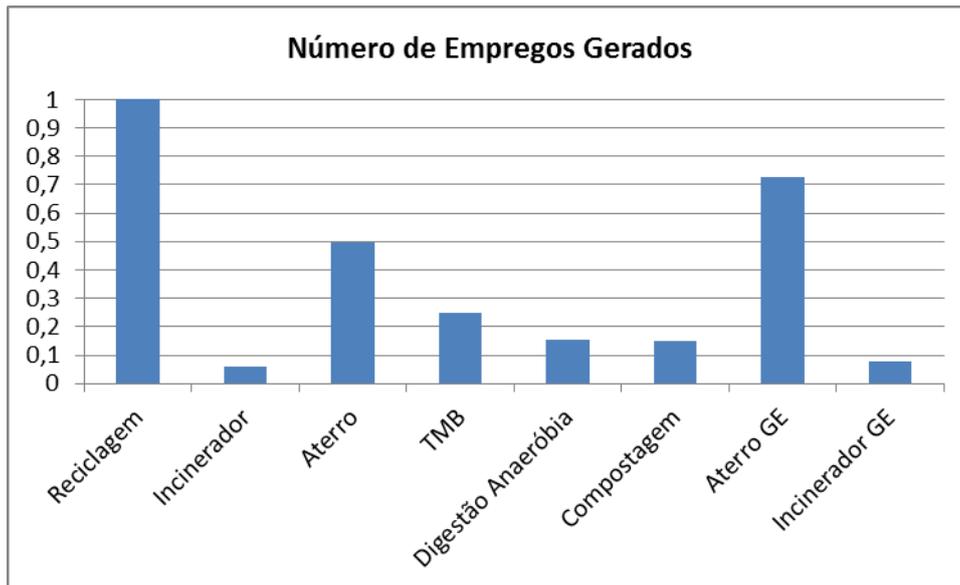


Gráfico 4.18 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus - tecnologias - Região Sudeste.

O Gráfico 4.19 mostra que o custo total de investimento da tecnologia apresentou um índice de consistência de 0,15 e que as tecnologias da reciclagem e da incineração receberam os maiores pesos e que o aterro sanitário e aterro com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios custo de operação e manutenção e o custo de pós monitoramento apresentaram inconsistência de 0,12 e 0,10. Como o peso do critério econômico foi maior que o social e maior ambiental e que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

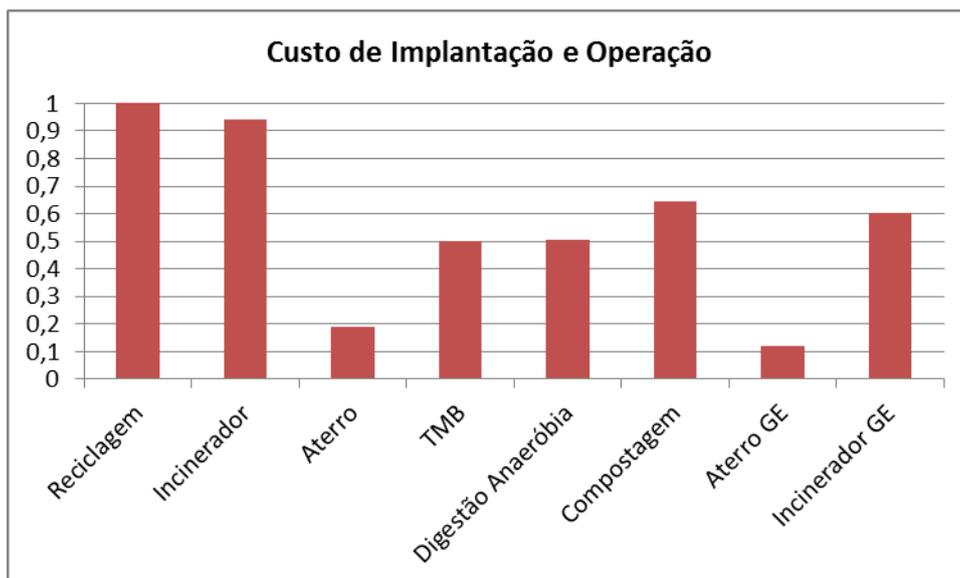


Gráfico 4.19 - Subcritério Custo de Implantação e Operação versus tecnologias - Região Sudeste.

O Gráfico 4.20 mostra que a adoção de solução consorciada apresentou um índice de consistência de 0,08 e que as tecnologias do aterro com geração de energia e do aterro sanitário receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia e o TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios retorno político e aceitabilidade da tecnologia apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,15 respectivamente. Como o peso do critério social foi menor que o econômico e menor que o ambiental e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.



Gráfico 4.20 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Sudeste.

Este modelo apresentou como resultado das 4 tecnologias de preferência da região, que foram: reciclagem, compostagem + aterro sanitário com geração de energia + TMB.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecer os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + TMB + aterro sanitário com geração de energia
- 2 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário com geração de energia
- 3 arranjo : reciclagem + aterro sanitário com geração de energia

## 4.1.5 Região Sul

### 4.1.5.1 Resultados do AHP

A Figura 4.62 mostra a hierarquia principal e o modelo hierárquico definido para a região Sul do Brasil. Esta hierarquia para o tratamento dos resíduos sólidos na região mostra os quatro critérios definidos para a pesquisa, o ambiental, o social, o econômico e o político e seus referidos subcritérios.

Os resultados da aplicação deste modelo de apoio à decisão estão mostrados na Figura 4.62.



Figura 4.62 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios par a região Sul.

A Figura 4.62 mostra a hierarquia principal com os critérios (ambientais, sociais, econômicos e políticos) e os seus respectivos subcritérios, que após as preferências (peso) indicadas por cada convidado e aplicado ao software Expert Choice, são mostrados na Figura 4.63 para as comparações par a par entre os critérios. Estes pesos foram ajustados, com a utilização da moda apresentada (número que mais se repetiu como resposta) entre os pesos dos convidados, onde depois de ajustados se tornam a média do grupo e não individuais.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU – REGIÃO SUL

1 = Igual 3 = Moderado 5 = Forte 7 = Muito Forte 9 = Extremo

1	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SOCIAL
2	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
3	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
4	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
5	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
6	ECONÔMICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO

Figura 4.63 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos par a região Sul.

A Figura 4.64 mostra os resultados referentes a aplicação do modelo da importância relativa entre o critério ambiental e seus respectivos subcritérios, entre o critério social e seus respectivos subcritérios, do critério econômico e seus respectivos subcritérios e do critério político e seus respectivos subcritérios com a comparação par a par entre cada subcritério e seu critério em análise. A soma dos pesos relativos calculados dos critérios é igual a 1,00.

REGIÃO SUL	
Critério	Importância relativa (L)
Ambiental	0,441
Social	0,374
Econômico	0,14
Político	0,046

Figura 4.64 - Importância relativa dos pesos dos critérios e subcritérios em relação aos critérios ambiental, social, econômico e político para a Região Sul.

A Figura 4.65 mostra os pesos calculados para o critério ambiental e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Sul.

27/10/2012 12:08:39

REGIÃO SUL pós análise

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RESÍDUO PÓS-TRATAMENTO (L: ,240)	AMBIENTAL POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: ,248)	AMBIENTAL QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: ,255)
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	,054	1,000	,057
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,870	,092	,228
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,114	,185	,831
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,083	,449	,083
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTÃO	,202	,354	,130
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,213	,483	,099
<input checked="" type="checkbox"/> ATERROGE	,333	,282	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	1,000	,143	,246

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	AMBIENTAL USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: ,125)	AMBIENTAL DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: ,098)	AMBIENTAL ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: ,033)
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	,942	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,065	,587	,205
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,254	,075	,094
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,289	,270	,520
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTÃO	,315	,382	,384
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,509	,387	,729
<input checked="" type="checkbox"/> ATERROGE	,193	,092	,089
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	,089	1,000	,126

Figura 4.65 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas por a região Sul.

A Figura 4.66 mostra os pesos calculados para o critério social e econômico e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Sul.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	SOCIAL NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: ,460)	SOCIAL PIB LOCAL REGIONAL (L: ,221)	SOCIAL IDH LOCAL REGIONAL (L: ,319)
✓ RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
✓ INCINERADOR	,080	,070	,437
✓ ATERRO	,489	,144	,069
✓ MBT	,248	,377	,084
✓ DIGESTAO	,153	,242	,094
✓ COMPOSTAGEM	,149	,486	,144
✓ ATERRO GE	,729	,183	,218
✓ INCINERADOR GE	,077	,083	,509

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA (L: ,128)	ECONÔMICO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (L: ,426)	ECONÔMICO TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: ,087)
✓ RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
✓ INCINERADOR	,080	,158	,081
✓ ATERRO	,212	,314	,172
✓ MBT	,550	,839	,410
✓ DIGESTAO	,388	,483	,220
✓ COMPOSTAGEM	,505	,885	,305
✓ ATERRO GE	,155	,198	,109
✓ INCINERADOR GE	,080	,100	,080

Figura 4.66 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas por a região Sul.

A Figura 4.67 mostra os pesos calculados para os critérios econômicos e político e cada um dos subcritérios relativos a cada uma das tecnologias de tratamento de resíduos propostas no modelo hierárquico, após a aplicação dos pesos do grupo da região Sul.

Modo distribuição	Par a par	Par a par	Par a par
	ECONÔMICO CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: ,143)	ECONÔMICO CUSTO DE PÓS-MONITORAME NTO (L: ,216)	POLÍTICO RETORNO POLÍTICO (L: ,059)
✓ RECIKLAGEM	,671	,746	1,000
✓ INCINERADOR	,139	,141	,077
✓ ATERRO	,076	,066	,227
✓ MBT	,385	,411	,227
✓ DIGESTAO	,287	,366	,135
✓ COMPOSTAGEM	1,000	1,000	,489
✓ ATERROGE	,055	,047	,403
✓ INCINERADORGE	,110	,077	,104

Modo distribuição	Par a par	Par a par
	POLÍTICO ACEITABILIDADE DA TECNOLOGIA (L: ,490)	POLÍTICO ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIA DA (L: ,451)
✓ RECIKLAGEM	1,000	,123
✓ INCINERADOR	,104	,076
✓ ATERRO	,155	,827
✓ MBT	,806	,145
✓ DIGESTAO	,547	,153
✓ COMPOSTAGEM	,365	,193
✓ ATERROGE	,297	1,000
✓ INCINERADORGE	,227	,073

Figura 4.67 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas para a região Sul.

A Figura 4.68 mostra por ordem de preferência as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Sul.

Pela ordem de preferência a alternativa tecnológica da Reciclagem foi a mais indicada, seguida do aterro sanitário com geração de energia, da compostagem, da incineração com geração de energia em ciclo combinado, do aterro sanitário e do TMB. Por outro lado, a incineração com geração de energia e a digestão anaeróbia foram as alternativas menos indicadas.

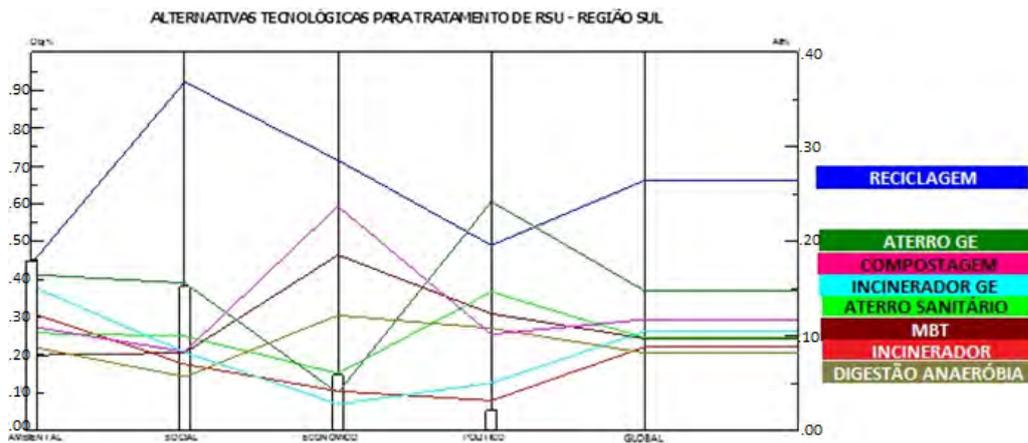


Figura 4.68 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade para a região Sul.

A Figura 4.69 mostra, por ordem de prioridade, as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na região Sul com o cálculo do índice de inconsistência, que neste caso foi de 0,10, ou seja, uma consistência de 90%.

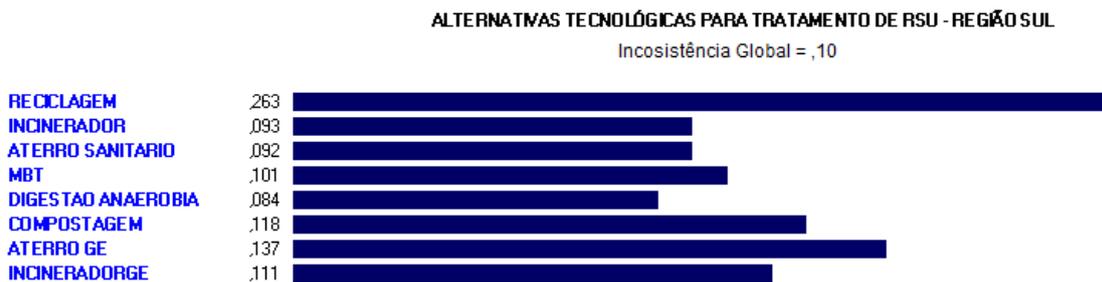


Figura 4.69 - Indicação do índice de inconsistência da importância relativa dos critérios em relação às alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Sul.

A Figura 4.70 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e social. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambiental e social e o aterro sanitário com geração de energia foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, a compostagem, a incineração com geração de energia em ciclo combinado e o TMB foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia e a digestão anaeróbia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Sul.

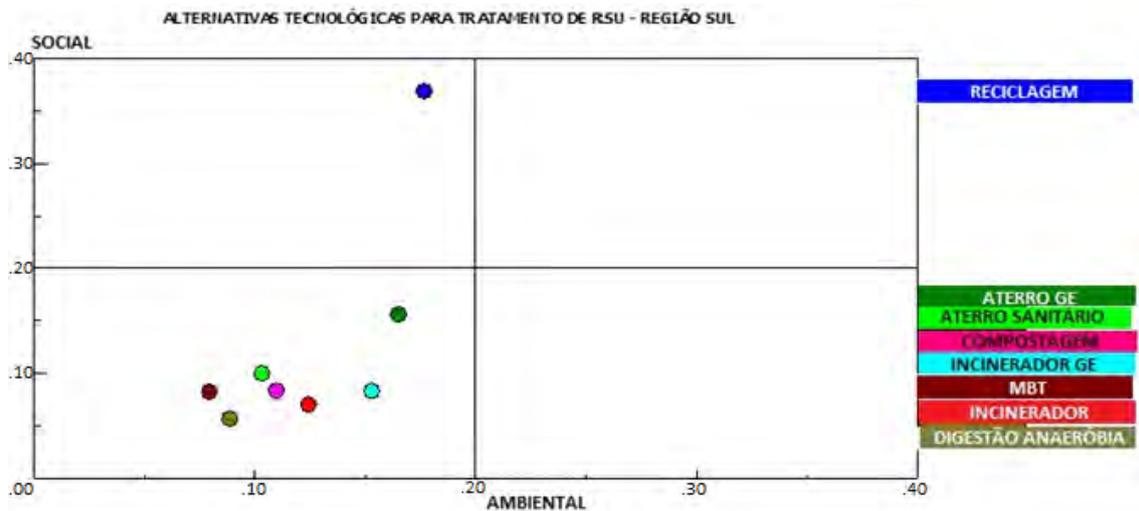


Figura 4.70 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Sul.

A Figura 4.71 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambiental e econômico e a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário e a incineração com geração de energia, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência, respectivamente. As demais tecnologias, no caso do aterro sanitário com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Sul.

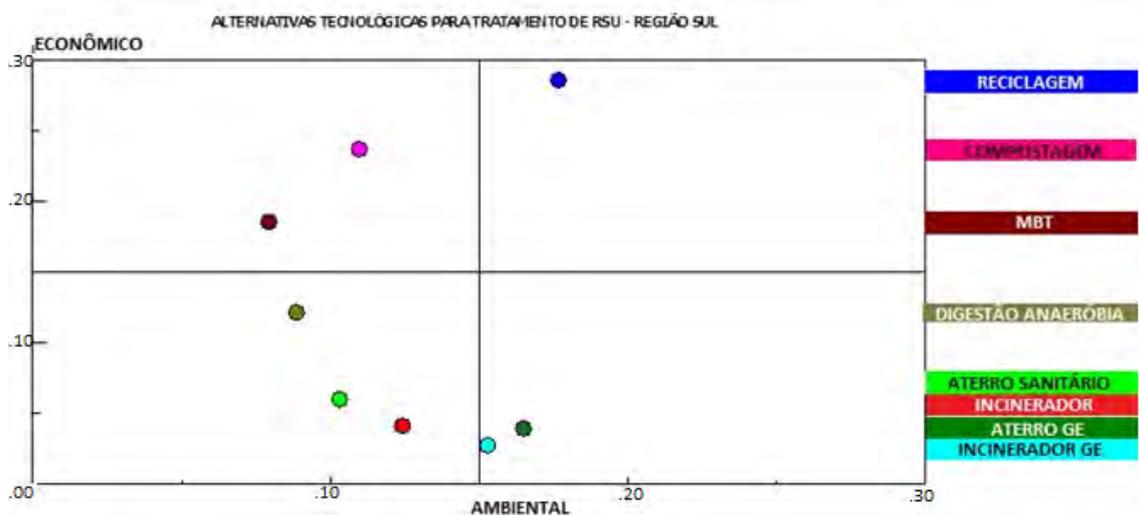


Figura 4.71 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Sul.

A Figura 4.72 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios ambiental e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhido pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios ambiental e político e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Sul.



Figura 4.72 - Importância relativa dos critérios ambiental e político por tecnologias na Região Sul.

A Figura 4.73 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e econômico. Observa-se que a reciclagem foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios social e econômico a compostagem foi escolhida como a segunda preferência. O TMB, a digestão anaeróbia, o aterro sanitário e a incineração com geração de energia, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso do aterro sanitário com geração de energia e a incineração com geração de energia em ciclo combinado foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Sul.

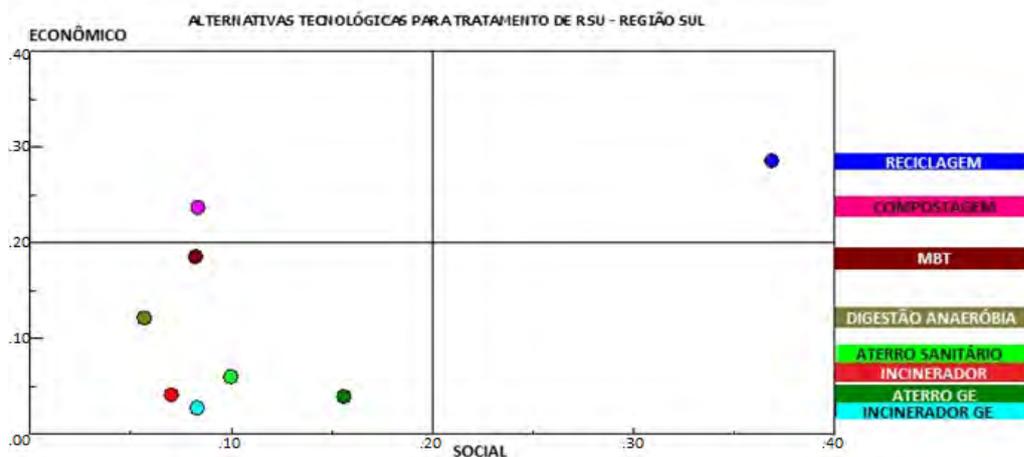


Figura 4.73 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Sul.

A Figura 4.74 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios social e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de energia foi escolhida pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios sociais e político e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, a digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Sul.

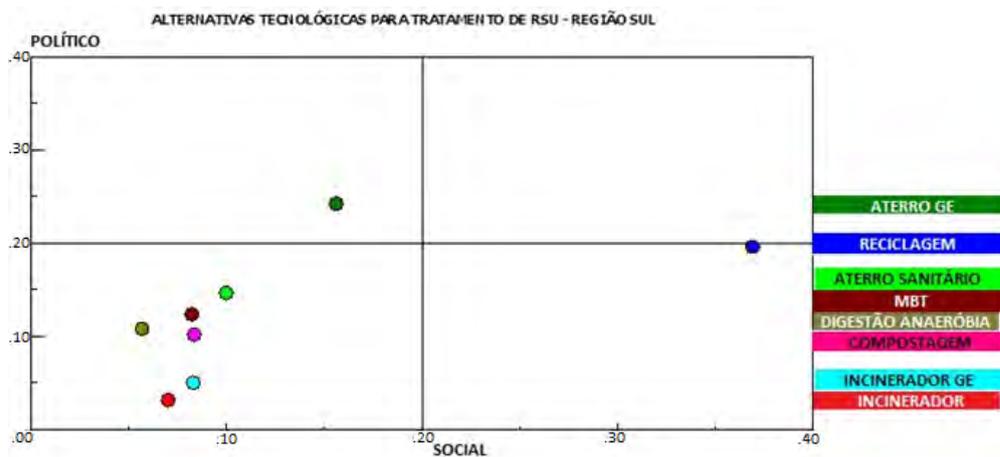


Figura 4.74 - Importância relativa dos critérios político e social por tecnologias na Região Sul.

A Figura 4.75 mostra a tendência das tecnologias na comparação entre os critérios econômicos e político. Observa-se que o aterro sanitário com geração de

energia foi escolhido pelo grupo como a preferência pelo grupo na comparação entre os critérios econômicos e políticos e a reciclagem foi escolhida como a segunda preferência. O aterro sanitário, o TMB, digestão anaeróbia e a compostagem, foram às tecnologias escolhidas como terceira quarta, quinta e sexta preferência. As demais tecnologias, no caso da incineração com geração de energia em ciclo combinado e a incineração com geração de energia foram as tecnologias com menor preferência pelo grupo utilizando-se estes critérios para a região Sul.

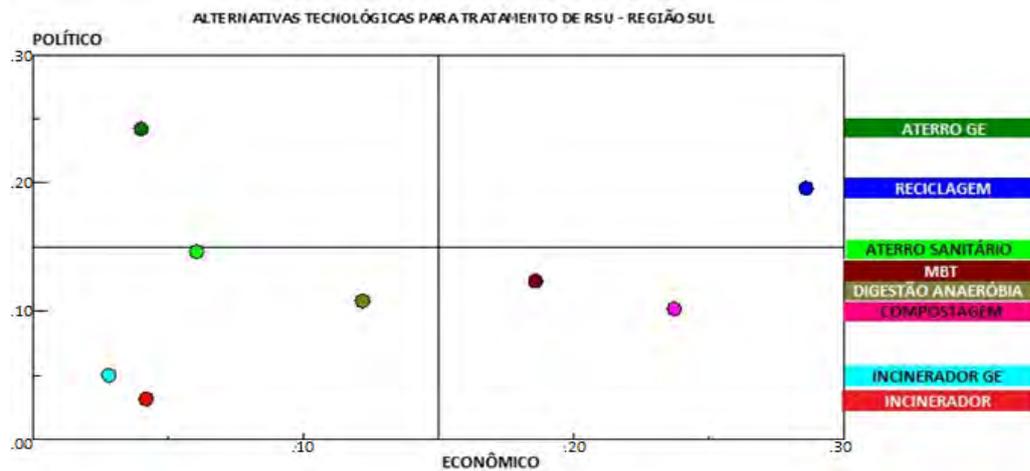


Figura 4.75 - Importância relativa entre os critérios econômicos e político por tecnologias na Região Sul.

Como o índice de consistência foi de 0,10 não se faz necessário o ajuste do modelo, pois apresenta uma consistência de 90%.

#### 4.1.5.2 Análise dos Resultados do AHP

A seguir apresenta-se os resultados da Região Sul.

Na aplicação do modelo AHP, o critério ambiental após aplicação dos pesos da região foi o que apresentou o maior peso, respondendo por 44,10% do total de todos os critérios (representando 100%) e neste critério o maior peso atribuído foi quantidade de resíduos destinados pós- tratamento. O segundo critério mais importante nesta região foi o social, que representou 37,40% do peso total e o critério econômico representou apenas 14,00% do peso total sendo o menor peso atribuído pela região, por fim o critério político representou apenas 4,6 %. Na aplicação deste modelo o índice de inconsistência foi de 0,10 o que atende a robustez do modelo.

O Gráfico 4.21 mostra os critérios e seus pesos após aplicação do modelo, com suas comparações par a par.

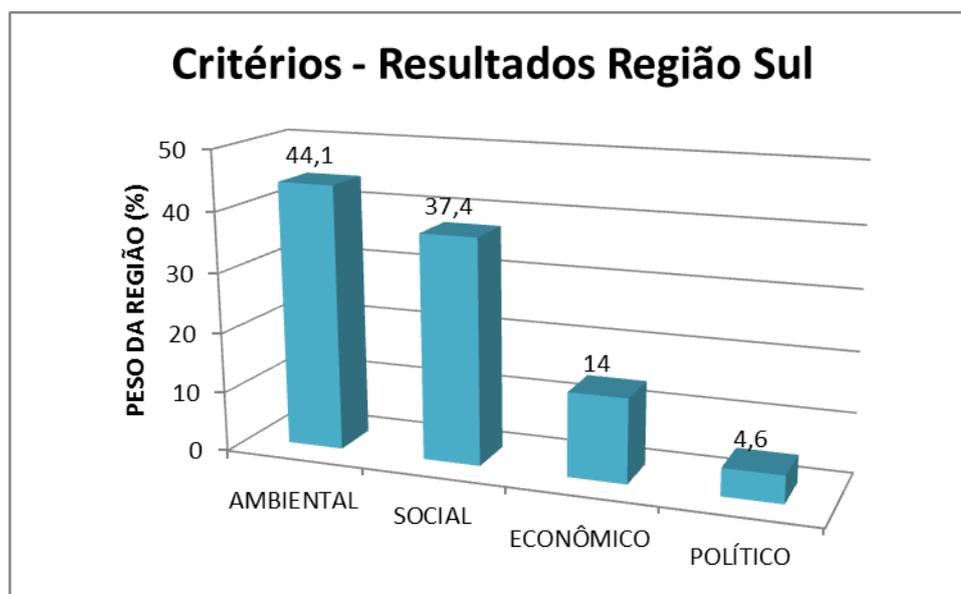


Gráfico 4.21 - Critérios com seus pesos após aplicação do modelo – Região Sul.

Analisando-se a Figura 4.65 quanto ao critério ambiental para o sub critério percentual de redução de volume pós-tratamento para a tecnologia da incineração com geração de energia e incineração em ciclo combinado apresentou os maiores valores (percentuais) com 1,00 e 0,890 e a digestão anaeróbia e o aterro sanitário sem geração de energia apresentaram os menores valores com 0,202 e 0,114, onde o peso total deste subcritério é de 0,240, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de quantidade de resíduo pós tratamento que apresenta o aterro sanitário como maior valor e o incinerador com menor valor.

Analisando-se a Figura 4.66 quanto ao critério social para o sub critério número de empregos gerados para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e a compostagem e a digestão apresentou o menor valor com 0,149 e 0,153, com peso total do subcritério de 0,460 o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento o que se complementa ao se analisar o sub critério de IDH local/regional que apresenta a reciclagem com maior valor e o a compostagem com menor valor, desde que considerado o indicador de educação contido no cálculo do IDH, que reflete relação direta com a reciclagem e relação inversa com a digestão anaeróbia.

Analisando-se a Figura 4.66 e 4.67 quanto ao critério econômico para o sub critério do custo total de implantação da tecnologia para a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e para os sub critérios de custo de encerramento e de pós-encerramento da tecnologia apresenta a compostagem com o maior valor de 1,00, o que está correto na análise deste subcritério com suas tecnologias de tratamento para a região sul, pois os convidados indicaram na escolha do seu peso atribuído um indicativo de utilização da tecnologia da compostagem, que no Brasil é uma das regiões de maior avanço na reciclagem e compostagem, considerando-se alguns fatores como a melhoria do IDH local e regional e do PIB da região.

Analisando-se a Figura 4.67 quanto ao critério político para o sub critério retorno político e aceitabilidade da tecnologia pela população a tecnologia da reciclagem apresentou o maior valor (percentual) com 1,00 e o aterro sanitário com geração de energia apresentou o maior valor com 1,00, o que está correto na análise deste subcritério e suas tecnologias de tratamento e traduz o atual estágio de compreensão da tecnologia pela população local/regional.

A Figura 4.68 pós-análise de sensibilidade mostra que as tecnologias da reciclagem e aterro sanitário com geração de energia foram as que apresentaram maiores pesos e as tecnologias do incinerador e da digestão anaeróbia foram as que apresentaram menores pesos e pode ser justificado pelos pesos do grupo que indicaram que o critério ambiental foi o que mais pesou na análise(44,1%), seguido pelo social com 37,4% e pelo econômico com 14%,e o critério político foi o de menor peso com 4,6%. Nas comparações par a par entre os critérios e os seus respectivos sub critérios estes pesos foram determinantes na configuração final das tecnologias e seus respectivos arranjos tecnológicos para a região justificados nos gráficos de importância relativas dos critérios e sub critérios mostrando suas tendências por pontos. Para consolidar a análise da região mostra-se a seguir a análise dos sub critérios e seus índices de inconsistências.

O Gráfico 4.22 mostra que o subcritério quantidade de resíduo pós tratamento apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias de aterro sanitário com geração de energia e aterro sanitário recebeu os maiores pesos e que a reciclagem e o TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios uso de energia renovável e área útil para a tecnologia apresentaram inconsistência de 0,15 e 0,14 e que poluentes emitidos a percentual de redução de volume pós tratamento apresentaram índice de inconsistência de 0,13 e 0,10 respectivamente. Como o peso do

critério ambiental foi maior que o econômico e o social, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.



Gráfico 4.22 - Subcritério Quantidade de Resíduos para Destinação Final Pós-Tratamento versus tecnologias - Região Sul.

O Gráfico 4.23 mostra que o subcritério número de empregos gerados apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e de aterro sanitário com geração de energia receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios IDH Local/regional e PIB Local/Regional apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,07 respectivamente. Como o peso do critério social foi maior que o econômico, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

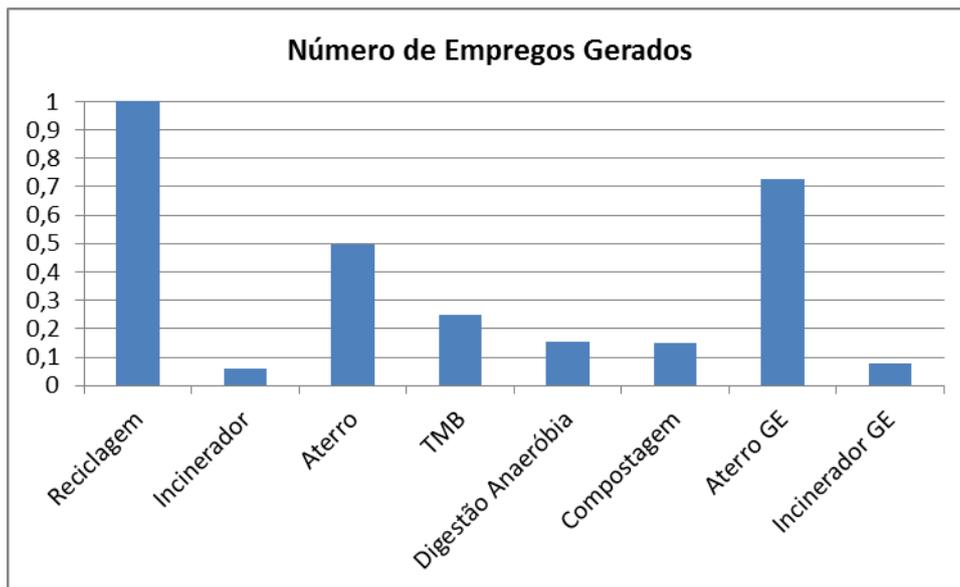


Gráfico 4.23 - Subcritério Número de Empregos Gerados versus tecnologias - Região Sul.

O Gráfico 4.24 mostra que o custo total de investimento da tecnologia apresentou um índice de consistência de 0,10 e que as tecnologias da reciclagem e do TMB receberam os maiores pesos e que a incineração e incineração com geração de energia receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios custo de operação e manutenção e o custo de pós-monitoramento apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,12. Como o peso do critério econômico foi menor que o social e menor ambiental e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

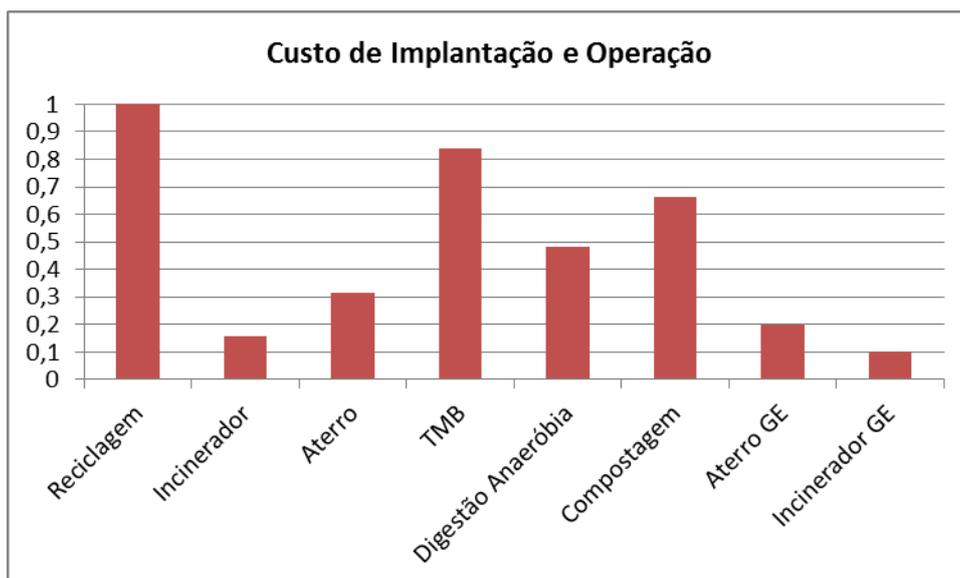


Gráfico 4.24 - Subcritério Custo de Implantação e Operação versus tecnologias - Região Sul.

O Gráfico 4.25 mostra que a adoção de solução consorciada apresentou um índice de consistência de 0,10, mesmo índice do retorno político e que as tecnologias do aterro com geração de energia e do aterro sanitário receberam os maiores pesos e que o incinerador e o incinerador com geração de energia e TMB receberam os menores pesos. Observa-se que os subcritérios retorno político e aceitabilidade da tecnologia apresentaram inconsistência de 0,10 e 0,10 respectivamente. Como o peso do critério econômico foi menor que o social e menor ambiental e maior que o político, isto refletiu na escolha do arranjo tecnológico para esta região.

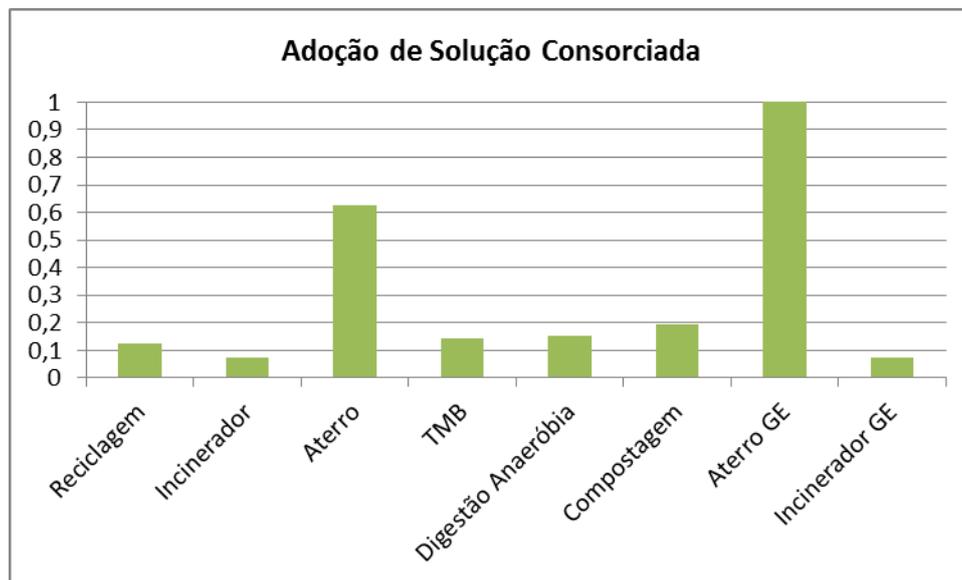


Gráfico 4.25 - Subcritério Adoção de Solução Consorciada versus tecnologias - Região Sul.

Este modelo apresentou como resultado das 4 tecnologias de preferência da região, que foram: reciclagem, + aterro sanitário com geração de energia + compostagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de serem estabelecidos os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + aterro sanitário com geração de energia
- 2 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário
- 3 arranjo : reciclagem + incineração com geração de energia
- 4 arranjo : reciclagem + aterro sanitário

## 4.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO PROMETHEE

## 4.2.1 Região Norte

### 4.2.1.1 Resultados do Promethee II(V)

O método aqui utilizado, no caso o PROMÉTHÉE II (V), tem por objetivo ajudar o decisor na problemática abordada, baseando-se nas seguintes etapas:

- a) Enriquecimento da estrutura de preferência, utilizando-se da noção de critérios generalizados, definidos a partir de uma função de preferência, que se encarrega de como computar a amplitude dos desvios entre as avaliações feitas sob cada critério. Esta etapa foi definida de forma clara pelo decisor, considerando-se que todos os parâmetros definidos têm significados qualitativos e quantitativos e estão mostrados na estrutura hierárquica do modelo. As funções de preferências definidas permite eliminar todos os efeitos de escalas diferentes ligadas a cada critério e também estão definidas na matriz de hierarquização.
- b) Enriquecimento da relação de dominância, onde se busca encontrar uma relação de superação que leva em conta o conjunto dos critérios propostos. Para cada par de alternativas, um grau geral de preferência de uma sobre outra foi definido.
- c) Ajuda à decisão, sendo a relação de superação analisada com o objetivo de esclarecer o decisor qual a melhor alternativa tecnológica para o tratamento de RSU na Região Norte.

Para uma maior compreensão da aplicação do modelo nas demais regiões, cabe aqui enfatizar que estas considerações servirão para as cinco regiões geográficas.

A Figura 4.76 mostra a hierarquia para a região Norte aplicada ao método PROMETHEE II (V), onde se apresentam os seguintes parâmetros: os subcritérios na sua hierarquia são os mesmos 17 definidos no método AHP. Para este modelo, utilizou-se de dados qualitativos e de dados quantitativos. Os dados qualitativos foram os referentes aos critérios ambientais e políticos e os dados quantitativos referentes aos critérios econômicos e sociais. Esta utilização do modelo de apoio a decisão, Promethee, é fundamental pois tem-se resultados mais específicos de cada região estudada. Ao definir cada subcritério, escolhe-se se este deve ser maximizado ou minimizado nas suas comparações de preferência. As ações definidas são as tecnologias para o cenário previsto. Ao definir os subcritérios e as alternativas

tecnológicas, aplicou-se os pesos definidos no questionário da região estudada. Escolheram-se, então, as funções de preferência para cada um dos critérios, que nesta pesquisa, foi definida como a do tipo I - usual. A análise estatística foi então realizada, após a compilação dos pesos, onde este maximiza, minimiza e tira a média de cada peso por cada subcritério em função do peso atribuído aos 4 critérios : ambientais, sociais, econômicos e políticos. Este mesmo procedimento serve para as demais regiões geográficas do Brasil.

Assim, realizou-se a sistematização e obteve-se os rankins das alternativas indicadas em ordem decrescente.

Neste modelo de apoio a decisão, o índice de inconsistência máximo é de 0,20, ou seja, deve apresentar uma consistência superior a 80%, o que serve para as demais regiões (PROMETHEE, 2012). Aplicando-se estes dados ao modelo obtiveram-se os seguintes resultados, apresentados a seguir.

	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
cenario1	PERCENTUA...	POLUENTES ...	QUANTIDAD...	USO DE ENE...	DENSIDADE ...	ÁREA ÚTIL D...	NÚMERO DE ...	PIB LOCAL/R...	IDH LOCAL/...	CUSTO TOT...	CUSTO DE M...	TEMPO MÉDI...	CUSTO DE E...	CUSTO DE P...	RETORNO P...	ACEITABIL...	ADOÇÃO DE...
Unidade	%	%	%	%	%	%	UNIDADES	R\$/Hab	ÍNDICE	R\$/t	R\$/t	ANOS	R\$/t	R\$/t	%	%	%
Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferência</b>																	
Min/Max	max	min	min	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Peso	0,06	0,07	0,14	0,02	0,07	0,01	0,17	0,04	0,02	0,08	0,07	0,02	0,01	0,02	0,01	0,10	0,09
Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Limite	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	percentage	percentage	percentage
- Q: Indiferença	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preferência	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Estatística</b>																	
Mínimo	35,00	20,00	0,00	0,00	0,00	20,00	30,00	9135,00	0,79	12,00	8,00	0,70	0,15	0,50	20,00	50,00	50,00
Máximo	85,00	100,00	60,00	100,00	100,00	100,00	120,00	9135,00	0,79	2100,00	250,00	5,00	20,00	18,00	80,00	100,00	100,00
Média	64,38	58,13	19,38	32,50	30,00	66,25	55,00	9135,00	0,79	607,25	80,53	1,89	3,92	5,74	52,50	81,25	75,63
Desvio Padrão	21,71	28,06	17,58	43,52	29,58	31,99	28,61	0,00	0,00	784,19	74,38	1,54	6,25	5,63	21,65	24,21	17,22
<b>Avaliação</b>																	
✓ RECICLAGEM	75,00	20,00	25,00	0,00	100,00	80,00	120,00	9135,00	0,79	22,00	250,00	1,00	2,50	0,50	80,00	100,00	100,00
✓ INCINERADOR	80,00	80,00	20,00	0,00	40,00	20,00	30,00	9135,00	0,79	1718,00	85,00	4,00	0,15	1,80	20,00	100,00	60,00
✓ ATERRO	35,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	80,00	9135,00	0,79	12,00	8,00	1,00	1,00	6,00	20,00	100,00	60,00
✓ TMB	40,00	40,00	60,00	0,00	20,00	50,00	50,00	9135,00	0,79	350,00	85,00	0,90	5,00	10,00	50,00	50,00	50,00
✓ DIGESTÃO ANAE...	85,00	35,00	15,00	100,00	30,00	60,00	50,00	9135,00	0,79	620,00	96,25	0,70	20,00	18,00	60,00	50,00	100,00
✓ COMPOSTAGEM	85,00	30,00	15,00	0,00	20,00	100,00	40,00	9135,00	0,79	20,00	8,00	1,00	1,00	0,60	80,00	50,00	75,00
✓ ATERRO GE	35,00	80,00	0,00	60,00	0,00	100,00	35,00	9135,00	0,79	16,00	14,00	1,50	1,50	7,00	50,00	100,00	80,00
✓ INCINERADOR GE	80,00	80,00	20,00	100,00	30,00	20,00	35,00	9135,00	0,79	2100,00	98,00	5,00	0,20	2,00	60,00	100,00	80,00

Figura 4.76 - Hierarquia aplicada à região Norte.

A Figura 4.77 mostra os pesos aplicados a cada subcritério na matriz de hierarquização da região Norte.

A Figura 4.78 mostra o resultado das tecnologias de tratamento após a aplicação dos pesos por ordem decrescente em seu fluxo líquido, apresentando para o fluxo líquido positivo as quatro melhores alternativas e para o fluxo líquido negativo as quatro piores alternativas para o tratamento de resíduos na região.

	★★★★★★	100,00	100%
	★★★★★★	100,00	100%
PERCENTUAL DE	☆☆☆☆☆☆	5,67	6%
POLUENTES EMITIDOS	☆☆☆☆☆☆	6,99	7%
QUANTIDADE DE	★☆☆☆☆☆	13,91	14%
USO DE ENERGIA	☆☆☆☆☆☆	2,32	2%
DENSIDADE	☆☆☆☆☆☆	7,17	7%
ÁREA ÚTIL DA	☆☆☆☆☆☆	0,74	1%
NÚMERO DE	★☆☆☆☆☆	17,32	17%
PIB LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆☆	4,46	4%
IDH LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆☆	1,92	2%
CUSTO TOTAL DE	☆☆☆☆☆☆	7,73	8%
CUSTO DE	☆☆☆☆☆☆	6,95	7%
TEMPO MÉDIO DE	☆☆☆☆☆☆	1,81	2%
CUSTO DE	☆☆☆☆☆☆	0,87	1%

Figura 4.77 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Norte.

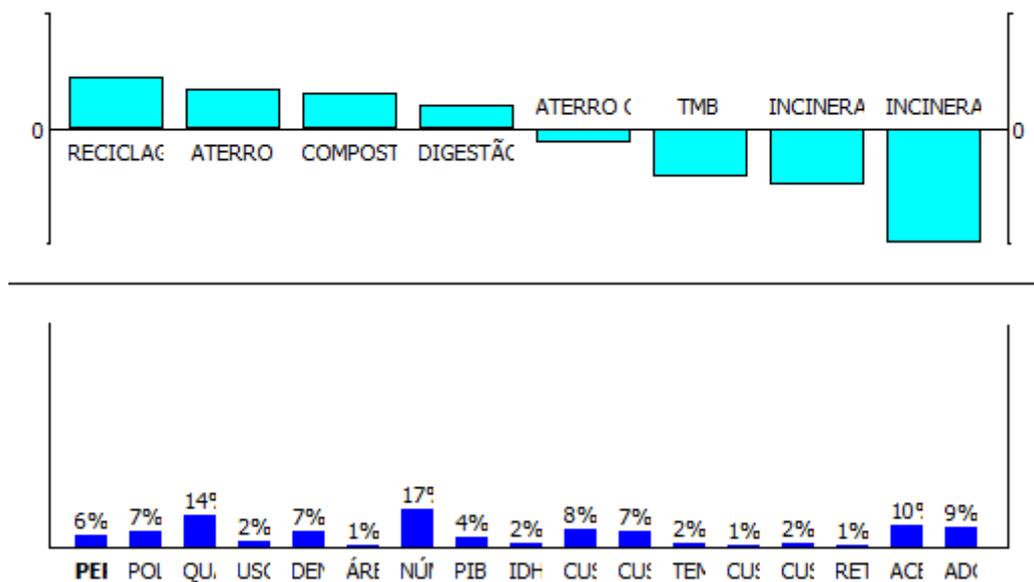


Figura 4.78 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Norte.

A Figura 4.79 mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I, que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

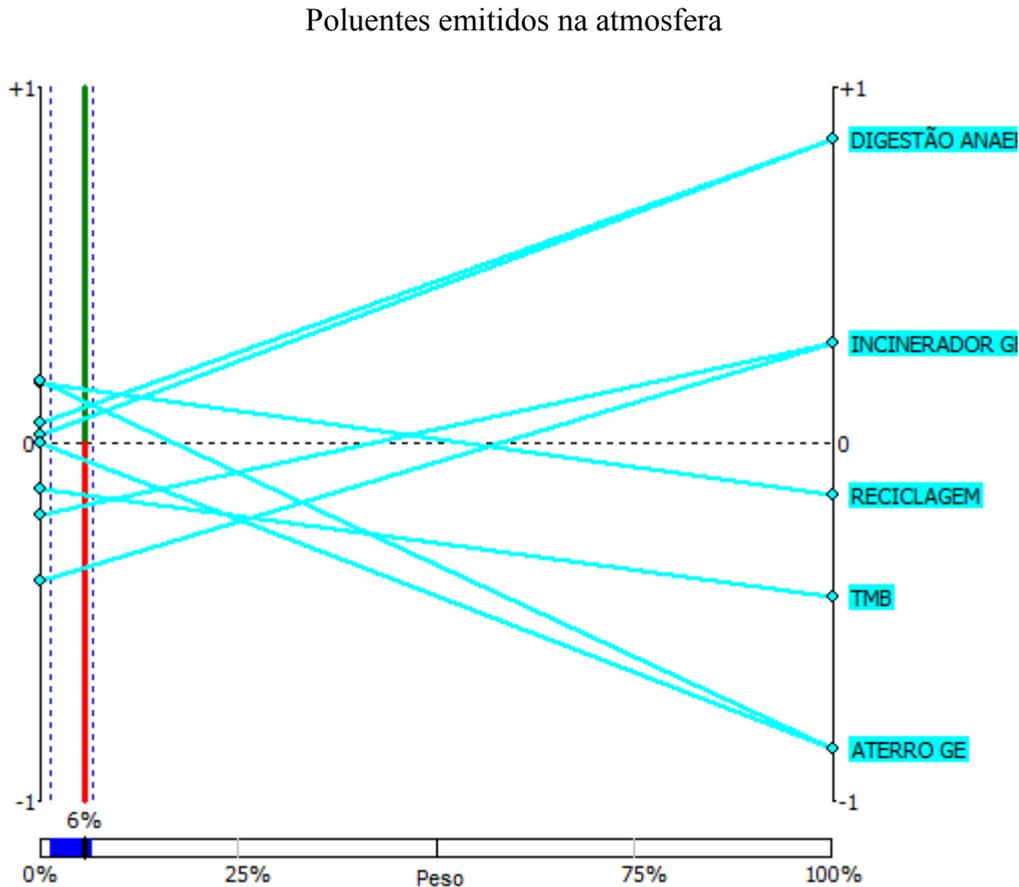


Figura 4.79 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Norte.

