

Arthur Mendonça Quinhones Siqueira

**Uma proposta de avaliação integrada do uso energético dos resíduos sólidos urbanos por meio da teoria de utilidade multiatributo (MAUT)**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica. Orientador: Prof. Hans Helmut Zürn, Ph. D. Coorientador: Prof. Everthon Tagori Sica, Dr. Eng.

Florianópolis

2017



Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Siqueira, Arthur Mendonça Quinhones

Uma proposta de avaliação integrada do uso energético dos resíduos sólidos urbanos por meio da teoria da utilidade multiatributo (MAUT) : / Arthur Mendonça Quinhones Siqueira ; orientador, Hans Helmut Zürn ; coorientador, Everthon Tagori Sica. - Florianópolis, SC, 2017.

159 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em , Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. . 2. Resíduos Sólidos Urbanos. 3. Geração Distribuída. 4. Avaliação. 5. Multicritério. I. Zürn , Hans Helmut . II. Sica, Everthon Tagori. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em . IV. Título.

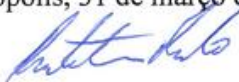


Arthur Mendonça Quinhones Siqueira

**UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO INTEGRADA DO USO  
ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR  
MEIO DA TEORIA DE UTILIDADE MULTIATRIBUTO  
(MAUT)**

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovada em sua forma final pelo Programa de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 31 de março de 2017.



---

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



---

Prof. Hans Helmut Zurn, Ph. D.  
Orientador



---

Prof. Everthon Tagori Sica, Dr.  
Coorientador



---

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.



A cada pessoa que me acompanhou em carne,  
mente e espírito: Sem vocês seria insuportável.





## AGRADECIMENTOS

Sou eternamente grato ao casal que me deu a luz da vida e sempre apoiaram incondicionalmente a minha caminhada: Wesley e Cristina.

Sou grato à minha melhor amiga, que, em minha ausência, foi responsável por segurar a onda em casa: Marina.

Sou grato à mulher que me acompanhou, lado a lado, me proporcionando acolhimento com toda sua doçura e delicadeza: Ângela.