A Figura 4.80 mostra os fluxos de preferência por tecnologia, indicando o fluxo positivo, o fluxo negativo e o fluxo líquido, que a diferença entre eles para a tecnologia indicada.

	Alternativa	Phi	Phi+	Phi-
1	RECICLAGEM	0,1520	0,4936	0,3416
2	ATERRO	0,1195	0,3613	0,2418
3	COMPOSTAGEM	0,1024	0,3738	0,2714
4	DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,0711	0,3483	0,2772
5	ATERRO GE	-0,0471	0,2638	0,3109
6	TMB	-0,1455	0,2458	0,3912
7	INCINERADOR GE	-0,1699	0,2029	0,3728
8	INCINERADOR	-0,3447	0,2184	0,5631

Figura 4.80 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Norte.

As Figuras 4.81 e 4.82 mostram as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE I e II. A Figura 4.81 mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.82 mostra que se obtém uma pré-ordem total, uma vez que este método (Promethee II) não admite a relação de incomparabilidade.

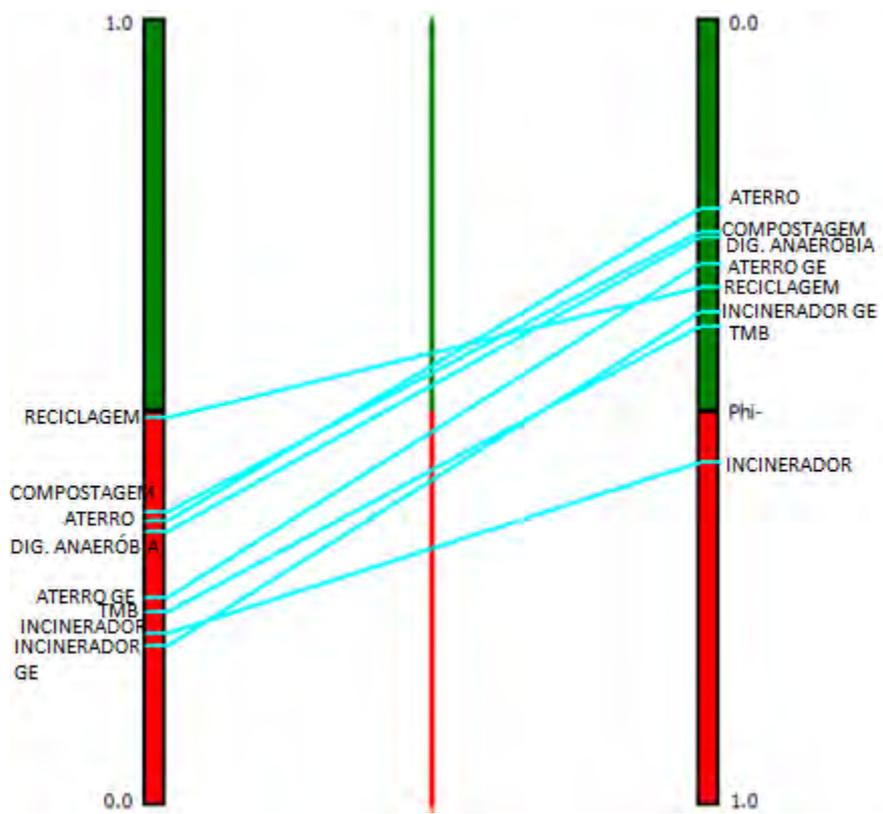


Figura 4.81 - Ranking Parcial da Região Norte - Promethee I para a região Norte.

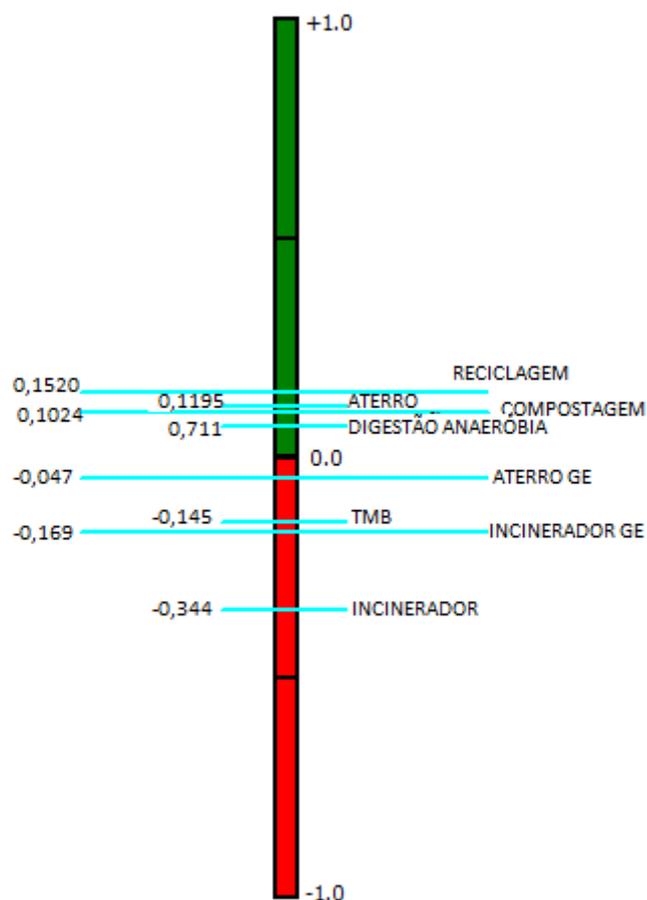


Figura 4.82 - Tecnologias por ordem de preferência, Ranking total – Promethee II para a região Norte.

A figura 4.83 mostra a descrição do Plano Gaia, para o Promethee II. Este método permite analisar o grau de complexidade do problema a ser estudado, por meio de um procedimento gráfico denominado Geometrical Analysis for Interactive Aid (GAIA). Com este procedimento é possível verificar a maior ou menor influência dos pesos dos critérios nos resultados finais.

O plano GAIA é um método por meio do qual é possível descrever e visualizar interativamente os dados dos métodos PROMÉTHÉE, de tal forma que completa de forma harmoniosa a análise dos resultados obtidos (BRANS e MARESCHAL, 2002). Ele mostra que a D.A está representada na direção do fluxo principal e que os subcritérios tempo médio de implantação e número de empregos gerados estão melhores representados. Também mostra que para esta tecnologia o custo de encerramento e o custo de pós-monitoramento estão em sentidos contrários ao fluxo principal.

O modelo aqui aplicado apurou para a projeção um  $S= 75,90\%$  na classificação, que não atende aos 80% exigidos para a proporção de informação preservada na projeção sobre o plano o que indica que precisamos aplicar uma análise de sensibilidade, para ver a robustez deste modelo.

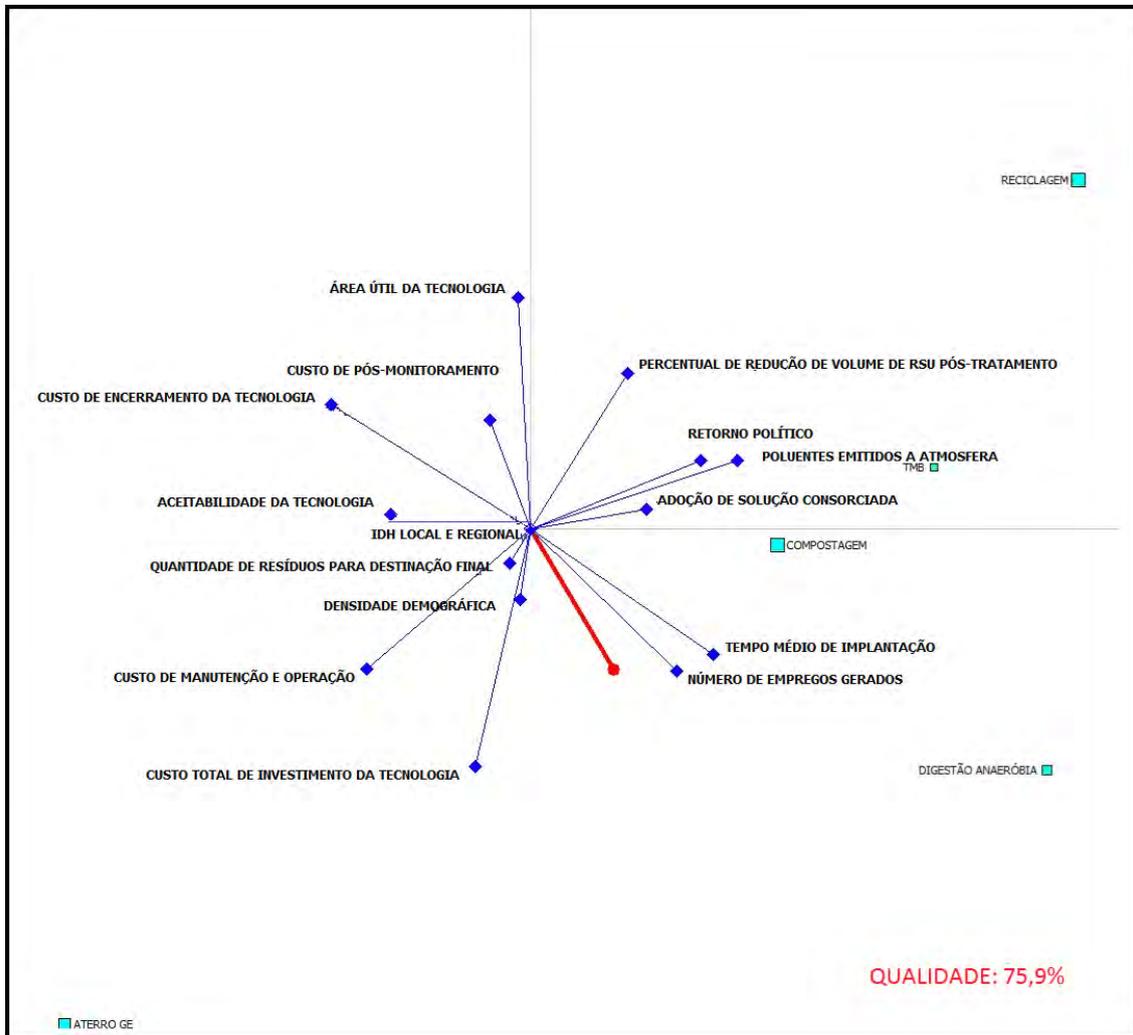


Figura 4.83 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Norte.

A análise de sensibilidade dos resultados do PROMÉTHÉE II foi feita em relação a variação de pesos com a finalidade de se avaliar as alterações de resultados em função de flutuações nos valores dessa variável.

Em relação ao fluxo líquido apresentado para esta região com seus fluxos líquidos positivos e negativos é realizada a análise, com uma variação de 15% para mais e outra de 15% para menos em relação aos fluxos encontrados no modelo.

Após a aplicação desta análise de sensibilidade não encontrou-se nenhuma variação na ordenação das tecnologias em relação ao resultado anterior, obtido

sem a análise de sensibilidade (Figura 4.84). Nesta análise a tecnologia do aterro sanitário com geração de energia apresenta valor muito próximo do fluxo positivo, com 0,0005 e -0,0075 (próximo ao fluxo neutro(zero)), o que neste caso pode-se considerar como uma alternativa para compor o arranjo tecnológico.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS COM 15% DE VARIAÇÃO - REGIÃO NORTE

	15%				-15%				
	Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi		
RECICLAGEM	0,5676	0,3416	0,2260	1°	RECICLAGEM	0,4936	0,2904	0,2032	1°
INCINERADOR	0,2512	0,5631	-0,3119	8°	INCINERADOR	0,2184	0,4786	-0,2602	8°
ATERRO	0,4155	0,2418	0,1737	2º	ATERRO	0,3613	0,2055	0,1558	2º
TMB	0,2827	0,3912	-0,1085	6º	TMB	0,2458	0,3325	-0,0867	6º
DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,4005	0,2772	0,1233	4º	DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,3483	0,2356	0,1127	4º
COMPOSTAGEM	0,4299	0,2714	0,1585	3º	COMPOSTAGEM	0,3738	0,2307	0,1431	3º
ATERRO GE	0,3034	0,3109	-0,0075	5°	ATERRO GE	0,2638	0,2643	-0,0005	5°
INCINERADOR GE	0,2333	0,3728	-0,1395	7º	INCINERADOR GE	0,2029	0,3169	-0,1140	7º

Figura 4.84 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Norte.

A Figura 4.85 mostra as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE V após a análise de sensibilidade. Este método estende a aplicação do método PROMÉTHÉE II, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas, entre as alternativas consideradas, em razão de restrições existentes no problema. Esta figura mostra que após a análise de sensibilidade não houve alteração na ordenação das tecnologias.

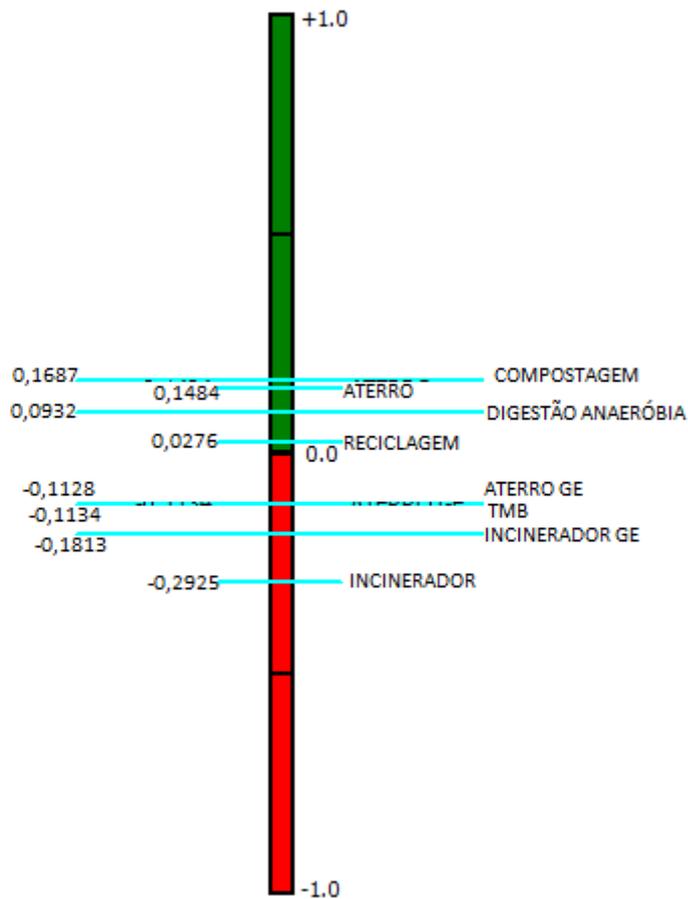


Figura 4.85 - Tecnologias por ordem de preferência, ranking total pós análise de sensibilidade - Promethee II para a região Norte.

A Figura 4.86 mostra os resultados das oito (8) tecnologias - alternativas usando o modelo Promethee V, indicando o fluxo de preferência em ordem decrescente, onde o maior fluxo representa a melhor alternativa e o menor fluxo representa a pior alternativa tecnológica para o tratamento de RSU para a região Norte. Este quadro apresentado representa os fluxos positivos, negativos e líquidos aplicado a análise de sensibilidade do modelo.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Comparação		Variável	Ótimo		Comparação	
							LHS	RHS	LHS	RHS
	<b>Total:</b>	<b>-0,2621</b>	<b>-0,2621</b>							
RECICLAGEM	0,1609	Sim	Sim	Máximo	8,00	>=	8,00	8,00	>=	8,00
INCINERADOR	-0,3127	Sim	Sim	Mínimo	8,00	<=	8,00	8,00	<=	8,00
ATERRO	0,1282	Sim	Sim	Variável	0,00	>=	0,00	0,00	>=	0,00
TMB	-0,2812	Sim	Sim							
DIGESTÃO ANA...	0,1042	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,0937	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,0471	Sim	Sim							
INCINERADOR GE	-0,1080	Sim	Sim							

Figura 4.86 - Tecnologias por ordem de preferência, Ranking Total - Promethee V para a região Norte.

A Figura 4.87 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V, indicando que a reciclagem, o aterro sanitário, a digestão anaeróbia e a compostagem são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Norte.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Comparação		Variável	Ótimo		Comparação	
							LHS	RHS	LHS	RHS
	<b>Total:</b>	<b>0,4870</b>	<b>0,4870</b>							
RECICLAGEM	0,1609	Sim	Sim	Máximo	4,00	>=	1,00	4,00	>=	1,00
INCINERADOR	-0,3127	Não	Não	Mínimo	4,00	<=	8,00	4,00	<=	8,00
ATERRO	0,1282	Sim	Sim							
TMB	-0,2812	Não	Não							
DIGESTÃO ANA...	0,1042	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,0937	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,0471	Não	Não							
INCINERADOR GE	-0,1080	Não	Não							

Figura 4.87 - Tecnologias por ordem de preferência, Ranking total – Promethee V para a região Norte.

Com relação ao índice de inconsistência de  $S=75,90$  apresentado para a região Norte, antes da análise de sensibilidade, após ajuste, com a análise de

sensibilidade ao modelo ele atingiu  $S = 81,4\%$ , ou seja, superior a 80%, o que torna a aplicação do modelo a região consistente, por um modelo que apresentou robustez.

A Figura 4.88 mostra, após ajuste da análise de sensibilidade, as tecnologias para a região Norte.

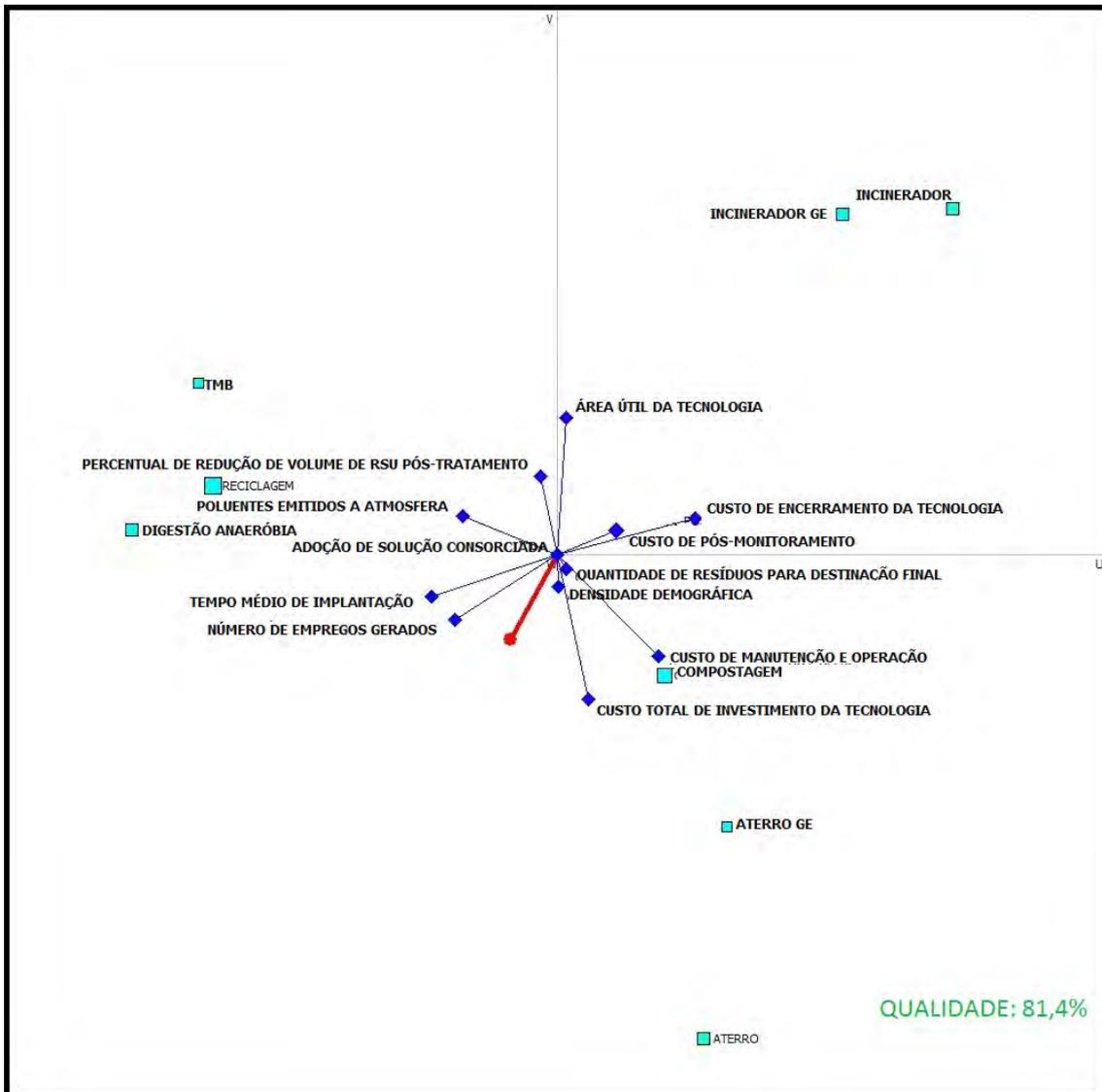


Figura 4.88 - Análise de sensibilidade da Região Norte pós análise para a região Norte.

A Figura 4.88 mostra a análise feita pelo Plano GAIA em que o vetor representado pela linha vermelha representa a melhor situação entre as comparações dos critérios e subcritérios e as tecnologias. As que estiverem representadas mais próximas ao bastão vermelho são as que indicam as melhores situações e as que estiverem em sentido contrário apresentam incomparabilidades entre eles. Esta mesma análise serve para as demais regiões geográficas.

#### 4.2.1.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V)

A seguir apresenta-se a análise dos resultados para a região Norte:

A Figura 4.79 mostra o ranking parcial, que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas. Mostra que para o sub critério poluentes emitidos na atmosfera as tecnologias da digestão anaeróbia e do incinerador com geração em ciclo combinado são as que apresentam fluxos líquidos positivos e as tecnologias do TMB e aterro com geração em ciclo combinado apresentam fluxo negativo, o que certamente gerou incomparabilidades, fazendo-se necessário utilizar a aplicação do Promethee II, com resultados da aplicação deste na Figura 4.80 e 4.82.

A Figura 4.82 mostra as tecnologias de tratamento por ordem de preferência com a indicação do maior fluxo líquido para a melhor tecnologia e do menor fluxo líquido para a tecnologia menos indicada. A diferença entre o fluxo líquido positivo ( $\Phi^+$ ) e o fluxo líquido negativo ( $\Phi^-$ ) é o fluxo líquido ( $\Phi$ ).

A Figura 4.83 mostra o plano Gaia, onde indica uma melhor visualização dos critérios e sub critérios, onde as que estão próximas ao vetor vermelho, estão mais bem ajustadas e as que se encontram em sentido contrário, podem apresentar incomparabilidades. Nesta figura indica o valor da análise de sensibilidade com valor de 81,4%, que quando superior a 80%, estão bem representadas.

A Figura 4.85 justifica e confirma a análise de sensibilidade do modelo, aplicando-se uma variação de 15% para mais e para menos na ordenação das alternativas a partir da Figura 4.80, mostrando que quando não há mudança no ranking de classificação destas alternativas, indicam a robustez do modelo e de sua aplicação.

A Figura 4.87 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V por ordenação do fluxo líquido, indicando que a reciclagem, o aterro sanitário, a digestão anaeróbia e a compostagem são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Norte.

Para o modelo Promethee II(V), após aplicação dos dados da região, o critério ambiental apresentou o maior peso na preferência dos convidados com 26,6% do peso total, seguido pelo critério social com 26,20% do peso total e do critério político com 25,40% do peso total e o econômico com apenas 21,9% do peso total. Este modelo gerou um melhor resultado, pois apesar de ter apresentado inconsistência, mesmo após a aplicação da análise de sensibilidade, não alterou nenhuma alternativa incluída nas quatro primeiras ordenações pela ordem de preferência.

Para este modelo de apoio a decisão as quatro tecnologias por ordem de preferência da região foram: reciclagem, aterro sanitário, digestão anaeróbia, compostagem e aterro sanitário com geração de energia.

É definido pela Lei n<sup>o</sup> 12.305/2010 e decreto regulamentador n<sup>o</sup> 7.404/2010, que deve ser obedecida o que preceitua o artigo 6<sup>o</sup> em seus princípios, a prevenção e precaução, a visão sistêmica e o desenvolvimento sustentável, e em seus objetivos descritos no artigo 7<sup>o</sup>, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos sólidos, a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais. Neste sentido fica definido que só devem ser encaminhados ao aterro sanitário os resíduos que passem por todas as etapas de redução, reutilização e reciclagem, ou seja, somente os rejeitos. Portanto, fica claramente definido, que em seus arranjos tecnológicos, devem ter a reciclagem como início do arranjo e o aterro sanitário sem geração de energia ou com geração de energia como destinação final adequada. Este conceito servirá para os arranjos tecnológicos definidos nas demais regiões geográficas do Brasil.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecer os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + aterro sanitário
- 2 arranjo : reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário
- 3 arranjo : reciclagem + aterro sanitário com geração de energia
- 4 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário

Este modelo mostrou que sua aplicação é mais segura em função deste método de sobre classificação ser bastante satisfatório ao modelo hierárquico definido, indicando assim, possíveis alternativas. Neste caso, este modelo também não indica a resposta certa, mas oferece subsídios mais seguros e consistentes para os tomadores de decisão encontrarem o melhor(es) arranjo(s) tecnológicos para a região.

O Gráfico 4.26, mostra os resultados das preferências da região para os dois modelos. Pode-se observar que as tecnologias são representadas, no referido gráfico, por valores de preferências para os dois modelos.

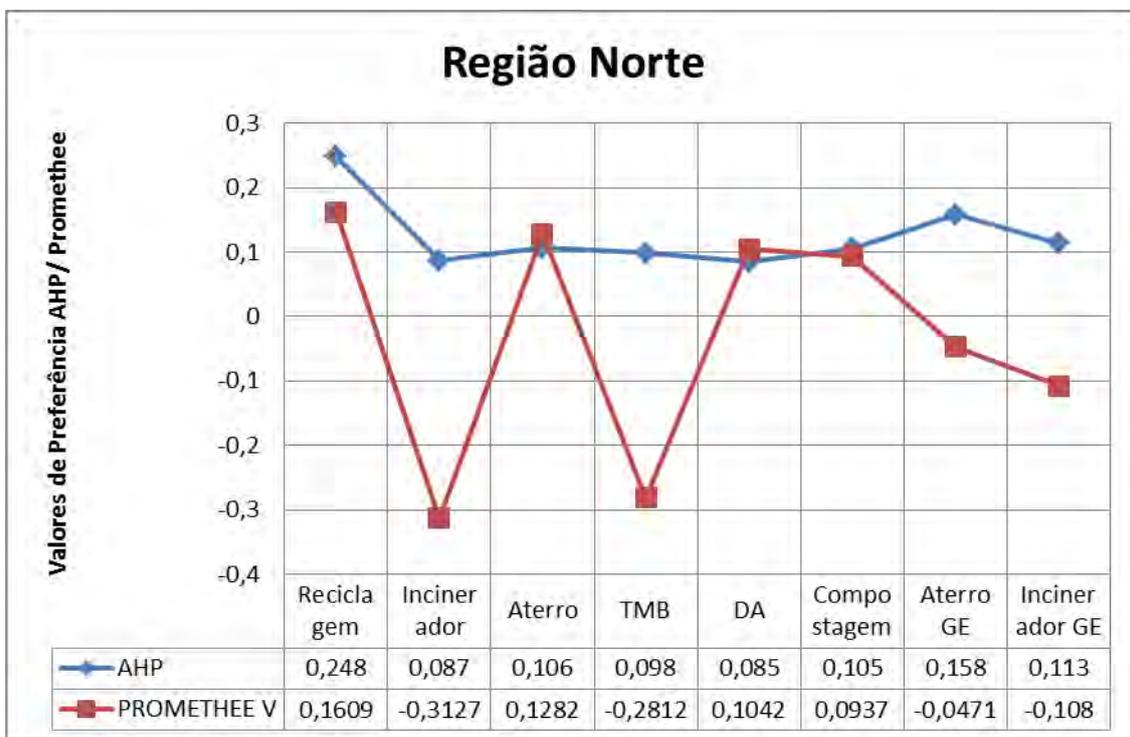


Gráfico 4.26 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP – Região Norte.

O Gráfico 4.26, mostra que para o AHP as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário com geração de energia, do incinerador com geração de energia e do aterro sanitário se apresentam com melhores resultados e que para o Promethee as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário, da digestão anaeróbia e da Compostagem foram as que apresentaram melhores resultados. No entanto as especificidades quanto aos aspectos ambientais para a região devem ser levados em consideração na proposta de arranjos tecnológicos.

## 4.2.2 Região Nordeste

### 4.2.2.1 Resultados do Promethee II(V)

A Figura 4.89 mostra a hierarquia aplicada ao método PROMETHEE II (V), onde o mesmo procedimento de entrada de dados utilizado para a região Norte foi

utilizado, ou seja, aplicou-se os pesos adotados no questionário da região estudada, em seguida escolheu-se as funções de preferência e a análise estatística foi então realizada. Assim, realizou-se a sistematização e obteve-se os rankins das alternativas indicadas em ordem decrescente. Aplicando-se estes dados ao modelo, obtiveram-se os seguintes resultados.

	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
cenario1	PERCENTUA...	POLUEVENTES...	QUANTIDADE...	USO DE ENE...	DENSIDADE...	ÁREA ÚTIL D...	NÚMERO DE...	PIB LOCAL/R...	IDH LOCAL/...	CUSTO TOT...	CUSTO DE M...	TEMPO MÉDI...	CUSTO DE E...	CUSTO DE P...	RETORNO P...	ACETTABILI...	ADOÇÃO DE...
Unidade	%	%	%	%	%	%	UNIDADES	R\$/Hab	ÍNDICE	R\$/t	R\$/t	ANOS	R\$/t	R\$/t	%	%	%
Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferência</b>																	
Min/Max	max	min	min	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Peso	0,09	0,06	0,16	0,02	0,04	0,04	0,20	0,08	0,02	0,09	0,09	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03
Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Limite	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	percentage	percentage	percentage
- Q: Indiferença	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preferência	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Estatística</b>																	
Mínimo	20,00	2,00	0,00	0,00	10,00	5,00	30,00	6749,00	0,75	12,00	8,00	0,70	0,15	0,50	0,60	50,00	50,00
Máximo	90,00	80,00	30,00	70,00	45,00	100,00	120,00	6749,00	0,75	2100,00	250,00	5,00	20,00	18,00	90,00	90,00	100,00
Média	61,25	39,00	12,75	41,25	29,38	30,88	55,00	6749,00	0,75	607,25	80,53	1,89	3,92	5,79	60,08	73,75	71,25
Desvio Padrão	25,59	26,66	9,58	20,73	12,36	40,04	28,61	0,00	0,00	784,19	74,38	1,54	6,25	5,58	28,13	11,11	14,52
<b>Avaliação</b>																	
✓ RECICLAGEM	20,00	5,00	15,00	60,00	30,00	15,00	120,00	6749,00	0,75	22,00	250,00	1,00	2,50	0,50	90,00	80,00	100,00
✓ INCINERADOR	90,00	70,00	10,00	60,00	40,00	5,00	30,00	6749,00	0,75	1718,00	85,00	4,00	0,15	1,80	40,00	70,00	60,00
✓ ATERRO	35,00	80,00	0,00	0,00	10,00	100,00	80,00	6749,00	0,75	12,00	8,00	1,00	1,00	6,00	50,00	70,00	50,00
✓ TMB	70,00	2,00	22,00	35,00	45,00	5,00	50,00	6749,00	0,75	350,00	85,00	0,90	5,00	10,00	80,00	80,00	80,00
✓ DIGESTÃO ANAE...	80,00	40,00	15,00	30,00	30,00	7,00	50,00	6749,00	0,75	620,00	96,25	0,70	20,00	18,00	90,00	70,00	70,00
✓ COMPOSTAGEM	70,00	20,00	30,00	35,00	30,00	5,00	40,00	6749,00	0,75	20,00	8,00	1,00	1,00	1,00	0,60	50,00	80,00
✓ ATERRO GE	35,00	45,00	0,00	40,00	10,00	100,00	35,00	6749,00	0,75	16,00	14,00	1,50	1,50	7,00	60,00	90,00	60,00
✓ INCINERADOR GE	90,00	50,00	10,00	70,00	40,00	10,00	35,00	6749,00	0,75	2100,00	98,00	5,00	0,20	2,00	70,00	80,00	70,00

Figura 4.89 - Hierarquia aplicada à região Nordeste.

A Figura 4.90 mostra os pesos aplicados a cada subcritério na matriz de hierarquização da região Nordeste.

A Figura 4.91 mostra o resultado das tecnologias de tratamento após a aplicação dos pesos por ordem decrescente em seu fluxo líquido, apresentando para o fluxo líquido positivo as quatro melhores alternativas e para o fluxo líquido negativo as quatro piores alternativas para o tratamento de resíduos na região.

	★★★★★★	100,00	100%
	★★★★★★	100,00	100%
PERCENTUAL DE	★★★★	8,61	9%
POLUENTES EMITIDOS	★★★★	6,27	6%
QUANTIDADE DE	★☆☆☆	15,87	16%
USO DE ENERGIA	★★★★	1,76	2%
DENSIDADE	★★★★	4,14	4%
ÁREA ÚTIL DA	★★★★	4,35	4%
NÚMERO DE	★☆☆☆	20,03	20%
PIB LOCAL/REGIONAL	★★★★	7,66	8%
IDH LOCAL/REGIONAL	★★★★	2,12	2%
CUSTO TOTAL DE	★★★★	8,68	9%
CUSTO DE	★★★★	8,79	9%
TEMPO MÉDIO DE	★★★★	2,44	2%
CUSTO DE	★★★★	1,18	1%

Figura 4.90 - Pesos aplicados aos subcritérios da região Nordeste para a região Nordeste.

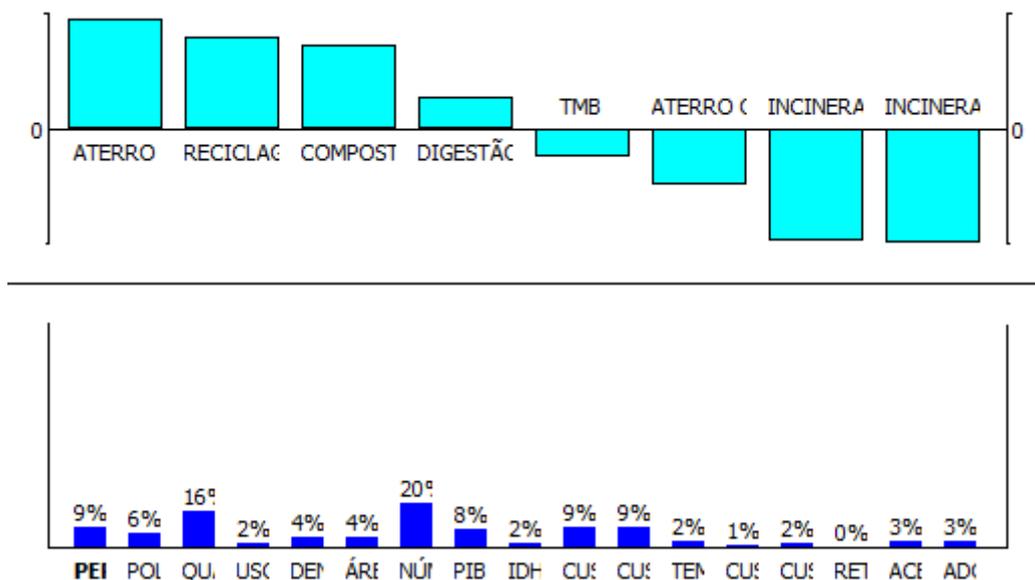


Figura 4.91 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Nordeste.

A Figura 4.92, mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.92 mostra as tecnologias após a aplicação dos pesos ao subcritério custo de investimentos.

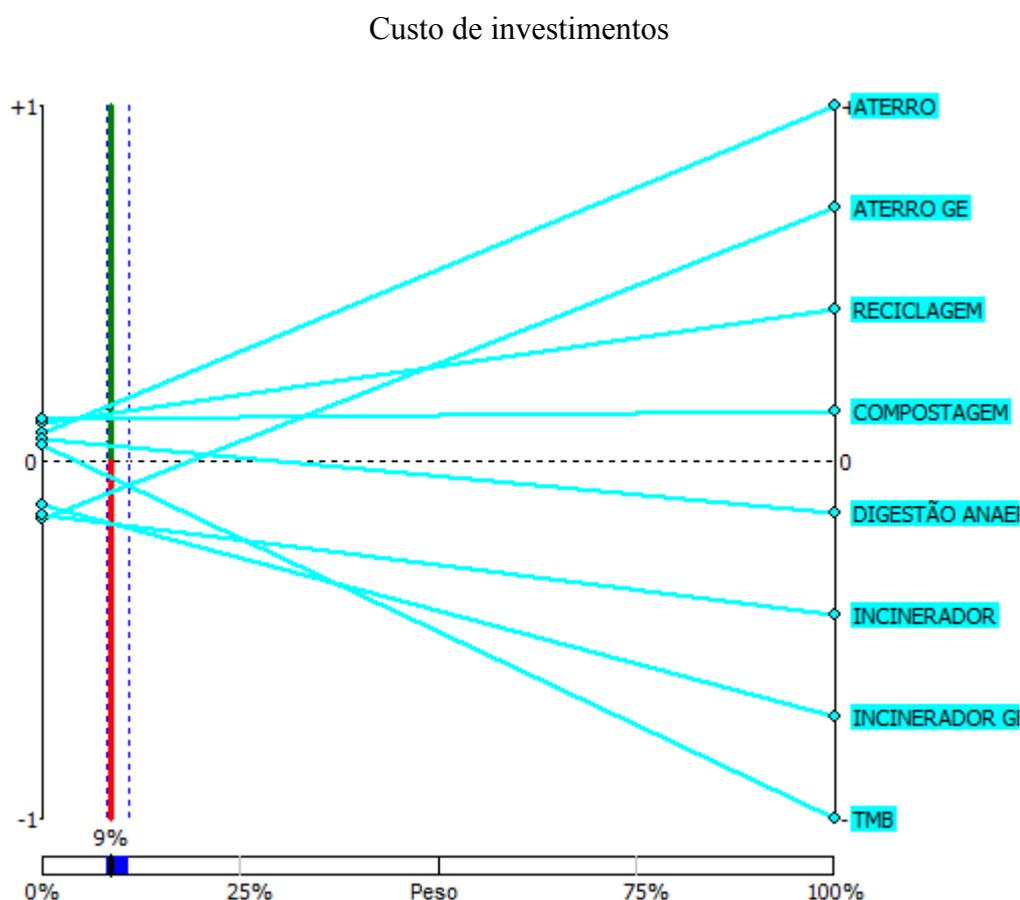


Figura 4.92 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Nordeste.

A Figura 4.93 mostra os fluxos de preferência por tecnologia, indicando o fluxo positivo, o fluxo negativo e o fluxo líquido, obtido pela diferença entre eles para a tecnologia indicada.

	Alternativa	Phi	Phi+	Phi-
1	ATERRO	0,1634	0,4250	0,2616
2	RECICLAGEM	0,1377	0,4859	0,3482
3	COMPOSTAGEM	0,1249	0,4011	0,2762
4	DIGESTÃO	0,0474	0,3599	0,3125
5	TMB	-0,0427	0,3090	0,3516
6	ATERRO GE	-0,0856	0,2917	0,3772
7	INCINERADOR	-0,1717	0,3238	0,4955
8	INCINERADOR GE	-0,1734	0,2469	0,4203

Figura 4.93 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Nordeste.

As Figuras 4.94 e 4.95 mostram as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE I e II. A Figura 4.94 mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.95 mostra que se obtém uma pré-ordem total, uma vez que este método (Promethee II) não admite a relação de incomparabilidade.

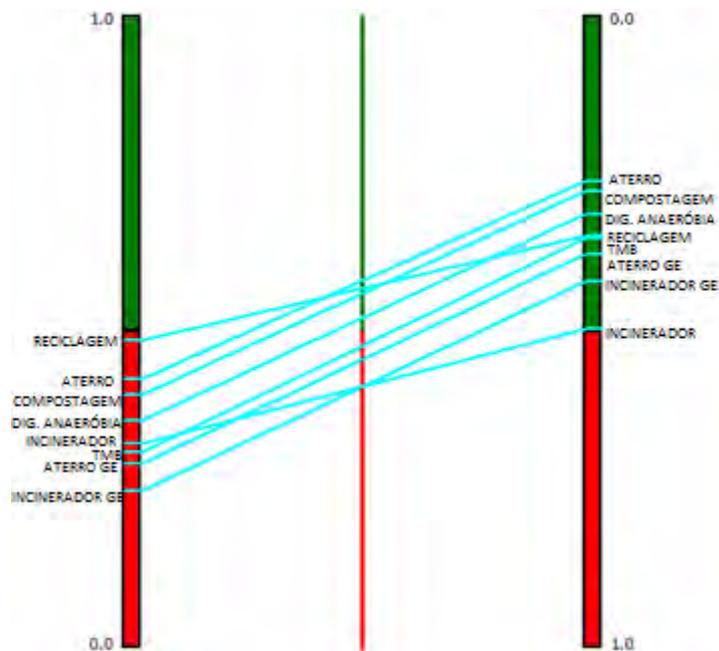


Figura 4.94 - Promethee I – Parcial Ranking – Região Nordeste para a região Nordeste.

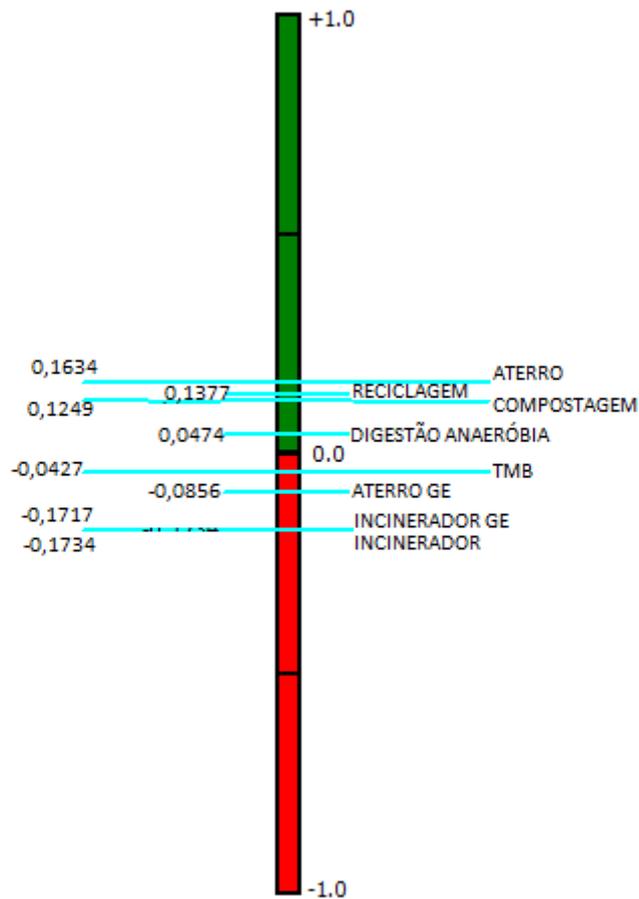


Figura 4.95 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II para a região Nordeste.

A Figura 4.96 mostra a descrição do Plano Gaia, para o Promethee II.

O referido Plano mostra que a reciclagem e a D.A está representada na direção do fluxo principal e que os subcritérios tempo médio de implantação e aceitabilidade da tecnologia estão melhores representados. Mostra também que para esta tecnologia o custo de encerramento e o custo de pós-monitoramento estão em sentidos contrários ao fluxo principal.

O modelo aqui aplicado apurou para a projeção um  $S = 80,90\%$  na classificação, que atende aos 80% exigidos para a proporção de informação preservada na projeção sobre o plano, o que indica que não precisamos aplicar uma análise de sensibilidade, para ver a robustez deste modelo.

Assim sendo este modelo é um modelo robusto e a sua utilização para a indicação de alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU na região é adequada.

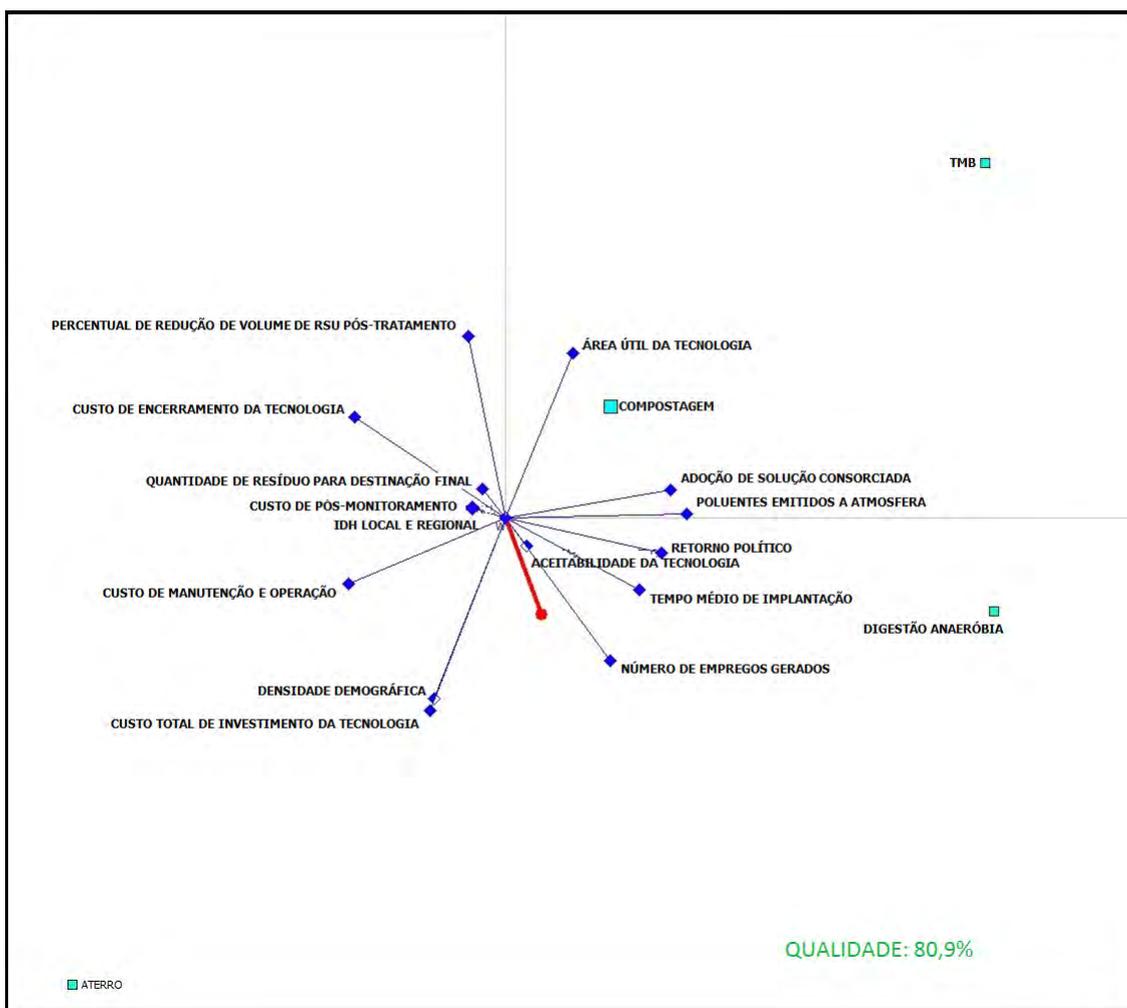


Figura 4.96 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Nordeste.

A análise de sensibilidade dos resultados do PROMÉTHÉE II foi feita em relação a variação de pesos com a finalidade de se avaliar as alterações de resultados em função de flutuações nos valores dessa variável.

Em relação ao fluxo líquido apresentado para esta região com seus fluxos líquidos positivos e negativos é realizada a análise, com uma variação de 15% para mais e outra de 15% para menos em relação aos fluxos encontrados no modelo.

Após a aplicação desta análise de sensibilidade não encontrou-se nenhuma variação na ordenação das tecnologias em relação ao resultado anterior, obtido sem a análise de sensibilidade (Figura 4.97).

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS COM 15% DE VARIAÇÃO - REGIÃO NORDESTE

15%

-15%

Phi+

Phi-

Phi

Phi+

Phi-

Phi

RECICLAGEM	0,5588	0,3482	0,2106	2º	RECICLAGEM	0,4859	0,2960	0,1899	2º
INCINERADOR	0,3724	0,4955	-0,1231	7º	INCINERADOR	0,3238	0,4212	-0,0974	7º
ATERRO	0,4888	0,2616	0,2272	1º	ATERRO	0,425	0,2224	0,2026	1º
TMB	0,3554	0,3516	0,0037	5º	TMB	0,309	0,2989	0,0101	5º
DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,4139	0,3125	0,1014	4º	DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,3599	0,2656	0,0943	4º
COMPOSTAGEM	0,4613	0,2762	0,1851	3º	COMPOSTAGEM	0,4011	0,2348	0,1663	3º
ATERRO GE	0,3355	0,3772	-0,0417	6º	ATERRO GE	0,2917	0,3206	-0,0289	6º
INCINERADOR GE	0,2839	0,4203	-0,1364	8º	INCINERADOR GE	0,2469	0,3573	-0,1104	8º

Figura 4.97 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Nordeste.

As Figuras 4.98 e 4.99 mostram as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE V. Este método é utilizado a partir do PROMETHEE II, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas, entre as alternativas consideradas, em razão de restrições existentes definidas no modelo hierárquico.

A Figura 4.98 mostra os resultados das oito(8) tecnologias - alternativas usando o modelo Promethee V, indicando o fluxo de preferência em ordem decrescente, onde o maior fluxo representa a melhor alternativa e o menor fluxo representa a pior alternativa tecnológica para o tratamento de RSU para a região Nordeste.

Alternativas	Fluxo em rede	Otimo	Comparação
	<b>Total:</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>
RECICLAGEM	0,1377	Sim	Sim
INCINERADOR	-0,1717	Sim	Sim
ATERRO	0,1634	Sim	Sim
TMB	-0,0427	Sim	Sim
DIGESTÃO ANA...	0,0474	Sim	Sim
COMPOSTAGEM	0,1249	Sim	Sim
ATERRO GE	-0,0856	Sim	Sim
INCINERADOR GE	-0,1734	Sim	Sim

Figura 4.98 - Tecnologias por ordem de preferência, Ranking total – Promethee V para a região Nordeste.

A Figura 4.99 mostra os resultados das 4(quatro) melhores alternativas usando o modelo Promethee V, indicando que o aterro sanitário, a reciclagem, a compostagem e a digestão anaeróbia são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Nordeste.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo	Comparação	Variável	Ótimo		Comparação			
	<b>Total:</b>	<b>0,4733</b>	<b>0,4733</b>		<b>LHS</b>		<b>RHS</b>	<b>LHS</b>	<b>RHS</b>	
RECIKLAGEM	0,1377	Sim	Sim	Máximo	4,00	>=	1,00	4,00	>=	1,00
INCINERADOR	-0,1717	Não	Não	Mínimo	4,00	<=	8,00	4,00	<=	8,00
ATERRO	0,1634	Sim	Sim							
TMB	-0,0427	Não	Não							
DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,0474	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,1249	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,0856	Não	Não							
INCINERADOR GE	-0,1734	Não	Não							

Figura 4.99 - Tecnologias por ordem de preferência, Ranking total – Promethee V para a região Nordeste.

#### 4.2.2.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V)

A seguir apresenta-se a análise dos resultados da Região Nordeste:

A Figura 4.92 mostra o ranking parcial, que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas. Mostra que para o sub critério custo de investimentos as tecnologias do aterro sanitário, do aterro com geração de energia, da reciclagem e da compostagem são as que apresentam fluxos líquidos positivos e as tecnologias da digestão anaeróbia, e do incinerador com geração de energia e em ciclo combinado e do TMB apresentam fluxo negativo, o que certamente gerou

incomparabilidades, fazendo-se necessário aplicar o Promethee II, com resultados da aplicação deste na Figura 4.93 e 4.95.

A Figura 4.95 mostra as tecnologias de tratamento por ordem de preferência com a indicação do maior fluxo líquido para a melhor tecnologia e do menor fluxo líquido para a tecnologia menos indicada. A diferença entre o fluxo líquido positivo ( $\Phi^+$ ) e o fluxo líquido negativo ( $\Phi^-$ ) é o fluxo líquido ( $\Phi$ ).

A Figura 4.96 mostra o plano Gaia, onde indica uma melhor visualização dos critérios e sub critérios, onde os que estão próximas ao vetor vermelho, estão mais bem ajustadas e as que se encontram em sentido contrário, podem apresentar incomparabilidades. Nesta figura indica o valor da análise de sensibilidade de 80,9%, que quando superior a 80%, estão bem representadas.

A Figura 4.97 justifica e confirma a análise de sensibilidade do modelo, aplicando-se uma variação de 15% para mais e para menos na ordenação das alternativas a partir da Figura 4.93, que quando não há mudança no ranking de classificação destas alternativas, indicam a robustez do modelo e de sua aplicação.

A Figura 4.99 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V por ordenação do fluxo líquido, indicando que a reciclagem, o aterro sanitário, a digestão anaeróbia e a compostagem são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Nordeste.

Para o modelo Promethee II(V), após aplicação dos dados da região, o critério ambiental apresentou o maior peso na preferência dos convidados, com 41,00% do peso total, seguido pelo critério social, com 29,80% do peso total e o critério econômico, com 23,20% do peso total. Este modelo gerou um melhor resultado, pois por não ter apresentado inconsistência, com fluxo líquido de 80,9%, indica que sua aplicação como modelo, é consistente, portanto é um modelo que apresenta robustez.

Para este modelo de apoio a decisão, as quatro tecnologias por ordem de preferência da região foram: aterro sanitário, reciclagem, compostagem e digestão anaeróbia.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecer os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

1 arranjo : reciclagem + aterro sanitário

2 arranjo : reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário

3 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário

O Gráfico 4.27 mostra os resultados das preferências da região para os dois modelos. Pode-se observar que as tecnologias são mostradas no Gráfico por valores de preferências para os dois modelos.

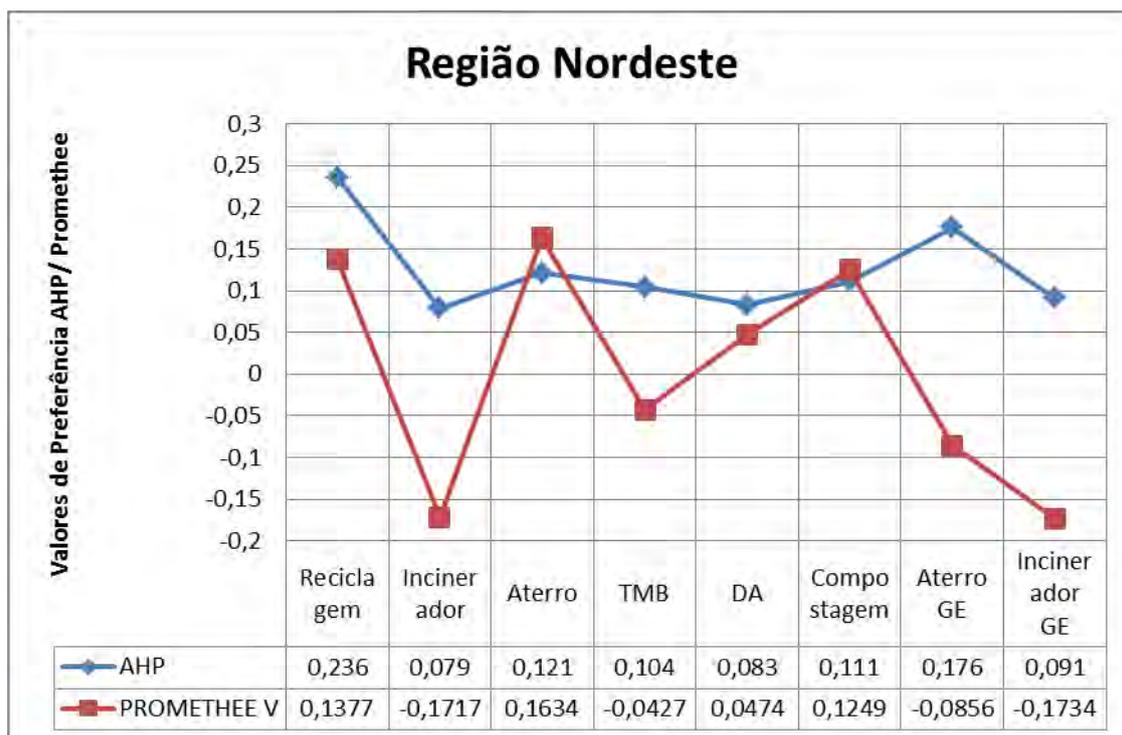


Gráfico 4.27 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Nordeste.

O Gráfico 4.27, mostra que para o modelo AHP as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário com geração de energia, do aterro sanitário e TMB se apresentaram com melhores resultados e que para o Promethee as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário, da compostagem e da digestão anaeróbia foram as que apresentaram melhores resultados.

#### 4.2.3 Região Centro Oeste

##### 4.2.3.1 Resultados do Promethee II(V)

A Figura 4.100 mostra a hierarquia aplicada ao método PROMETHEE II (V), onde o mesmo procedimento de entrada de dados utilizado para a região Norte e Nordeste foi utilizado, ou seja, aplicou-se os pesos adotados no questionário da região estudada, em seguida escolheu-se as funções de preferência e a análise estatística foi então realizada.

Assim, realizou-se a sistematização e obteve-se os rankins das alternativas indicadas em ordem decrescente.

Aplicando-se estes dados ao modelo, foram obtidos os seguintes resultados.

	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
cenario1	PERCENTUA...	POLLENTES...	QUANTIDAD...	USO DE ENE...	DENSIDADE...	ÁREA ÚTIL D...	NÚMERO DE...	PIB LOCAL(R...	IDH LOCAL(...	CUSTO TOT...	CUSTO DE M...	TEMPO MÉDI...	CUSTO DE E...	CUSTO DE P...	RETORNO P...	ACETABILI...	ADOÇÃO DE...
Unidade	%	%	%	%	%	%	UNIDADES	R\$/Hab	ÍNDICE	R\$	R\$	ANOS	R\$	R\$	%	%	%
Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferência</b>																	
Min/Max	max	min	min	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Peso	0,11	0,12	0,18	0,03	0,14	0,03	0,10	0,04	0,01	0,05	0,12	0,03	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01
Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Limite	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	percentage	percentage	percentage
- Q: Indiferença	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preferência	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Estatística</b>																	
Mínimo	20,00	0,00	10,00	0,00	10,00	5,00	30,00	22364,00	0,84	12,00	8,00	0,70	0,15	0,50	30,00	50,00	50,00
Máximo	95,00	80,00	100,00	70,00	40,00	80,00	120,00	22364,00	0,84	2100,00	250,00	5,00	20,00	18,00	100,00	100,00	90,00
Média	63,13	38,13	39,13	43,75	27,50	27,50	55,00	22364,00	0,84	607,25	80,53	1,89	3,92	5,74	67,50	77,50	67,50
Desvio Padrão	28,06	27,83	35,71	20,73	11,99	30,92	28,61	0,00	0,00	784,19	74,38	1,54	6,25	5,63	22,22	16,39	13,92
<b>Avaliação</b>																	
✓ RECICLAGEM	20,00	0,00	18,00	65,00	30,00	25,00	120,00	22364,00	0,84	22,00	250,00	1,00	2,50	0,50	100,00	80,00	90,00
✓ INCINERADOR	90,00	80,00	10,00	60,00	40,00	5,00	30,00	22364,00	0,84	1718,00	85,00	4,00	0,15	1,80	30,00	70,00	50,00
✓ ATERRO	30,00	70,00	100,00	0,00	10,00	80,00	80,00	22364,00	0,84	12,00	8,00	1,00	1,00	6,00	40,00	100,00	50,00
✓ TMB	70,00	5,00	25,00	35,00	40,00	10,00	50,00	22364,00	0,84	350,00	85,00	0,90	5,00	10,00	80,00	80,00	80,00
✓ DIGESTÃO ANAE...	85,00	30,00	20,00	40,00	30,00	5,00	50,00	22364,00	0,84	620,00	96,25	0,70	20,00	18,00	90,00	60,00	70,00
✓ COMPOSTAGEM	80,00	20,00	30,00	40,00	20,00	5,00	40,00	22364,00	0,84	20,00	8,00	1,00	1,00	0,60	70,00	50,00	80,00
✓ ATERRO GE	35,00	40,00	100,00	40,00	10,00	80,00	35,00	22364,00	0,84	16,00	14,00	1,50	1,50	7,00	60,00	100,00	60,00
✓ INCINERADOR GE	95,00	60,00	10,00	70,00	40,00	10,00	35,00	22364,00	0,84	2100,00	98,00	5,00	0,20	2,00	70,00	80,00	60,00

Figura 4.100 - Hierarquia aplicada à região Centro Oeste.

A Figura 4.101 mostra os pesos aplicados a cada subcritério na matriz de hierarquização da região Centro Oeste.

A Figura 4.102 mostra o resultado das tecnologias de tratamento após a aplicação dos pesos por ordem decrescente em seu fluxo líquido, apresentando para o fluxo líquido positivo as quatro melhores alternativas e para o fluxo líquido negativo as quatro piores alternativas para o tratamento de resíduos na região.

	★★★★★★	100,00	100%
	★★★★★★	100,00	100%
PERCENTUAL DE	★☆☆☆☆	10,45	10%
POLUENTES EMITIDOS	★☆☆☆☆	11,46	11%
QUANTIDADE DE	★☆☆☆☆	19,71	20%
USO DE ENERGIA	☆☆☆☆☆	2,96	3%
DENSIDADE	★☆☆☆☆	13,53	14%
ÁREA ÚTIL DA	☆☆☆☆☆	2,77	3%
NÚMERO DE	☆☆☆☆☆	9,38	9%
PIB LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆	3,56	4%
IDH LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆	0,99	1%
CUSTO TOTAL DE	☆☆☆☆☆	4,54	5%
CUSTO DE	★☆☆☆☆	11,36	11%
TEMPO MÉDIO DE	☆☆☆☆☆	2,57	3%
CUSTO DE	☆☆☆☆☆	0,99	1%

Figura 4.101 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Centro Oeste.

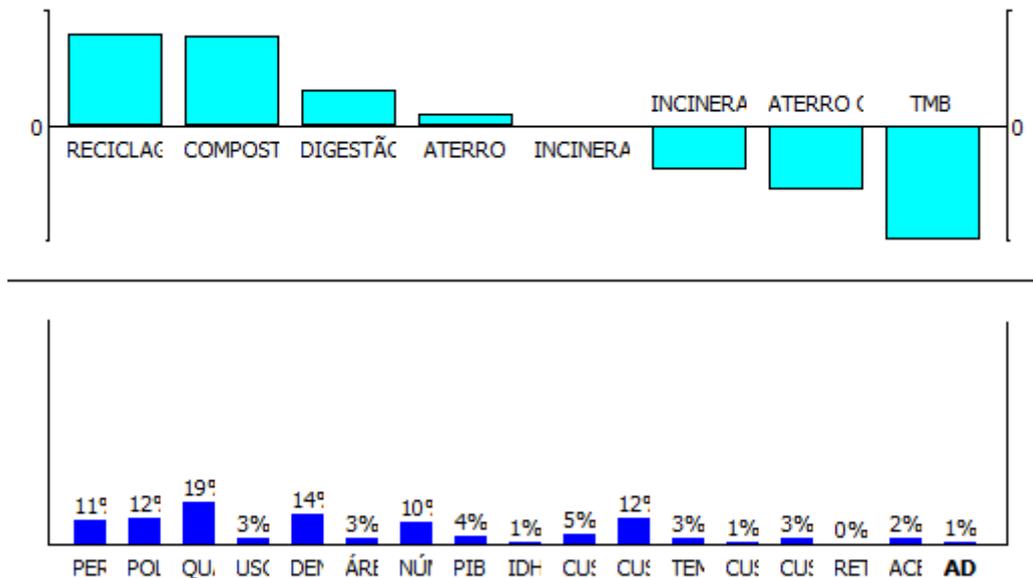


Figura 4.102 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Centro Oeste.

A Figura 4.103, mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.103 mostra as tecnologias após a aplicação dos pesos ao subcritério custo de investimentos.

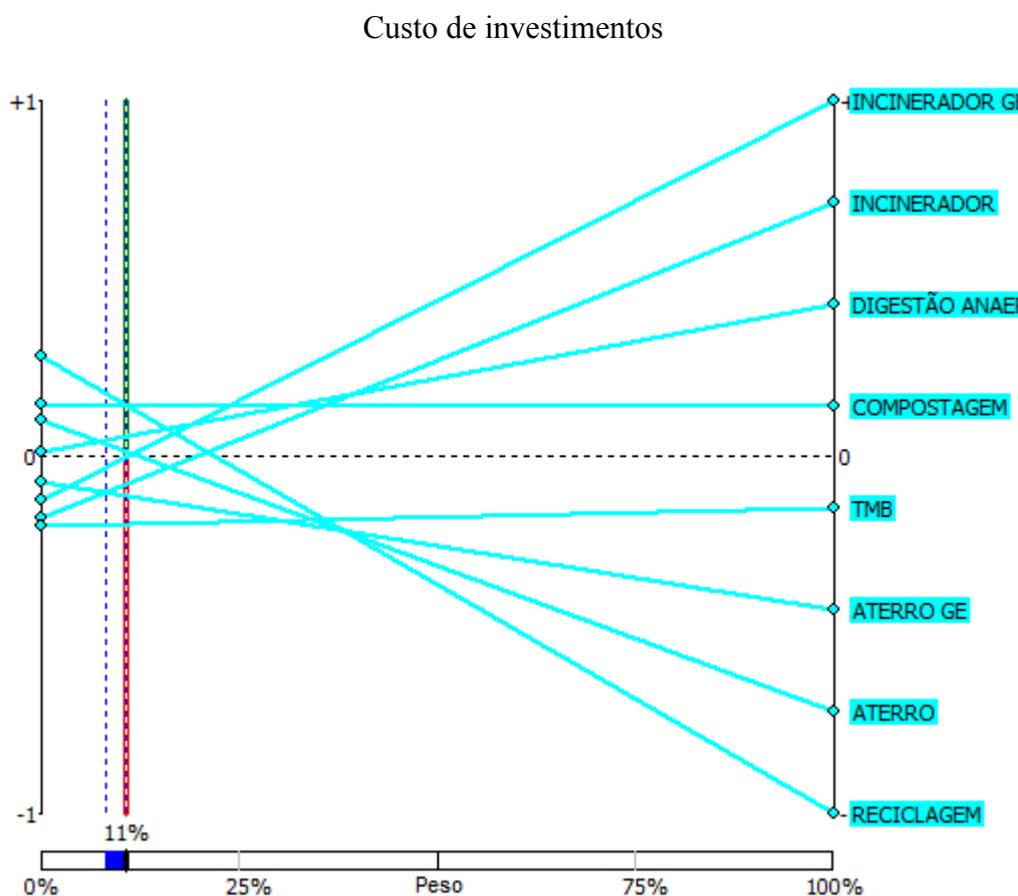


Figura 4.103 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Centro Oeste.

A Figura 4.104 mostra os fluxos de preferência por tecnologia, indicando o fluxo positivo, o fluxo negativo e o fluxo líquido, obtido pela diferença entre eles para a tecnologia indicada.

	Alternativa	Phi	Phi+	Phi-
1	RECICLAGEM	0,1481	0,5191	0,3711
2	COMPOSTAGEM	0,1472	0,5270	0,3799
3	DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,0569	0,4698	0,4128
4	ATERRO	0,0183	0,4401	0,4218
5	INCINERADOR GE	-0,0010	0,4157	0,4168
6	INCINERADOR	-0,0747	0,3871	0,4618
7	ATERRO GE	-0,1062	0,3748	0,4809
8	TMB	-0,1885	0,3354	0,5239

Figura 4.104 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Centro Oeste.

A Figura 4.105 e 4.106 mostra as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE I e II. A Figura 4.105 mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.106 mostra que se obtém uma pré-ordem total, uma vez que este método (Promethee II) não admite a relação de incomparabilidade.

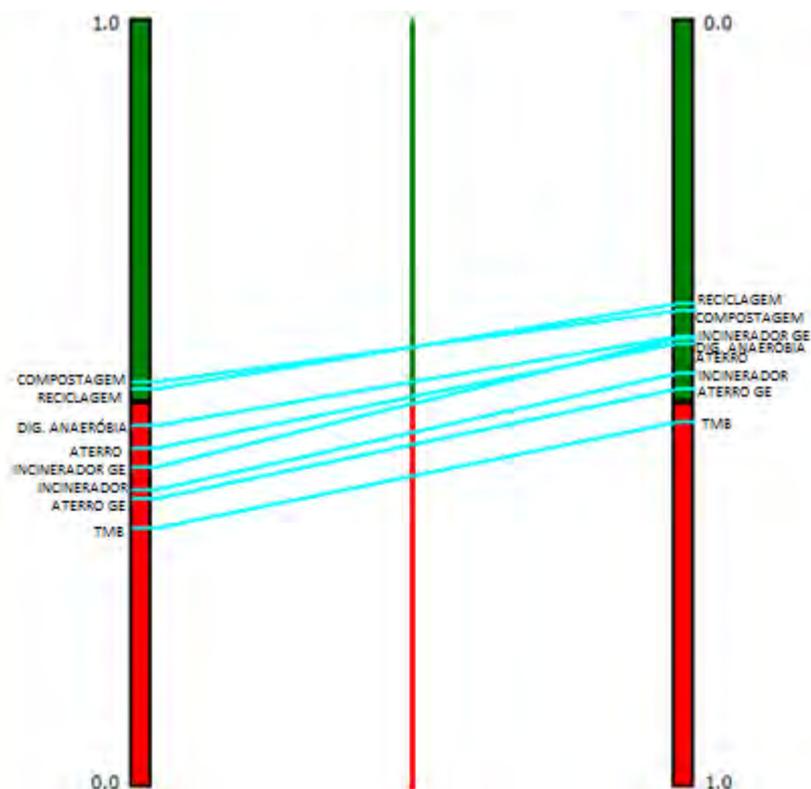


Figura 4.105 - Promethee I – Parcial Rancking – para a região Centro Oeste.



Figura 4.106 - Tecnologias por ordem de preferéncia. Ranking total – Promethee II – Centro Oeste.

A Figura 4.107 mostra a descrição do Plano Gaia, para o Promethee II.

O referido Plano mostra que a Reciclagem e a D.A está representada na direção do fluxo principal e que os subcritérios adoção de solução consorciada e número de empregos gerados estão melhores representados. Também mostra que para esta tecnologia a área útil para a tecnologia e o custo de pós-monitoramento estão em sentidos contrários ao fluxo principal.

O modelo aqui aplicado apurou para a projeção um  $S = 82,60\%$  na classificação, que atende aos 80% exigidos para a proporção de informação preservada na projeção sobre o plano o que indica que não precisamos aplicar uma análise de sensibilidade, para ver a robustez deste modelo.

Assim sendo este modelo é um modelo robusto e a sua utilização para a indicação de alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU na região é adequada.

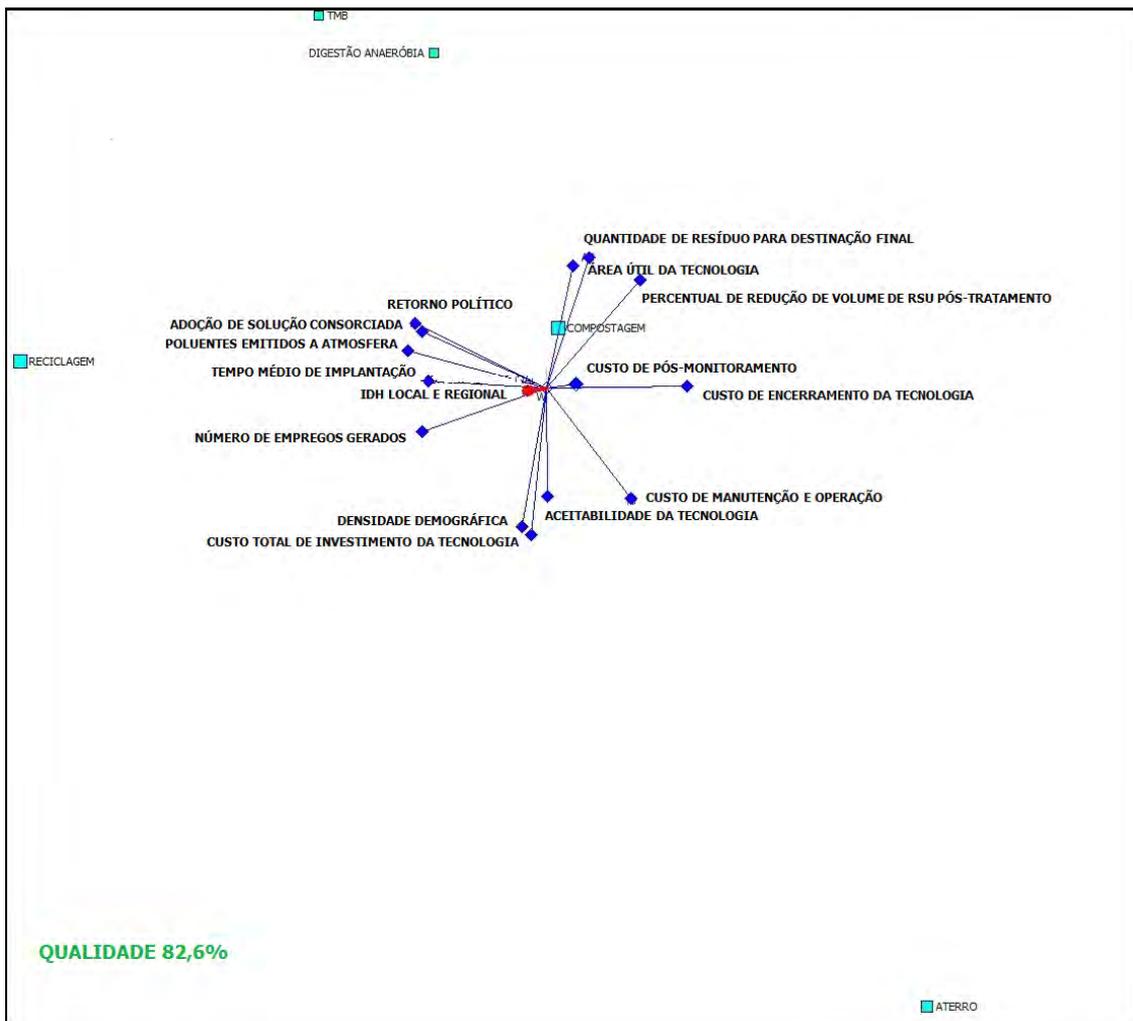


Figura 4.107 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Centro Oeste.

A análise de sensibilidade dos resultados do PROMÉTHÉE II foi feita em relação a variação de pesos com a finalidade de se avaliar as alterações de resultados em função de flutuações nos valores dessa variável.

Em relação ao fluxo líquido apresentado para esta região com seus fluxos líquidos positivos e negativos é realizada a análise, com uma variação de 15% para mais e outra de 15% para menos em relação aos fluxos encontrados no modelo.

Após a aplicação desta análise de sensibilidade não encontrou-se nenhuma variação na ordenação das tecnologias em relação ao resultado anterior, obtido sem a análise de sensibilidade (Figura 4.108).

#### ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS COM 15% DE VARIAÇÃO - REGIÃO CENTRO-OESTE

	15%				-15%			
	Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi	
RECICLAGEM	0,5970	0,3711	0,2259	1º	0,5191	0,3154	0,2037	1º
INCINERADOR	0,4452	0,4618	-0,0166	6º	0,3871	0,3925	-0,0054	6º
ATERRO	0,5061	0,4218	0,0843	4º	0,4401	0,3585	0,0816	4º
TMB	0,3857	0,5239	-0,1382	8º	0,3354	0,4453	-0,1099	8º
DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,5403	0,4128	0,1275	3º	0,4698	0,3509	0,1189	3º
COMPOSTAGEM	0,6061	0,3799	0,2262	2º	0,527	0,3229	0,2041	2º
ATERRO GE	0,4310	0,4809	-0,0499	7º	0,3748	0,4088	-0,0340	7º
INCINERADOR GE	0,4781	0,4168	0,0613	5º	0,4157	0,3543	0,0614	5º

Figura 4.108 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Centro Oeste.

As Figuras 4.109 e 4.110 mostram as tecnologias por ordem de preferencia, usando-se o PROMETHEE V. Este método estende a aplicação do método PROMÉTHÉE II, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas, entre as alternativas consideradas, em razão de restrições existentes no problema.

A Figura 4.109 mostra os resultados das 8(oito) tecnologias - alternativas usando o modelo Promethee V, indicando o fluxo de preferência em ordem decrescente, onde o maior fluxo representa a melhor alternativa e o menor fluxo representa a pior alternativa tecnológica para o tratamento de RSU para a região Centro Oeste.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Comparação		Variável	Ótimo		Comparação	
		Ótimo	Comparação	LHS	RHS		LHS	RHS		
	Total:	0,0000	0,0000							
RECICLAGEM	0,1481	Sim	Sim	Máximo	8,00	>=	8,00	8,00	>=	8,00
INCINERADOR	-0,0747	Sim	Sim	Mínimo	8,00	<=	8,00	8,00	<=	8,00
ATERRO	0,0183	Sim	Sim							
TMB	-0,1885	Sim	Sim							
DIGESTÃO ANA...	0,0569	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,1472	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,1062	Sim	Sim							
INCINERADOR GE	-0,0010	Sim	Sim							

Figura 4.109 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Centro Oeste.

A Figura 4.110 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V, indicando que a reciclagem, compostagem, a digestão anaeróbia e o aterro sanitário são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Centro Oeste.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo	Comparação	Variável	Ótimo		Comparação			
	<b>Total:</b>	<b>0,3704</b>	<b>0,3704</b>		<b>LHS</b>		<b>RHS</b>	<b>LHS</b>	<b>RHS</b>	
RECICLAGEM	0,1481	Sim	Sim	Máximo	4,00	>=	1,00	4,00	>=	1,00
INCINERADOR	-0,0747	Não	Não	Mínimo	4,00	<=	8,00	4,00	<=	8,00
ATERRO	0,0183	Sim	Sim	Variável 3	0,00	>=	0,00	0,00	>=	0,00
TMB	-0,1885	Não	Não	Variável 4	0,00	>=	0,00	0,00	>=	0,00
DIGESTÃO ANA...	0,0569	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,1472	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,1062	Não	Não							
INCINERADOR GE	-0,0010	Não	Não							

Figura 4.110 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Centro Oeste.

#### 4.2.3.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V)

A seguir apresenta-se a análise dos resultados da Região Centro Oeste:

A Figura 4.103 mostra o ranking parcial, que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas. Mostra que para o sub critério custo de investimentos as tecnologias do incinerador com geração de energia e em ciclo combinado, da digestão anaeróbia e compostagem são as que apresentam fluxos líquidos positivos e as tecnologias do TMB, aterro sanitário e com geração de energia e da digestão anaeróbia apresentam fluxo negativo, o que certamente gerou incomparabilidades, fazendo-se necessário aplicar o Promethee II, com resultados da aplicação deste na Figura 4.104 e 4.106.

A Figura 4.106 mostra as tecnologias de tratamento por ordem de preferência com a indicação do maior fluxo líquido para a melhor tecnologia e do menor fluxo líquido para a tecnologia menos indicada. A diferença entre o fluxo líquido positivo ( $\Phi^+$ ) e o fluxo líquido negativo ( $\Phi^-$ ) é o fluxo líquido ( $\Phi$ ).

A Figura 4.107 mostra o plano Gaia, onde indica uma melhor visualização dos critérios e sub critérios, onde os que estão próximas ao vetor vermelho, estão mais bem ajustadas e as que se encontram em sentido contrário, podem apresentar incomparabilidades. Nesta figura indica o valor da análise de sensibilidade com valor de 82,6%, que quando superior a 80%, estão bem representadas.

A Figura 4.108 justifica e confirma a análise de sensibilidade do modelo, aplicando-se uma variação de 15% para mais e para menos na ordenação das alternativas a partir da Figura 4.104, que quando não há mudança no ranking de classificação destas alternativas, indicam a robustez do modelo e de sua aplicação.

A Figura 4.110 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V por ordenação do fluxo líquido, indicando que a reciclagem, o a compostagem, a digestão anaeróbia e o aterro sanitário são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Centro Oeste.

Para o modelo Promethee II(V) após aplicação dos dados da região o critério ambiental apresentou o maior peso na preferência dos convidados com 60,50% do peso total, seguido pelo critério econômico com 22,20% do peso total e o critério social com 14,10% do peso total. Este modelo gerou um melhor resultado, pois por não ter apresentado inconsistência, com fluxo líquido de 82,60%, indica que sua aplicação como modelo, é consistente, portanto é um modelo que apresenta robustez.

Para este modelo de apoio a decisão as quatro tecnologias por ordem de preferência da região foram: reciclagem, compostagem, a digestão anaeróbia e o aterro sanitário.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecermos os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário
- 2 arranjo : reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário
- 3 arranjo : reciclagem + aterro sanitário

O Gráfico 4.28 mostra os resultados das preferências da região para os dois modelos. Pode-se observar que as tecnologias são representadas no gráfico por valores de preferências para os dois modelos.

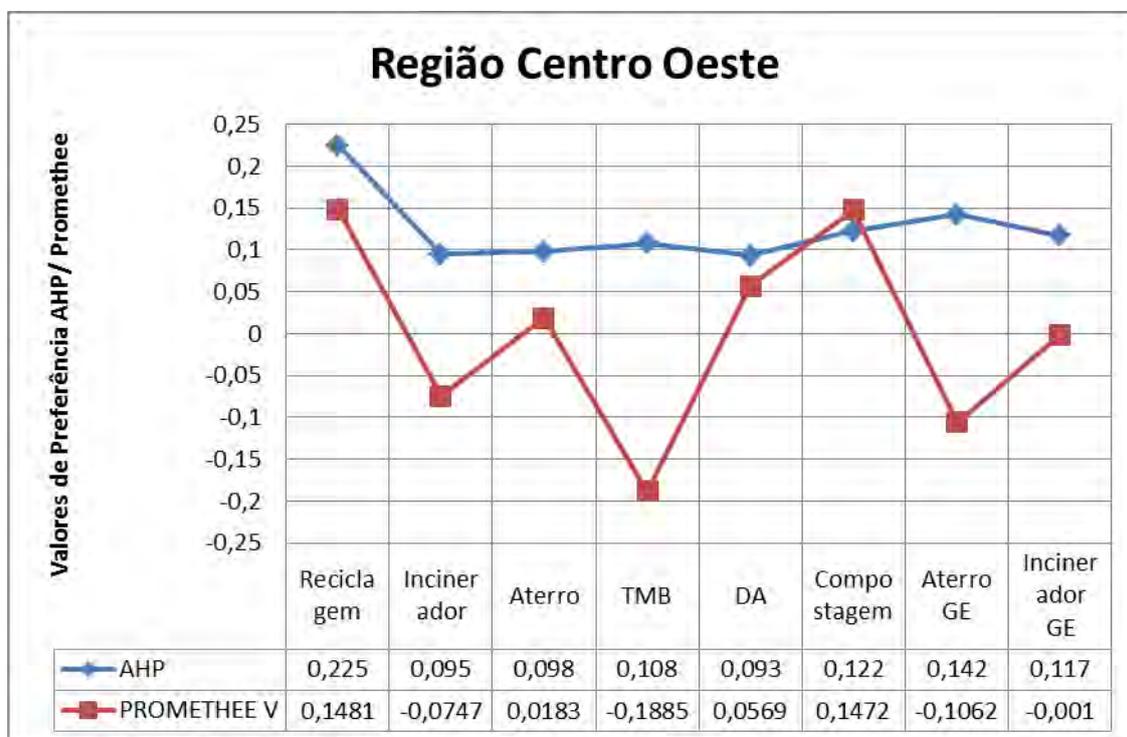


Gráfico 4.28 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Centro Oeste.

O Gráfico 4.28 mostra que para o modelo AHP as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário com geração de energia, da compostagem, do incinerador com geração de energia e do TMB se apresentam com melhores resultados e que para o Promethee as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário, da compostagem e da digestão anaeróbia foram as que apresentaram melhores resultados.

#### 4.2.4 Região Sudeste

##### 4.2.4.1 Resultados do Promethee II(V)

A Figura 4.111 mostra a hierarquia aplicada ao método PROMETHEE II (V), onde o mesmo procedimento de entrada de dados utilizado para a região Norte,

Nordeste e Centro Oeste foi utilizado, ou seja, aplicou-se os pesos adotados no questionário da região estudada, em seguida escolheu-se as funções de preferência e a análise estatística foi então realizada. Assim, realizou-se a sistematização e obteve-se os rankings das alternativas indicadas em ordem decrescente.

Aplicando-se estes dados ao modelo, obtiveram-se os seguintes resultados.

cenario1	PERCENTUA...	POLUBENTES...	QUANTIDAD...	USO DE ENE...	DENSIDADE...	ÁREA UTIL D...	NÚMERO DE...	PIB LOCAL/R...	IDH LOCAL/...	CUSTO TOT...	CUSTO DE M...	TEMPO MÉDI...	CUSTO DE E...	CUSTO DE P...	RETORNO P...	ACEITABIL...	ADOÇÃO DE...
Unidade	%	%	%	%	%	%	UNIDADES	R\$/Hab	ÍNDICE	R\$/t	R\$/t	ANOS	R\$/t	R\$/t	%	%	%
Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferência</b>																	
Min/Max	max	min	min	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Peso	0,01	0,06	0,11	0,04	0,04	0,03	0,14	0,05	0,05	0,12	0,17	0,04	0,02	0,06	0,01	0,03	0,03
Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Limite	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	percentage	percentage	percentage
- Q: Indiferença	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preferência	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Estatística</b>																	
Mínimo	0,00	10,00	0,00	0,00	10,00	10,00	30,00	22147,22	0,85	12,00	8,00	0,70	0,15	0,50	30,00	80,00	30,00
Máximo	95,00	90,00	50,00	90,00	60,00	80,00	120,00	22147,22	0,85	2100,00	250,00	5,00	20,00	18,00	100,00	100,00	100,00
Média	36,63	36,25	10,50	30,00	41,25	32,50	55,00	22147,22	0,85	607,25	80,53	1,89	3,92	5,74	63,75	93,75	67,50
Desvio Padrão	34,94	32,28	15,35	29,58	18,33	26,69	28,61	0,00	0,00	784,19	74,38	1,54	6,25	5,63	19,96	8,57	19,84
<b>Avaliação</b>																	
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	35,00	10,00	4,00	20,00	50,00	30,00	120,00	22147,22	0,85	22,00	250,00	1,00	2,50	0,50	100,00	100,00	100,00
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	90,00	90,00	10,00	0,00	60,00	20,00	30,00	22147,22	0,85	1718,00	85,00	4,00	0,15	1,80	30,00	100,00	30,00
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	0,00	40,00	0,00	0,00	10,00	75,00	80,00	22147,22	0,85	12,00	8,00	1,00	1,00	6,00	50,00	100,00	60,00
<input checked="" type="checkbox"/> TMB	15,00	15,00	50,00	20,00	50,00	15,00	50,00	22147,22	0,85	350,00	85,00	0,90	5,00	10,00	80,00	90,00	80,00
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTÃO ANAE...	18,00	10,00	5,00	60,00	50,00	10,00	50,00	22147,22	0,85	620,00	96,25	0,70	20,00	18,00	70,00	90,00	70,00
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	40,00	20,00	5,00	10,00	50,00	10,00	40,00	22147,22	0,85	20,00	8,00	1,00	1,00	0,60	60,00	80,00	80,00
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	0,00	15,00	0,00	40,00	10,00	80,00	35,00	22147,22	0,85	16,00	14,00	1,50	1,50	7,00	70,00	100,00	70,00
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR GE	95,00	90,00	10,00	90,00	50,00	20,00	35,00	22147,22	0,85	2100,00	98,00	5,00	0,20	2,00	50,00	100,00	50,00

Figura 4.111 - Hierarquia aplicada à região Sudeste.

A Figura 4.112 mostra os pesos aplicados a cada subcritério na matriz de hierarquização da região Nordeste.

A Figura 4.113 mostra o resultado das tecnologias de tratamento após a aplicação dos pesos por ordem decrescente em seu fluxo líquido, apresentando para o fluxo líquido positivo as quatro melhores alternativas e para o fluxo líquido negativo as quatro piores alternativas para o tratamento de resíduos na região.

	★★★★★★	100,00	100%
	★★★★★★	100,00	100%
PERCENTUAL DE	☆☆☆☆☆☆	1,40	1%
POLUENTES EMITIDOS	☆☆☆☆☆☆	6,41	6%
QUANTIDADE DE	★☆☆☆☆☆	10,92	11%
USO DE ENERGIA	☆☆☆☆☆☆	3,91	4%
DENSIDADE	☆☆☆☆☆☆	4,11	4%
ÁREA ÚTIL DA	☆☆☆☆☆☆	3,11	3%
NÚMERO DE	★☆☆☆☆☆	13,93	14%
PIB LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆☆	4,61	5%
IDH LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆☆	4,61	5%
CUSTO TOTAL DE	★☆☆☆☆☆	12,12	12%
CUSTO DE	★☆☆☆☆☆	16,93	17%
TEMPO MÉDIO DE	☆☆☆☆☆☆	4,51	5%
CUSTO DE	☆☆☆☆☆☆	1,70	2%

Figura 4.112 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Sudeste.

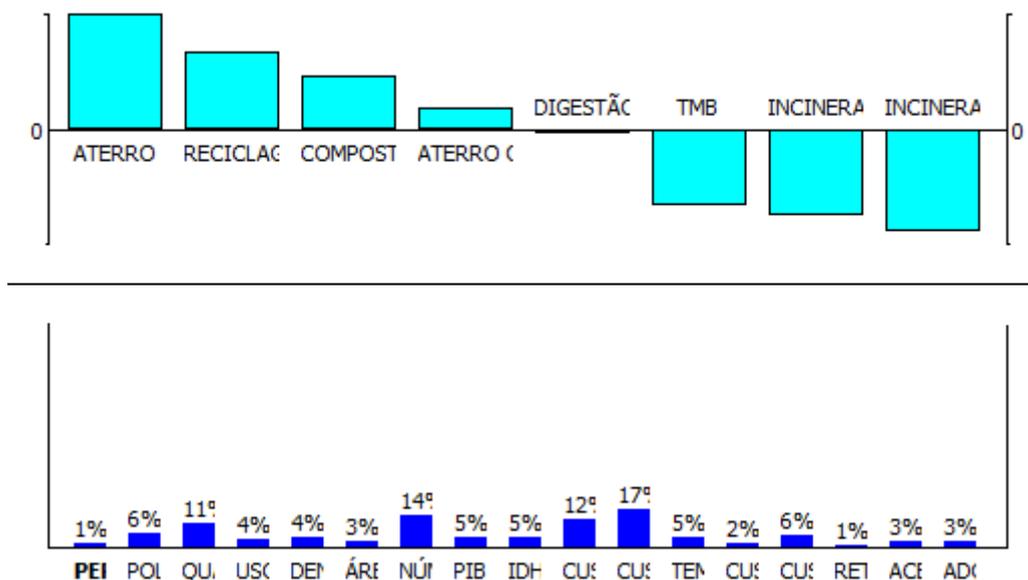


Figura 4.113 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Sudeste.

A Figura 4.114, mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.114 mostra as tecnologias após a aplicação dos pesos ao subcritério custo de investimentos.

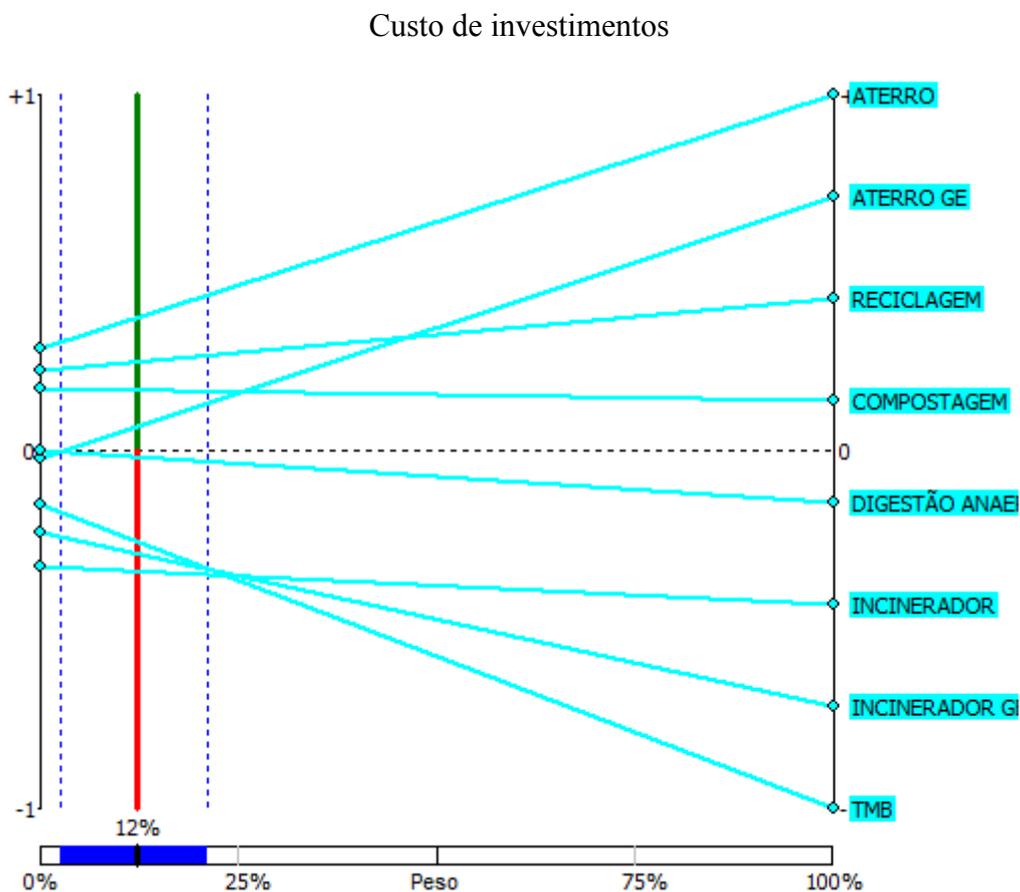


Figura 4.114 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Sudeste.

A Figura 4.115 mostra os fluxos de preferência por tecnologia, indicando o fluxo positivo, o fluxo negativo e o fluxo líquido, obtido pela diferença entre eles para a tecnologia indicada.

	Alternativa	Phi	Phi+	Phi-
1	ATERRO	0,3747	0,5421	0,1673
2	RECICLAGEM	0,2526	0,5226	0,2700
3	COMPOSTAGEM	0,1738	0,4353	0,2615
4	ATERRO GE	0,0697	0,3796	0,3099
5	DIGESTÃO	-0,0145	0,3348	0,3493
6	TMB	-0,2522	0,2164	0,4687
7	INCINERADOR	-0,3348	0,2370	0,5719
8	INCINERADOR GE	-0,2850	0,1931	0,4781

Figura 4.115 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Sudeste.

As Figuras 4.116 e 4.117 mostram as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE I e II. A Figura 4.116 mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.117 mostra que se obtém uma pré-ordem total, uma vez que este método (Promethee II) não admite a relação de incomparabilidade.

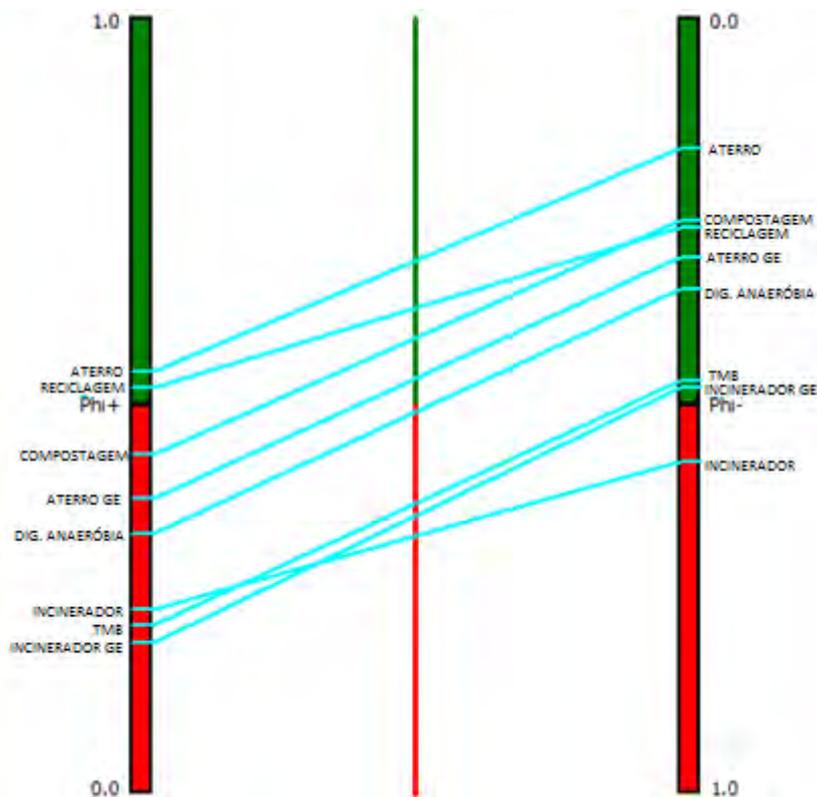


Figura 4.116 - Promethee I – Parcial Ranking – Região Sudeste.

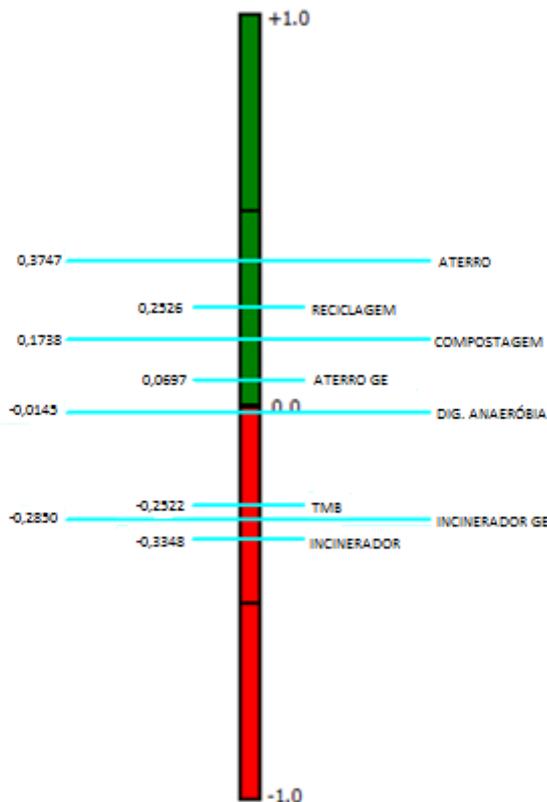


Figura 4.117 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II para a região Sudeste.

A Figura 4.118 mostra a descrição do Plano Gaia, para o Promethee II.

O referido Plano mostra que a reciclagem e a D.A está representada na direção do fluxo principal e que os subcritérios tempo médio de implantação e aceitabilidade da tecnologia estão melhores representados. Também mostra que para esta tecnologia o custo de encerramento e o custo de pós-monitoramento estão em sentidos contrários ao fluxo principal.

O modelo aqui aplicado apurou para a projeção um  $S= 82,60\%$  na classificação, que atende aos 80% exigidos para a proporção de informação preservada na projeção sobre o plano o que indica que não precisamos aplicar uma análise de sensibilidade, para ver a robustez deste modelo.

Assim sendo este modelo é um modelo robusto e a sua utilização para a indicação de alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU na região é adequada.

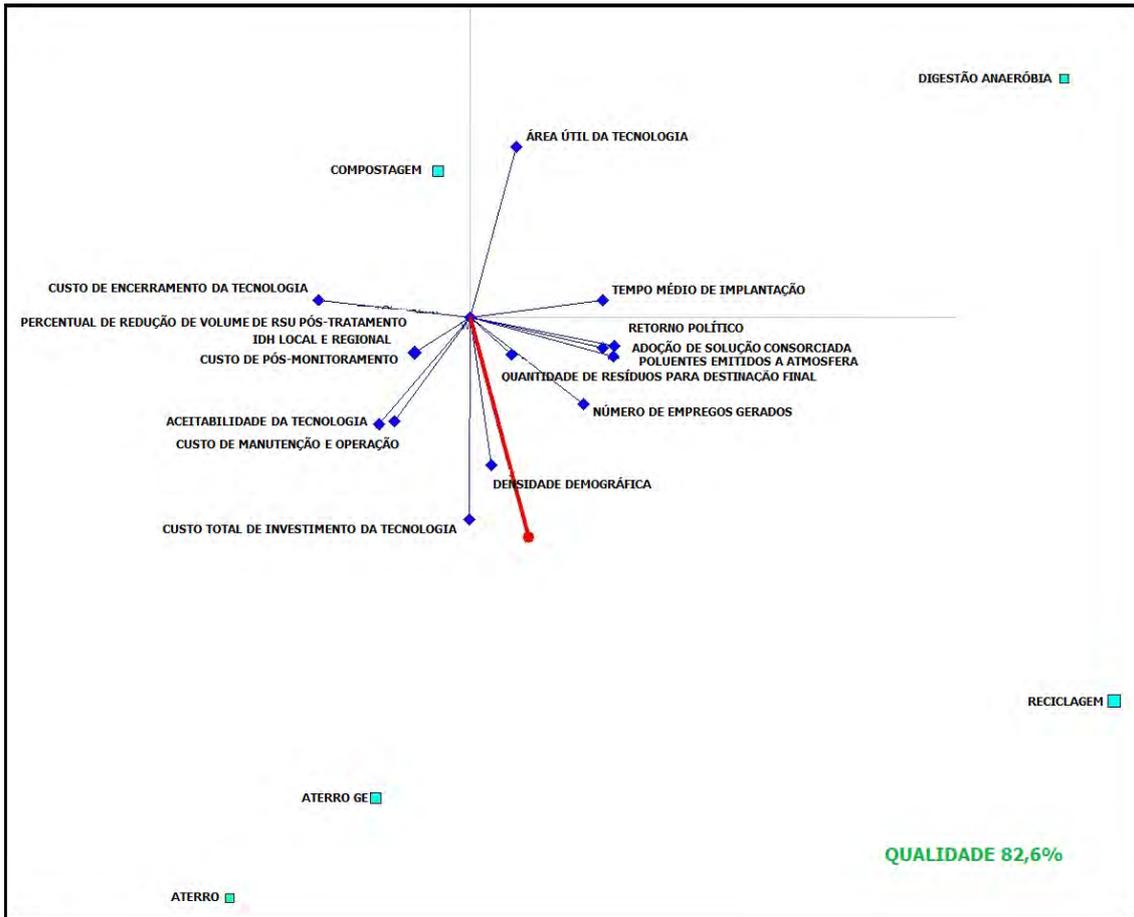


Figura 4.118 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Sudeste.

A análise de sensibilidade dos resultados do PROMÉTHÉE II foi feita em relação a variação de pesos com a finalidade de se avaliar as alterações de resultados em função de flutuações nos valores dessa variável.

Em relação ao fluxo líquido apresentado para esta região com seus fluxos líquidos positivos e negativos é realizada a análise, com uma variação de 15% para mais e outra de 15% para menos em relação aos fluxos encontrados no modelo.

Após a aplicação desta análise de sensibilidade não encontrou-se nenhuma variação na ordenação das tecnologias em relação ao resultado anterior, obtido sem a análise de sensibilidade (Figura 4.119).

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS COM 15% DE VARIAÇÃO - REGIÃO SUDESTE

	15%				-15%				
	Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi		
RECICLAGEM	0,6010	0,27	0,3310	2º	RECICLAGEM	0,5226	0,2295	0,2931	2º
INCINERADOR	0,2726	0,5719	-0,2994	7º	INCINERADOR	0,237	0,4861	-0,2491	7º
ATERRO	0,6234	0,1673	0,4561	1º	ATERRO	0,5421	0,1422	0,3999	1º
TMB	0,2489	0,4687	-0,2198	6º	TMB	0,2164	0,3984	-0,1820	6º

DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,3850	0,3493	0,0357	5º	DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,3348	0,2969	0,0379	5º
COMPOSTAGEM	0,5006	0,2615	0,2391	3º	COMPOSTAGEM	0,4353	0,2223	0,2130	3º
ATERRO GE	0,4365	0,3099	0,1266	4º	ATERRO GE	0,3796	0,2634	0,1162	4º
INCINERADOR GE	0,2221	0,4781	-0,2560	8º	INCINERADOR GE	0,1931	0,4064	-0,2133	8º

Figura 4.119 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Sudeste.

As Figuras 4.120 e 4.121 mostram as tecnologias por ordem de preferencia, usando-se o PROMETHEE V. Este método estende a aplicação do método PROMÉTHÉE II, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas, entre as alternativas consideradas, em razão de restrições existentes no problema.

A Figura 4.120 mostra os resultados das oito (8) tecnologias - alternativas usando o modelo Promethee V, indicando o fluxo de preferência em ordem decrescente, onde o maior fluxo representa a melhor alternativa e o menor fluxo representa a pior alternativa tecnológica para o tratamento de RSU para a região Sudeste.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Comparação		Variável	Ótimo		Comparação		
		Total					LHS	RHS	LHS	RHS	
RECICLAGEM	0,2526	-0,0156	Sim	Sim	Máximo	8,00	>=	8,00	8,00	>=	8,00
INCINERADOR	-0,3348		Sim	Sim	Mínimo	8,00	<=	8,00	8,00	<=	8,00
ATERRO	0,3747		Sim	Sim							
TMB	-0,2522		Sim	Sim							
DIGESTÃO ANA...	-0,0145		Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,1738		Sim	Sim							
ATERRO GE	0,0697		Sim	Sim							
INCINERADOR GE	-0,2850		Sim	Sim							

Figura 4.120 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sudeste.

A Figura 4.121 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V, indicando que o aterro sanitário, a reciclagem, a compostagem, o aterro sanitário com geração de energia e a digestão anaeróbia são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Sudeste.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Variável	Ótimo		Comparação	
		LHS	RHS		LHS	RHS		
	<b>Total:</b>	<b>0,8709</b>	<b>0,8709</b>					
RECICLAGEM	0,2526	Sim	Sim	Máximo	4,00 >=	1,00	4,00 >=	1,00
INCINERADOR	-0,3348	Não	Não	Mínimo	4,00 <=	8,00	4,00 <=	8,00
ATERRO	0,3747	Sim	Sim					
TMB	-0,2522	Não	Não					
DIGESTÃO ANA...	-0,0145	Não	Não					
COMPOSTAGEM	0,1738	Sim	Sim					
ATERRO GE	0,0697	Sim	Sim					
INCINERADOR GE	-0,2850	Não	Não					

Figura 4.121 - Tecnologias por ordem de preferéncia, Ranking total – Promethee V para a região Sudeste.

#### 4.2.4.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V)

A seguir apresenta-se a análise dos resultados da Região Sudeste:

A Figura 4.114 mostra o ranking parcial, que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas. Mostra que para o sub critério custo de investimentos as tecnologias do aterro sanitário e aterro com geração de energia, reciclagem e compostagem são as que apresentam fluxos líquidos positivos e as tecnologias da digestão anaeróbia, incineração com geração de energia e em ciclo combinado e do TMB apresentam fluxo negativo, o que certamente gerou incomparabilidades, fazendo-se necessário utilizar a aplicação do Promethee II, com resultados da aplicação deste na Figura 4.115 e 4.117.

A Figura 4.117 mostra as tecnologias de tratamento por ordem de preferência com a indicação do maior fluxo líquido para a melhor tecnologia e do menor fluxo líquido para a tecnologia menos indicada. A diferença entre o fluxo líquido positivo ( $\Phi^+$ ) e o fluxo líquido negativo ( $\Phi^-$ ) é o fluxo líquido ( $\Phi$ ).

A Figura 4.118 mostra o plano Gaia, onde indica uma melhor visualização dos critérios e sub critérios, onde os que estão próximas ao vetor vermelho, estão mais bem ajustadas e as que se encontram em sentido contrário, podem apresentar incomparabilidades. Nesta figura indica o valor da análise de sensibilidade com valor de 82,6%, que quando superior a 80%, estão bem representadas.

A Figura 4.119 justifica e confirma a análise de sensibilidade do modelo, aplicando-se uma variação de 15% para mais e para menos na ordenação das alternativas a partir da Figura 4.115, que quando não há mudança no ranking de classificação destas alternativas, indicam a robustez do modelo e de sua aplicação.

A Figura 4.121 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V por ordenação do fluxo líquido, indicando que o aterro sanitário, a reciclagem, a compostagem e o aterro sanitário com geração de energia. Neste caso considerou-se a digestão anaeróbia por estar com fluxo líquido próximo ao fluxo positivo.

Para o modelo Promethee II(V), após aplicação dos dados da região, o critério econômico apresentou o maior peso na preferência dos convidados com 41,00% do peso total, seguido pelo critério ambiental com 29,80% do peso total e o critério social com 23,20% do peso total e o político com 7%. Este modelo gerou um melhor resultado, pois por não ter apresentado inconsistência, com fluxo líquido de 82,6%, indica que sua aplicação como modelo, é consistente, portanto, o modelo apresenta robustez.

Para este modelo de apoio a decisão, as quatro tecnologias por ordem de preferência da região foram: aterro sanitário, reciclagem, compostagem, aterro sanitário com geração de energia e a digestão anaeróbia.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecermos os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

1 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário

2 arranjo : reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário com geração de energia

3 arranjo : reciclagem + aterro sanitário com geração de energia

#### 4 arranjo : reciclagem + aterro sanitário

O gráfico 4.29 mostra os resultados das preferências da região para os dois modelos. Pode-se observar que as tecnologias são representadas no gráfico por valores de preferências para os dois modelos.

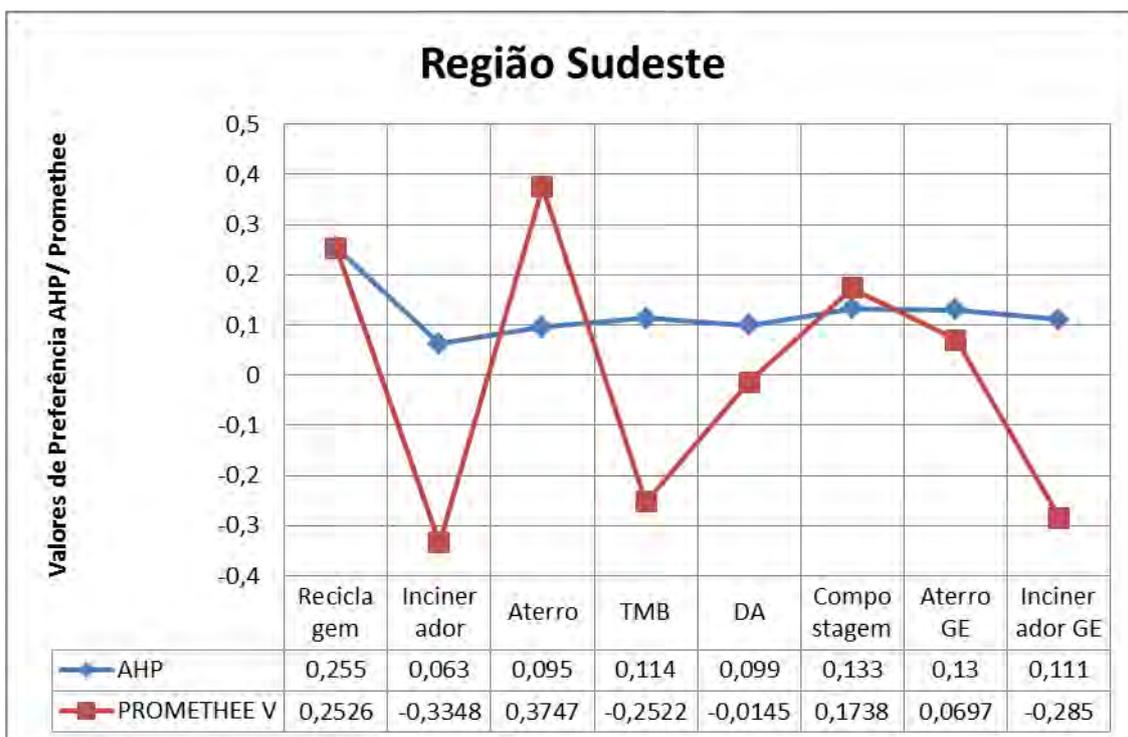


Gráfico 4.29 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Sudeste.

O Gráfico 4.29 mostra que para o modelo AHP as tecnologias da reciclagem, da compostagem, do aterro sanitário com geração de energia, da compostagem e do TMB se apresentam com melhores resultados e que para o Promethee as tecnologias da reciclagem, do aterro sanitário com geração de energia, da compostagem, da digestão anaeróbia e aterro sanitário foram as que apresentaram melhores resultados.

#### 4.2.5 Região Sul

##### 4.2.5.1 Resultados do Promethee II(V)

A Figura 4.122 mostra a hierarquia aplicada ao método PROMETHEE II (V), onde o mesmo procedimento de entrada de dados utilizado para a região Norte e Nordeste foi utilizado, ou seja, aplicou-se os pesos adotados no questionário da região estudada, em seguida escolheu-se as funções de preferência e a análise estatística foi então realizada. Assim, realizou-se a sistematização e obteve-se os rankins das alternativas indicadas em ordem decrescente.

Aplicando-se estes dados ao modelo, obtiveram-se os seguintes resultados.

	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
cenario1	PERCENTUA...	POLUENTES...	QUANTIDADE...	USO DE ENE...	DENSIDADE...	ÁREA ÚTIL D...	NÚMERO DE...	PIB LOCAL R...	IDH LOCAL/...	CUSTO TOT...	CUSTO DE M...	TEMPO MÉDI...	CUSTO DE E...	CUSTO DE P...	RETORNO P...	ACEITABIL...	ADOÇÃO DE...	
Unidade	%	%	%	%	%	%	UNIDADES	R\$/Hab	ÍNDICE	R\$	R\$	ANOS	R\$	R\$	%	%	%	
Grupo	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferência</b>																		
Min/Max	max	min	min	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max	
Peso	0,11	0,11	0,11	0,06	0,04	0,01	0,17	0,08	0,12	0,02	0,06	0,01	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	
Preferência	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	
Limite	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	absoluto	percentage	percentage	percentage	
- Q: Indiferença	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preferência	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussiano	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
<b>Estatística</b>																		
Mínimo	0,00	10,00	5,00	0,00	0,00	20,00	30,00	16564,00	0,85	12,00	8,00	0,70	0,15	0,50	30,00	80,00	30,00	
Máximo	85,00	90,00	100,00	90,00	100,00	100,00	120,00	16564,00	0,85	2100,00	250,00	5,00	20,00	18,00	100,00	100,00	90,00	
Média	24,75	38,75	37,50	28,75	48,75	46,25	55,00	16564,00	0,85	607,25	80,53	1,89	3,92	5,74	66,25	93,75	65,00	
Desvio Padrão	26,01	30,59	39,84	30,18	32,19	31,99	28,61	0,00	0,00	784,19	74,38	1,54	6,25	5,63	21,18	8,57	18,03	
<b>Avaliação</b>																		
✓ RECICLAGEM	25,00	20,00	10,00	30,00	100,00	30,00	120,00	16564,00	0,85	22,00	250,00	1,00	2,50	0,50	100,00	100,00	90,00	
✓ INCINERADOR	85,00	90,00	10,00	0,00	70,00	20,00	30,00	16564,00	0,85	1718,00	85,00	4,00	0,15	1,80	30,00	100,00	30,00	
✓ ATERRO	0,00	40,00	100,00	0,00	0,00	100,00	80,00	16564,00	0,85	12,00	8,00	1,00	1,00	6,00	50,00	100,00	60,00	
✓ TMB	20,00	20,00	60,00	20,00	50,00	40,00	50,00	16564,00	0,85	350,00	85,00	0,90	5,00	10,00	80,00	80,00	80,00	
✓ DIGESTÃO ANAE...	20,00	10,00	5,00	60,00	50,00	20,00	50,00	16564,00	0,85	620,00	96,25	0,70	20,00	18,00	80,00	90,00	70,00	
✓ COMPOSTAGEM	40,00	20,00	5,00	0,00	50,00	40,00	40,00	16564,00	0,85	20,00	8,00	1,00	1,00	0,60	80,00	80,00	80,00	
✓ ATERRO GE	0,00	20,00	100,00	30,00	0,00	100,00	35,00	16564,00	0,85	16,00	14,00	1,50	1,50	7,00	60,00	100,00	60,00	
✓ INCINERADOR GE	8,00	90,00	10,00	90,00	70,00	20,00	35,00	16564,00	0,85	2100,00	98,00	5,00	0,20	2,00	50,00	100,00	50,00	

Figura 4.122 - Hierarquia aplicada à região Sul.

A Figura 4.123 mostra os pesos aplicados a cada subcritério na matriz de hierarquização da região Sul.

A Figura 4.124 mostra o resultado das tecnologias de tratamento após a aplicação dos pesos por ordem decrescente em seu fluxo líquido, apresentando para o fluxo líquido positivo as quatro melhores alternativas e para o fluxo líquido negativo as quatro piores alternativas para o tratamento de resíduos na região.

	★★★★★★	100,00	100%
	★★★★★★	100,00	100%
PERCENTUAL DE	★☆☆☆☆	10,58	11%
POLUENTES EMITIDOS	★☆☆☆☆	10,93	11%
QUANTIDADE DE	★☆☆☆☆	11,24	11%
USO DE ENERGIA	☆☆☆☆☆	5,51	6%
DENSIDADE	☆☆☆☆☆	4,32	4%
ÁREA ÚTIL DA	☆☆☆☆☆	1,45	1%
NÚMERO DE	★☆☆☆☆	17,19	17%
PIB LOCAL/REGIONAL	☆☆☆☆☆	8,26	8%
IDH LOCAL/REGIONAL	★☆☆☆☆	11,92	12%
CUSTO TOTAL DE	☆☆☆☆☆	1,79	2%
CUSTO DE	☆☆☆☆☆	5,96	6%
TEMPO MÉDIO DE	☆☆☆☆☆	1,22	1%
CUSTO DE	☆☆☆☆☆	2,00	2%

Figura 4.123 - Pesos aplicados aos subcritérios para a região Sul.

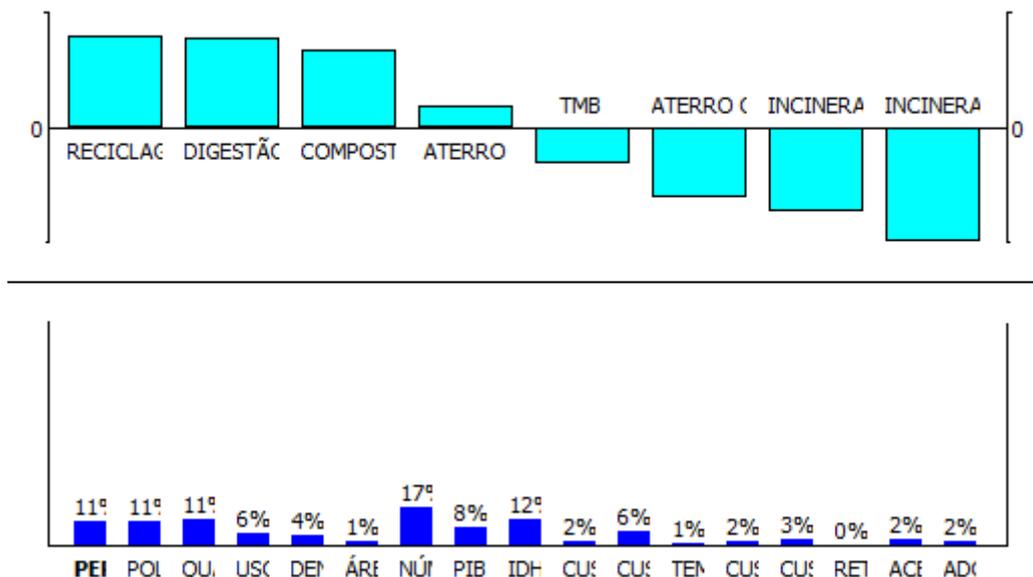


Figura 4.124 - Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido para a região Sul.

A Figura 4.125, mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.125 mostra as tecnologias após a aplicação dos pesos ao subcritério custo de investimentos.

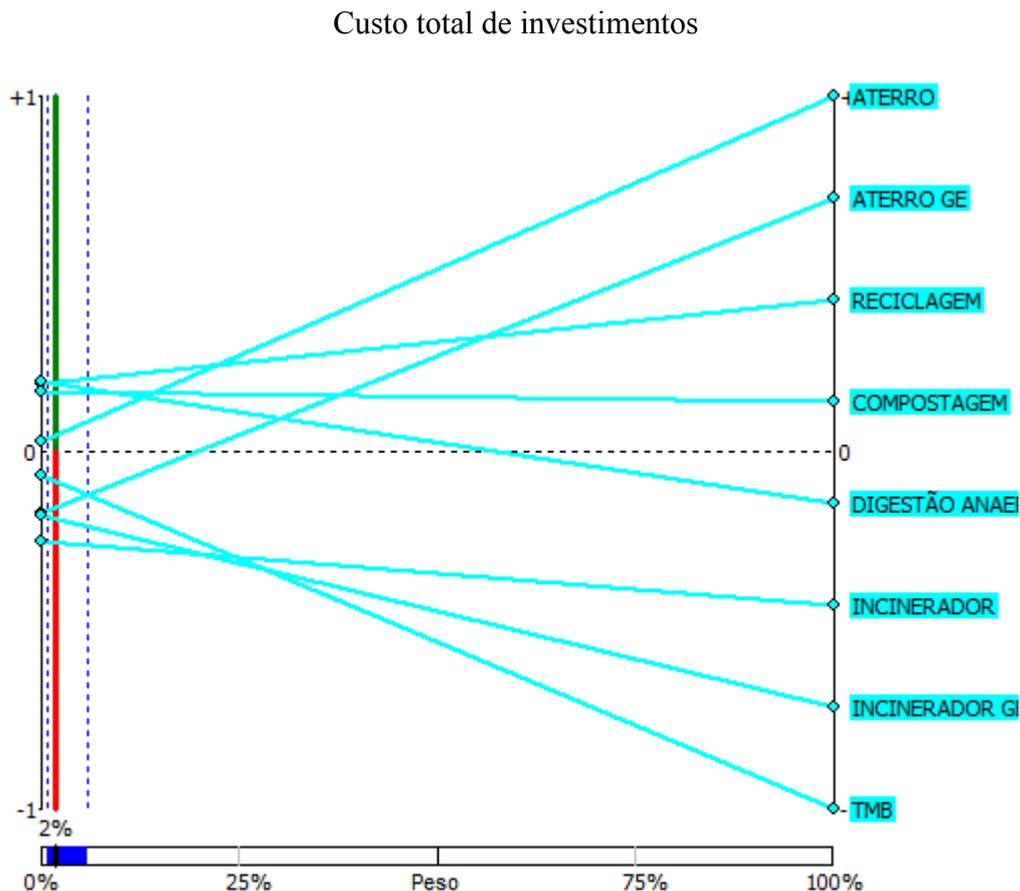


Figura 4.125 - Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias para a região Sul.

A Figura 4.126 mostra os fluxos de preferência por tecnologia, indicando o fluxo positivo, o fluxo negativo e o fluxo líquido, obtido pela diferença entre eles para a tecnologia indicada.

	Alternativa	Phi	Phi+	Phi-
1	RECICLAGEM	0,1997	0,3708	0,1711
2	DIGESTÃO	0,1935	0,3710	0,1775
3	COMPOSTAGEM	0,1696	0,3441	0,1745
4	ATERRO	0,0471	0,3017	0,2546
5	TMB	-0,0830	0,2153	0,2983
6	ATERRO GE	-0,1552	0,1668	0,3219
7	INCINERADOR GE	-0,1871	0,1586	0,3457
8	INCINERADOR	-0,2526	0,1569	0,4095

Figura 4.126 - Fluxos de preferência por tecnologia para a região Sul.

A Figura 4.127 e 4.128 mostra as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE I e II. A Figura 4.127 mostra o ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias. Este ranking parcial diz respeito ao Promethee I que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas.

A Figura 4.128 mostra que se obtém uma pré-ordem total, uma vez que este método (Promethee II) não admite a relação de incomparabilidade.

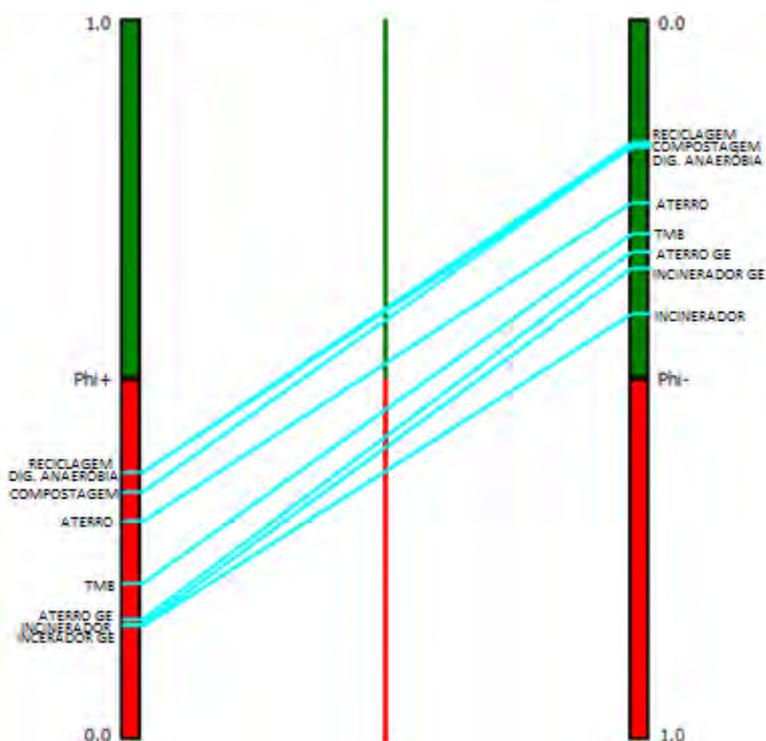


Figura 4.127 - Promethee I – Parcial Rancking – Região Sul.

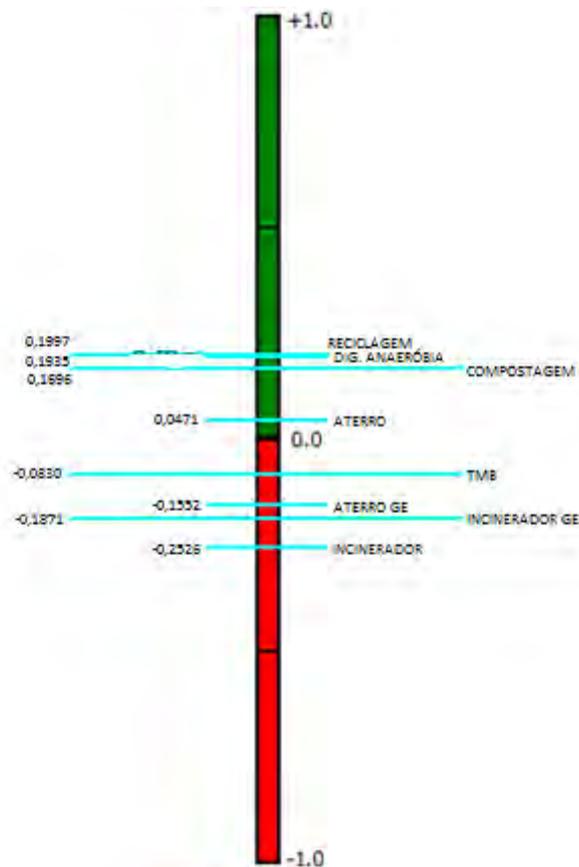


Figura 4.128 - Tecnologias por ordem de preferencia. Ranking total – Promethee II para a região Sul.

A Figura 4.129 mostra a descrição do Plano Gaia, para o Promethee II.

O referido Plano mostra que a reciclagem e o aterro sanitário estão representados na direção do fluxo principal e que os subcritérios número de empregos gerados e adoção de solução consorciada estão melhores representados. Mostra também que para esta tecnologia o custo de encerramento e o custo de pós-monitoramento estão em sentidos contrários ao fluxo principal.

O modelo aqui aplicado apurou para a projeção um  $S = 80,30\%$  na classificação, que atende aos 80% exigidos para a proporção de informação preservada na projeção sobre o plano o que indica que não precisamos aplicar uma análise de sensibilidade, para ver a robustez deste modelo.

Assim sendo este modelo é um modelo robusto e a sua utilização para a indicação de alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU na região é adequada.

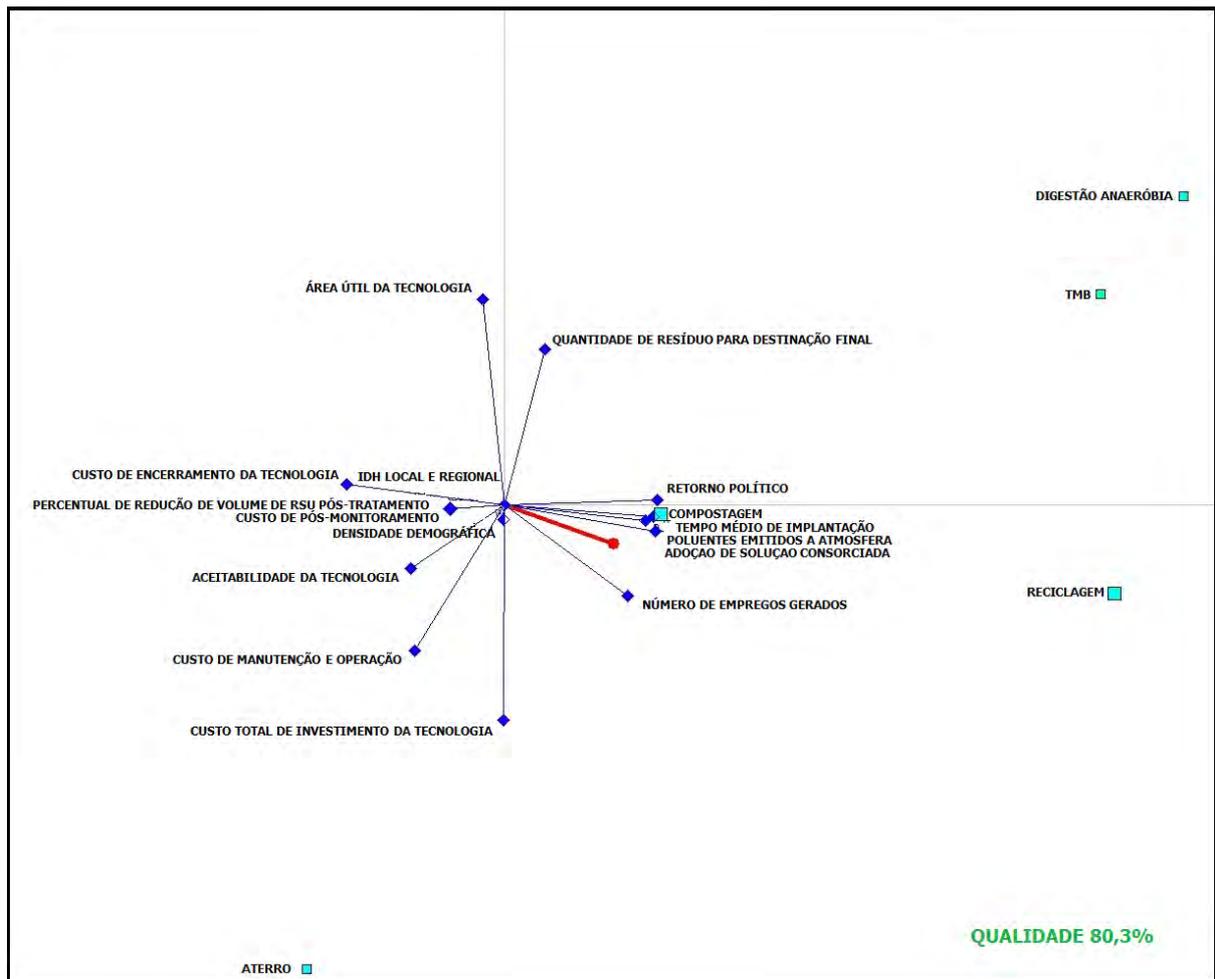


Figura 4.129 - Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II para a região Sul.

A análise de sensibilidade dos resultados do PROMÉTHÉE II foi feita em relação a variação de pesos com a finalidade de se avaliar as alterações de resultados em função de flutuações nos valores dessa variável.

Em relação ao fluxo líquido apresentado para esta região com seus fluxos líquidos positivos e negativos é realizada a análise, com uma variação de 15% para mais e outra de 15% para menos em relação aos fluxos encontrados no modelo.

Após a aplicação desta análise de sensibilidade não encontrou-se nenhuma variação na ordenação das tecnologias em relação ao resultado anterior, obtido sem a análise de sensibilidade (Figura 4.130).

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS COM 15% DE VARIAÇÃO - REGIÃO SUL

	15%				-15%			
	Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi	
RECICLAGEM	0,4264	0,1711	0,2553	1º	0,3708	0,1454	0,2254	1º
INCINERADOR	0,1804	0,4095	-0,2291	8º	0,1569	0,3481	-0,1912	8º

ATERRO	0,3470	0,2546	0,0924	4º	ATERRO	0,3017	0,2164	0,0853	4º
TMB	0,2476	0,2983	-0,0507	5º	TMB	0,2153	0,2536	-0,0383	5º
DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,4267	0,1775	0,2492	2º	DIGESTÃO ANAERÓBIA	0,371	0,1509	0,2201	2º
COMPOSTAGEM	0,3957	0,1745	0,2212	3º	COMPOSTAGEM	0,3441	0,1483	0,1958	3º
ATERRO GE	0,1918	0,3219	-0,1301	6º	ATERRO GE	0,1668	0,2736	-0,1068	6º
INCINERADOR GE	0,1824	0,3457	-0,1633	7º	INCINERADOR GE	0,1586	0,2938	-0,1352	7º

Figura 4.130 - Análise de Sensibilidade dos Resultados com 15% de variação - Região Sul.

As Figuras 4.131 e 4.132 mostram as tecnologias por ordem de preferência, usando-se o PROMETHEE V. Este método estende a aplicação do método PROMÉTHÉE II, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas, entre as alternativas consideradas, em razão de restrições existentes no problema.

A Figura 4.131 mostra os resultados das oito (8) tecnologias - alternativas usando o modelo Promethee V, indicando o fluxo de preferência em ordem decrescente, onde o maior fluxo representa a melhor alternativa e o menor fluxo representa a pior alternativa tecnológica para o tratamento de RSU para a região Sul.

5 PROMETHEE V

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Comparação	Variável	Ótimo		Comparação		
		LHS	RHS			LHS	RHS			
	<b>Total:</b>	<b>-0,0679</b>	<b>-0,0679</b>							
RECICLAGEM	0,1997	Sim	Sim	Máximo	8,00	>=	8,00	8,00	>=	8,00
INCINERADOR	-0,2526	Sim	Sim	Mínimo	8,00	<=	8,00	8,00	<=	8,00
ATERRO	0,0471	Sim	Sim							
TMB	-0,0830	Sim	Sim							
DIGESTÃO ANA...	0,1935	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,1696	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,1552	Sim	Sim							
INCINERADOR GE	-0,1871	Sim	Sim							

Figura 4.131 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sul.

A Figura 4.132 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V, indicando que a reciclagem, a digestão anaeróbia, a compostagem e o aterro sanitário são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Sul.

Alternativas	Fluxo em rede	Ótimo		Comparação		Variável	Ótimo		Comparação	
		Total:	0,6099	0,6099	LHS		RHS	LHS	RHS	
RECICLAGEM	0,1997	Sim	Sim	Máximo	-4,00	>=	1,00	-4,00	>=	1,00
INCINERADOR	-0,2526	Não	Não	Mínimo	4,00	<=	4,00	-4,00	<=	4,00
ATERRO	0,0471	Sim	Sim							
TMB	-0,0830	Não	Não							
DIGESTÃO ANA...	0,1935	Sim	Sim							
COMPOSTAGEM	0,1696	Sim	Sim							
ATERRO GE	-0,1552	Não	Não							
INCINERADOR GE	-0,1871	Não	Não							

Figura 4.132 - Tecnologias por ordem de preferencia, Ranking total – Promethee V para a região Sul.

#### 4.2.5.2 Análise dos Resultados do Promethee II(V)

A seguir apresenta-se os resultados da Região Sul.

A Figura 4.125 mostra o ranking parcial, que trabalha com os fluxos de entrada e saída, ordenando as alternativas por ordem de prioridade. Esta ordenação é obtida e correspondem a uma pré-ordem parcial, já que se pode apresentar uma relação de incomparabilidade entre as alternativas. Mostra que para o sub critério custo de investimentos as tecnologias do aterro sanitário, do aterro com geração de energia, da reciclagem e da compostagem são as que apresentam fluxos líquidos positivos e as tecnologias da digestão anaeróbia, do incinerador com geração de energia e com ciclo combinado e do TMB apresentam fluxo negativo, o que certamente gerou incomparabilidades, fazendo-se necessário utilizar a aplicação do Promethee II, com resultados da aplicação deste na Figura 4.126 e 4.128.

A Figura 4.128 mostra as tecnologias de tratamento por ordem de preferência com a indicação do maior fluxo líquido para a melhor tecnologia e do menor fluxo líquido para a tecnologia menos indicada. A diferença entre o fluxo líquido positivo ( $\Phi^+$ ) e o fluxo líquido negativo ( $\Phi^-$ ) é o fluxo líquido ( $\Phi$ ).

A Figura 4.129 mostra o plano Gaia, onde indica uma melhor visualização dos critérios e sub critérios, onde os que estão próximas ao vetor vermelho, estão mais bem ajustadas e as que se encontram em sentido contrário, podem apresentar incomparabilidades. Nesta figura indica o valor da análise de sensibilidade com valor de 80,30%, que quando superior a 80%, estão bem representadas.

A Figura 4.130 justifica e confirma a análise de sensibilidade do modelo, aplicando-se uma variação de 15% para mais e para menos na ordenação das alternativas a partir da Figura 4.126, que quando não há mudança no ranking de classificação destas alternativas, indicam a robustez do modelo e de sua aplicação.

A Figura 4.132 mostra os resultados das quatro (4) melhores alternativas usando o modelo Promethee V por ordenação do fluxo líquido, indicando que a reciclagem, o a digestão anaeróbia, a compostagem e o aterro sanitário são as melhores alternativas tecnológicas para o tratamento de RSU para a região Sul.

Para o modelo Promethee II(V), após aplicação dos dados da região, o critério ambiental apresentou o maior peso na preferência dos convidados com 44,10% do peso total, seguido pelo critério social com 37,40% do peso total e o critério econômico com 15,00% do peso total e o político com 5,8 %. Este modelo gerou um melhor resultado, pois por não ter apresentado inconsistência, com fluxo líquido de 80,3%, indica que sua aplicação como modelo, é consistente, portanto, o modelo é um modelo que apresenta robustez.

Para este modelo de apoio a decisão as quatro tecnologias por ordem de preferência da região foram: reciclagem, digestão anaeróbia, compostagem, aterro sanitário.

Diante deste resultado e atendendo a PNRS existe a possibilidade de estabelecer os seguintes arranjos tecnológicos para a região.

- 1 arranjo : reciclagem + compostagem + aterro sanitário
- 2 arranjo : reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário
- 3 arranjo : reciclagem + aterro sanitário

O Gráfico 4.30 mostra os resultados das preferências da região para os dois modelos. Pode-se observar que as tecnologias são representadas no gráfico por valores de preferências para os dois modelos.

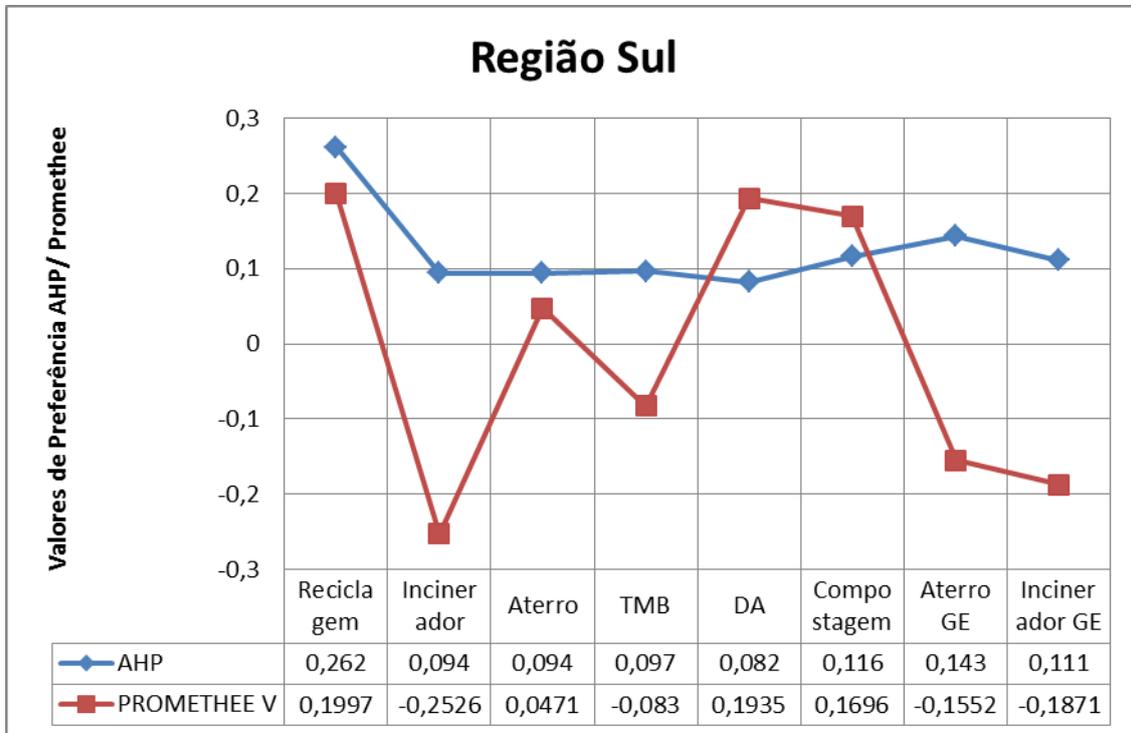


Gráfico 4.30 - Gráfico final comparativo dos resultados do Promethee e AHP - Região Sul.

O gráfico 4.30, mostra que para o modelo AHP as tecnologias da reciclagem, da compostagem, do aterro sanitário com geração de energia, da incineração com geração de energia e do TMB se apresentam com melhores resultados e que para o Promethee as tecnologias da reciclagem, da digestão anaeróbia, da compostagem e do aterro sanitário foram as que apresentaram melhores resultados.

Neste sentido, para as regiões geográficas mostradas acima a aplicação do PROMETHEE II(V) manifestou-se como compreensível aos tomadores de decisão devido à associação gráfica das preferências individuais aos tipos de critérios definidos. O método GAIA colaborou no sentido de comparar as preferências individuais e perceber a influência dos critérios nas opções das tecnologias. O estudo sob o cenário estabelecido revelou que os pesos (consenso) se tornaram, após análises de consistência, válidas com resultados seguros.

O AHP mostrou-se bastante eficiente no tratamento de informações imprecisas. Foi possível evoluir e tirar conclusões a respeito das alternativas após a aplicação dos pesos aos critérios e subcritérios. Este método permite apoiar o processo de decisão para

resolver os possíveis conflitos nos critérios de avaliação, no entanto pode gerar conflitos entre algumas comparações entre atributos.

Os dois métodos mostram resultados consistentes entre si. Esse fato é observado pela semelhança na ordenação final cujos parâmetros de preferência foram atribuídos pelo mesmo agente de decisão. Verifica-se também que a aplicação numérica revelou que se deve ter cautela na definição e valores de desempenhos dos critérios.

## Capítulo 5 – PROPOSTA DOS ARRANJOS TECNOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a proposta para os arranjos tecnológicos para os dois modelos de apoio à decisão em cada uma das regiões geográficas do Brasil. Em seguida, propõem-se arranjos tecnológicos para cada região geográfica do Brasil, considerando a interpretação das análises realizadas, do PIB da região, do seu IDH regional e do consumo de energia e da disponibilidade da região de energia gerada (matriz energética regional).

### 5.1 PROPOSTA DOS ARRANJOS TECNOLÓGICOS PARA CADA REGIÃO GEOGRÁFICA DO BRASIL.

As propostas a seguir serão embasadas em três fundamentos, a saber:

A interpretação dos resultados dos modelos apresentados, a utilização e a interpretação do PIB da região geográfica, do IDH da região geográfica e a Matriz energética da região geográfica em análise.

As condições históricas e o processo de desconcentração econômica regional levaram a uma forte disparidade nos níveis de renda *per capita* e de condições de vida entre as cinco regiões brasileiras, especialmente entre o Sudeste, o Nordeste e Sul. A origem das desigualdades regionais no Brasil encontra-se já na colonização, que ao moldar as características da Região Nordeste do país contribuiu para o atraso da Região frente ao resto do país.

Para a proposta dos arranjos tecnológicos definiu-se os seguintes portes para os municípios:

Com populações menores que 30.000 habitantes como municípios de pequeno porte, com populações entre 30.000 habitantes e 250.000 habitantes como municípios de porte intermediário, com populações entre 250.000 habitantes e 1.000.000 habitantes como municípios de médio porte e acima de 1.000.000 habitantes como municípios de grande porte.

Estas faixas e portes de municípios servem para todas as regiões geográficas do Brasil e juntos com as tecnologias definem os cenários regionais.

### 5.1.1 Região Norte

Na região Norte existem várias desigualdades (sociais, econômicas e históricas) e não se limitam apenas a fatores como posição social, raça, cor, como também há as desigualdades entre as regiões geográficas, entre os estados e também entre as cidades.

Outra grande desigualdade se trata da maior concentração de pessoas em algumas regiões e seus rendimentos que vão no máximo a meio salário (IBGE, 2010), a exemplo dos estados do Amazonas e Pará, o que reflete também no desenvolvimento humano baixo inferiores a 0,64 destas regiões.

#### *5.1.1.1 Desigualdades Regionais da Região Norte*

A Região Norte é a mais extensa das regiões brasileiras, com uma área de 3.659.637,9 km<sup>2</sup>, (45% do território Nacional) formada pelos estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e, pelo Censo de 2010, abriga somente 8,3% do total da população brasileira (15.484.929 habitantes), com um grau de urbanização de 84,4% (IBGE, 2011).

A economia da região baseia-se principalmente nas atividades industriais, de extrativismo vegetal e mineral, agricultura e pecuária. Em 2007, o PIB da região Norte representava 5,05% do PIB nacional.

Dados do IBGE apontam que a região Norte apresenta o maior índice de evasão escolar do país. A pobreza é a principal causa dessa fatalidade.

A Amazônia é a região com mais desigualdades em todo país. É formada por centenas de comunidades indígenas, ribeirinhos, quilombolas e outros grupos que convivem com precárias fontes de transporte e comunicação. É grande a distância das escolas frente a essas comunidades, assim, crianças e adolescentes acaba não tendo acesso a educação.

Somente a adoção de políticas públicas com a finalidade de levar a essas regiões tecnologias, desenvolvimento, conhecimento e a inclusão social pode reverter este quadro.

#### *5.1.1.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Norte*

O Gráfico 5.1 mostra a relação entre o PIB, o IDH e o consumo de energia (Matriz energética) – consumo de energia por região geográfica do Brasil.

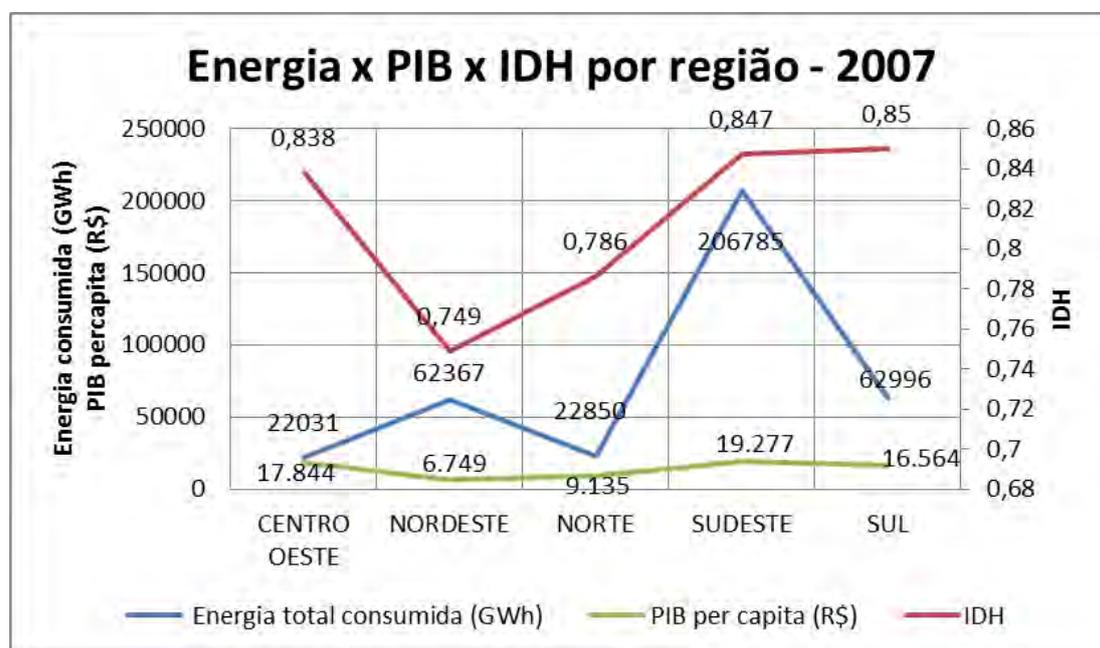


Gráfico 5.1 - Energia consumida x PIB x IDH por regiões – 2007.

Com relação ao PIB, observa-se que:

As taxas de crescimento anuais médias mais acentuadas ocorreram no Norte, 3,4%, com ênfase na contribuição da Zona Franca de Manaus e que as elevações mais acentuadas ocorreram na região Norte, de 0,58 para 0,64, conforme mostra estudo (BC, 2010).

A região Norte, que registrou o menor ritmo de expansão anual do PIB por habitante (2,3%), foi a região do país com o melhor desempenho em termos de redução das taxas de pobreza absoluta (-3%) e pobreza extrema (-3,7%) no mesmo período (BC, 2010).

Com relação ao IDH, observa-se que:

O IDH para a região Norte mostra que a educação foi a que mais avançou nesta região e que este aumento foi da ordem de 30% favorecidos por programas assistenciais dos 3 níveis de governo (BC, 2010).

A longevidade nesta região avançou em cerca de 11% e o PIB nesta região apresentou um índice de retração, o que mostra que o IDH da região Norte em comparando-se com o ano de 1991 a partir de 2005 vem crescendo uniforme (BC, 2010).

Com relação à Matriz energética, observa-se que:

Considerando que nas bacias hidrográficas da região Norte se encontra as principais usinas hidroelétricas do País e que sua capacidade instalada atende integralmente a demanda atual e futura da região, pode-se afirmar que nesta Região a utilização de unidades de tratamento térmico para geração de energia pode não ser a solução ideal para esta região, principalmente pelas restrições ambientais vigentes e futuras da região de maior diversidade do planeta. Este conjunto de análises será utilizado na escolha dos arranjos tecnológicos para o tratamento dos resíduos sólidos da região Norte do Brasil (BC, 2010).

### *5.1.1.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Norte*

Nos arranjos tecnológicos para as regiões geográficas do Brasil está se considerando que as tecnologias de tratamento de RSU partindo-se do princípio que já houve uma coleta diferenciada, atendendo ao que preceitua a PNRS.

Neste sentido, fazendo-se a leitura do PIB da região, que vem com crescimento pequeno a partir de 2005 e com redução a partir de 2010, com o IDH da região o fator educação foi o que mais avançou até 2007 no Brasil e que a importância da Amazônia brasileira para o mundo e para as futuras gerações, definiu-se que a incineração e a incineração com geração de energia não fará parte do arranjo tecnológico das tecnologias definidas para esta região, pelo atendimento ao apelo ambiental e a importância da Amazônia para o mundo.

De posse do conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos definidas pelos dois modelos de apoio a decisão para a região Norte do Brasil e das considerações acima, propõem-se os seguintes arranjos tecnológicos:

Tecnologias definidas pelos modelos - reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário, TMB, compostagem e digestão anaeróbia e pela análise constante do item 4.1.1.2 e 4.2.1.2 definiu-se os seguintes arranjos tecnológicos:

1 – Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia



Figura 5.1 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte.

A Figura 5.1 mostra o primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte do Brasil, composto pela reciclagem + aterro sanitário com geração de energia, para os municípios ou conjunto destes com uma capacidade instalada superior a 250 t/dia, na atualidade, ou menor em futuro próximo com o uso de microturbinas que transformam biogás em energia.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões metropolitanas apresentarem o maior PIB *per capita* de toda região, aliada a esta ser a região de maior desenvolvimento social, econômico e político do Norte do Brasil, sendo a região de maior consumo de energia, onde segundo relatos anteriores se afirma que nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico mais avançado com relação aos resíduos sólidos.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado na região metropolitana de Manaus, no Amazonas, de Belém, no Pará com populações acima de 1.000.000 de habitantes e de Macapá, Boa Vista, Porto Velho, Rio Branco, Santarém e de Palmas, no Tocantins, com populações entre 250.000 habitantes e 1.000.000 de habitantes, definidos como municípios de médio a grande porte.

Também se faz importante a utilização da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## 2 – Reciclagem + compostagem + Aterro sanitário.



Figura 5.2 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Norte.

A Figura 5.2 mostra o segundo arranjo tecnológico que pode ser utilizado para os municípios ou conjunto destes para diversos portes na região, com populações inferiores a 250.000 habitantes, a exemplo da região de Tocantins, Acre e Rondônia, Roraima e Acre, definidos neste estudo como de pequeno porte a porte intermediário.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões apresentarem um PIB *per capita* com faixa intermediária de toda região, um IDH que varia de 0,764 a 0,786, representando assim uma região de maior desenvolvimento social, econômico e político do Norte do Brasil, com consumo de energia intermediário em relação ao total da região, onde

segundo afirmações acima, se encontra o desenvolvimento tecnológico com menor intensidade com relação aos resíduos sólidos.

A tecnologia da compostagem se justifica principalmente pela valorização da fração orgânica da região, maior do Brasil e em tendência futura de aumento, gerando produtos com menor emissões. Na composição da compostagem pode ser a compostagem anaeróbia para municípios da região de Tocantins e a compostagem aeróbia para outras regiões de grande pluviometria.

Na região também pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

### 3 – Reciclagem + aterro sanitário



Figura 5.3 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Norte.

A Figura 5.3 mostra o terceiro e último arranjo tecnológico proposto para a região Norte composto pela reciclagem + aterro sanitário, é proposto para os municípios de pequeno porte e de porte intermediário ou conjunto destes da região Norte. Não se considerou a utilização da incineração por ser considerada um contrassenso ambiental sua utilização na Amazônia brasileira, o que de certa forma foi referendado pelo resultado dos modelos aplicados.

Este arranjo tecnológico se afirma em função desta região apresentar o menor PIB *per capita* de toda região, aliada a esta ser a região de menor desenvolvimento social, econômico e político do Norte do Brasil, de baixo consumo de energia e é nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico menos avançado com relação aos resíduos sólidos.

Este arranjo tecnológico atende ao que determina a PNRS em seu arranjo tecnológico mais simplificado e deve permanecer na região por pelo menos duas décadas e evoluir para arranjos tecnológicos mais sofisticados a médio e longo prazo.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações menores que 250.000 habitantes nos polos de desenvolvimentos regionais, definidos como de pequeno porte e porte intermediário. Neste caso é muito importante a utilização da figura dos

Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## 5.1.2 Região Nordeste

### 5.1.2.1 Desigualdades Regionais da Região Nordeste

A região do Nordeste ocupa uma área de 1.558 196 Km<sup>2</sup>, representando 18,3% do território nacional e conta com uma população de 53.078.137 habitantes (27,8% da população brasileira), de acordo com o censo IBGE de 2010. A região é composta pelo maior número de estados, possuindo características diversificadas, tanto do ponto de vista econômico, como geográfico e cultural.

Na região Nordeste existe várias desigualdades (sociais, econômicas e históricas) e não se limitam apenas a fatores como posição social, raça, cor e também as desigualdades entre as regiões geográficas, entre os estados e também entre as cidades.

Outra grande desigualdade se trata da maior concentração de pessoas em algumas regiões e seus rendimentos que vão no máximo a metade do salário mínimo (IBGE, 2010), a exemplo de cidades do Maranhão e Piauí, Ceará e Paraíba, o que reflete também no desenvolvimento humano destas regiões.

O Brasil, segundo o último censo demográfico realizado no ano de 2010, tinha 41% de sua população vivendo em estado de pobreza. Desta população, quase a metade vivia na região Nordeste do Brasil. A região possui mais da metade de sua população recebendo em média menos da metade de um salário mínimo e muitas vidas são perdidas devido a esta insuficiência de renda. Cerca de 5% das crianças morrem antes de completar um ano de vida e os seus habitantes vivem em média 5 anos a menos do que o restante do país. (IBGE, 2010). Assim, fica muito difícil pensar em políticas públicas que visem à solução para estes problemas que não incluam a redução da pobreza na região como uma das prioridades.

As condições para o desenvolvimento começaram a ser realizadas a partir das seguintes diretrizes:

- serviços públicos de qualidade, com a priorização de investimentos em infraestrutura social (saúde, educação, saneamento, estradas, comunicação, habitação, cultura).

- universalização e democratização do acesso à água para o abastecimento humano, da coleta e do tratamento de esgotos, da coleta, tratamento e destinação final adequada dos resíduos sólidos, da drenagem urbana e do controle de vetores com atendimento adequado à região.
- incentivo à educação contextualizada, desenvolvimento da pesquisa e disseminação de conhecimentos e tecnologias; democratização do acesso à terra.
- fortalecimento da agricultura familiar e promoção de políticas de segurança alimentar e nutricional.

### 5.1.2.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Nordeste

O Gráfico 5.1 mostra a relação entre o PIB, o IDH e o consumo de energia (Matriz energética) – consumo de energia por região geográfica do Brasil.

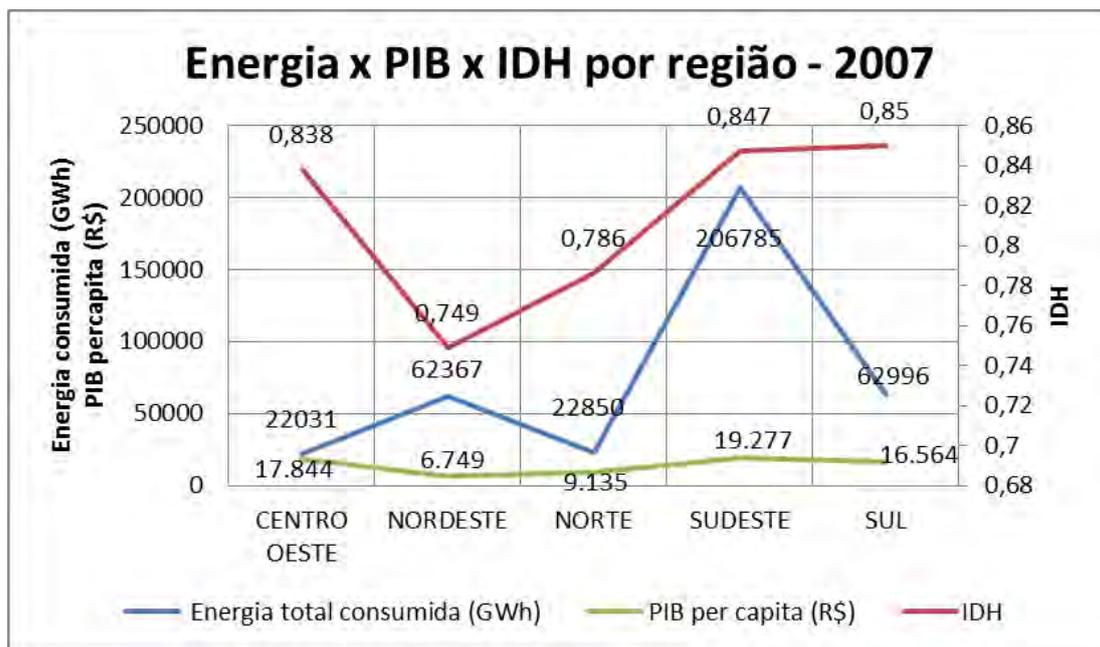


Gráfico 5.1 - Energia consumida x PIB x IDH por regiões – 2007.

Com relação ao PIB, observa-se que:

A relação entre o PIB *per capita* da região e a do Brasil no período de 1999 a 2008 mostra que a taxa de crescimento anual média ocorreu com relativa estabilidade de 0,41 (BC, 2010).

Para o estudo T-Theil os resultados para da região Nordeste, mostradas no estudo indicam desconcentração moderada da renda entre os estados, A desconcentração do PIB *per capita*, tanto entre os estados quanto entre os municípios, registrada no Nordeste (Figura 2.40) foi determinada, em especial, pelos crescimentos acima da média no Maranhão e abaixo da média nas regiões metropolitanas de Salvador, do Recife e de Fortaleza (BC, 2010).

A região Nordeste, segundo o Banco Central (2010), é a que registra menor ritmo de expansão anual do PIB por habitante (2,13%), foi a região do país com o melhor desempenho em termos de redução das taxas de pobreza absoluta (-2,4%) e pobreza extrema (-3,9%) no mesmo período.

Com relação ao IDH, observa-se que:

O IDH para a região Nordeste considerando o período de 1991 a 2007, registrou o maior crescimento do indicador, 24,6% (Gráfico 5.1).

O IDH para a região Nordeste mostra que a educação avançou moderadamente nesta região e que este aumento foi da ordem de 41% favorecidos por programas assistenciais dos 3 níveis de governo (BC, 2010).

A longevidade nesta região foi a dimensão que apresentou evolução que se elevou de modo aproximadamente linear em todas as regiões. Essa dimensão expandiu-se mais no Nordeste, 18% no período considerado, possivelmente por ser a região mais deficiente e por receber diversos programas municipais (BC, 2010).

De acordo com o Banco Central (2010), o PIB nesta região apresentou um índice de retração nos Estados de Pernambuco, Bahia e Ceará e aumento no Estado do Maranhão, o que mostra que o IDH da região Nordeste em se comparando com o ano de 1991 melhorou para todos os Estados.

Com relação à Matriz energética, observa-se que:

Considerando que nas bacias hidrográficas da região Nordeste se encontra algumas das usinas hidroelétricas importantes do País e que sua capacidade instalada não atende integralmente a demanda atual e futura da região, pode-se afirmar que nesta Região a utilização de unidades de tratamento térmico para geração de energia pode não ser a solução ideal para esta região e deve ser levada em consideração (BC, 2010.)

### *5.1.2.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Nordeste*

Neste sentido, fazendo-se a leitura do PIB da região que vem com crescimento pequeno a partir de 2005, com aumento apenas no Estado do Maranhão e retração nos demais Estados. Com relação ao IDH da região o fator educação foi o que mais avançou até 2007 no Brasil e a longevidade se apresentou constante sua variação comparada com as demais regiões.

De posse do conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos definidas pelos dois modelos de apoio a decisão para a região Nordeste do Brasil pela reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário, TMB, compostagem e digestão anaeróbia e pela análise constante do item 4.1.2.2 e 4.2.2.2 definiu-se os seguintes arranjos tecnológicos:

1 – Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia.



Figura 5.4 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste.

A Figura 5.4 mostra o primeiro arranjo tecnológico que pode ser utilizado para os municípios ou conjunto destes com população superior a 250.000 habitantes, definidos aqui como de porte médio a grande porte, como as regiões metropolitanas de Salvador, Aracajú, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal e Fortaleza.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões metropolitanas apresentarem um bom desenvolvimento social e especialmente as que apresentam o maior PIB *per capita* de toda região Nordeste, como Salvador, Recife e Fortaleza, onde segundo relatos anteriores afirma que nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico mais avançado com relação aos resíduos sólidos.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

2 – Reciclagem + compostagem + aterro sanitário



Figura 5.5 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste.

A Figura 5.5 mostra o segundo arranjo tecnológico composto pela reciclagem + compostagem + aterro sanitário, para os municípios de porte intermediário e pequeno porte ou conjunto destes da região Nordeste.

Este arranjo tecnológico se afirma em função desta região apresentar PIB *per capita* intermediário de toda região, aliada a esta ser a região em desenvolvimento social, econômico e político do Nordeste do Brasil, é nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico menos avançado com relação aos resíduos sólidos (ver capítulo 2).

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações maiores que 30.000 e menores que 250.000 habitantes nos polos de desenvolvimentos agrícolas regionais, definidos aqui como de porte intermediário.

Nesta região, a figura dos consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

### 3 – Reciclagem + aterro sanitário

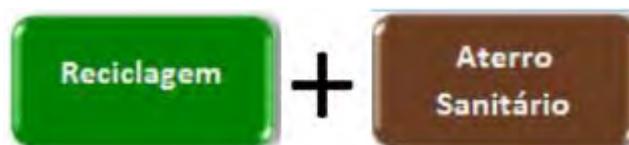


Figura 5.6 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste.

A Figura 5.6 mostra o terceiro arranjo tecnológico composto pela reciclagem + aterro sanitário, para os municípios de pequeno e médios portes ou conjunto destes da região Nordeste.

Este arranjo tecnológico se afirma em função desta região apresentar o menor PIB *per capita* de toda região, aliada a esta ser a região de menor desenvolvimento social, econômico e político do Nordeste do Brasil. Também se afirma em função de atender ao que determina a PNRS em sua estrutura de arranjo mais simplificado e que deve predominar na região Nordeste a médio prazo, para a partir destes arranjos evoluírem para arranjos mais tecnológicos.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações menores que 30.000 nos polos de desenvolvimento regionais, definidos como de pequeno porte.

Nesta região a figura dos consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

#### 4 – Reciclagem + Incineração com geração de energia + aterro sanitário



Figura 5.7 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste.

A Figura 5.7 mostra o quarto e último arranjo tecnológico proposto para a região Nordeste do Brasil é composto pela reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário para os municípios de porte médio a de grande porte, com populações superiores a 250.000 habitantes ou conjunto destes que tenham um PIB com faixa superior a 0,68.

Este arranjo tecnológico se afirma para as maiores capitais do Nordeste que detenham um maior desenvolvimento industrial bem como tenham implantados os melhores modelos de gestão de resíduos sólidos urbanos. Este arranjo tecnológico pode ter implementações pontuais não representando assim a hegemonia na região.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

### 5.1.3 Região Centro Oeste

#### 5.1.3.1 Desigualdades Regionais da Região Centro Oeste

A região Centro-Oeste é a segunda maior região do Brasil em extensão territorial, com 1.606.366,787 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010), equivalente a 18,9% da área total do país.

Em termos econômicos, a pecuária extensiva e a agricultura são as atividades mais importantes da região. Embora as atividades industriais ainda sejam pouco expressivas,

chama a atenção o Distrito Agroindustrial de Anápolis (no estado de Goiás), por abrigar o maior parque industrial do Centro-Oeste, com destaque para a indústria farmacêutica. Segundo IBGE (2010), o Centro-Oeste foi uma das regiões que mais avançaram suas posições relativas entre 2002 e 2009, chegando a 9,6% de participação no PIB nacional. A renda média domiciliar *per capita* é de R\$ 756 reais.

A desigualdade na distribuição de renda nos municípios brasileiros teve o crescimento mais acentuado na região Centro-Oeste (que reúne Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e o Distrito Federal) nos quase 40 anos entre 1970 e 2007, segundo estudo do IPEA.

O índice que mede a desigualdade da região ficou em 0,35 ponto em 2007, contra 0,28 ponto em 1970 - período ao qual se refere o estudo. O aumento no período foi de 22,9%.

Somente a adoção de políticas públicas com a finalidade de levar a essas regiões tecnologias, desenvolvimento, conhecimento e a inclusão social pode reverter este quadro.

A atividade agropecuária do Centro – Oeste expandiu-se em várias regiões nos anos 1970 e 1980, apresentando uma considerável modernização dos processos produtivos. Neste sentido com o desenvolvimento crescente desta atividade na região, grande produtora de soja, milho e trigo o que gera grande quantidade de biomassa, que pode ser aproveitada para fins energéticos.

#### *5.1.3.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Centro Oeste*

O Gráfico 5.1 mostra a relação entre o PIB, o IDH e o consumo de energia (Matriz energética) – consumo de energia por região geográfica do Brasil.

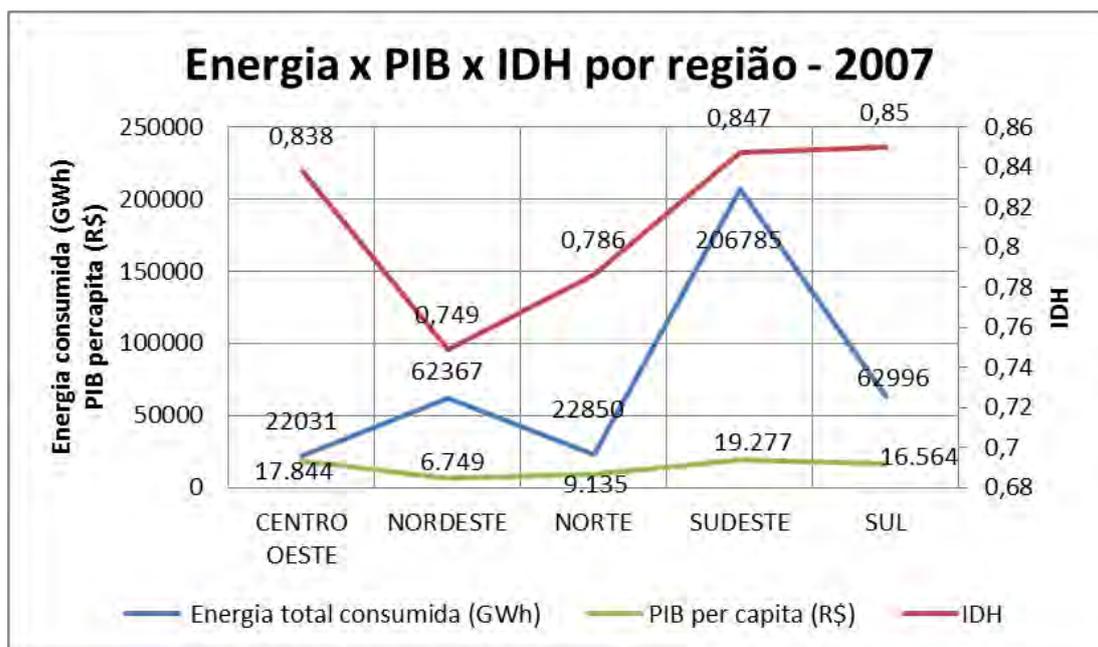


Gráfico 5.1 - Energia consumida x PIB x IDH por regiões – 2007.

Com relação ao PIB, observa-se que:

Neste sentido, fazendo-se a leitura do PIB da região que vem com crescimento contínuo entre 2002 e 2009, representando 9,6% do PIB nacional. Com relação ao IDH da região o fator educação foi o que mais avançou entre 2007 e 2009 e a longevidade se apresentou constante sua variação comparada com as demais regiões.

O IDH para a região Centro Oeste mostra que a educação avançou moderadamente nesta região e que este aumento foi da ordem de 35,6% favorecidos por programas assistenciais dos 3 níveis de governo.

A longevidade nesta região foi a dimensão que apresentou a menor evolução, com 18,6% .

O PIB nesta região apresentou um índice de retração nos Estados de Goiás e Mato Grosso e aumento no Estado do Mato Grosso do Sul e Distrito Federal

Com relação à Matriz energética, observa-se que:

Considerando que nas bacias hidrográficas da região Centro oeste se encontra algumas das usinas hidroelétricas importantes do País e que sua capacidade instalada não atende integralmente a demanda atual e futura da região, pode-se afirmar que nesta Região a utilização de unidades de tratamento térmico para geração de energia pode não ser a solução ideal para esta região e deve ser levada em consideração.

### 5.1.3.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Centro Oeste

De posse do conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos definidas pelos dois modelos de apoio a decisão para a região Centro Oeste do Brasil pela reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário, incineração com geração de energia, compostagem e digestão anaeróbia e pela análise constante do item 4.1.3.2 e 4.2.3.2 definiu-se os seguintes arranjos tecnológicos:

1 – Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia.



Figura 5.8 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.

A Figura 5.8 mostra o primeiro arranjo tecnológico que pode ser utilizado para os municípios de médio e grande porte ou conjunto destes com populações superiores a 250.000 habitantes de maior densidade demográfica da região como a região metropolitana de Goiânia, de Cuiabá e Campo Grande e na Região de Desenvolvimento Econômico - RIDE de Brasília.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões metropolitanas apresentarem o maior PIB *per capita* de toda região Centro oeste, aliada a esta ser a região de maior desenvolvimento social, econômico e político, onde segundo relatos anteriores afirma que nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico mais avançado com relação aos resíduos sólidos.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

2 – Reciclagem + incinerador com geração de energia + aterro sanitário



Figura 5.9 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.

A Figura 5.9 mostra o segundo arranjo tecnológico composto pela reciclagem + incinerador com geração de energia + aterro sanitário, pode ser aplicado aos municípios da região que apresentem populações superiores a 250.000 habitantes ou conjuntos destes que viabilizem linhas de tratamento mínima de 8t/h em suas linhas, definidos neste estudo como de porte médio a grande porte.

Este arranjo tecnológico se afirma para municípios com PIB *per capita* maiores e com IDH também maiores da região em estudo.

Este arranjo tecnológico também pode ser aplicado nos municípios com polos de desenvolvimentos agrícolas e geradores de biomassa, podendo trazer soluções para a grande quantidade de biomassa gerada na produção da soja, milho e trigo.

Nesta região a figura dos Consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

### 3 – Reciclagem + aterro sanitário



Figura 5.10 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.

A Figura 5.10 mostra o terceiro arranjo tecnológico composto pela reciclagem + aterro sanitário, para os municípios de pequeno porte e de porte intermediário ou conjunto destes da região Centro Oeste.

Este arranjo tecnológico se afirma em função de atender ao que determina a PNRS em sua estrutura de arranjo mais simplificado e que deve predominar na região Centro Oeste a médio prazo, para a partir destes arranjos evoluírem para arranjos mais sofisticados tecnologicamente.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações menores que 250.000 e maiores que 30.000 habitantes nos polos de desenvolvimentos regionais ou em ultimo caso em soluções isoladas para populações inferiores a 30.000 habitantes. Nesta região a figura dos Consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

#### 4- Reciclagem + Digestão Anaeróbia + aterro sanitário



Figura 5.11 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste.

A Figura 5.11 mostra o quarto e último arranjo tecnológico proposto para a região Centro Oeste do Brasil é composto pela reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário para os municípios ou conjunto destes com uma densidade demográfica menor.

Este arranjo tecnológico se afirma em função da região Centro Oeste ser a região brasileira que apresenta em sua composição gravimétrica o segundo maior percentual de orgânicos das regiões geográficas.

Considerando uma perspectiva futura, pode ter este arranjo tecnológico a utilização da digestão anaeróbia com a biomassa dos resíduos agrícolas ( em grande quantidade na região) misturados a outro resíduo (lodo) no processo de digestão e geração de energia).

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado na região em municípios com populações superiores a 250.000 habitantes ou conjunto destes que viabilizem uma linha de tratamento mínima de 8t/h, definidos neste estudo como de porte intermediário a médio porte.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

#### 5.1.4 Região Sudeste

##### 5.1.4.1 Desigualdades Regionais da Região Sudeste

A região Sudeste tem uma área de 924.511,292 Km<sup>2</sup> (equivalente a cerca de 10,85% do território nacional), segunda menor região do país. Abrange uma população de 80.353.724 habitantes (90,5% de população urbana), de acordo com o censo 2010 do IBGE, correspondente a 42% da população brasileira. Possui a maior densidade demográfica entre as regiões, cerca de 84,21 hab/Km<sup>2</sup>.

A região Sudeste teve uma grande evolução, tanto em termos econômicos, sociais e também na gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), juntamente com a região Sul.

Possui o segundo maior IDH do Brasil (0,824), perdendo apenas para a região Sul. Porém, possui o maior PIB do país, R\$ 21.182,68 milhões, equivalente a mais da metade do PIB nacional. O PIB de SP representa 60% do PIB da região Sudeste.

A desigualdade na distribuição de renda nos municípios brasileiros teve o crescimento mais acentuado na região Centro-Oeste, seguido pela região Sudeste.

Somente a adoção de políticas públicas com a finalidade de levar a essas regiões tecnologias, desenvolvimento, conhecimento e a inclusão social pode reverter este quadro.

No Sudeste (São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo) o índice recuou para 0,39 ponto em 2007, uma queda de 4,1% em relação a 1970 (quando estava em 0,41). Apesar da baixa, o indicador da região se manteve como o maior do país (BC, 2010).

Segundo o IPEA(2010), o Brasil vem apresentando desde a década de 1970 um certo “congelamento no grau de desigualdade” de renda nos municípios. Para o Instituto, as políticas públicas para reverter esse desequilíbrio “mostram-se fundamentais, embora insuficientes sem o desenvolvimento de uma política nacional de desenvolvimento regional e local”.

#### *5.1.4.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Sudeste*

O Gráfico 5.1 mostra a relação entre o PIB, o IDH e o consumo de energia( Matriz energética) – consumo de energia por região geográfica do Brasil.

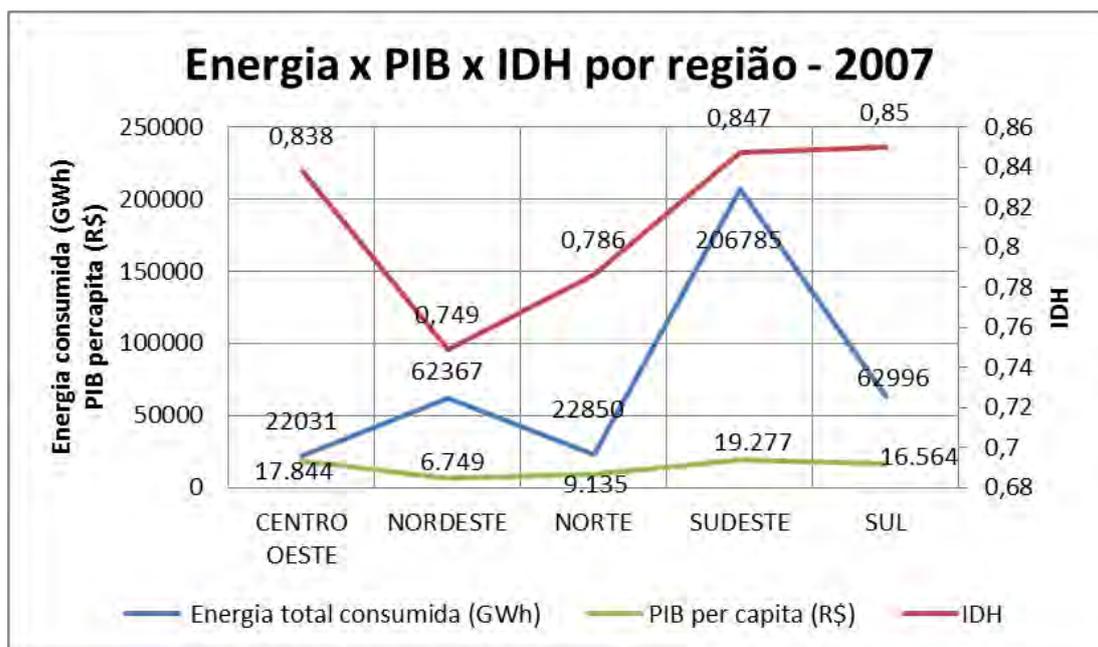


Gráfico 5.1 - Energia consumida x PIB x IDH por regiões – 2007.

Com relação ao PIB, observa-se que:

Neste sentido, fazendo-se a leitura do PIB da região que vem com crescimento de moderado a grande a partir de 2005, com aumento em quase todos os Estados. Com relação ao IDH da região o fator educação foi o que mais avançou até 2010 no Brasil e a longevidade se apresentou constante sua variação comparada com as demais regiões.

O IDH para a região Sudeste mostra que a educação avançou moderadamente nesta região e que este aumento foi da ordem de 30,1%, favorecidos por programas assistenciais dos 3 níveis de governo.

A longevidade nesta região foi a dimensão que apresentou evolução que se elevou de modo aproximadamente linear em todas as regiões, com 19,3%.

O PIB nesta região apresentou um índice de retração no Estados do Espírito Santo e aumento nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, o que mostra que o IDH da região Sudeste em se comparando com o ano de 1991 melhorou para todos os Estados.

Com relação à Matriz energética, observa-se que:

Considerando que nas bacias hidrográficas da região Sudeste se encontra algumas das usinas hidroelétricas importantes para a região e para o País e que sua capacidade instalada não atende integralmente a demanda atual e futura da região, pode-se

afirmar que nesta Região a utilização de unidades de tratamento térmico para geração de energia pode não ser a solução ideal para esta região e deve ser levada em consideração.

#### 5.1.4.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Sudeste

De posse do conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos definidas pelos dois modelos de apoio a decisão para a região Sudeste do Brasil pela reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário, incineração com geração de energia, TMB, compostagem e digestão anaeróbia e pela análise constante do item 4.1.4.2 e 4.2.4.2 definiu-se os seguintes arranjos tecnológicos:

1 – Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia.



Figura 5.12 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste.

A Figura 5.12 mostra o primeiro arranjo tecnológico que pode ser utilizado para os municípios de grande porte ou conjunto destes, como a região metropolitana de São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões metropolitanas apresentarem o maior PIB *per capita* de toda região Sudeste, aliada a esta ser a região de maior desenvolvimento social, econômico e político do Brasil, onde segundo relatos anteriores afirma que nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico mais avançado com relação aos resíduos sólidos.

Este arranjo pode ser considerado para municípios com população superior a 250.000 habitantes e geração de resíduos superior a 250t/dia, definidos neste estudo como de porte intermediário a médio porte.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## 2 – Reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário



Figura 5.13 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste.

A Figura 5.13 mostra o segundo arranjo tecnológico composto pela reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário, para os municípios de médio e grande porte ou conjunto destes da região Sudeste.

Este arranjo pode ser aplicado aos municípios da região que apresentem populações superiores a 250.000 habitantes ou conjuntos destes que viabilizem linhas de tratamento mínima de 8t/h em suas linhas, definidos neste estudo como de porte médio a grande porte.

Este arranjo tecnológico se afirma para municípios com PIB *per capita* maiores e com IDH também maiores da região em estudo e principalmente para os municípios que detenham modelo de gestão de resíduos sólidos com boa aplicabilidade.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com polos de desenvolvimentos industriais para geração de energia e sua instalação deve levar em consideração o processo de urbanização local.

Nesta região a figura dos consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## 3 – Reciclagem + aterro sanitário

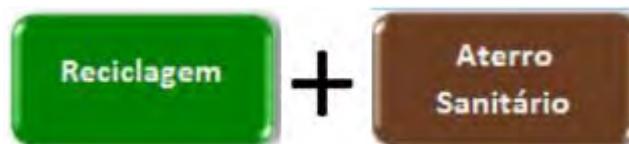


Figura 5.14 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste.

A Figura 5.14 mostra o terceiro arranjo tecnológico composto pela reciclagem + aterro sanitário, para os médios e pequenos municípios ou conjunto destes da região Sudeste.

Este arranjo tecnológico se afirma para municípios que apresentem menor PIB *per capita* de toda região e que apresentem menor desenvolvimento social, econômico e político da região Sul do Brasil.

Este arranjo tecnológico se afirma em função de atender ao que determina a PNRS em sua estrutura de arranjo mais simplificado e que deve predominar na região Sudeste a médio prazo, para a partir destes arranjos evoluírem para arranjos mais sofisticados tecnologicamente.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações menores que 250.000 e maiores que 30.000 e habitantes nos polos de desenvolvimentos regionais ou em ultimo caso em soluções isoladas para populações inferiores a 30.000 habitantes, definidos neste estudo como de porte intermediário a médio porte.

Nesta região, a figura dos consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

#### 4 - Reciclagem + compostagem + aterro sanitário.



Figura 5.15 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste.

A Figura 5.15 mostra o quarto arranjo tecnológico composto pela reciclagem + compostagem + aterro sanitário, para os municípios de médios e pequenos porte ou conjunto destes da região Sudeste.

Este arranjo tecnológico se afirma em função desta região apresentar experiências importantes na implantação de compostagem.

No Estado de Minas Gerais este arranjo pode ser bem utilizado, pela vocação e cultura da tecnologia da compostagem, podendo ter dentro deste arranjo vários conjuntos, podendo ser uma compostagem aeróbia para produção em escala industrial e compostagem anaeróbia em municípios menores.

O arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações menores que 250.000 e maiores que 3.000 habitantes nos polos de desenvolvimentos agrícolas regionais ou em ultimo caso em soluções isoladas para populações inferiores a 30.000 habitantes.

Nesta região a figura dos consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

5 – Reciclagem + TMB + digestão anaeróbia + aterro sanitário



Figura 5.16 - Quinto arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste.

A Figura 5.16 mostra o quinto e último arranjo tecnológico proposto para a região Sudeste do Brasil é composto pela reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário para os municípios de médio e grande porte ou conjunto destes.

Este arranjo tecnológico se afirma em função da região sudeste ser a região brasileira que apresenta em sua composição gravimétrica o terceiro maior percentual de orgânicos das regiões geográficas.

Considerando uma perspectiva futura, pode ter este arranjo tecnológico a utilização da digestão anaeróbia com a biomassa dos resíduos agrícolas ( em grande quantidade na região) misturados a outro no processo de digestão e geração de energia.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado na região em municípios com populações superiores a 250.000 habitantes ou conjunto destes que viabilizem uma linha de tratamento mínima de 8t/h, definidos neste estudo como de porte médio.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## 5.1.5 Região Sul

### 5.1.5.1 Desigualdades Regionais da Região Sul

A região Sul do Brasil é constituída pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, possuindo 1.188 municípios. Conforme Censo do IBGE realizado no ano de 2010, a região abriga o equivalente a 14% da população brasileira (27.384.815 habitantes), com um grau de urbanização de 85%. Abrange uma área de 576.409,6 Km<sup>2</sup>, correspondendo

a 6,7% a área total nacional. A densidade demográfica média da região Sul é de 47,59 hab/Km<sup>2</sup>. É uma das regiões com o maior PIB, correspondendo a participação no PIB nacional na ordem de 16,5% no ano de 2009. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio da região, calculado em 2005, foi de 0,831, configurando um desenvolvimento humano "elevado", enquanto a média do país foi de 0,695.

O índice que mede a desigualdade da região ficou em 0,35 ponto em 2007, contra 0,28 ponto em 1970 - período ao qual se refere o estudo. O aumento no período foi de 22,9%.

Somente a adoção de políticas públicas com a finalidade de levar a essas regiões tecnologias, desenvolvimento, conhecimento e a inclusão social pode reverter este quadro.

#### 5.1.5.2 Interpretação dos resultados levando-se em consideração o PIB, o IDH e a Matriz Energética Regional - Região Sul

O Gráfico 5.1 mostra a relação entre o PIB, o IDH e o consumo de energia( Matriz energética) – consumo de energia por região geográfica do Brasil.

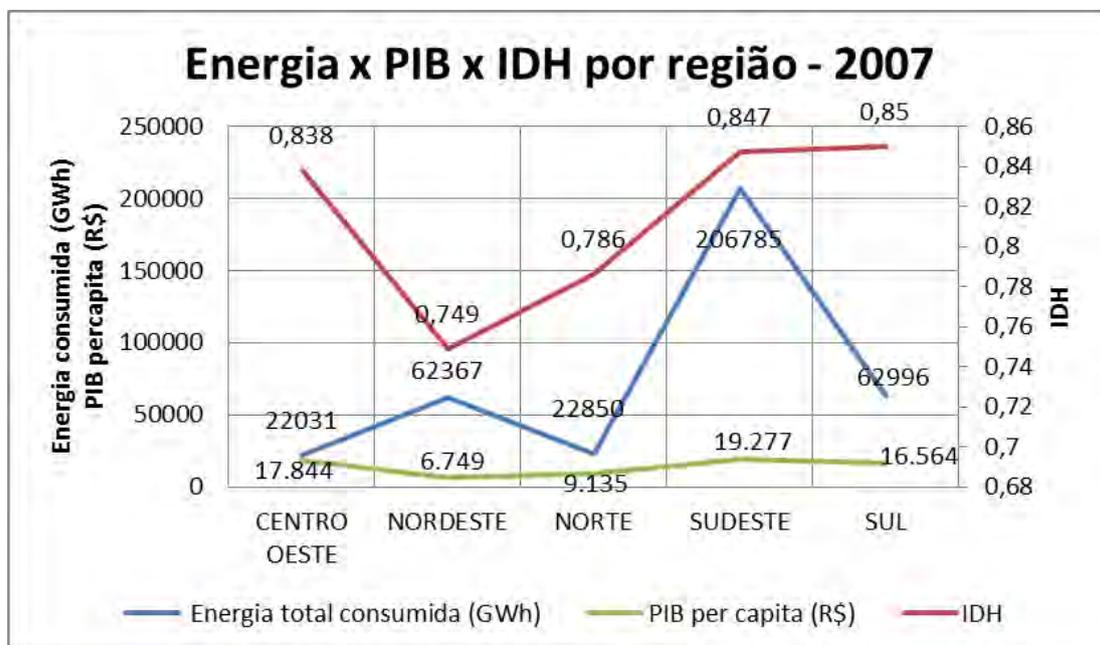


Gráfico 5.1 - Energia consumida x PIB x IDH por regiões – 2007.

Com relação ao PIB, observa-se que:

Neste sentido, fazendo-se a leitura do PIB da região que vem com crescimento de pequeno a moderado partir de 2005, com aumento apenas no Estado do Paraná e retração nos demais Estados. Com relação ao IDH da região o fator educação foi o que mais avançou até 2007 no Brasil e a longevidade se apresentou constante sua variação comparada com as demais regiões.

O IDH para a região Sul mostra que a educação avançou moderadamente nesta região e que este aumento foi da ordem de 40,1% favorecidos por programas assistenciais dos 3 níveis de governo.

A longevidade nesta região foi a dimensão que apresentou evolução que se elevou de modo aproximadamente linear em todas as regiões, com 18,6%.

O PIB nesta região apresentou um índice de retração no Estado do Paraná e aumento nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o que mostra que o IDH da região Nordeste em se comparando com o ano de 1991 melhorou para todos os Estados.

Com relação à Matriz energética, observa-se que:

Considerando que nas bacias hidrográficas da região Sul se encontram algumas das usinas hidroelétricas importantes do País e que sua capacidade instalada não atende integralmente a demanda atual e futura da região, pode-se afirmar que nesta Região a utilização de unidades de tratamento térmico para geração de energia pode não ser a solução ideal para esta região e deve ser levada em consideração.

#### *5.1.5.3 Propostas de arranjos tecnológicos para o tratamento de resíduos sólidos na Região Sul*

De posse do conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos definidas pelos dois modelos de apoio a decisão para a região Sul do Brasil pela reciclagem, aterro sanitário com geração de energia, aterro sanitário, incineração com geração de energia, compostagem e digestão anaeróbia e pela análise do item 4.1.5.2 e 4.2.5.2 definiu-se os seguintes arranjos tecnológicos:

1 – Reciclagem + aterro sanitário com geração de energia.



Figura 5.17 - Primeiro arranjo tecnológico proposto para a região Sul.

A Figura 5.17 mostra o primeiro arranjo tecnológico que pode ser utilizado para os municípios de médio e grande porte ou conjunto destes com maior densidade demográfica da região, como a região metropolitana de Curitiba, Porto Alegre e Florianópolis, definidos neste estudo como de médio a grande porte.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões metropolitanas apresentarem o maior PIB *per capita* de toda região Sul e, aliada a esta ser a região de maior desenvolvimento social, econômico e político do Sul do Brasil, onde segundo relatos anteriores afirma que nesta região se encontra o desenvolvimento tecnológico mais avançado com relação aos resíduos sólidos.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos Consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## 2 – Reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário



Figura 5.18 - Segundo arranjo tecnológico proposto para a região Sul.

A Figura 5.18 mostra o segundo arranjo tecnológico proposto para a região Sul do Brasil é composto pela reciclagem + digestão anaeróbia + aterro sanitário para os municípios de médio porte.

Este arranjo tecnológico se afirma em função destas regiões apresentarem um maior PIB *per capita* e por terem tradição principalmente no Paraná e Rio Grande do Sul de tratarem resíduos orgânicos de suínos, onde segundo afirmações acima, se encontra o desenvolvimento tecnológico com menor intensidade com relação aos resíduos sólidos.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado na região em municípios com populações superiores a 250.000 habitantes ou conjunto destes que viabilizem uma linha de tratamento mínima de 8t/h, definidos neste estudo como de porte médio.

Nesta região pode-se utilizar da figura dos consórcios públicos para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

### 3 – Reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário



Figura 5.19 - Terceiro arranjo tecnológico proposto para a região Sul.

A Figura 5.19 mostra o terceiro arranjo tecnológico composto pela reciclagem + incineração com geração de energia + aterro sanitário, para os municípios de médio e grande portes ou conjunto destes da região Sul.

Este arranjo pode ser aplicado aos grandes municípios da região Sul que apresentem populações superiores a 250.000 habitantes ou conjuntos destes que viabilizem linhas de tratamento mínima de 8t/h em suas linhas, definidos neste estudo como de porte médio a grande porte.

Este arranjo tecnológico se afirma para municípios com PIB *per capita* maiores e com IDH também maiores da região em estudo e principalmente para os municípios que detenham modelo de gestão de resíduos sólidos com boa aplicabilidade.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com polos de desenvolvimentos industriais para geração de energia e sua instalação deve levar em consideração o processo de urbanização local.

Nesta região, a figura dos consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

### 4 – Reciclagem + aterro sanitário



Figura 5.20 - Quarto arranjo tecnológico proposto para a região Sul.

A Figura 5.20 mostra o quarto e último arranjo tecnológico composto pela reciclagem + aterro sanitário, para os municípios de porte intermediário e pequeno porte ou conjunto destes da região Sul.

Este arranjo tecnológico se afirma apenas para os municípios que ainda não tenham destinação final adequada e em função de atender ao que determina a PNRS em sua estrutura de arranjo mais simplificado.

Este arranjo tecnológico se afirma em função desta região apresentar o segundo maior PIB *per capita* de toda região, aliada a esta ser a região de desenvolvimento social, econômico e político do Sul do Brasil. Também nesta região poucos municípios ainda apresentam disposição final inadequada, restando poucos municípios na região a terem o aterro sanitário com disposição final. Basicamente seria para estes municípios incluídos na faixa populacional sugerida.

Este arranjo tecnológico pode ser aplicado nos municípios com populações maior que 30.000 e menor que 250.000 e habitantes nos polos de desenvolvimentos regionais, definidos neste estudo como de porte intermediário a pequeno porte.

Nesta região a figura dos Consórcios públicos torna-se fundamental para o conjunto de municípios de forma a se obter escala no processamento dos RSU e redução de custos no sistema a ser definido e implantado.

## **Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS.**

Este capítulo apresenta as considerações finais sobre a aplicação dos dois modelos de apoio a decisão com relação a sua aplicação numérica. Também apresenta enfoque na análise crítica referente a gestão das tecnologias de tratamento de resíduos levando-se em consideração aspectos referentes aos aspectos econômicos e os aspectos sociais. Por fim apresenta-se a conclusão da tese e as sugestões para novas pesquisas.

### **6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento do modelo de priorização foi de grande valia, pois requisitou conhecimento em diversas dimensões: tecnológicas, ambientais, sociais, econômicas e políticas associadas ao conhecimento das tecnologias de tratamento de resíduos. Todas as etapas de estudo desenvolvidas foram essenciais para fornecerem subsídios para a aplicabilidade dos dois modelos de apoio a decisão.

O enfoque desta tese mostra a importância dos critérios da sustentabilidade ambiental, e em especial pelo atual quadro de cumprimento das políticas públicas nas diversas regiões geográficas, onde o critério político se torna importante, fundamental e decisivo na aplicação destas políticas públicas nos municípios, pois a cada mudança de legislatura municipal, estadual ou federal, traz grandes mudanças quanto a consolidação destas políticas públicas implantadas, onde na sua grande maioria se tornam anti-políticas públicas, pela não continuidade destas políticas, programas e projetos implantados.

A questão ambiental em sistemas de gestão de resíduos tornou-se fundamental no sentido de proporcionar a análise de diversos aspectos ambientais relacionados às tecnologias de tratamento de resíduos e sua importância.

A questão social em sistemas de gestão de resíduos é fundamental, no sentido de proporcionar a possibilidade de gerar emprego e renda e do desenvolvimento humano da região em estudo.

A questão econômica é muito importante dentro de um sistema de gestão de resíduos sólidos, pois, por melhor que possa parecer o sistema de gestão, não é capaz de resistir a uma crise financeira global e a crises financeiras nacionais, regionais e locais. Com o crescente aumento da população, e o conseqüente aumento da quantidade de resíduos gerados e a relação do PIB *per capita*, é preciso pensar os sistemas de gestão de forma mais

sistematizados para problemas complexos, como é o caso das alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos.

A questão política, em especial no Brasil, se torna importante, pois, em geral, as decisões políticas podem afetar o planejamento dos sistemas de gestão das tecnologias de tratamento de resíduos e a falta de continuidade administrativa tem afetado muitas experiências exitosas em atividades nas diversas regiões geográficas.

Com relação à aplicação numérica dos modelos de apoio à decisão, ficou evidenciado que:

a) A aplicação numérica destes dois modelos ofereceu uma contribuição importante, de forma a se estudar e compreender bem os dois modelos de apoio a decisão, diante de um problema enorme e da possibilidade real de se determinar tecnologias para o tratamento de resíduos de uma municipalidade ou de uma região, quer em uma solução com arranjos tecnológicos para situação isolada ou com arranjos para soluções consorciadas.

b) Os modelos analisados no contexto das tecnologias de tratamento de RSU foram referência para aplicação, pois se utilizou de dois modelos de apoio a decisão, comparando-os os resultados utilizando-se de um mesmo modelo hierárquico. A sua importância se dá principalmente em função da problemática de hierarquia; da necessidade de transparência na decisão; os critérios de decisão foram estabelecidos em grupo e por meio de consenso para cada região geográfica do Brasil, e acima de tudo, pelos critérios que são conflitantes e que abrangem naturezas diferentes.

c) Os recursos disponíveis pelos métodos multicritério aplicados por meio do sistema de apoio à decisão propiciaram uma análise bem detalhada sobre as potencialidades das alternativas. Foi possível visualizar não somente a ordenação, mas também todas as propriedades de superação de cada alternativa pelos gráficos e resultados apresentados.

d) A análise metodológica realizada com os modelos de apoio a decisão, AHP e PROMETHEE II(V) tornou possível estruturar de forma sintética os principais conceitos e procedimentos da metodologia multicritério de apoio à decisão.

e) A aplicação do modelo AHP manifestou-se como compreensível aos tomadores de decisão, devido à sua facilidade de utilização das comparações par a par dos atributos definidos. Por outro lado o modelo traz limitações para utilização de no mesmo modelo hierárquico trabalhar com dados qualitativos e dados quantitativos das tecnologias.

f) A aplicação do PROMETHEE II(V) manifestou-se como compreensível aos tomadores de decisão, devido à associação gráfica das preferências individuais aos quatro tipos de critérios e seus respectivos subcritérios. O método GAIA colaborou no sentido de comparar as preferências individuais e perceber a influência dos critérios nas opções das tecnologias de tratamento. O estudo revelou a importância de se utilizar dados quantitativos aliados aos dados qualitativos de forma a ter resultados consistentes quanto a suas sobre classificações.

g) Os dois métodos mostram resultados consistentes entre si. Esse fato é observado pela semelhança na ordenação final cujos parâmetros de preferência foram atribuídos pelos convidados de cada região. Verifica-se também que a aplicação numérica revelou que se deve ter cautela na definição e valores de desempenhos dos critérios, além de que se observar o processo de compreensão das escalas.

h) O PROMETHEE II(V) mostrou-se mais eficiente no tratamento de informações imprecisas. Foi possível evoluir e tirar conclusões a respeito das alternativas tecnológicas com maior precisão por este método poder utilizar a junção de dados qualitativos aliados a dados quantitativos das tecnologias e seus critérios definidos no modelo de preferência. Neste sentido a priori o método evoluiu de forma mais precisa para o modelo definido.

i) Considera-se, então, que os objetivos do trabalho foram atingidos e a metodologia multicritério tornou possível estruturar uma proposta para o processo de decisão que permite sugerir as principais tecnologias de tratamento de resíduos em cada região do Brasil de forma racional e acima de tudo de forma transparente.

j) Por fim, como suporte a esta pesquisa, é possível afirmar que replicar este modelo em outras situações em que seja necessário hierarquizar tecnologias para tratamento de resíduos em municípios ou em regiões em vários cenários pode ser possível e que também pode-se trabalhar com outros modelos de hierarquização para compará-los entre si, estabelecendo assim, comparações entre os resultados apresentados.

Quanto à análise crítica referente à gestão das tecnologias de tratamento de RSU, foram considerados os aspectos econômicos e sociais, mostrados a seguir:

Aspectos gerais da gestão do tratamento dos resíduos sólidos, ficou evidenciado que:

a) Com relação à adoção de tecnologias de tratamento de resíduos nas regiões geográficas do Brasil, é importante compreender que os sistemas de gestão de resíduos onde estas tecnologias estão inseridas no arranjo tecnológico passa pela globalização dos sistemas em nível mundial, e não somente em nível local e regional, pois:

a.1) Os sistemas de gestão de resíduos (inclusos o sistema de gestão do tratamento dos RSU) e as condições atuais do mercado mundial, mesmo quando considerados os melhores sistemas, concentrados na Europa, na Ásia e EUA, não são capazes de lidar com as crescentes quantidades de resíduos gerados em nível mundial.

a.2) Nossos sistemas de gestão de resíduos e as condições atuais do mercado Brasileiro, ainda que se considerem os melhores sistemas de gestão, concentrados nas regiões Sudeste e Sul, são incapazes de lidar com as crescentes quantidades de resíduos em nível regional. O mesmo fato se dá com os sistemas de gestão das regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste.

a.2.1) Em nível mundial, uma grande quantidade de aterros não controlados(lixões) será o método de tratamento e disposição final de resíduos que vai predominar nos próximos dez anos, como tecnologia de tratamento de resíduos e em especial no continente asiático em seus países mais populosos e mais pobres.

a.2.2) Em nível de Brasil, a tendência nos próximos anos é que uma grande quantidade de aterros sanitários predomine como tecnologia de tratamento de resíduos, antecidos pela reciclagem e algum sistema de pré-tratamento de resíduos.

Alguns fatos poderão contribuir para estas considerações:

b) O aumento da população urbana no Brasil tem contribuído para este fato, pois com o processo de urbanização e o aparecimento das favelas – habitações subnormais no meio urbano das médias e grandes cidades, a geração de resíduos de forma indiferenciada tem aumentado em ritmo de quase 2 % a cada ano, no Brasil. Aliado a este aumento tem outro ponto importante a se considerar, que é a mudança na composição de resíduos.

b.1) Para esta consideração, a primeira mudança será devido à mudança da cultura alimentar e os hábitos dos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Como o PIB *per capita* tende a aumentar, espera-se que até 2050 a demanda por produtos agrícolas cresça em percentual superior a 50%. Além dos problemas sérios relacionados à produção de alimentos e sustentabilidade, essas mudanças vão mudar a composição dos

resíduos no Brasil. A fração orgânica será mais dominante no RSU, pois os resíduos agrícolas e o consumo crescente de carne vai criar novos problemas que têm de ser enfrentados com planejamento, pois o aumento da demanda vai implicar diretamente produção e conseqüentemente no aumento de resíduos agrícolas. E, claro, uma mudança na composição dos resíduos torna o desafio de se diminuir o CH<sub>4</sub> para a gestão de resíduos mais difícil do que já é na atualidade, com a utilização de novas tecnologias e uma conscientização cada vez mais crescente por parte da sociedade. Este aumento de orgânicos na composição dos RSU e da biomassa, em especial na região Centro Oeste, maior produtora de soja, milho (biomassa) tenderá a ter soluções com geração de energia. Esta tendência foi mostrada nos dois modelos de utilização de tecnologias WTE (incineração, aterro sanitário e bio-digestão).

Com relação aos aspectos econômicos das tecnologias, ficou evidenciado que:

a) A implantação de tecnologias para tratamento de resíduos sólidos deve passar por um planejamento adequado, que se integre ao processo urbanístico atual e futuro da região, de forma a trazer equilíbrio ambiental, social e econômico a região.

A sua adoção como política pública pelo município/região deve estar fortalecida pelo apoio institucional e, em alguns casos, pelo apoio econômico com subsídios por parte do governo central, pela sua agencia reguladora ou instituto, sendo, portanto, um ator importante neste arranjo institucional, se adotado um sistema misto, com participação do setor público e do setor privado.

b) A sustentação financeira é muito importante para o equilíbrio de todo o sistema econômico planejado e isto se deve dar com solução de continuidade por toda a vida útil do sistema implementado.

c) Os custos para implantação, operação e manutenção, fechamento e pós-monitoramento destas tecnologias devem ser suportados pelos municípios ou conjunto destes, mediante planos econômicos que apresentem garantias de continuidade da operacionalidade do sistema de tratamento implantado.

d) Devem ser planejados seguros para estes sistemas de forma a garantir recursos financeiros imediatos para qualquer intervenção que venha a acontecer em função de possíveis impactos gerados aos sistemas e aos seus usuários.

Com relação aos aspectos sociais, ficou evidenciado que:

a) A questão da geração de emprego para as regiões de menores desenvolvimentos regionais é importante por aliar desenvolvimento tecnológico, qualidade de serviços prestados aos usuários e melhoria da qualidade de vida.

b) A capacitação tecnológica de forma constante e atualizada se faz necessária para uma boa prestação de serviços à sociedade.

c) A interação com a sociedade através de programas que estabeleçam transparência nos serviços prestados por meio de formas interativas dos serviços realizados, disponibilizando dados para controle social.

Para tanto, se torna importante analisar o sistema de gestão sempre em maior amplitude geográfica, para que uma maior compreensão dos diversos fatores que poderão intervir na solução do tratamento de resíduos se dê de forma sustentável. Isto se afirma ao se evidenciar que uma alternativa de solução não pode ser replicada para outra região sem o conhecimento de todos os fatores que poderão afetar estas alternativas.

Os sistemas de gestão de tratamento de resíduos irão avançar para sistemas cada vez mais onerosos, pois a sociedade irá cobrar cada vez mais soluções que priorizem os fatores ambientais, o que certamente irá tornar os custos com os sistemas de gestão de tratamento de resíduos economicamente mais caros, tendo como fator preponderante o pagamento destes custos pela sociedade, com algum subsídio governamental, em alguns casos. Uma constatação real deste fato é o caso da reciclagem, que faz desta tecnologia de tratamento de resíduos uma tendência mundial, exigida pela sociedade e que será cada vez mais utilizado em nível de planejamentos de governos e de implementação, de cumprimentos de metas, se tornando quase sempre cada vez mais onerosos sua implementação e sua manutenção e controle.

Neste sentido, o que pode ser verdade, é que precisamos de outro tipo de cooperação e governança local, regional e global que proporcionará um quadro diferente para o atual quadro do tratamento dos resíduos no Brasil em suas diversas regiões geográficas, centradas e combinadas com uma governança ambientalmente forte, socialmente justa e economicamente suportável, consolidando de forma sustentável estes sistemas de tratamento de resíduos nestas regiões.

## 6.2 CONCLUSÕES

Conclui-se que através dos modelos de apoio a decisão utilizados na pesquisa é possível estabelecer arranjos tecnológicos para o tratamento dos resíduos em cada região do Brasil.

O modelo AHP se mostrou eficiente na definição das alternativas tecnológicas, mesmo utilizando-se de dados qualitativos, e o modelo PROMETHEE II(V) se mostrou mais eficiente na definição das alternativas tecnológicas, pois utiliza-se de dados qualitativos e quantitativos, o que possibilitou uma maior compreensão dos estudos aqui propostos.

Conclui-se ainda que os modelos de apoio a decisão aqui utilizados, quando estabelecidos escalas hierárquicas adequadas, podem atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos e seu Plano Nacional de Resíduos de forma eficiente, considerando em sua aplicação arranjos tecnológicos com soluções isoladas ou arranjos tecnológicos em forma consorciada.

## 6.3. SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Como recomendações para novas pesquisas a serem feitas para complementar ou mesmo reforçar os resultados alcançados neste estudo, sugerem-se:

a) O modelo desenvolvido pode ser aprimorado na medida em que são realizadas outras aplicações similares ou utilizando-se de outras hierarquias. Quanto à formulação dos critérios, pode-se focar no estudo de outros indicadores, ou seja, examinar quais possuem melhor representatividade para a hierarquia de tecnologias para o tratamento de resíduos.

b) As formas de abordagem aos convidados ou decisores podem ser planejadas de modo diferente. A aplicação numérica pode considerar a preferência coletiva para o desenvolvimento dos critérios e subcritérios e incluir outras formas de abordagem de decisão de grupos.

c) Outra sugestão para futuros trabalhos é investigar minuciosamente a decisão em grupo com múltiplos critérios. Por exemplo, é possível associar técnicas como “*brainstorming*” ou Delphi para a formulação dos critérios, ou então, examinar outros modelos matemáticos que realizem a agregação de preferências, caso não haja consenso entre os decisores. Perspectivas diferentes podem contribuir para que o modelo de decisão seja mais transparente e tenha maior aceitabilidade.

d) Para o método de apoio a decisão PROMETHEE II(V), utilizar outras funções de preferências para os parâmetros definidos, podendo, assim, priorizar, mais ou menos os critérios, as ações e cenários definidos.

e) Utilizar os modelos de apoio a decisão PROMETHEE e Electre e desenvolver modelo hierárquico que seja compatível para uso dos métodos.

## 6.4 VISÃO DE FUTURO

Para uma análise integrada e complementar se faz necessário uma visão quanto às políticas públicas e a institucionalização das tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos, onde observa-se que:

a) A ausência de uma agência federal reguladora ou instituto que implemente a PNRS e seu Plano Nacional de Resíduos pode ser um grande problema que, provavelmente se apresentará nos próximos anos, aliado à ausência de fundos estruturantes para a questão da gestão de resíduos sólidos e em especial para o tratamento dos resíduos sólidos.

b) A importância de se instituir, por parte do governo central, os principais arranjos institucionais para novas tecnologias de tratamento de resíduos, se sistemas totalmente públicos, se totalmente privados ou se sistemas mistos, onde o maior acionista deve ser o setor público, mas com participação do setor privado, nos parece ser este o melhor arranjo institucional. Para tanto, o arranjo institucional deve ser o que apresente equilíbrio, onde o público e o privado tenham equilíbrio em seus aspectos de gestão. Além disso, é imprescindível a presença do Estado como protagonista do processo de regulação, licenciamento, implantação, monitoramento e controle dos sistemas de gestão e tratamento de resíduos sólidos a serem implantados, dotando-se os órgãos responsáveis de instrumentos e recursos adequados para estas atividades. É preciso ser estabelecida uma maior articulação com outras políticas, principalmente no que se refere a sistemas de incentivos fiscais, com clara definição de sistemas de multas e de punição para as metas não atingidas no PNR.

c) Por fim, é mais que necessário a implementação de instrumentos de controle e cobrança para o aproveitamento dos resíduos, considerando um aumento da coleta diferenciada dos RSU e, mais ainda, que a lacuna jurídica atual seja preenchida quanto a legalidade da forma de cobrança dos serviços de limpeza urbana e tratamento de resíduos,

pela adoção de taxas ou tarifas, de forma que fortaleçam a sustentação financeira dos sistemas a serem implementados com ou sem subsídio governamental.

d) A ausência de política pública que garanta que as experiências que apresentaram resultados técnico, econômicos e sociais positivos não possam sofrer ações de descontinuidade, fato bem comum no Brasil, a cada dois anos, com mudanças de gestores públicos.

e) Nestes sistemas, um ponto fundamental é a transferência de tecnologias por parte das empresas que as detêm, transferindo ao sistema gestor todo conhecimento sobre a implantação, operação e manutenção e monitoramento das tecnologias utilizadas.

f) A mudança cultural de assimilação de novos paradigmas e das grandes mudanças acontecidas localmente e que têm repercussões globais, estabelecendo as bases para o início das transformações na governança global, tempo de grande transformações, que vêm a fortalecer o desenvolvimento sustentável das regiões é um aspecto a ser entendido para obtenção de soluções integradas e sustentáveis, pois em plena era de globalização, os problemas da humanidade deslocaram-se para o plano global, e com esta evolução, as organizações sociais ficaram mais complexas, exigindo das nações-estado desenvolverem um sistema de governança, com ampliação da interdependência para além das suas fronteiras.

Neste sentido, para o encaminhamento de questões que afetam os interesses de todos, como é o problema ambiental e os problemas relativos a gestão do tratamento dos RSU, exigirá, portanto, uma forma de governança mais democrática, centrada em regras mais transparentes e representativas, capazes de construir consensos globais em torno de desafios que certamente são planetários.

Dentre os temas que exigem cada vez mais atenção do mundo, há, em particular, a mudança do clima, o desenvolvimento sustentável, as fontes novas e renováveis de energia, o combate à fome e à exclusão social, os resíduos gerados e o financiamento para o desenvolvimento destes sistemas.

Em especial, o problema ambiental no mundo tem levado à busca de novas soluções e à ideia de energias renováveis, como a energia que vem dos resíduos, que se apresenta como um dos caminhos que podem levar a várias saídas.

No entanto, a substituição dos derivados do petróleo por biocombustíveis é apenas parte de uma estratégia energética na qual entende-se que a eficiência e a conservação devem desempenhar um papel preponderante.

A questão é bem mais ampla, pois se trata da busca de modelos econômicos novos e sustentáveis, em que a comunidade internacional começa a reconhecer a necessidade de uma reformulação radical do pensamento sobre a geração de energia, com o uso de fontes consideradas limpas, renováveis e alternativas em grau cada vez maior e sobre a geração de seus resíduos em escala crescente.

Frente a este desafio, surge a governança global, numa dimensão que contempla a questão ambiental, como proposta de gestão, dispondo todos os atores (governos, organizações não-governamentais, empresas privadas, universidades etc) numa condição de que precisam refletir e agir em cooperação em torno de objetivos comuns, permitindo elevar a questão ambiental ao patamar de referência e essencial para o encaminhamento dos problemas e para a tomada de decisão quanto às escolhas das opções de desenvolvimento.

Talvez o maior desafio a ser enfrentado pela governança global, no trato dos problemas ambientais e em especial a gestão e o tratamento dos RSU, é de como poderá contribuir para minimizar e equacionar os conflitos decorrentes de mudanças substanciais nos modos de vida e de produção mundiais, como, por exemplo, uma possível transição da civilização do petróleo para uma nova civilização da energia limpa e “da economia verde”, que se apresenta como alternativa para responder a parcela substantiva da demanda futura de energia, e que especialmente se constitui em proposta de inovação estrutural nos campos das atividades sócio-econômico-ambientais, com resultados ainda preliminares, mas fortemente indicativos de que merece atenção de todos, por constituir-se em elemento catalisador de ganhos para uns e de perdas para outros. Assim, o paradoxo de uma economia global unificada e sociedades divididas nacionalmente e regionalmente representa a maior ameaça para nosso planeta.

Então, a menos que um novo paradigma de cooperação e governança global sejam adotados, este fato irá permanecer em nível mundial e também em nível nacional e regional, trazendo, certamente, a insustentabilidade dos sistemas propostos.

Obviamente, tanto o aumento da população e o crescimento do PIB local/regional/global irão conduzir um aumento do volume de resíduos, que deverá ser em grande quantidade e mais ainda, em grande diversidade. A OCDE – Organização para Cooperação Econômica do Desenvolvimento estima que um aumento de 1% na renda nacional cria um aumento de 0,69% na quantidade de resíduos sólidos urbanos.

Sabe-se que quanto maior o PIB *per capita*, os sistemas de resíduos mais avançadas e eficazes de gestão de tecnologias são planejados e instalados nessas localidades. Também há de se considerar o IDH que indica ou não o sucesso desta tecnologia, já que o seu componente referente a educação é fundamental quanto ao conhecimento e aceitação pela comunidade da tecnologia .

Portanto, este crescimento do PIB *per capita* global vai certamente multiplicar aterros sanitários modernos, sistemas de coletas diferenciadas eficientes, TMB e instalações WTE em todo o mundo. Uma grande quantidade de infraestruturas estão disponíveis e em desenvolvimento em diversas regiões, e os avanços e inovações tecnológicas para o tratamento de resíduos podem ser utilizados, no entanto, estes avanços tecnológicos serão cada vez mais globalizados, necessitando de um fator fundamental para o sucesso de sua implantação: a transferência de tecnologias. Sem esta transferência, os sistemas implantados podem sofrer grandes problemas de ordem operacionais, econômicos e políticos. Estes avanços certamente chegarão a outros continentes e países com desenvolvimento, como é o caso do Brasil. No entanto, este fato deverá acontecer da seguinte forma:

Estas tecnologias de tratamento de resíduos mais avançadas se tornarão disponíveis para as regiões mais desenvolvidas e mais ricas, de maior PIB regional e maior IDH. Outro fato é que nem todas as regiões geográficas no Brasil se utilizarão destas novas tecnologias. O que certamente acontecerá é que esta distância entre as novas tecnologias de tratamento e as existentes na atualidade destas regiões, predominando os lixões, avancem para atendimento a PNRS para aterros sanitários com soluções simplificadas em muitos poucos casos, e soluções consorciadas precedidas pela reciclagem ou alguma outra forma de pré-tratamento, para outros casos. Portanto, uma coisa é certa, que os sistemas de gestão não podem saltar de lixões para sistemas de alta tecnologia, sem antes atenderem aos aspectos acima referidos.

## PENSAMENTO

Penso que, nessa forma alternativa de pensar, planejar, conceber, implementar e gerir sistemas de tratamento de resíduos, diferenciada do que se pratica hoje, pode estar a saída para alguns problemas, pode ser o elo perdido de nossas relações anteriores com o mundo moderno da tecnologia de tratamento de resíduos, pode ser o escape para nossas incompreensões. Mas, pode ser também, mais um abismo que estamos nos inserindo. É preciso sabedoria, conhecimento, decisões embasadas em critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais com atitudes proativas. É preciso buscar soluções que se aproximem da verdade e realidade dos municípios e regiões. É preciso insistir nesta verdade, observando-se que esta é um processo. Não há certezas, apenas dúvidas, pois a certeza é um processo que evolui e a dúvida gera novas certezas, novas pesquisas, novos conhecimentos. Ou como declamava o poeta:

“De tudo ficaram três coisas:

A certeza de que estava sempre começando,

a certeza de que era preciso continuar

e a certeza de que seria interrompido antes de terminar.

Fazer da interrupção um caminho novo,

fazer da queda um passo de dança

do medo, uma escada,

do sonho, uma ponte,

da procura, um encontro”.

(Fernando Tavares Sabino)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE**. *Gestão & Produção*, v. 9, n. 2, p. 201-214, Ago. 2002.

ALMEIDA, A. T. **Conhecimento e Uso de Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. [S.l.]: Editora Universitária, 2009.

AL-RASHDAN, D. et al. **Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan. Theory and Methodology**. *European Journal of Operational Research*, v. 118, p. 30-45, 1999.

AL-RASHDAN, D.; AL-KLOUB, B.; DEAN, A.; AL-SHEMMERI, T. **Environmental impact assessment and ranking the environmental projects in Jordan**. *European Journal of Operational Research*, v. 118, p. 30-45, 1999.

ALLSOPP, M., Costner, P. & Johnston, P. **Incineration and human health, State of knowledge of the impacts of waste incinerators on human health**, ISBN: 90-73361-69,9, **Greenpeace Research Laboratories**, University of Exeter, UK, 2001.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 3ª Edição, 2008. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689).

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatórios Anuais da Agencia nacional de Energia Elétrica**, 2011.

ARAÚJO, Afrânio Galdino de; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE**. *Gestão e Produção* vol.16 n°4. São Carlos, 2009.

ARCADIS. Relatório final. **ASSESSMENT OF THE OPTIONS TO IMPROVE THE MANAGEMENT OF BIO-WASTE IN THE EUROPEAN UNION. ANNEX E: Approach to estimating costs. Version A: 30-11-2009**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2010**. 199 p. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2010**. 184 p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 10004: **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 8419: **Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 13.591: Critérios para terminologias da compostagem - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 13.896: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT - NBR 15.256: Critérios para elaboração de Projetos de aterros sanitários de pequeno porte -Procedimento. Rio de Janeiro, 2010.

AZEVEDO, L. G. T.; FONTANE, D. G.; LABADE, J. W. ; PORTO, R. L. L. **Integration of water quantity and quality in strategic river basin planning.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 126, n. 2, p. 85-97, 2000.

BANA E COSTA, C. **Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de decisão.** Investigação Operacional, v. 8, n. 1, p. 117-139, 1988.

BANA e COSTA, C.A. **Processo de apoio à decisão: Problemáticas, Actores e acções,** agosto, 1995.

BANA e COSTA, C.A. **Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão.** Revista de Pesquisa Operacional, vol. 13, nº1, junho 1993.

BARBOSA, Christianne Torres de Paiva ; ALCÂNTARA, Perboyre Barbosa ; RAMOS, José Beldson Elias ; **SOBRAL, M. C. . Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos nos Municípios Pernambucano Lindeiros ao Rio São Francisco.** In: X Congresso Nordeste de Ecologia, Recife, 2003.

BASTOS, Liliane Neves Vieira; ALMEIDA, Adiel Teixeira. **Utilização do método promethee II na análise das propostas de preços em um processo de licitação.** XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, 23 a 25 de outubro de 2002.

BC. Banco Central do Brasil. **Estudo sobre as desigualdades regionais no Brasil.** 2010.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach.** Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001.

BELTON, V.; STEWART, J. **Multiple criteria decision analysis – an integrated approach.** London: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BERNARDINI, A.; HAYEZ, Q; MACHARIS, C.; DE SMET, Y. **Multicriteria analysis of policy options scenarios to reduce the aviation climate impact: an application of the City,** 1998.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L.; BARRAUD, S.; LE GAUFFRE, P.; BAER, E. **Infiltration in sewer systems: multi-criteria comparison of investment/rehabilitation strategies.** Water Practice & Technology, v. 2, p. 1-8, 2007.

BEYNON, Malcolm J; WELLS, Peter. **The lean improvement of the chemical emissions of motor vehicles based on preference ranking: A PROMETHEE uncertainty analysis.** OMEGA - International Journal of Management Science, 36(3), 384-394, 2008.

BOLLOJU, N. **Aggregation of analytic hierarchy process models based on similarities in decision makers preferences.** European Journal of Operational Research, v. 128, n. 3, p. 499-508, 2001.

BOUYSSOU, D. **Ranking methods based on valued preference relations: a characterization of the net flow method.** European Journal of Operational Research, v. 60, p. 61-67, 1992.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T.; PIRLOT, M.; PERNY, P.; TSOUKIÀS, A.; VINCKE, P. **Evaluation and decision models: a critical perspective.** Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.

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

BRANS, J.P.; VINCKE, Ph. **Note — A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making).** Management Science 1985 31, 647-656. 1985.

BRANS, J.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. **How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method.** European Journal of Operational Research, v. 24, p. 228-238, 1986.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **PROMETHEE V:MCDM problems with segmentation constraints.** *INFOR*, v. 30, n. 2, p. 85-86, 1992.

BRANS, J.; MARESCHAL, B. **The PROMCALC & GAIA decision support system for multicriteria decision aid.** *Decision Support Systems*, v. 12, p. 297-310, 1994.

BRANS, J. P.; MACHARIS, C.; KUNSCH, P. L.; CHEVALIER, A.; SCHWANINGER, M. **Combining multicriteria decision aid and system dynamics for the control of socio-economic processes. An iterative realtime procedure.** *European Journal of Operational Research*, v. 109, Issue 2, p. 428-441, 1 sep. 1998.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **PROMETHEE – GAIA: une méthodologie d'aide à La décision em présence de critères multiples.** Bruxelles: Éditions de L'Université de Bruxelles, 2002.

BRANS, J.; MARESCHAL, B. **The PROMETHEE methods.** In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys.** New York: Springer, 2005.

BRASIL. *Lei nº 12.305/2010*, de 02 de agosto de 2010, instituindo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

BRASIL. *Decreto nº 7.404/2010*, de 23 de dezembro de 2010, regulamentando a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cria Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para Implantação dos Sistemas de Logística Reversa.

BRASIL. *Lei nº 11.445/2007*, de 05 de janeiro de 2007, instituindo a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB).

BRASIL. *Decreto nº 7.217/2010*, de 21 de junho de 2010, regulamentando a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB).

BRASIL. *Lei nº 11.107/2005*, de 06 de abril de 2005, dispõe sobre normas gerais de contratação dos consórcios públicos.

BRASIL. *Decreto nº 6.017/2007*, de 17 de janeiro de 2007, regulamentando a Lei 11.107 que dispõe sobre a contratação de consórcios públicos.

BRASIL. Resolução CONAMA 01, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre procedimentos relativos ao Estudo de Impacto Ambiental**. Publicada no Diário Oficial da União, de 17/02/1986, p. 2548-2549.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 316/ 2002, de 29 de outubro de 2002, dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

BRASIL. Lei nº 11.445, 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF.

BRITO, A. J.; DE ALMEIDA, A. T. **Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines**. Reliability Engineering System and Safety, v. 94, p. 187-198, 2009.

BRUNO, Mattheeuws, **State of the art of anaerobic digestion of municipal solid waste in europe**, copenhagen, 2012..

BUBENKO, J.; PERSSON, A.; STIRNA, J. **User guide of the knowledge management approach using enterprise knowledge patterns**. Sweden. 2001.

CAMPELLO DE SOUZA, F. M. **Decisões racionais em situações de incerteza**. Recife: Universitária da UFPE, 2002.

CAMPOS, J. de O. (Org.); BRAGA, R. (Org.); CARVALHO, P. F. (Org.). **Manejo de resíduos: pressuposto para a gestão ambiental**. Rio Claro: IGCE, UNESP, 2002.

CAMPOS, J. N. B. **Participação do público no processo decisório: Açude Castanhão, um estudo de caso**. *Revista de Administração Pública*, v. 29, n. 3, p. 157-171, 1995.

CAMPOS, V. R.; ALMEIDA, A. T. **Modelo multicritério de decisão para localização de Nova Jaguaribara com VIP Analysis**. *Pesquisa Operacional*, v. 26, n. 1, p. 91-107, 2006.

CAMPOS, Vanessa Ribeiro. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. Tese (doutorado). São Carlos: EESC/USP, 2011.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 300 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

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

CHIRICO, A. ; AUDISIO, G.. **Thermal degradation behaviour of isotactic polypropylene blended with lignin**, 2000.

COELHO, Hosmanny Mauro Goulart. **Modelo para avaliação e apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos de indústrias**. Tese(doutorado). Belo Horizonte: UFMG/Escola de Engenharia, 2011.

CONSTROESTE. Constroeste Ambiental. Disponível em: <http://www.constroeste.com.br/constroeste/ambiental/>. 2012.

COOPERS & LYBRAND, **Cost-benefit analysis of the different municipal solid waste management systems: Objectives and instruments for the year 2000, Final report for the European Commission**. DG XI, March, 1996

COSTA, Silvano Silvério da et al. **Indicadores epidemiológicos aplicáveis a estudos sobre a associação entre saneamento e saúde de base municipal**. ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p.118-127, abr./jun. 2005.

COSTA NORTE. Plano Municipal de Gestão de Integrada Resíduos Sólidos de Bertioxa. Disponível em: <http://www.costanorte.com.br/blog/editorias/cidades/bertioxa/plano-de-residuos-solidos-e-detalhado-em-bertioxa>. 2011.

COUTINHO, Alex Assis. **Experiência com aproveitamento dos resíduos do corte de grama. II SIGRA - Simpósio sobre gramados - "Manejo de gramas na produção e em Gramados Formados"**. Botucatu: UNESP, 2004.

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

DEFRA's. Mitchell, ALEX. **Gestão de resíduos em Mega cidades – compartilhando boas praticas e explorando inovações**, 2007.

DELBECQ, A. L.; VAN, A. H. **A group process model for problem Identification and program planning**. The Journal of Applied Behavioral Science, v. 7, n. 4, p. 466-492, 1971.

DEMAJOROVIC, Jacques. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos as nova prioridades**. Artigo da Revista de Administração de Empresas v. 35, n.3, p. 88-93, São Paulo, mai./jun. 1995.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Multicriteria decision aid classification methods**.

Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

DRUCKER, P. F. **A decisão eficaz. In: HARVARD BUSINESS REVIEW.** Tomada de decisão. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

DDS – Decision Support Systems Glossary, 2006.

DYER, R. F.; FORMAN, E. H. **Group decision support with the Analytic Hierarchy Process.** Decision Support Systems, v. 8, p. 99-124, 1992.

EIGENHEER, Emilio Maciel: **Lixo: A limpeza Urbana através dos tempos**, 2001.

ELETRONORTE. Centrais Hidrelétricas do Norte do Brasil S/A. Disponível em: <http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/>.

EPA. Environmental Protection Agency. History of Waste Management. 2005.

EPA. Municipal Solid Waste in United States. Facts and Figures. 2009. Disponível em: <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/pubs/msw2009rpt.pdf>.

EPA. Environmental Protection Agency. Wastes. Non Hazardous Waste. Municipal Solid Waste. 2010. Disponível em: <http://www.epa.gov/wastes/nonhaz/municipal/index.htm>.

EXPERT CHOICE, based Expert software. **Operational Research Society, USA**, version 11.1.3338.2822, 2011.

FERNANDES, C. H. **Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social – um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão – “MACBETH”.** Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, 1996.

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

FERNANDEZ, A.; WENDT, J. O. L.; WOLSKI, N.; HEIN, K. R. G.; WANG, S.; WITTEN, M. L. **Inhalation health effects of fine particles from the co-combustion of coal and refuse derived fuel.** *Chemosphere* 2003, 51, 1129-1137.

FREITAS, H.M.R; BECKER, J.L.; KLADIS, C.M.; HOPPEN, N. **Informação e decisão: sistemas de apoio e seu impacto.** Porto Alegre: Ortiz, 1997.

GANDOLLA, M; VOLMEIR, T. **Tratamento térmico de resíduos urbanos.** Lousanne, 2011.

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

GIDARAKOS, E., GIANNIS, A. **Chelate agents enhanced electrokinetic remediation for removal cadmium and zinc by conditioning catholyte pH.** *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 172, p. 295–312, 2006.

GIULIANO, G. **Multicriteria Method for Transportation Investment Planning**. *Transportation Research*, v. 19, n. 1, p. 29-41, 1985.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. **Decision analysis for management judgment**. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson, 2007.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. D. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério**. São Paulo: Thomson, 2004.

GOMES, Luciana Paulo; MARTINS, Flávia Burmeister. **Projeto, Implantação e Operação de Aterros Sustentáveis de Resíduos Sólidos Urbanos para Municípios de Pequeno Porte**. In: BORGES CASTILHOS Jr., A (Coord.) *Resíduos Sólidos urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte*. Rio de Janeiro/Florianópolis: ABES/PROSAB3, 2003.

GOMES, L. F. M.; MOREIRA, A. M. M. (1998). “**Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério**”. *RECITEC*, Recife, v. 2, n. 2, pp. 117-139.

GONÇALVES, R. **Proposta de um instrumento de avaliação para subsidiar processos de licenciamento ambiental de centrais de triagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares**. 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

GOUMAS, M.; LYGEROU, V. **An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: ranking of alternative energy exploitation projects**. *European Journal of Operational Research*, v. 123, p. 606-613, 2000.

GRADVOHL, A.; **Reciclando o Lixo**, Verdes Mares, Fortaleza, 2001.

GRANDZOL, J.R. **Improving the Faculty Selection Process in Higher Education: A Case for the Analytic Hierarchy Process**, *IR Applications*, 6(24), 2005.

GRIMBERG, E. (Org.);BLAUTH, P. (Org.). **Coleta Seletiva: Reciclando materiais, reciclando valores**. São Paulo: UNICEF/Polis; 1998.

HAJKOWICZ, S. A. **Supporting multi-stakeholder environmental decisions**. *Journal of Environmental Management*, v. 88, p. 607-614, 2008.

HALOUANI, N.; CHABCHOUB, H.; MARTEL, J. M. **PROMETHEE-MD-2T method for project selection**. *European Journal of Operational Research*, v. 195, p. 841-849, 2009.

HELLER, L.; CASTRO, J. E. **Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 284-295, 2007.

HERMANS, C. et al. **Collaborative environmental planning in river management: an application of multicriteria decision analysis in the White River Watershed in Vermont**. Journal of Environmental Management, v. 84, p. 534-546, 2007.

HOKKANEN, J.; SALMINEN, P. **ELECTRE III and IV decision aids in an environmental problem**. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, v. 6, p. 215-226, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2010**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, v. 7, 2010.

IPEA. Instituto de Política Econômica Aplicada. (2010). Comunicados do IPEA. Comunicado nº 60 - Desigualdade da renda no território brasileiro. Brasil, 17p.

ISLEI, G.; LOCKEIT, G. Group decision making: suppositions and practice. **Socio-Economic Planning**, v. 25, n. 1, p. 67-81, 1991.

JUCÁ, José Fernando Thomé ; MARIANO, M. O. H. ; CAVALCANTI, Ronaldo Câmara . **Estudos para uma Proposta de Gestão de Resíduos Sólidos no Estado de Pernambuco - Subsídios para Elaboração de uma Política Pública**. Revista do Ministério Público de Pernambuco, Recife, 2000.

JUCÁ, José Fernando Thomé. **Destino Final de los Residuos Sólidos en Brasil: Situación Actual e Perspectivas**. Resíduos - revista técnica, Espanha, 2003.

JUCÁ, J.F.T, **Disposição Final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil**, REGEO, 2003.

JUCÁ, J.F.T, **Estudos para uma proposta de gestão de resíduos Sólidos no estado de Pernambuco - subsídios para Elaboração de uma política pública**, XVIII AIDIS, 2008.

JUCÁ, J.F.T, **Curso sobre Novas Alternativas Tecnológicas para Tratamento de Resíduos Sólidos**, ABES,CE, 2011.

JUCÁ, J.F.T e MACIEL, Felipe Jucá, , **Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil**, IWWG , 2011.

JOHNKE, A e GAMER, **Report with basic informations for a BREF – Waste Incinerations Plants**, 2001.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with multiple objectives: preferences and value tradeoffs**. New York: John Wiley, 1976.

KIEHL, E. J.; **Metodologia da Compostagem e Ação Fertilizante do Composto de Resíduos Domiciliares**, ESALQ-USP, Piracicaba, 1979.

KIEHL, E. J.; **Fertilizantes Orgânicos**, Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres" Ltda., 492 p., 1985.

KIEHL, E. J.; **Manual de Compostagem**, Piracicaba: Kiehl, 1998.

KIM, S. H.; AHN, B. S. Interactive group decision making procedure under incomplete information. **European Journal of Operational Research**, v. 116, p. 498-507, 1999.

KINGSTON UPON HULL CITY COUNCIL AND EAST RIDING OF YORKSHIRE COUNCIL

[http://www.eastriding.gov.uk/environment/pdf/waste\\_treatment\\_technologies.pdf](http://www.eastriding.gov.uk/environment/pdf/waste_treatment_technologies.pdf)

KINNAMAM, T.C & FULLERTON, D, **The Economics of Residential Solid Waste Management**, NBER Working Paper Series, 1999.

KOBYASHI, N.; ITAYA, Y.; PIAO, G.; MORI, S.; KONDO, M.; HAMAI, M.; YAMAGUCHI, M. **The behaviour of flue gas from RDF combustion in a fluidized bed.** *Power Technol.* **2005**, *151*, 87-95.

LANGE, L.C., SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A. **Aterro Sustentável: Um estudo para a Cidade de Catas Altas**, MG. In: BORGES CASTILHOS Jr., A (Coord.) **Resíduos Sólidos urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Rio de Janeiro/Florianópolis: ABES/PROSAB3, 2003, p.143-197.

LANZA, Vera Christina Vaz et al. **Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos**. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: [http://www.feam.br/images/stories/Flavia/areas\\_degradadas.pdf](http://www.feam.br/images/stories/Flavia/areas_degradadas.pdf).

LEYVA-LÓPEZ, J. C.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, E. **A new method for group decisionsupport based on ELECTRE III methodology.** *European Journal of Operational Research*, v. 148, p. 14-27, 2003.

LIMA, J.D. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**, 2001.

LIMA, J.D. **Sistemas Integrados de Destinação Final de RSU**, 2005.

LIMA, J.D. Visita técnica a MVV Invelt, Basel, Alemanha, 2012.

LOCAL AUTHORITY FUNDING. Disponível em: <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/localauth/funding/pfi/index.htm>.

LOOTSMA, F. A. **Multi-Criteria decision analysis via ratio and difference judgement**. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1999.

LUCENA, L. F. L.; **A Análise Multicriterial na Avaliação de Impactos Ambientais**, 2004.

LUCENA, L. F. L. **Análise do Custo-Benefício da Reciclagem dos Resíduos Sólidos Urbanos no Recife e Jaboatão dos Guararapes**. Recife: UFPE, 2004.

MACEDO, Marcelo Gomes Corrêa. **Indicadores de sustentabilidade ambiental na indústria da mineração: avaliação pelo método Promethee II**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc, 2008.

MACHARIS, C.; BRANS, J.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE procedure. **Decision Support Systems**, v. 7, p. 283-307, 1998.

MANNINEN, H.; PELTOLA, K.; RUUSKANEN, J. **Co-combustion of refuse-derived and packaging-derived fuels (RDF and PDF) with conventional fuels.** *Waste Manage. Res.* **1997**, *15*, 137-147. (12) Kouvo, P.; Sandelin, K.; Backman, R. Trace metal partitioning in the co-firing of RDF, sawdust and peat. *IFRF Combust. J.* **2002**, Article number 200205.

MARIANO, M.O, **Política de gestão integrada de resíduos sólidos para o estado de Pernambuco**, XXI congresso abes, 2001.

MAVROPOULOS, A. **Review Of Solid Waste Mechanical Biological Treatment (Mbt) Technologies**, 2012.

MOKESA. Relatório anual de atividades, 2011.

MOKRZYCKI, E.; ULIASZ-BOCHEN'CZYK. **Alternative fuels for the cement industry.** *Appl. Energy* **2003**, *74*, 95-100.

MONTEIRO, José Henrique Penido et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. **Group decision-making for leakage management strategy of water network.** *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, p. 441-459, 2007.

MUTIKANGA, H. E.; SHARM, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. **Multi-criteria decision analysis: a strategic planning tool for water loss management.** *Water Resources Management*, 2011.

NIESSEN, Walter R. **Combustion and incineration processes.** New York: Marcel Dekker Inc., 2002.

NÓBREGA, Cláudia Coutinho. **Estudo e avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras.** Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPB, 1991. 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Recursos Hídricos) Universidade Federal da Paraíba.

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

PEREIRA NETO, J. T., LELIS, M. de P. N. **A contaminação biológica na compostagem.** In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. João pessoa/ABES, 2001.

PEREIRA NETO, J. T. **Compostagem: fundamentos e métodos.** In: I SICOM - Simpósio sobre compostagem - "Ciência e Tecnologia", 2004 ago. 19-20; Botucatu (SP). Botucatu: UNESP; 2004. p.1-17.

PINHO, D. B.; VASCONCELLOS, M.A.S.D. **Manual de economia.** 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

PLANNING FOR WASTE MANAGEMENT FACILITIES – A RESEARCH STUDY. ODPM, 2004. Disponível em:

[http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm\\_planning/documents/page/odpm\\_plan\\_030747.pdf](http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_planning/documents/page/odpm_plan_030747.pdf)

PROMETHEE based **Visual Promethee software**. Operational Research Society, version Education - 0.99.99.1.12 , London, 2012.

PSOMOPOULOS, C.S. BOURKA, A. THEMELIS N.J. **Waste-to-Energy: A review of the status and benefits in USA**. Waste Management. vol 29, 1719-1724 p., 2009.

RABL, A., SPADARO, J. AND DESAIGUES, B., **Nouvelles réglementations pour les incinérateurs de déchets, une analyse coût-bénéfice**, *Environnement & Technique*, N°175, pp 17-20, Avril 1998

RABL, A., SPADARO, J. AND MCGAVRAN, P., D., **Effets sur la santé de la pollution atmosphérique due aux incinérateurs: une perspective**, Ecole des Mines de Paris, Novembre, 1997

RAO, M. S.; SINGH, S. P.; SODHA, M. S.; DUBEY, A. K.; SHYAM, M. **Stoichiometric, mass, energy and exergy balance analysis of countercurrent fixed-bed gasification of post-consumer residues**. *Biomass Bioenergy* **2004**, 27, 155-171.

REICHERT, Geraldo Antônio. **Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande/MT. Anais...Campo Grande: ABES, 2005.

RETTENBERGER, G. **The Production of RDF from Waste Using Biological Drying Systems**, Stutgard, Germany, 2007.

ROPER-LOWE, G.C.; SHARP, J.A. **The Analytic Hierarchy Process and its Application to an Information Technology Decision**. *Journal of Operational Research Society*, v. 41, n.1, p. 49-59, 1990.

ROY, B. **Méthologie Multicritère d'Aide à Décision**. Paris: Economica, 1985.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.

SAATY, T. L.; **The Analytic Hierarchy Process**, New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L.; **Método de Análise Hierárquica**, Makron Books do Brasil, São Paulo, 1991

SAATY, T. L.; **Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytic Hierarchy Process**, *European Journal of Operational Research*, 74, 426-447, 1994.

SAATY, T. **Teoria dos métodos Multicritérios**, 2001.

SALOMON, V. A. P. (2002). **Auxílio à Decisão para Adoção de Políticas de Compras**, *Revista Produto e Produção*; volume 6.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

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

SCHALCH, Valdir et al. **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 2002.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Laboratório de Ensino à Distância da UFSC. Florianópolis. 2001.

SILVA, N. V. S.; NASCIMENTO, R. Q.; SILVA, T. C. **Modelo de priorização de investimentos em saneamento básico utilizando a técnica de programação linear com base em indicadores ambientais**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 171-180, 2008.

SOARES, P. F. **Planejamento e projetos econômicos**. Fortaleza: FUNECE, 1999.

SOARES, S. R. (2003). **Análise multicritério com instrumento de gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis.

SOBRAL, M. C. ; MELO, A. C. ; ARAGÃO, J. M. S. . **Uma Abordagem Sócio-Ambiental do Sistema de Limpeza Urbana de Patos - Paraíba**. In: 21 Congresso Nacional de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001.

SOUZA, F. C. B. (1999). **Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis.

SOUZA, Marco Antonio Almeida de; NETTO, Oscar de Moraes Cordeiro; CARNEIRO, Gustavo Antonio; LOPES JUNIOR, Reynaldo Pena. **Análise tecnológica de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: resultados da avaliação multiobjetivo**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. João Pessoa, Brasil, 2001.

SUMMARY REPORT: **Evaluation of Alternative Solid Waste Processing Technologies**, EPA, USA, 2005.

TANGRI, N., 2003. **Waste Incineration: A Dying Technology** (14 July 2003). "Waste Incineration: A Dying Technology"

TEIXEIRA, J. C.; CARDOSO DE MELLO, M. C. **Modelo de Priorização de Investimentos em Saneamento para Municípios**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: ABES. 2008.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. **Priorização de investimentos em saneamento baseada em indicadores epidemiológico e financeiro**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 8, n. 3, p. 187-195, 2003.

THE ADDITIONAL PAPER TO THE STRATEGY UNIT, WASTE NOT WANT NOT STUDY, 'DELIVERING THE LANDFILL Directive: The Role of New & Emerging Technologies', Dr Stuart McLanaghan. Disponível em: <http://www.number10.gov.uk/files/pdf/technologies-landfill.pdf>

THE LOCAL GOVERNMENT PFI PROJECT SUPPORT GUIDE. Disponível em: [www.local.odpm.gov.uk/pfi/grantcond.pdf](http://www.local.odpm.gov.uk/pfi/grantcond.pdf)

TRATOLIXO, 2010, Visita técnica a unidade da tratolixo em Mafra, Portugal.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. History of waste management in USA. 2010.

VAN DER BORGH, B., FORGUES, C. AND BOUWMANS, I., **Recovery or disposal of Wastes in Combustion processes**, Report from the Delft University of Technology, March 1998

VEEKEN MILIEU CONSULT, **Transport of Combustible municipal solid waste (MSW) between EU Member States**, Final Report for Stichting Natuur en Milieu, The Netherlands, November 1997

VINCKE, P. **Analysis of multicriteria decision aid in Europe**. *European Journal of Operational Research*, v. 25, p. 160-168, 1986.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. New York: John Wiley, 1992.

VOLMEIR, T. **Design e planejamento de plantas de tratamento térmico de resíduos urbanos**. Berna, 2011.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgotos**. Belo Horizonte, 2001. Editora DESA -UFMG, 484 p.

WASTE ONLINE. **History of waste and recycling information sheet**. Disponível em: <http://wasteonline.brix.fatbeehive.com/resources/InformationSheets/HistoryofWaste.htm>, 2010.

WOILER, S.; MATHIAS, F. W. **Projetos: planejamento, elaboração e análise**. São Paulo: Atlas, 1996.

WOLSKI, N.; MAIER, J.; HEIN, K. R. G. **Trace metal partitioning from co-combustion of RDF and bituminous coal**. *IFRF Combust .J.* 2002, Article number 200203, p 21.

YOON, K.; HWANG, C.-L. **Multiple attribute decision making an introduction**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1995.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. **A preference disaggregation decision support system for financial classification problems**. *European Journal of Operational Research*, v. 130, p. 402-413, 2001.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

## APÊNDICE

PROJETO DE PESQUISA – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – CTG – TESE DE DOUTORADO – JOSE DANTAS DE LIMA

DENTRE OS CRITÉRIOS APRESENTADOS ABAIXO, NA COMPARAÇÃO PAR A PAR ENTRE ELES, QUAL VOCÊ CONSIDERA MAIS IMPORTANTE E COM QUE GRAU DE IMPORTÂNCIA:

**Exemplo:** Se considerar o critério ECONÔMICO, 5 (cinco) vezes mais importante que o AMBIENTAL, marque o quadro desta maneira, apenas clicando dentro do quadrado.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ECONÔMICO					

PORTANTO, PARA A SUA REGIÃO GEOGRÁFICA, EFETUE A ESCOLHA DO GRAU DE IMPORTÂNCIA ENTRE OS CRITÉRIOS ABAIXO, INDICANDO COM “X”

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	SOCIAL								
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	ECONÔMICO								
AMBIENTAL	<input type="checkbox"/>	POLÍTICO								
SOCIAL	<input type="checkbox"/>	ECONÔMICO								
SOCIAL	<input type="checkbox"/>	POLÍTICO								
ECONÔMICO	<input type="checkbox"/>	POLÍTICO								

DE ACORDO COM O CRITÉRIO **AMBIENTAL**, CLASSIFIQUE OS SUBCRITÉRIOS PAR A PAR, MARCANDO NOS ESPAÇOS O VALOR REFERENTE AO GRAU DE IMPORTÂNCIA QUE UM TEM A MAIS QUE O OUTRO:

**Exemplo:** Se considerar o segundo item 5 (cinco) vezes mais importante que o primeiro, marque o quadro desta maneira, apenas clicando dentro do quadrado.

	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Poluentes emitidos à atmosfera					
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	

Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Poluentes emitidos à atmosfera								
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Quantidade. de resíduo p/ disposição final								
	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Área útil p/ implant. da tecnol.								
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Uso de energia renovável								
Percentual de redução de volume de RSU pós- tratamento	<input type="checkbox"/>	Densidade demográfica								
Quantidade de resíduos para a disposição final	<input type="checkbox"/>	Poluentes emitidos à atmosfera								
Quantidade de resíduos para a disposição final	<input type="checkbox"/>	Área útil p/ implant. da tecnol.								
Quantidade de resíduos para a disposição final	<input type="checkbox"/>	Uso de energia renovável								
Quantidade de resíduos para a disposição final	<input type="checkbox"/>	Densidade demográfica								
Poluentes emitidos à atmosfera	<input type="checkbox"/>	Área útil p/ implant. da tecnol.								
Poluentes emitidos à atmosfera	<input type="checkbox"/>	Uso de energia renovável								
Poluentes emitidos à atmosfera	<input type="checkbox"/>	Densidade demográfica								
Área útil para imp. da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Uso de energia renovável								
Área útil para imp. da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Densidade demográfica								
Uso de energia renovável	<input type="checkbox"/>	Densidade demográfica								

DE ACORDO COM O CRITÉRIO **SOCIAL**, CLASSIFIQUE OS SUBCRITÉRIOS PAR A PAR, MARCANDO NOS ESPAÇOS O VALOR REFERENTE AO GRAU DE IMPORTÂNCIA QUE UM TEM A MAIS QUE O OUTRO:

**Exemplo:** Se considerar o primeiro item 5 (cinco) vezes mais importante que o segundo, marque o quadro desta maneira, apenas clicando dentro do quadrado.

	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	
Numero de empregos criados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PIB Local/regional					
	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	
Número de empregos criados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PIB local/regional
Número de empregos criados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IDH local/regional
IDH local/regional	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PIB local/regional

DE ACORDO COM O CRITÉRIO **ECONÔMICO**, CLASSIFIQUE OS SUBCRITÉRIOS PAR A PAR, MARCANDO NOS ESPAÇOS O VALOR REFERENTE AO GRAU DE IMPORTÂNCIA QUE UM TEM A MAIS QUE O OUTRO:

		9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Custo total de investimento da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Custo de manutenção e operação da tecnologia									
Custo total de investimento da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Tempo médio de implantação da tecnologia									
Custo total de investimento da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Custo de encerramento da tecnologia									
Custo total de investimento da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Custo de pós-monitoramento									
Custo de manutenção e operação	<input type="checkbox"/>	Tempo médio de implantação da tecnologia									
Custo de manutenção e operação	<input type="checkbox"/>	Custo de encerramento da tecnologia									
Custo de manutenção e operação	<input type="checkbox"/>	Tempo médio de implantação da tecnologia									
Custo de manutenção e operação	<input type="checkbox"/>	Custo de Pós-monitoramento da tecnologia									
Custo de encerramento da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Tempo médio de implantação da tecnologia									
Custo de encerramento da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Custo de Pós-monitoramento da tecnologia									
Tempo médio de implantação da tecnologia	<input type="checkbox"/>	Custo de Pós-monitoramento da tecnologia									

DE ACORDO COM O CRITÉRIO **POLÍTICO**, CLASSIFIQUE OS SUBCRITÉRIOS PAR A PAR, MARCANDO NOS ESPAÇOS O VALOR REFERENTE AO GRAU DE IMPORTÂNCIA QUE UM TEM A MAIS QUE O OUTRO:

		9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Retorno político	<input type="checkbox"/>	Aceitabilidade pública da tecnologia									
Retorno político	<input type="checkbox"/>	Adoção de solução consorciada									
Adoção de solução consorciada	<input type="checkbox"/>	Aceitabilidade pública da tecnologia									

ETAPA II

PARA RESPONDER ESTA ETAPA, CONSIDERAR OS PRECEITOS DA LEI 12.305/2010 – POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SEU PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, VIGENTES.

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

CONSIDERANDO QUE NA SUA REGIÃO GEOGRÁFICA HOJE EXISTAM AS SEGUINTE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS:

RECICLAGEM; COMPOSTAGEM, ATERRO SANITÁRIO E ATERRO SANITARIO COM GERAÇÃO DE ENERGIA.

CONSIDERE TAMBÉM QUE EXISTA A POSSIBILIDADE TÉCNICA DE TER AS SEGUINTE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS: DIGESTÃO ANAERÓBIA (D.A), INCINERAÇÃO COM GERAÇÃO DE ENERGIA/CALOR (W.T.E), TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO(M.B.T).

CASO NECESSÁRIO, VEJA O LINK [conceitosobrealternativastecnologicasdetratamentoderesiduos](#), QUE DEFINE CADA UMA DESTAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

NA SUA REGIÃO GEOGRÁFICA E DE ACORDO COM AS ATUAIS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES LISTADOS ACIMA, EM SUA OPINIÃO É POSSIVEL TER OS SEGUINTE ARRANJOS TECNOLÓGICOS: ESCOLHER APENAS 03(TRÊS) DESTES ARRANJOS TECNOLÓGICOS:

1 – RECICLAGEM + COMPOSTAGEM + ATERRO SANITÁRIO ( )      2 – RECICLAGEM + COMPOSTAGEM + ATERRO SANITÁRIO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ( )

3 - RECICLAGEM + DIGESTÃO ANAERÓBIA + ATERRO SANITÁRIO ( )      4 – RECICLAGEM + DIGESTÃO ANAERÓBIA + ATERRO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ( )

5 – RECICLAGEM + M.B.T + ATERRO SANITÁRIO ( )      6 - RECICLAGEM + M.B.T + ATERRO COM GERAÇÃO DE ENERGIA ( )

7 – RECICLAGEM + M.B.T + INCINERAÇÃO WTE + ATERRO SANITÁRIO ( )      8 – RECICLAGEM + D.A + INCINERACAO WTE + ATERRO COM GER. ENERGIA ( )

9 – RECICLAGEM + TRIAGEM + ATERRO SANITÁRIO ( )

EXISTE POSSIBILIDADE TECNICA DE TER OUTRO ARRANJO TECNOLÓGICO NA SUA REGIÃO GEOGRÁFICA ? CASO AFIRMATIVO, DESCREVER A SEGUIR:

---

ESTE ARRANJO DEVE SER CONSIDERADO ENTRE AS TRÊS ALTERNATIVAS ESCOLHIDAS. ( ) SIM ( ) NÃO

Comentários e sugestões:

JOSÉ DANTAS DE LIMA – PESQUISADOR GRS

### ANÁLISE QUALITATIVA - TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE RSU

PREZADO CONVIDADO, SOLICITO O PREENCHIMENTO DA PLANILHA, COM A UTILIZACAO DE VALORES EM % ( 0 A 100%) DENTRO DE CADA QUADRO, QUE RELACIONA O CRITERIO/SUBCRITERIO COM A TECNOLOGIA. AO FINAL DA PLANILHA TEM AS PERGUNTAS A SEREM RESPONDIDAS PARA CADA PREENCHIMENTO.

									TESE DANTAS
CRITÉRIOS/ SUBCRITERIOS	% REDUCAO COLUME RSU POS-TRAT	POLUENTES EMITIDOS A ATM	QTE RSU P/DF POS TRAT	USO DE ENERGIA RENOVAVEL	DENSIDADE DEMOGRÁFICA	AREA UTIL TECNOLOGIA	RETORNO POLÍTICO POLÍTICO	SOLUÇÃO O CONSORCIADA	ACEITAÇÃO PÚBLICA
TECNOLOGIAS	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	AMBIENTAL(%)	(%)	POLÍTICO (%)	POLÍTICO (%)
RECICLAGEM									
COMPOSTAGEM									
DIG. ANAERÓBIA									
TMB									
INCINERAÇÃO									
INCINERAÇÃO COM GE									
ATERRO SANITÁRIO GE									
ATERRO SANITÁRIO									

ORIENTAÇÕES :	% RED VOLUME - QUANTO A TECNOLOGIA REDUZ DE VOLUME PÓS TRATAMENTO ( 0 A 100%) COSNIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS	<b>TMB -TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO</b>				
CRITERIOS AMBIENTAIS	POLUENTES EMIT ATM - QUANTIDADE EMITIDA A ATM DA TECNOLOGIA ( 0 A 100%) CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS	INCINERAÇÃO - GERAÇÃO DE ENERGIA				
	QTE RSU PARA DEST. FINAL POS TRATAMENTO POR TECNOLOGIA ( 0 0 A 100%) CONSIDERANDO ASPECTOS AMBIENTAIS	INCINERAÇÃO GE - GERAÇÃO DE ENERGIA CHP - CICLO COMBINADO(ENERGIA+CALOR)				
	USO DE ENERGIA RENOVAVEL - A TECNOLOGIA PODE SER USADA ENERGIA RENOVÁVEL ( 0 A 100%) IDEM					
	DENSIDADE DEMOGRAFICA - A TECNOLOGIA PODE SER INSTALADA EM AREAS DENSAMENTE POVOADAS (0 A 100%) IDEM					
	AREA UTIL DA TECNOLOGIA - QUAL A ÁREA UTIL DA TECNOLOGIA EM HÁ (0 A 100%) IDEM					
CRITÉRIOS POLÍTICOS	ACEITABILIDADE PÚBLICA - A SOCIEDADE ACEITA FACILMENTE ESTA TECNOLOGIA ( 0 A 100%) SOLUCAO CONSORCIADA - A TECNOLOGIA FAVORECE A ADOCAO DE CONSORCIOS PUBLICOS ( 0 A 100%) RETORNO POLÍTICO - A TECNOLOGIA TRAS RETORNO POLÍTICO QUANDO BEM INSTALADA ( 0 A 100%)					

PID	Name	Overall	Goal: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU - REGIÃO NORTE	AMBIENTAL (L: .544)	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RSD PÓS-TRATAMENTO (L: .206)	POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: .211)	QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: .274)
		#Factors	4	6	8 Alts	8 Alts	8 Alts
0	Facilitator	,1167	,0859	,1973	,1013	,1347	,1004

PID	USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: .067)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: .200)	ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: .041)	SOCIAL (L: .311)	NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: .731)	PIB LOCAL/REGIONAL (L: .188)	IDH LOCAL/REGIONAL (L: .081)	ECONÔMICO (L: .097)	CUSTO TOTAL DE INVESTIMENTO DA TECNOLOGIA (L: .409)
	8 Alts	8 Alts	8 Alts	3	8 Alts	8 Alts	8 Alts	5	8 Alts
0	,1456	,1547	,1388	,0618	,0932	,0720	,0983	,0366	,0980

PID	CUSTO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO (L: .392)	TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: .089)	CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: .058)	CUSTO DE PÓS-MONITORAMENTO (L: .051)	POLÍTICO (L: .048)	RETORNO POLÍTICO (L: .059)	ACEITABILIDADE DA TECNOLOGIA (L: .490)	ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIADA (L: .451)
	8 Alts	8 Alts	8 Alts	8 Alts	3	8 Alts	8 Alts	8 Alts
0	,1047	,1045	,1142	,0993	,0067	,0952	,1492	,0758

Figura AP.0.1 – Análise de sensibilidade - Índices de inconsistência - Região Norte

PID	Name	USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: .132)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: .136)	ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: .103)	SOCIAL (L: .232)	NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: .600)	PIB LOCAL/REGIONAL (L: .200)	IDH LOCAL/REGIONAL (L: .200)	ECONÔMICO (L: .410)	CUSTO TOTAL DE INVESTIMENTO DA TECNOLOGIA (L: .296)
		8 Alts	8 Alts	8 Alts	3	8 Alts	8 Alts	8 Alts	5	8 Alts
0	Facilitator	,1456	,1547	,1388	,0000	,0932	,1416	,1468	,0991	,0980

PID	Name	Overall	Goal: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU - REGIÃO SUDESTE	AMBIENTAL (L: .298)	PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RSD PÓS-TRATAMENTO (L: .047)	POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: .216)	QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: .366)
		#Factors	4	6	8 Alts	8 Alts	8 Alts
0	Facilitator	,1140	,0582	,2588	,1013	,1347	,1004

PID	Name	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (L: .413)	TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: .110)	CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: .042)	CUSTO DE PÓS-MONITORAMENTO (L: .139)	POLÍTICO (L: .060)	RETORNO POLÍTICO (L: .078)	ACEITABILIDADE DA TECNOLOGIA (L: .487)	ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIADA (L: .435)
		8 Alts	8 Alts	8 Alts	8 Alts	3	8 Alts	8 Alts	8 Alts
0	Facilitator	,1547	,1045	,1456	,1961	,0120	,0952	,1492	,0758

Figura AP.0.2 - Análise de sensibilidade - Índices de inconsistência - Região Sudeste.

Tabela AP.1 – Análise dos pesos de preferencia Região Centro Oeste.

PESQUISA - REGIÃO CENTRO-OESTE			Nº DA PESQUISA							MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN		
			1	2	3	4	5	6	7					8	9
PESOS DE COMPARAÇÃO															
CRITÉRIOS	X	CRITÉRIOS													
AMBIENTAL	X	SOCIAL	3	5	7	3	5	5	0	5	3	4	5	7	0
AMBIENTAL	X	ECONÔMICO	-3	7	5	5	3	0	-5	5	5	2	5	7	-5
AMBIENTAL	X	POLÍTICO	5	9	7	9	7	7	-3	9	9	7	9	9	-3
SOCIAL	X	ECONÔMICO	-3	-7	-3	-3	-5	-3	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-7
SOCIAL	X	POLÍTICO	0	7	5	9	3	3	-3	9	9	5	9	9	-3
ECONÔMICO	X	POLÍTICO	5	7	7	7	7	7	3	7	7	6	7	7	3
SUB-CRITÉRIOS - AMBIENTAL										MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN		
A01	X	A02	-3	-9	-7	-7	-5	-3	-9	-7	-5	-6	-7	-3	-9
A01	X	A03	3	-3	-5	0	9	5	-9	3	3	1	3	9	-9
A01	X	A04	3	-7	7	3	3	3	-9	7	3	1	3	7	-9
A01	X	A05	0	-9	-5	-7	-3	-3	0	-7	-5	-4	0	0	-9
A01	X	A06	3	0	3	-5	5	3	-3	-5	-5	0	3	5	-5
A02	X	A03		-9	-7	-7	7	5	3	-9	-7	-3	-7	7	-9
A02	X	A04	3	-7	0	5	3	3	3	7	7	3	3	7	-7
A02	X	A05	-3	-9	-3	-5	-5	-5	9	-5	-5	-3	-5	9	-9
A02	X	A06	3	-3	0	0	7	7	3	0	0	2	0	7	-3
A03	X	A04	3	7	7	5	3	3	-5	7	5	4	3	7	-5
A03	X	A05	3	7	3	0	5	5	3	0	0	3	3	7	0
A03	X	A06	5	5	7	3	7	5	-3	5	5	4	5	7	-3

A04	X	A05	-3	0	-7	-7	-5	-3	5	-7	-7	-4	-7	5	-7
A04	X	A06	3	0	0	-5	7	7	3	-5	-3	1	3	7	-5
A05	X	A06	3	-3	7	5	3	5	-3	5	5	3	5	7	-3
SUB-CRITÉRIOS - SOCIAL												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
S01	X	S02	5	7	9	7	5	5	5	7	7	6	5	9	5
S01	X	S03	5	-7	5	5	7	7	3	5	5	4	5	7	-7
S02	X	S03	7	7	9	5	9	7	3	7	7	7	7	9	3
SUB-CRITÉRIOS - ECONÔMICO												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
E01	X	E02	-5	7	-5	-5	-5	-5	7	-5	-5	-2	-5	7	-5
E01	X	E03	3	3	0	5	3	3	5	7	7	4	3	7	0
E01	X	E04	0	3	5	3	0	0	9	3	3	3	3	9	0
E01	X	E05	3	3	5	3	5	3	9	3	3	4	3	9	3
E02	X	E03	5	7	7	5	5	5	7	5	5	6	5	7	5
E02	X	E04	7	7	5	7	7	7	5	7	7	7	7	7	5
E02	X	E05	5	5	7	3	3	5	7	3	3	5	3	7	3
E03	X	E04	5	5	-3	3	5	5	-3	3	3	3	5	5	-3
E03	X	E05	-3	-3	0	0	-5	-5	7	0	0	-1	0	7	-5
E04	X	E05	-5	-5	3	-3	-7	-7	7	-3	-3	-3	-3	7	-7
SUB-CRITÉRIOS - POLÍTICO												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
P01	X	P02	-5	-9	-9	-9	-5	-5	9	-7	-7	-5	-5	9	-9
P01	X	P03	-9	-9	-9	-9	-7	-9	9	-7	-7	-6	-9	9	-9
P02	X	P03	7	3	7	3	5	7	-3	5	3	4	7	7	-3

Tabela AP.2 –Análise de preferencia por arranjos - Região Centro Oeste.

	ARRANJOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VOTOS
1	REC+COMP+AS	1	1	1	1	1	1		1	1	8
2	REC+COMP+AS C/E	1	1	1	1	1	2	1	1	1	10
3	REC+D.A.+AS										0
4	REC+D.A.+AS C/E										0
5	REC+MBT+AS					1					1
6	REC+MBT+AS C/E							1			1
7	REC+MBT+INC WTE+AS										0
8	REC+D.A.+INC WTE+AS C/E										0
9	REC+TRIAGEM+AS	1		1	1		1	1	1	1	7
10	REC+TRIAGEM+COMP+AS		1								1

Tabela AP.3 –Votos por tecnologia - Região Centro Oeste.

REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE	TRIAGEM
28	19	17	11	0	2	0	8
	REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE
REC	1,0	1,5	1,6	2,5		14,0	
COMP	0,7	1,0	1,1	1,7		9,5	
AS	0,6	0,9	1,0	1,5		8,5	
AS C/E	0,4	0,6	0,6	1,0		5,5	
D.A	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	
MBT	0,1	0,1	0,1	0,2		1,0	
INC WTE	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	

Tabela AP.4 - Análise dos pesos de preferencia Região Nordeste.

PESQUISA - REGIÃO NORDESTE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	MÉD IA	MO DA	MÁ X	M ÍN
PESOS DE COMPARAÇÃO																				
CRITÉRIOS	CRITÉRIOS																			
AMBIENTAL	X SOCIAL	3	0	0	2	3	0	5	5	3	0	-3	0	3	0		1	0	5	-3
AMBIENTAL	X ECONÔMICO	3	3	0	3	3	3	5	5	5	0	-9	3	7	5		1	3	7	-9
AMBIENTAL	X POLÍTICO	5	5	7	9	3	3	5	5	7	5	-9	5	9	5		4	5	9	-9

SOCIAL	X	ECONÔMICO	0	5	0	2	5	3	7	5	3	7	-9	0	7	3	1	0	7	-9
SOCIAL	X	POLÍTICO	5	5	7	9	0	3	3	3	7	9	-9	5	9	5	4	5	9	-9
ECONÔMICO	X	POLÍTICO	3	5	5	9	3	3	7	7	7	5	0	5	5	0	5	5	9	0

SUB-CRITÉRIOS - AMBIENTAL

MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
-------	------	-----	-----

A01	X	A02	-7	5	5	3	3	5	7	7	5	0	-5	0	-3	-3	-1	-5	7	-7	
A01	X	A03	9	5	3	2	5	5	7	7	7	-3	-7	0	0	-7	-1	-7	9	-7	
A01	X	A04	7	5	7	2	3	5	7	7	7	-7	-3	3		-7	3	7	7	-7	
A01	X	A05	-7	3	5	2	3	5	7	7	7	0	-3	3		-7	0	7	7	-7	
A01	X	A06	7	7	7	2	3	5	5	5	5	3	-3	0	7	-7	3	7	7	-7	
A02	X	A03	-7	3	0	4	3	5	5	5	5	-3	-7	-3	-7	5	-2	-3	5	-7	
A02	X	A04	3	0	0	0	3	5	7	7	7	-7	-7	0	0	5	-1	0	7	-7	
A02	X	A05	-7	0	0	3	3	5	5	5	5	7	0	-3	0	-7	0	-2	0	7	-7
A02	X	A06	3	3	5	0	5	5	5	5		3	-5	0	0	0	-1	-5	5	-5	
A03	X	A04	0	0	0	4	5	5	5	5	5	-7	-7	3	7	5	2	5	7	-7	
A03	X	A05	5	0	7	0	5	5	5	5	5	0	-7	3	9	5	1	5	9	-7	
A03	X	A06	7	3	5	4	3	5	5	5	7	7	-7	0	9	5	2	7	9	-7	
A04	X	A05	-	-	-	-	-	-	7	7	0	7	-7	0	5	5	0	-7	7	-7	



P01	X	P02	0	-7	-9	-3	-3	-5	-7	-7	-3	-7	9	-7	0	-9	-4	-7	9	-9
P01	X	P03	-7	-7	-9	-3	-3	-5	-7	-7	-9	-9	9	-7	0	-9	-5	-7	9	-9
P02	X	P03	7	0	-5	0	-5	-3	-7	-7	-3	0	7	0	-5	-7	-2	0	7	-7

Tabela AP.5 - Análise de preferencia por arranjos - Região Nordeste.

	ARRANJOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	VOTOS
1	REC+COMP+AS		1		1		1	1	1	1	1	1				8
2	REC+COM+AS C/E	1		1	1		1	1	1	1	1		1			9
3	REC+D.A.+AS				1							1	1			3
4	REC+D.A.+AS C/E		1									1				2
5	REC+MBT+AS						1							1		2
6	REC+MBT+AS C/E	1		1										1		3
7	REC+MBT+INC WTE+AS			1		1		1	1				1	1		6
8	REC+D.A.+INC WTE+AS C/E														1	1
9	REC+TRIAGEM+AS	1									1					2
10	REC+COMP+INC WTE+AS		1													1

Tabela AP. 6 - Votos por tecnologia - Região Nordeste.

REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE	TRIAGEM
37	18	22	15	6	11	8	2
	REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE
REC	1,0	2,1	1,7	2,5	6,2	3,4	4,6
COMP	0,5	1,0	0,8	1,2	3,0	1,6	2,3
AS	0,6	1,2	1,0	1,5	3,7	2,0	2,8
AS C/E	0,4	0,8	0,7	1,0	2,5	1,4	1,9
D.A	0,2	0,3	0,3	0,4	1,0	0,5	0,8
MBT	0,3	0,6	0,5	0,7	1,8	1,0	1,4
INC WTE	0,2	0,4	0,4	0,5	1,3	0,7	1,0

Tabela AP.7 - Análise dos pesos de preferencia Região Norte.

PESQUISA - REGIÃO NORTE PESOS DE COMPARAÇÃO CRITÉRIOS X CRITÉRIOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
AMBIENTAL	X SOCIAL	-3	0	3	3	-9	0	5	3	3	3	1	3	5	-9
AMBIENTAL	X ECONÔMICO	0	-5	5	3	-9	3	3	3	7	5	2	3	7	-9
AMBIENTAL	X POLÍTICO	0	-3	0	3	-5	7	5	5	9	7	3	0	9	-5
SOCIAL	X ECONÔMICO	5	-5	-5	3	-9	7	9	7	7	7	3	7	9	-9
SOCIAL	X POLÍTICO	5	-3	-5	3	-5	5	-7	-5	9	-3	-1	-5	9	-7
ECONÔMICO	X POLÍTICO	5	-3	0	3	-5	5	7	7	9	9	4	5	9	-5
SUB-CRITÉRIOS - AMBIENTAL												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
A01	X A02	3	-9	0	5	-9	7	-7	-9	-9	-9	-4	-9	7	-9
A01	X A03	3	0	0	5	-9	0	7	5	3	3	2	3	7	-9
A01	X A04	3	0	3	-3	-9	5	-5	-5	0	-3	-1	3	5	-9
A01	X A05	3	-7	0	-7	-9	7	-7	-5	-5	-5	-4	-7	7	-9
A01	X A06	3	3	0	5	-9	9	5	3	3	3	3	3	9	-9
A02	X A03	-3	-9	-9	0	9	0	-7	-7	-7	-7	-4	-7	9	-9
A02	X A04	3	0	0	-3	-9	5	5	7	0	5	1	0	7	-9
A02	X A05	3	0	0	-3	-9	7	-7	-7	-3	-5	-2	0	7	-9
A02	X A06	3	3	0	0	-9	9	5	7	5	7	3	3	9	-9
A03	X A04	3	0	9	3	0	0	5	3	3	3	3	3	9	0
A03	X A05	3	9	9	-3	-9	-7	7	7	9	7	3	9	9	-9
A03	X A06	-5	9	9	0	-9	7	9	9	9	9	5	9	9	-9

A04	X	A05	-5	0	3	0	-9	7	-5	-3	3	-3	-1	-5	7	-9
A04	X	A06	-5	9	0	0	-9	7	9	9	7	7	3	9	9	-9
A05	X	A06	-7	9	0	5	-9	7	7	9	9	9	4	9	9	-9
SUB-CRITÉRIOS - SOCIAL												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN	
S01	X	S02	3	5	9	5		7	3	3	5	5	5	5	9	3
S01	X	S03	3	5	9	5		3	7	7	7	7	6	7	9	3
S02	X	S03	3	0	0	0		7	5	5	3	3	3	3	7	0
SUB-CRITÉRIOS - ECONÔMICO												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN	
E01	X	E02	-7	0	-7	-3	-9	-7	-3	0	0	0	-4	0	0	-9
E01	X	E03	5	3	5	-3	-9	5	3	3	3	5	2	5	5	-9
E01	X	E04	-5	9	0	-5	0	7	7	7	7	7	3	7	9	-5
E01	X	E05	-5	9	0	-3	-9	0	7	9	9	9	3	9	9	-9
E02	X	E03	7	5	0	3	0	0	3	5	5	5	3	5	7	0
E02	X	E04	7	9	5	-3	-9	5	9	9	9	9	5	9	9	-9
E02	X	E05	7	5	0	3	0	7	5	3	5	5	4	5	7	0
E03	X	E04	5	0	5	-3	0	0	-7	-5	0	0	-1	0	5	-7
E03	X	E05	-7	0	0	-3	-9	-5	3	3	3	3	-1	3	3	-9
E04	X	E05	-5	0	5	3	0	-5	-7	-7	-3	-5	-2	-5	5	-7
SUB-CRITÉRIOS - POLÍTICO												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN	
P01	X	P02	5	-9	0	3	-3	7	-5	-9	-9	-7	-3	-9	7	-9
P01	X	P03	5	-9	-5	-3	-3	-7	-7	-7	-7	-9	-5	-7	5	-9
P02	X	P03	5	0	0	0	-9	7	-9	-7	-3	-5	-2	0	7	-9

Tabela AP.8 - Análise de preferencia por arranjos - Região Norte.

	ARRANJOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	VOTOS
1	REC+COMP+AS	1	1		1	1	1	1	1	1	1	9
2	REC+COM+AS C/E	1	1	1	1	1		1	1	1	1	9
3	REC+D.A.+AS	1			1							2
4	REC+D.A.+AS C/E		1					1		1		3
5	REC+MBT+AS								1		1	2
6	REC+MBT+AS C/E											0
7	REC+MBT+INC WTE+AS					1	1					2
8	REC+D.A.+INC WTE+AS C/E											0
9	REC+TRIAGEM+AS						1					1

Tabela AP.9 - Votos por tecnologia - Região Norte.

REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE	
28	18	16	12	5	4	2	
	REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE
REC	1,0	1,6	1,8	2,3	5,6	7,0	14,0
COMP	0,6	1,0	1,1	1,5	3,6	4,5	9,0
AS	0,6	0,9	1,0	1,3	3,2	4,0	8,0
AS C/E	0,4	0,7	0,8	1,0	2,4	3,0	6,0
D.A	0,2	0,3	0,3	0,4	1,0	1,3	2,5
MBT	0,1	0,2	0,3	0,3	0,8	1,0	2,0
INC WTE	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	1,0

Tabela AP.10 - Análise dos pesos de preferencia Região Sudeste.

PESQUISA - REGIÃO SUDESTE		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	MÉ DIA	MO DA	M ÁX	M Í N
PESOS DE COMPARAÇÃO CRITÉRIOS X CRITÉRIOS																						
AMBIENTA L	SOCIA L	3	0	7	5	7	0	0	5	7	0	5	0	7					4	0	7	0
AMBIENTA L	ECONÔMICO	-5	5	7	0	3	0	0	3	0	3	0	3	-3					0	0	5	-7
AMBIENTA L	POLÍTICO	-9	7	3	5	3	5	9	5	7	5	3	5	-3					3	5	9	-9
SOCIA L	ECONÔMICO	-7	5	7	5	5	0	0	3	3	7	-3	3	-3					-1	-3	7	-7
SOCIA L	POLÍTICO	-9	5	3	0	5	5	9	3	0	7	-3	5	5					3	5	9	-9
ECONÔMICO	POLÍTICO	-9	0	5	5	3	0	9	5	5	5	3	3	3					2	5	9	-9
SUB-CRITÉRIOS - AMBIENTAL																			MÉ DIA	MO DA	M ÁX	M Í N
A01	X A02	-5	5	5	5	3	7	7	5	0	-7	-7	-5	-3					-3	-5	7	-7
A01	X A03	-5	3	3	7	5	0	0	0	5	-7	-5	-5	0					-3	-5	3	-7
A01	X A04	-3	3	3	7	3	5	5	3	0	-3	-3	-3	-3					-2	-3	5	-7
A01	X A05	-3	5	3	3	0	0	5	3	3	-3	0	-5	3					-1	-3	3	-5

A01	X	A06	0	0	3	5	3	0	0	7	-5	3	0	5	0	0	5	-7	
A02	X	A03	0	5	3	3	3	7	0	5	3	0	-5	-5	-5	-1	-5	7	-5
A02	X	A04	3	5	5	0	3	0	0	3	3	5	0	-3	0	0	0	5	-5
A02	X	A05	3	5	5	3	0	0	5	3	0	5	5	-5	5	2	5	5	-5
A02	X	A06	5	3	3	3	3	0	0	0	5	3	3	5	2	3	5	-3	
A03	X	A04	0	3	5	3	3	7	9	5	3	3	5	5	5	2	5	9	-7
A03	X	A05	3	0	0	3	5	7	0	7	3	3	0	5	7	1	0	7	-7
A03	X	A06	3	5	5	3	5	3	0	3	3	3	3	7	2	3	7	-3	
A04	X	A05	3	3	3	3	5	3	5	3	0	3	5	-5	5	0	3	5	-5
A04	X	A06	3	5	3	3	3	3	0	3	0	-3	0	7	1	-3	7	-3	
A05	X	A06	3	5	3	3	5	3	0	0	-3	3	3	0	1	3	5	-3	
		SUB-CRITÉRIOS - SOCIAL													MÉ	MO	M	MÍ	
															DIA	DA	ÁX	N	
S01	X	S02	0	3	5	-5	3	3	7	3	5	7	5	5	7	4	3	7	-5
S01	X	S03	0	5	5	-5	3	3	0	0	7	3	-5	3	3	1	3	7	-5
S02	X	S03	0	3	3	0	5	3	7	0	3	5	0	3	0	2	0	7	0
		SUB-CRITÉRIOS - ECONÔMICO													MÉ	MO	M	MÍ	
															DIA	DA	ÁX	N	
E01	X	E02	0	3	7	0	-5	5	0	0	-9	-5	0	3	5	-1	0	7	-9

E01	X	E03	7	5	3	5	3	0	5	3	5	-3	5	3	5				4	5	7	-3
E01	X	E04	3	9	5	0	5	5	0	3	5	-3	3	5	7				4	5	9	-3
E01	X	E05	3	7	9	0	-3	5	0	0	5	0	0	3	7				3	0	9	-3
E02	X	E03	5	7	5	0	5	5	0	0	5	5	3	3	7				4	5	7	0
E02	X	E04	7	7	3	5	7	5	7	3	5	5	3	5	7				5	7	7	3
E02	X	E05	5	7	3	0	5	5	0	0	5	5	0	5	7				4	5	7	0
E03	X	E04	5	-	-	5	3	5	7	3	-3	0	-3	3	5				1	5	7	-5
E03	X	E05	0	0	5	0	-3	0	0	0	5	0	0	0	0				0	0	5	-5
E04	X	E05	-	3	3	0	-5	-3	5	7	3	3	3	3	3	5			-1	-3	5	-7
SUB-CRITÉRIOS - POLÍTICO																			MÉ	MO	M	MÍ
																			DIA	DA	ÁX	N
P01	X	P02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				-6	-7	-3	-9
P01	X	P03	5	9	5	-7	-5	7	7	5	-9	-7	5	5	3				-4	-5	5	-9
P02	X	P03	-	5	3	5	0	-5	7	7	3	0	5	-7	0	3			-2	0	5	-7

Tabela AP.11 - Análise de preferencia por arranjos - Região Sudeste.

	ARRANJOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	VOTOS
1	REC+COMP+AS	1		1	1						1				4
2	REC+COMP+AS C/E	1	1	1				1	1		1	1			7
3	REC+D.A.+AS				1										1
4	REC+D.A.+AS C/E		1				1	1						1	4
5	REC+MBT+AS														0
6	REC+MBT+AS C/E		1				1	1					1	1	5
7	REC+MBT+INC WTE+AS			1		1	1							1	4
8	REC+D.A.+INC WTE+AS C/E		1			1	1	1							4
9	REC+TRIAGEM+AS	1									1	1	1		4
10	REC+TRIAGEM+INC WTE+AS				1	1							1		3
11	REC+COMP+TRIAGEM+AS C/E											1			1

Tabela AP.12 - Votos por tecnologia - Região Sudeste.

REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE	TRIAGEM
37	12	16	21	9	9	11	8
	REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE
REC	1,0	3,1	2,3	1,8	4,1	4,1	3,4
COMP	0,3	1,0	0,8	0,6	1,3	1,3	1,1
AS	0,4	1,3	1,0	0,8	1,8	1,8	1,5
AS C/E	0,6	1,8	1,3	1,0	2,3	2,3	1,9
D.A	0,2	0,8	0,6	0,4	1,0	1,0	0,8
MBT	0,2	0,8	0,6	0,4	1,0	1,0	0,8
INC WTE	0,3	0,9	0,7	0,5	1,2	1,2	1,0

Tabela AP.13 - Análise dos pesos de preferencia Região Sul.

PESQUISA - REGIÃO SUL PESOS DE COMPARAÇÃO CRITÉRIOS X CRITÉRIOS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
AMBIENTAL	X SOCIAL	0	0	3	3	0	0	0	3	-3	1	0	3	-3
AMBIENTAL	X ECONÔMICO	3	5	5	-3	3	5	7	0	5	3	5	7	-3
AMBIENTAL	X POLÍTICO	9	7	3	0	5	7	7	3	7	5	7	9	0
SOCIAL	X ECONÔMICO	3	5	3	-3	3	5	5	-5	0	2	3	5	-5
SOCIAL	X POLÍTICO	7	7	0	0	3	7	7	3	7	5	7	7	0
ECONÔMICO	X POLÍTICO	7	-3	0	5	3	0	5	5	-5	2	5	7	-5
SUB-CRITÉRIOS - AMBIENTAL											MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
A01	X A02	-7	0	-9	-3	3	-7	7	5	0	-1	-7	7	-9
A01	X A03	-7	5	-3	0	-3	5	9	5	7	2	5	9	-7
A01	X A04	-3	7	0	3	3	-7	9	-7	7	1	7	9	-7
A01	X A05	-5	-3	-3	5	3	3	7	-5	-3	0	-3	7	-5
A01	X A06	3	3	3	7	3	0	9	-7	5	3	3	9	-7
A02	X A03	0	5	-3	-3	3	-3	7	7	7	2	-3	7	-3
A02	X A04	-3	7	0	3	3	-3	9	0	7	3	-3	9	-3
A02	X A05	-7	5	3	5	3	0	9	5	5	3	5	9	-7
A02	X A06	3	3	0	5	3	-3	9	5	3	3	3	9	-3
A03	X A04	3	7	-3	3	0	0	7	5	7	3	7	7	-3
A03	X A05	-3	7	0	3	0	5	7	5	7	3	7	7	-3
A03	X A06	3	9	3	5	0	7	7	5	9	5	3	9	0

A04	X	A05	-3	-5	3	0	0	5	7	3	-7	0	3	7	-7
A04	X	A06	3	-3	3	3	0	7	7	3	-3	2	3	7	-3
A05	X	A06	3	5	3	5	0	0	7	3	7	4	3	7	0
SUB-CRITÉRIOS - SOCIAL												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
S01	X	S02	3	3	3	5	0	0	0	-7	3	1	3	5	-7
S01	X	S03	5	-5	0	5	0	0	0	-3	-5	0	0	5	-5
S02	X	S03	-3	5	3	3	0	0	0	7	5	2	0	7	-3
SUB-CRITÉRIOS - ECONÔMICO												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
E01	X	E02	-3	-5	5	0	0	-7	-7	-9	-5	-3	-5	5	-9
E01	X	E03	3	7	5	5	-3	0	7	7	7	4	7	7	-3
E01	X	E04	3	-5	7	7	0	-5	7	-5	-5	0	-5	7	-5
E01	X	E05	-3	-5	7	7	3	-5	7	-9	-5	0	-5	7	-9
E02	X	E03	3	3	5	9	3	0	7	-5	3	3	3	9	-5
E02	X	E04	3	7	5	9	3	7	7	7	9	6	7	9	3
E02	X	E05	3	3	5	7	3	0	7	0	5	4	3	7	0
E03	X	E04	0	9	3	3	0	5	7	-3	9	4	0	9	-3
E03	X	E05	0	3	0	0	0	0	0	0	3	1	0	3	0
E04	X	E05	-3	-5	0	-3	0	-7	7	3	-7	-2	-3	7	-7
SUB-CRITÉRIOS - POLÍTICO												MÉDIA	MODA	MÁX	MÍN
P01	X	P02	-7	-9	-5	-9	-3	0	-7	-5	-9	-6	-9	0	-9
P01	X	P03	-7	-9	-7	-5	-3	-5	-7	-5	-7	-6	-7	-3	-9
P02	X	P03	0	5	3	-9	0	-3	-7	-5	7	-1	0	7	-9

Tabela AP.14 - Análise de preferencia por arranjos - Região Sul.

	ARRANJOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	VOTOS
1	REC+COMP+AS		1	1		1			1	1	5
2	REC+COM+AS C/E	1	1		1	1				1	5
3	REC+D.A.+AS			1			1		1		3
4	REC+D.A+AS C/E		1		1					1	3
5	REC+MBT+AS										0
6	REC+MBT+AS C/E	1					1		1		3
7	REC+MBT+INC WTE+AS										0
8	REC+D.A.+INC WTE+AS C/E	1			1		1				3
9	REC+TRIAGEM+AS			1		1		1			3

Tabela AP.15 - Votos por tecnologia - Região Sul.

REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE	TRIAGEM
25	10	11	14	9	3	3	3
	REC	COMP	AS	AS C/E	D.A	MBT	INC WTE
REC	1,0	2,5	2,3	1,8	2,8	8,3	8,3
COMP	0,4	1,0	0,9	0,7	1,1	3,3	3,3
AS	0,4	1,1	1,0	0,8	1,2	3,7	3,7
AS C/E	0,6	1,4	1,3	1,0	1,6	4,7	4,7
D.A	0,4	0,9	0,8	0,6	1,0	3,0	3,0
MBT	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	1,0	1,0
INC WTE	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	1,0	1,0

**CUSTO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE RSU – ARCADIS 2009.**

País	Aterro	TMB (estabilização)	TMB (biossecagem)	Incineração (apenas energia)	Incineração (ciclo combinado)	Incineração (apenas calor)	Digestão Anaeróbia (apenas energia)	Digestão Anaeróbia (ciclo combinado)	Digestão Anaeróbia (aproveitamento de gás)	Compostagem em leiras	Compostagem doméstica
Áustria	145	230	250	625	759	735	375	478	440	105	205
Bélgica (Flandres)	152	248	269	651	790	765	399	509	468	110	218
Bélgica (Valônia)	152	248	269	651	790	765	399	509	468	110	218
Bélgica (Bruxelas)	152	248	269	651	790	765	399	509	468	110	218
Bulgária	118	165	180	531	645	625	287	366	337	88	157
Chipre	126	185	201	559	679	658	313	399	368	93	171
República Checa	124	180	195	552	670	649	307	391	36	92	168
Dinamarca	154	251	273	656	796	771	404	515	474	110	221
Estônia	122	174	189	544	661	640	299	381	351	91	164
Finlândia	147	235	256	633	769	744	382	487	449	106	209
França	151	244	265	645	783	758	393	502	462	109	215
Alemanha	147	236	256	633	769	744	383	488	449	106	209
Grécia	126	185	201	559	679	658	313	399	368	93	171
Hungria	123	178	194	550	668	647	305	388	358	92	167
Irlanda	145	230	250	625	759	735	375	478	440	105	205
Itália	145	230	250	625	759	735	375	478	440	105	205
Letônia	119	169	183	536	651	631	292	372	342	89	160
Lituânia	120	171	186	540	655	635	295	376	346	90	161
Luxemburgo	153	249	270	652	792	767	400	510	470	110	219
Malta	126	185	201	559	679	658	313	399	368	93	171
Países Baixos	148	238	259	637	774	749	386	492	453	107	211
Polônia	123	177	192	548	665	644	303	386	355	91	165
Portugal	129	191	207	568	690	668	322	410	378	95	176
Romênia	119	168	182	535	649	629	290	370	340	89	159
Eslováquia	122	175	190	545	661	640	300	382	352	91	164
Eslovênia	129	191	208	569	691	669	322	411	378	95	176
Espanha	134	204	222	587	713	691	340	433	398	98	186
Suécia	147	235	256	633	769	744	382	487	449	106	209
Reino Unido	145	230	250	625	759	735	375	478	440	105	205

Figura AP.0.3 – Estimativa de custos CAPEX (€/t) por tecnologias na UE. Fonte: ARCADIS, 2009.

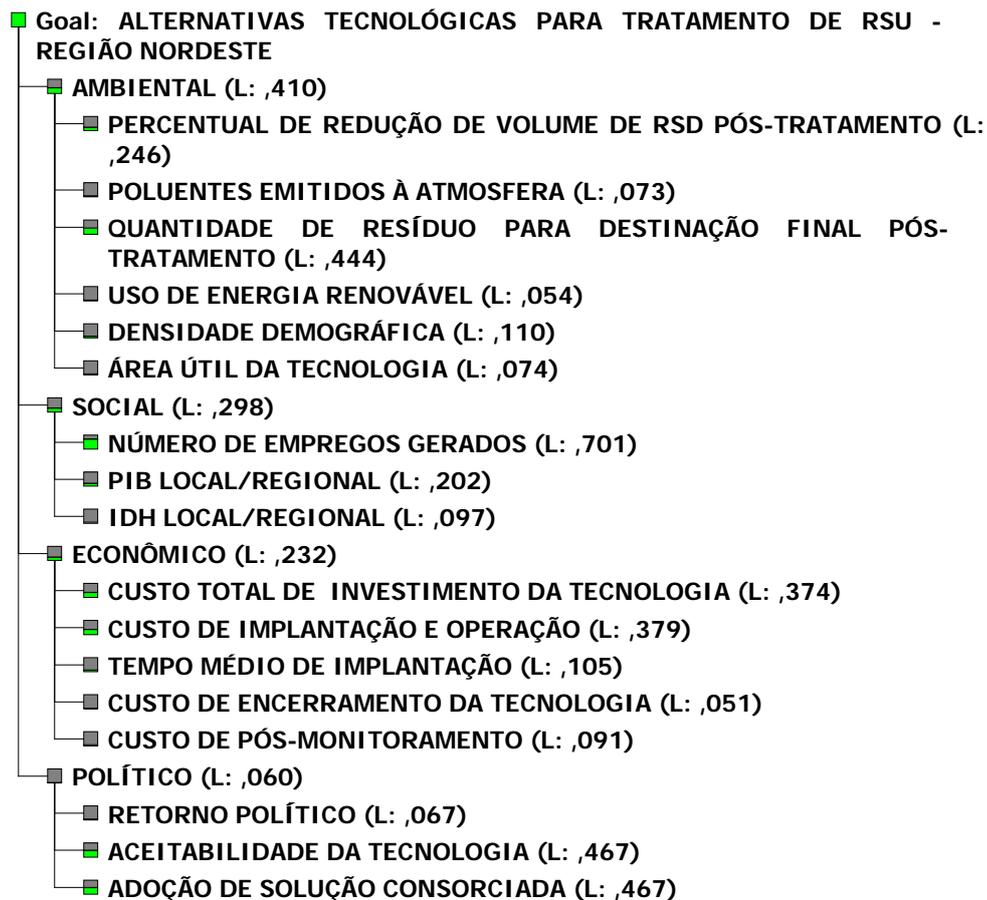
País	Aterro	TMB (estabilização)	TMB (biossecagem)	Incineração (apenas energia)	Incineração (ciclo combinado)	Incineração (apenas calor)	Digestão Anaeróbia (apenas energia)	Digestão Anaeróbia (ciclo combinado)	Digestão Anaeróbia (aproveitamento de gás)	Compostagem em leiras	Compostagem doméstica
Áustria	9	19	21	25	26	25	38	39	45	7	13
Bélgica (Flandres)	10	21	23	26	28	26	40	42	49	7	13
Bélgica (Valônia)	10	21	23	26	28	26	40	42	49	7	13
Bélgica (Bruxelas)	10	21	23	26	28	26	40	42	49	7	13
Bulgária	5	13	14	20	21	20	27	28	33	5	11
Chipre	6	15	16	21	23	21	30	31	36	6	11
República Checa	6	14	16	21	22	21	29	30	35	6	11
Dinamarca	10	21	23	27	28	27	41	42	49	7	13
Estônia	5	14	15	20	22	21	28	29	34	5	11
Finlândia	9	20	22	25	27	25	38	40	46	7	13
França	10	20	22	26	28	26	40	41	48	7	13
Alemanha	9	20	22	25	27	25	38	40	46	7	13
Grécia	6	15	16	21	23	21	30	31	36	6	11
Hungria	5	14	16	21	22	21	29	30	35	5	11
Irlanda	9	19	21	25	26	25	38	39	45	7	13
<b>Itália</b>	<b>9</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>45</b>	<b>7</b>	<b>13</b>
Letônia	5	13	15	20	21	20	28	28	33	5	11
Lituânia	5	13	15	20	22	20	28	29	34	5	11
Luxemburgo	10	21	23	27	28	26	41	42	49	7	13
Malta	6	15	16	21	23	21	30	31	36	6	11
Países Baixos	9	20	22	26	27	26	39	40	47	7	13
Polônia	5	14	15	21	22	21	29	30	35	5	11
Portugal	6	15	17	22	23	22	31	32	38	6	11
Romênia	5	13	15	20	21	20	27	28	33	5	11
Eslováquia	5	14	15	20	22	21	28	29	34	5	1
Eslovênia	6	15	17	22	23	22	31	32	38	6	11
Espanha	7	17	18	23	24	23	33	34	40	6	12
Suécia	9	20	22	25	27	25	38	40	46	7	13
Reino Unido	9	19	21	25	26	25	38	39	45	7	13

Figura AP.0.4 - Estimativa de custos OPEX (€/t) por tecnologias na UE. Fonte: ARCADIS, 2009.

Os custos CAPEX e OPEX das tecnologias de tratamento de resíduos considerados nesta pesquisa e vigentes na Itália são os que mais se aproximam da realidade econômica e social do Brasil e foram considerados neste estudo.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise MOD

Treeview



Alternatives

Figura AP.0.5 - Hierarquia principal com os critérios e subcritérios da região Nordeste.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise

Compare the relative importance with respect to: Goal: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU - REGIÃO NORDESTE

Circle one number per row below using the scale:  
1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	SOCIAL
2	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
3	AMBIENTAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
4	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ECONÔMICO
5	SOCIAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO
6	ECONÔMICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLÍTICO

Figura AP.0.6 - Comparação da importância relativa entre os critérios adotados, com seus respectivos pesos.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise

Compare the relative importance with respect to: AMBIENTAL (L: ,410)

Circle one number per row below using the scale:  
1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	PERCENTUAL DE REI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	POLUENTES EMITID
2	PERCENTUAL DE REI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	QUANTIDADE DE RE
3	PERCENTUAL DE REI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	USO DE ENERGIA RI
4	PERCENTUAL DE REI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
5	PERCENTUAL DE REI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
6	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	QUANTIDADE DE RE
7	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	USO DE ENERGIA RI
8	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
9	POLUENTES EMITID	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
10	QUANTIDADE DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	USO DE ENERGIA RI
11	QUANTIDADE DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
12	QUANTIDADE DE RE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
13	USO DE ENERGIA RI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	DENSIDADE DEMOG
14	USO DE ENERGIA RI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN
15	DENSIDADE DEMOG	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ÁREA ÚTIL DA TECN

Figura AP. 0.7 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério ambiental.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise

Compare the relative importance with respect to: SOCIAL (L: ,298)

Circle one number per row below using the scale:  
1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	NÚMERO DE EMPREGO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	PIB LOCAL/REGIONAL
2	NÚMERO DE EMPREGO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IDH LOCAL/REGIONAL
3	PIB LOCAL/REGIONAL	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	IDH LOCAL/REGIONAL

Figura AP.0.8 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério social.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise

Compare the relative importance with respect to: ECONÔMICO (L: ,232)

Circle one number per row below using the scale:

1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE IMPLANTAÇ
2	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TEMPO MÉDIO DE IMI
3	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE ENCERRAM
4	CUSTO DE TOTAL DE	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI
5	CUSTO DE IMPLANTAÇ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TEMPO MÉDIO DE IMI
6	CUSTO DE IMPLANTAÇ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE ENCERRAM
7	CUSTO DE IMPLANTAÇ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI
8	TEMPO MÉDIO DE IMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE ENCERRAM
9	TEMPO MÉDIO DE IMI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI
10	CUSTO DE ENCERRAM	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	CUSTO DE PÓS-MONI

Figura AP.0.9 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério econômico.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise

Compare the relative importance with respect to: POLÍTICO (L: ,060)

Circle one number per row below using the scale:

1 = Equal 3 = Moderate 5 = Strong 7 = Very strong 9 = Extreme

1	RETORNO POLÍTICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ACEITABILIDADE DA TI
2	RETORNO POLÍTICO	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ADOÇÃO DE SOLUÇÃO
3	ACEITABILIDADE DA TI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ADOÇÃO DE SOLUÇÃO

Figura AP. 0.10 - Importância relativa dos pesos dos subcritérios em relação ao critério político.

Model Name: REGIÃO NORDESTE pós análise

Data Grid

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise
<b>Alternative</b>	<b>AMBIENTAL PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE VOLUME DE RSD PÓS-TRATAMENTO (L: ,210)</b>	<b>AMBIENTAL POLUENTES EMITIDOS À ATMOSFERA (L: ,153)</b>	<b>AMBIENTAL QUANTIDADE DE RESÍDUO PARA DESTINAÇÃO FINAL PÓS-TRATAMENTO (L: ,387)</b>
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	,054	1,000	,057
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,870	,092	,228
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,114	,165	,631
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,083	,449	,083
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTAO	,202	,354	,130
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,213	,483	,099
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	,333	,262	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	1,000	,143	,246

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise
<b>Alternative</b>	<b>AMBIENTAL USO DE ENERGIA RENOVÁVEL (L: ,043)</b>	<b>AMBIENTAL DENSIDADE DEMOGRÁFICA (L: ,101)</b>	<b>AMBIENTAL ÁREA ÚTIL DA TECNOLOGIA (L: ,106)</b>
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	,942	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,065	,567	,205
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,254	,075	,094
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,289	,270	,520
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTAO	,315	,382	,364
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,509	,367	,729
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	,193	,092	,069
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	,089	1,000	,126

Figura AP.0.11 - Aplicação dos pesos em relação ao critério ambiental, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise
Alternative	SOCIAL NÚMERO DE EMPREGOS GERADOS (L: ,672)	SOCIAL PIB LOCAL/REGIONAL (L: ,257)	SOCIAL IDH LOCAL/REGIONAL (L: ,070)
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,060	,070	,437
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,499	,144	,069
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,248	,377	,084
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTAO	,153	,242	,094
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,149	,486	,144
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	,729	,163	,216
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	,077	,083	,509

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise
Alternative	ECONÔMICO CUSTO DE TOTAL DE IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA (L: ,374)	ECONÔMICO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO (L: ,379)	ECONÔMICO TEMPO MÉDIO DE IMPLANTAÇÃO (L: ,105)
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	1,000	1,000	1,000
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	,080	,158	,061
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	,212	,314	,172
<input checked="" type="checkbox"/> MBT	,550	,839	,410
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTAO	,366	,483	,220
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	,505	,665	,305
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	,155	,198	,109
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADORGE	,060	,100	,060

Figura AP.0.12 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios social e econômico, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.

Distributive mode	Pairwise	Pairwise	Pairwise
<b>Alternative</b>	<b>ECONÔMICO CUSTO DE ENCERRAMENTO DA TECNOLOGIA (L: ,051)</b>	<b>ECONÔMICO CUSTO DE PÓS-MONITORAME NTO (L: ,091)</b>	<b>POLÍTICO RETORNO POLÍTICO (L: ,067)</b>
✓RECICLAGEM	,671	,746	1,000
✓INCINERADOR	,139	,141	,077
✓ATERRO	,076	,066	,227
✓MBT	,385	,411	,227
✓DIGESTAO	,287	,366	,135
✓COMPOSTAGEM	1,000	1,000	,469
✓ATERRO GE	,055	,047	,403
✓INCINERADORGE	,110	,077	,104

Distributive mode	Pairwise	Pairwise
<b>Alternative</b>	<b>POLÍTICO ACEITABILIDADE DA TECNOLOGIA (L: ,467)</b>	<b>POLÍTICO ADOÇÃO DE SOLUÇÃO CONSORCIADA (L: ,467)</b>
✓RECICLAGEM	1,000	,123
✓INCINERADOR	,104	,076
✓ATERRO	,155	,627
✓MBT	,606	,145
✓DIGESTAO	,507	,153
✓COMPOSTAGEM	,365	,193
✓ATERRO GE	,297	1,000
✓INCINERADORGE	,227	,073

Figura AP.0.13 - Aplicação dos pesos em relação aos critérios econômico e político, seus subcritérios e as tecnologias de tratamento adotadas.

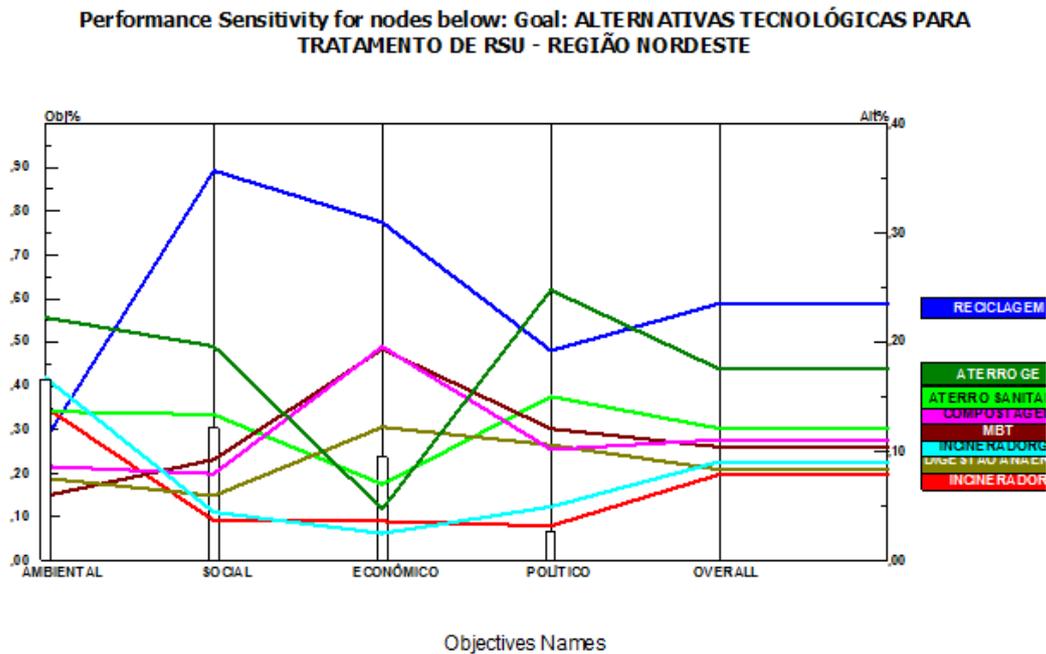


Figura AP.0.14 - Alternativas tecnológicas por ordem de prioridade.

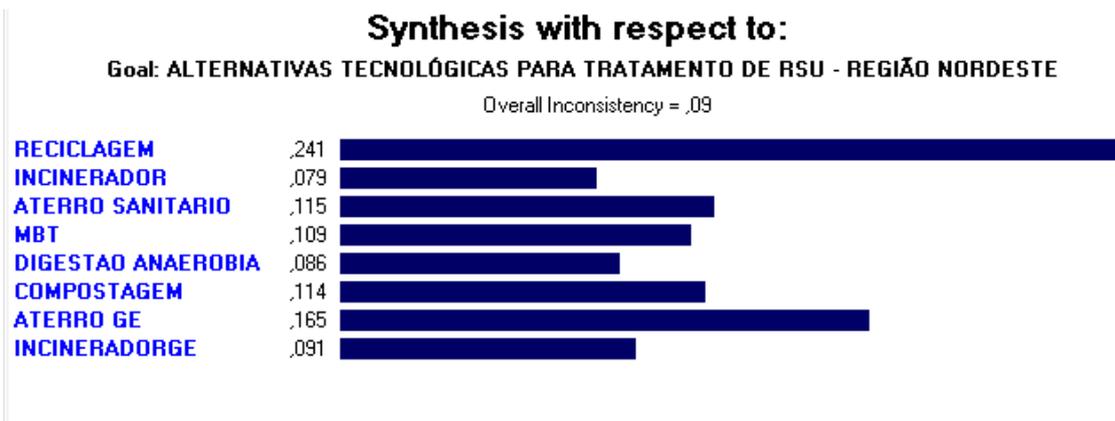


Figura AP.0.15 - Indicação do índice de inconsistência da importância relativa dos critérios em relação as alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos domésticos na Região Nordeste.

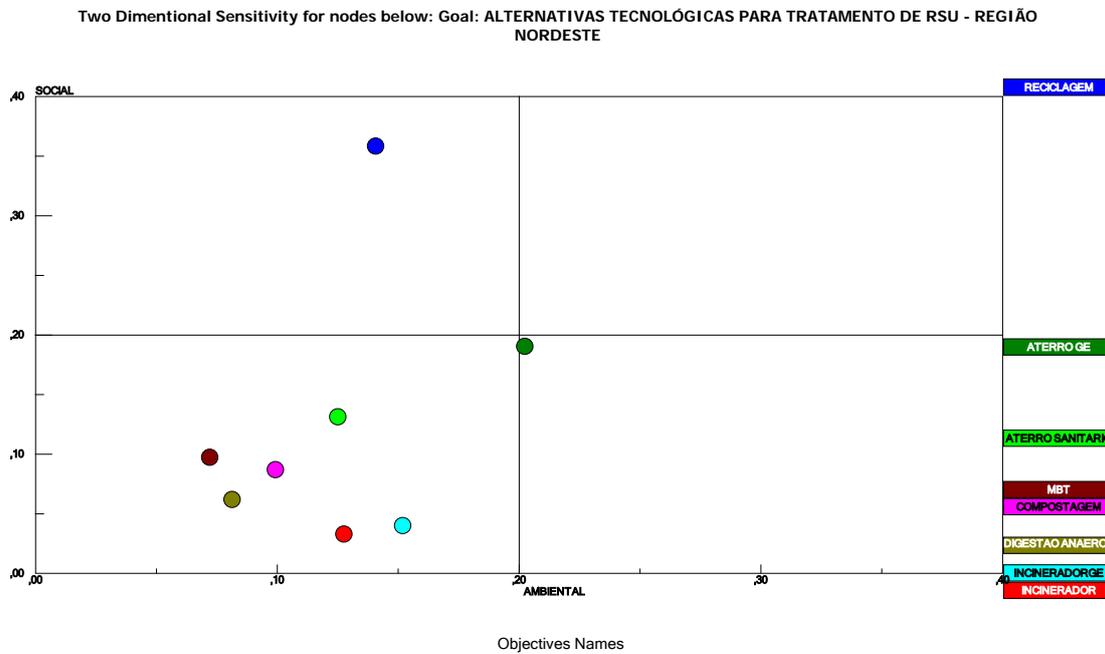


Figura AP.0.16 - Importância relativa dos critérios ambiental e social por tecnologias na Região Nordeste.

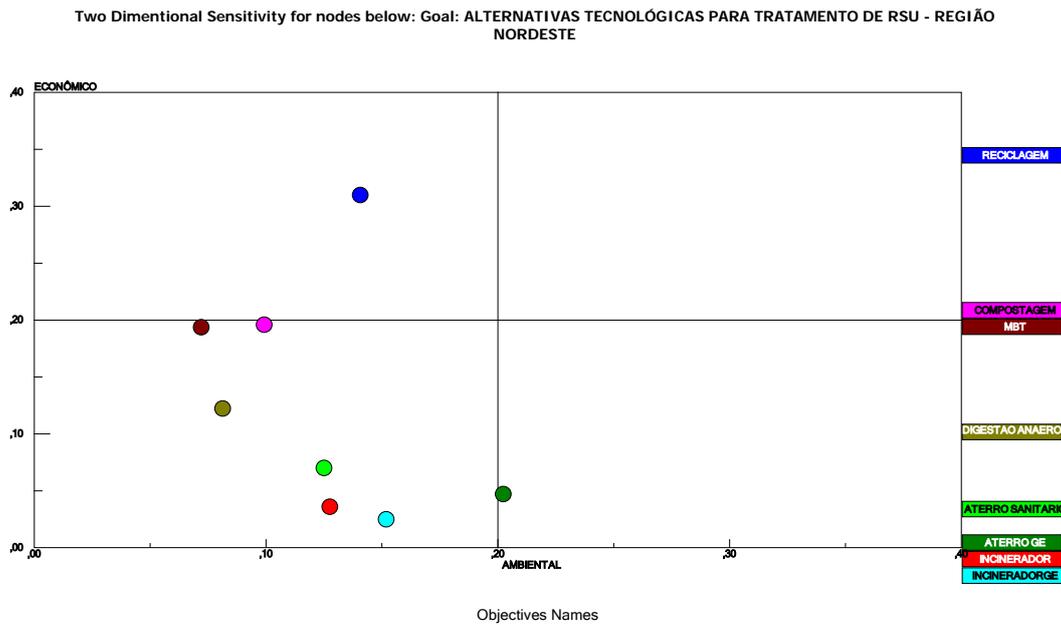


Figura AP.0.17 - Importância relativa dos critérios ambiental e econômico por tecnologias na Região Nordeste.

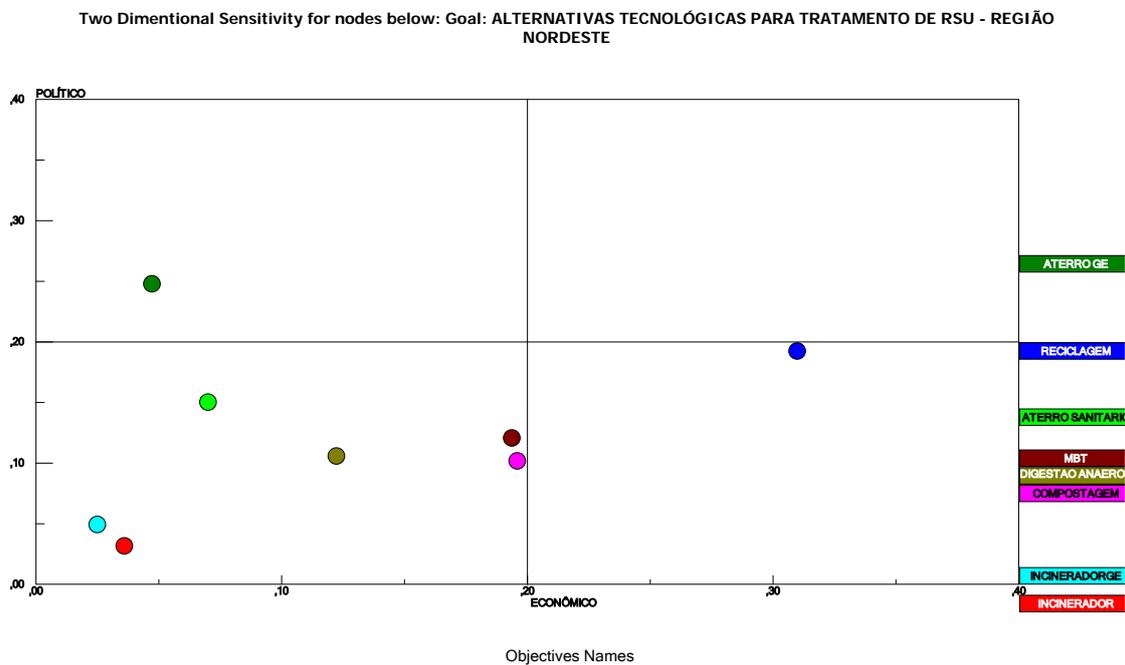


Figura AP.0.18 - Importância relativa dos critérios econômico e político por tecnologias na Região Nordeste.

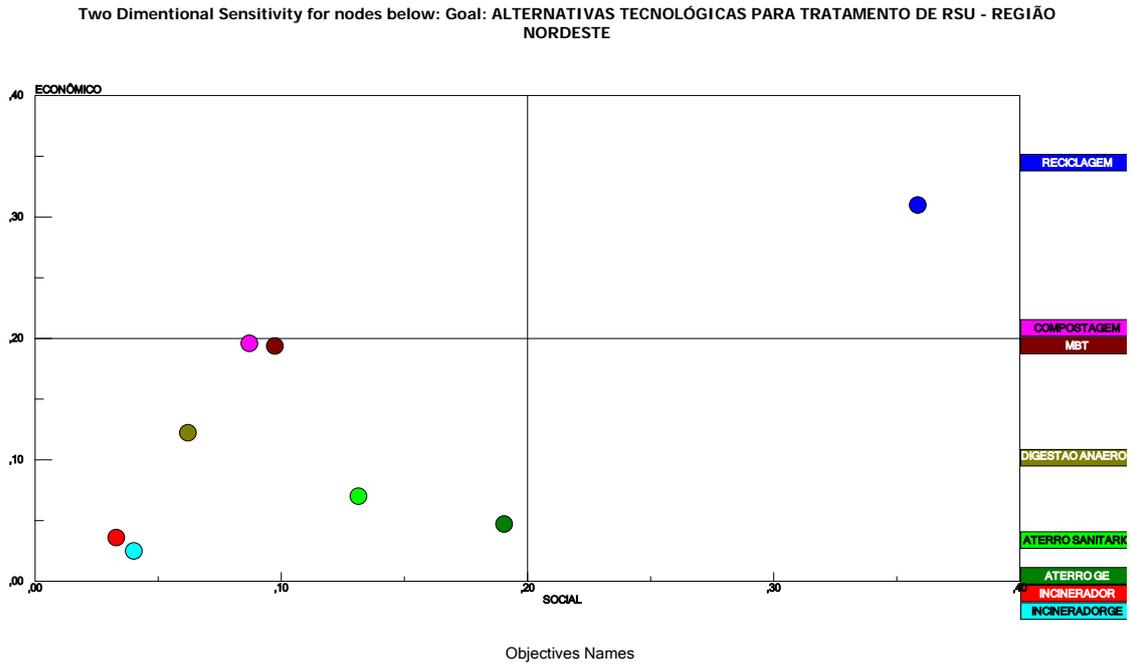


Figura AP.0.19 - Importância relativa dos critérios social e econômico por tecnologias na Região Nordeste.

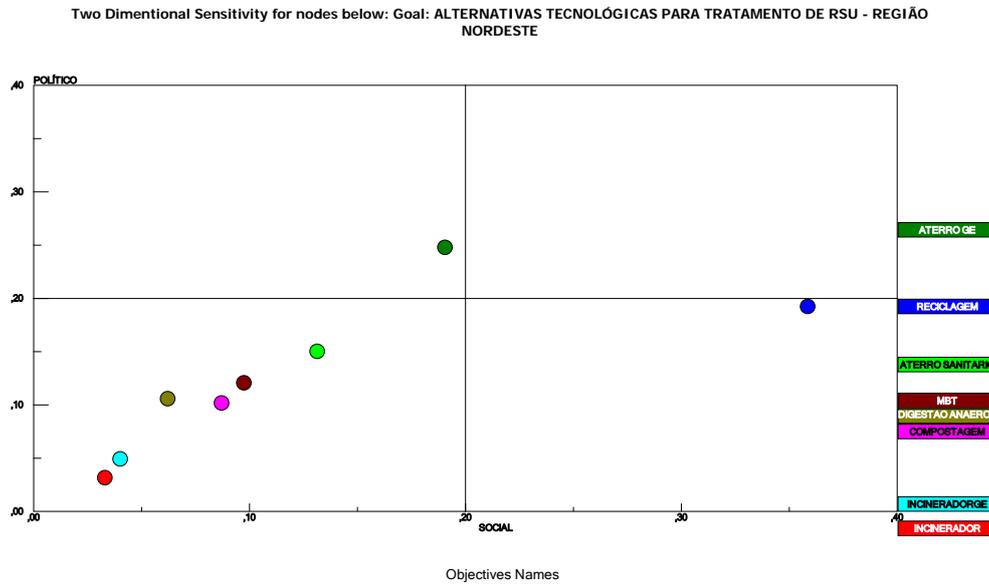


Figura AP.0.20 - Importância relativa dos critérios social e político por tecnologias na Região Nordeste.

Two Dimensional Sensitivity for nodes below: Goal: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA TRATAMENTO DE RSU - REGIÃO NORDESTE

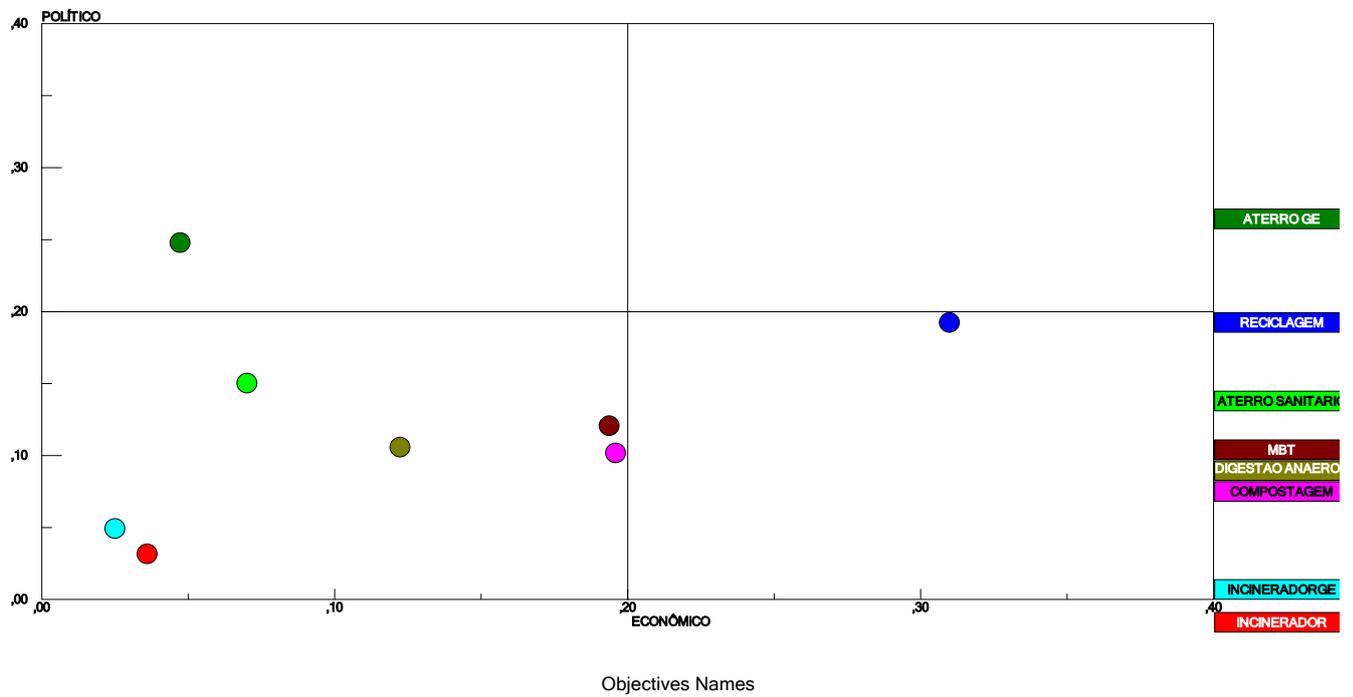


Figura AP.0.21 - Importância relativa entre os critérios econômicos e políticos por tecnologias na Região Nordeste.

## PROMETHEE

	<input checked="" type="checkbox"/>																
scenario1	PERCENTUA...	POLUENTES ...	QUANTIDAD...	USO DE ENE...	DENSIDADE ...	ÁREA ÚTIL D...	NÚMERO DE ...	PIB LOCAL/R...	IDH LOCAL/...	CUSTO TOT...	CUSTO DE M...	TEMPO MÉDI...	CUSTO DE E...	CUSTO DE P...	RETORNO P...	ACEITABILI...	ADOÇÃO DE...
Unit	%	%	%	%	%	%	UNIDADES	R\$/Hab	ÍNDICE	R\$/t	R\$/t	ANOS	R\$/t	R\$/t	%	%	%
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>																	
Min/Max	max	min	min	max	min	min	max	max	max	min	min	min	min	min	max	max	max
Weight	0,09	0,06	0,16	0,02	0,04	0,04	0,20	0,08	0,02	0,09	0,09	0,02	0,01	0,02	0,00	0,03	0,03
Preference Fn.	Usual																
Thresholds	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	percentage	absolute	percentage	percentage	percentage							
- Q: Indifference	n/a																
- P: Preference	n/a																
- S: Gaussian	n/a																
<b>Statistics</b>																	
Minimum	20,00	2,00	0,00	0,00	10,00	5,00	30,00	6749,00	0,75	12,00	5,00	0,70	0,15	0,50	40,00	50,00	50,00
Maximum	90,00	80,00	30,00	70,00	45,00	100,00	120,00	6749,00	0,75	350,00	1850,00	5,00	20,00	30,00	90,00	90,00	100,00
Average	61,25	39,00	12,75	41,25	29,38	30,88	55,00	6749,00	0,75	64,13	373,75	1,89	3,87	7,04	71,25	73,75	71,25
Standard Dev.	25,59	26,66	9,58	20,73	12,36	40,04	28,61	0,00	0,00	108,42	594,03	1,54	6,28	9,09	18,33	11,11	14,52
<b>Evaluations</b>																	
<input checked="" type="checkbox"/> RECICLAGEM	20,00	5,00	15,00	60,00	30,00	15,00	120,00	6749,00	0,75	18,00	650,00	1,00	2,50	0,50	90,00	80,00	100,00
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR	90,00	70,00	10,00	60,00	40,00	5,00	30,00	6749,00	0,75	35,00	85,00	4,00	0,15	1,80	40,00	70,00	60,00
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO	35,00	80,00	0,00	0,00	10,00	100,00	80,00	6749,00	0,75	12,00	5,00	1,00	1,00	6,00	50,00	70,00	50,00
<input checked="" type="checkbox"/> TMB	70,00	2,00	22,00	35,00	45,00	5,00	50,00	6749,00	0,75	350,00	1850,00	0,90	5,00	8,00	80,00	80,00	80,00
<input checked="" type="checkbox"/> DIGESTÃO ANAE...	80,00	40,00	15,00	30,00	30,00	7,00	50,00	6749,00	0,75	22,00	280,00	0,70	20,00	30,00	90,00	70,00	70,00
<input checked="" type="checkbox"/> COMPOSTAGEM	70,00	20,00	30,00	35,00	30,00	5,00	40,00	6749,00	0,75	20,00	8,00	1,00	0,60	1,00	90,00	50,00	80,00
<input checked="" type="checkbox"/> ATERRO GE	35,00	45,00	0,00	40,00	10,00	100,00	35,00	6749,00	0,75	16,00	14,00	1,50	1,50	7,00	60,00	90,00	60,00
<input checked="" type="checkbox"/> INCINERADOR GE	90,00	50,00	10,00	70,00	40,00	10,00	35,00	6749,00	0,75	40,00	98,00	5,00	0,20	2,00	70,00	80,00	70,00

Figura AP.0.22 - Hierarquia aplicada à região Nordeste.



Figura AP.0.23 – Pesos aplicados aos subcritérios da Região Nordeste.

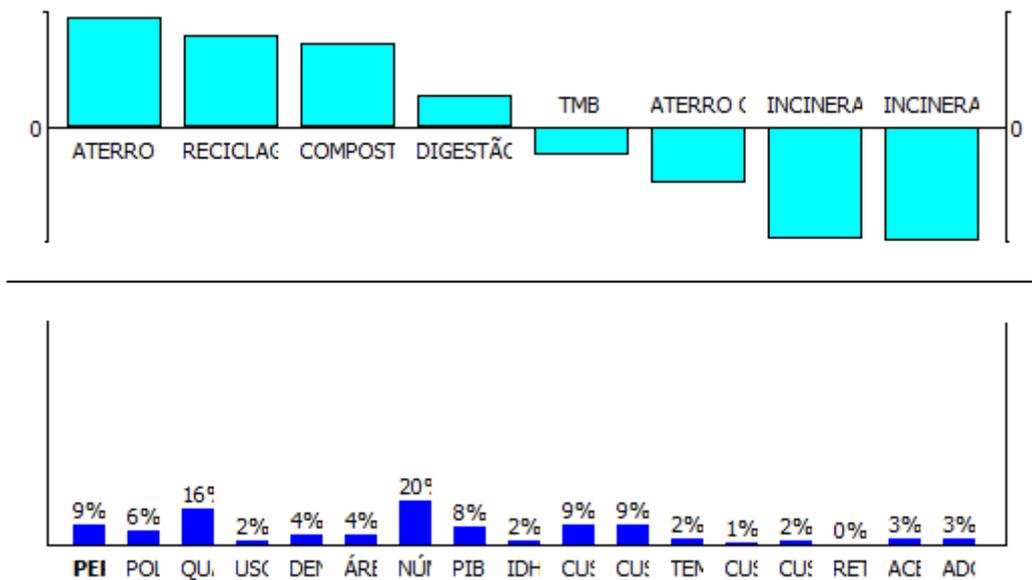


Figura AP.0.24 – Tecnologias após a aplicação dos pesos em relação ao fluxo líquido.

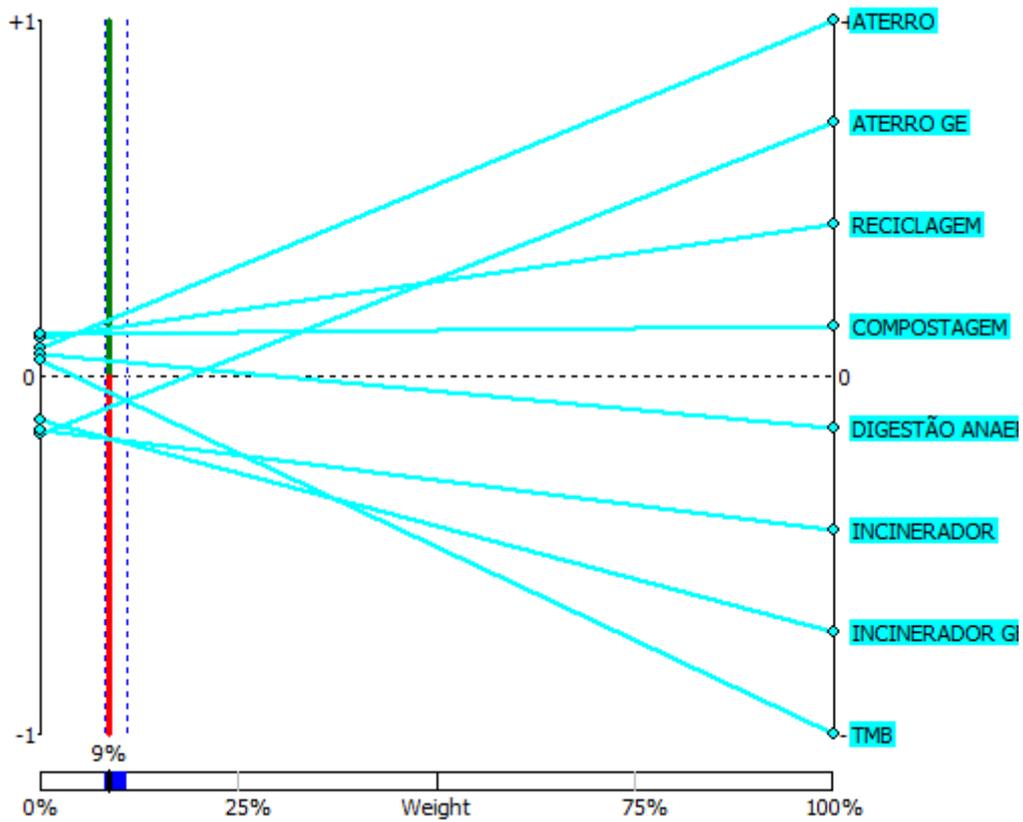


Figura AP.0.25 – Ranking parcial, ao aplicar os pesos atribuídos aos critérios e subcritérios, relacionando as tecnologias.

	Phi+	Phi-	Phi
<b>RECICLAGEM</b>	0,4859	0,3482	0,1377
<b>INCINERADOR</b>	0,3238	0,4955	-0,1717
<b>ATERRO</b>	0,4250	0,2616	0,1634
<b>TMB</b>	0,3090	0,3516	-0,0427
<b>DIGESTÃO</b>	0,3599	0,3125	0,0474
<b>COMPOSTAGEM</b>	0,4011	0,2762	0,1249
<b>ATERRO GE</b>	0,2917	0,3772	-0,0856
<b>INCINERADOR GE</b>	0,2469	0,4203	-0,1734

Figura AP.0.26 – Fluxos de preferência por tecnologia

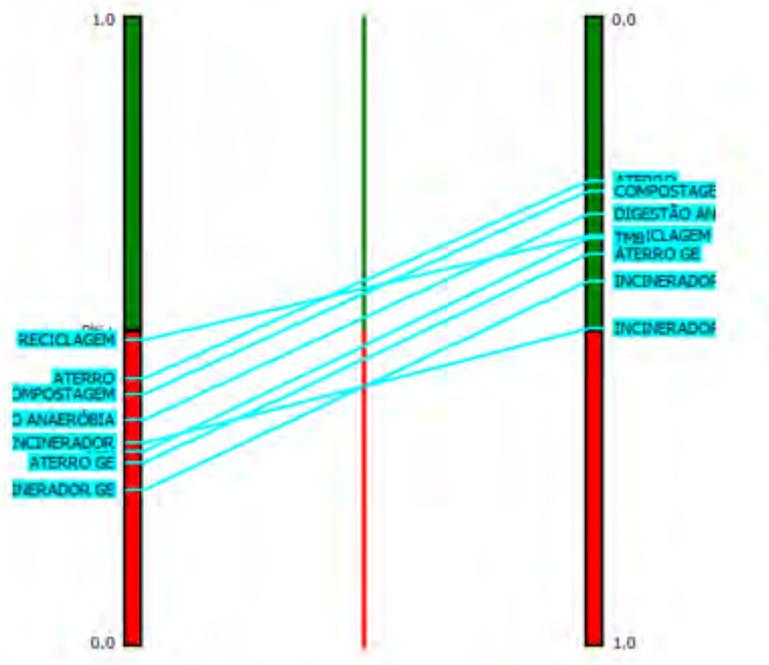


Figura AP.0.27 – Promethee I – Parcial Ranking – Região Nordeste.

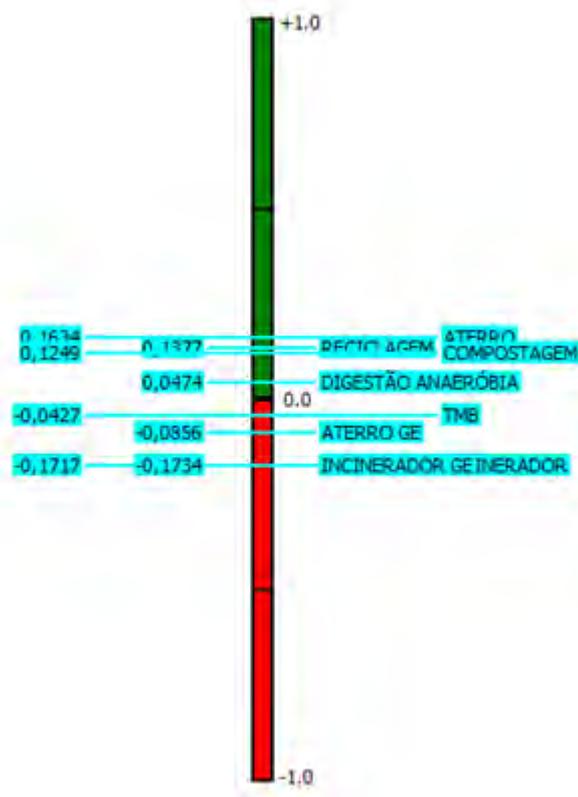


Figura AP.0.28 – Tecnologias por ordem de preferência. Ranking Total – Promethee II

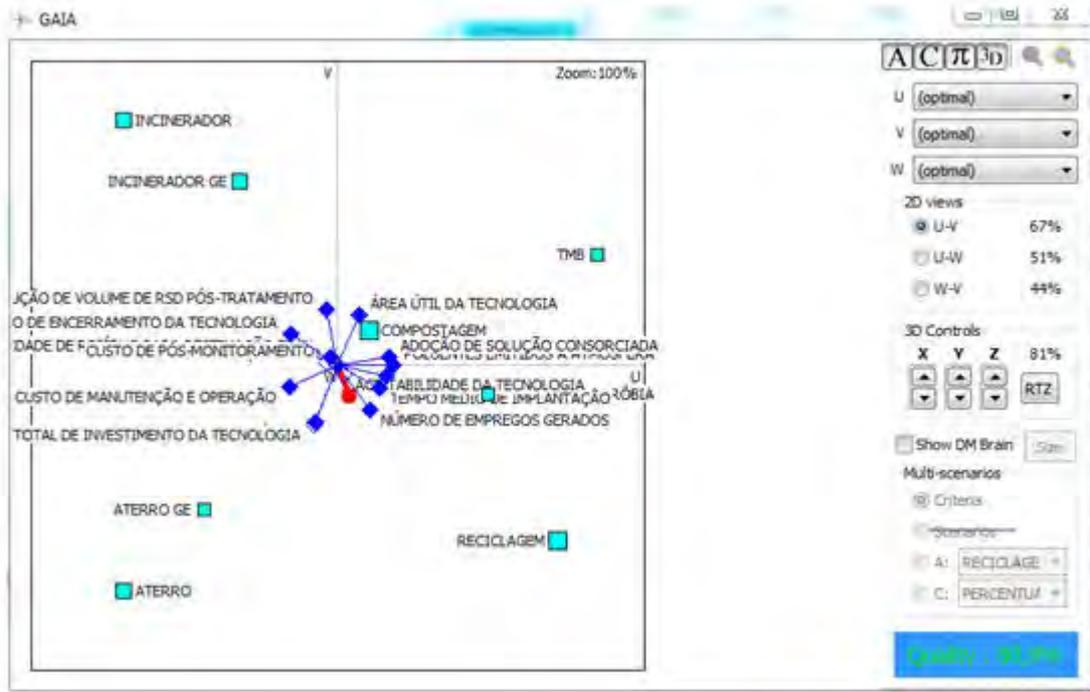


Figura AP.0.29 – Descrição gráfica do Plano Gaia para o Promethee II.

5 PROMETHEE V

Constraints Solution

Status: Done!   Display PROMETHEE II Ranking

Actions	Net Flow	Optimal		Compare		Constraints	Optimal		Compare	
		Yes	No	Yes	No		LHS	RHS	LHS	RHS
<b>Total:</b>	<b>0,0000</b>	<b>Yes</b>	<b>No</b>	<b>Yes</b>	<b>No</b>					
RECICLAGEM	0,1377	Yes	No	Yes	No	Minimum	8,00	>=	8,00	8,00
INCINERADOR	-0,1717	Yes	No	Yes	No	Maximum	8,00	<=	8,00	8,00
ATERRO	0,1634	Yes	No	Yes	No					
TMB	-0,0427	Yes	No	Yes	No					
DIGESTÃO ANA...	0,0474	Yes	No	Yes	No					
COMPOSTAGEM	0,1249	Yes	No	Yes	No					
ATERRO GE	-0,0856	Yes	No	Yes	No					
INCINERADOR GE	-0,1734	Yes	No	Yes	No					

Figura AP.0.30 – Tecnologias por ordem de preferência, Ranking Total – Promethee V.

5 PROMETHEE V

Constraints Solution

Status: Done!   Display PROMETHEE II Ranking

Actions	Net Flow	Optimal		Constraints	Optimal		Compare	
		Yes	No		LHS	RHS	LHS	RHS
<b>Total:</b>	<b>0,4733</b>	<b>Yes</b>	<b>Yes</b>					
RECICLAGEM	0,1377	Yes	Yes	Minimum	4,00	>=	1,00	4,00 >= 1,00
INCINERADOR	-0,1717	No	No	Maximum	4,00	<=	8,00	4,00 <= 8,00
ATERRO	0,1634	Yes	Yes					
TMB	-0,0427	No	No					
DIGESTÃO ANA...	0,0474	Yes	Yes					
COMPOSTAGEM	0,1249	Yes	Yes					
ATERRO GE	-0,0856	No	No					
INCINERADOR GE	-0,1734	No	No					

Figura AP.0.31 – Tecnologias por ordem de preferência, Ranking Total – Promethee V.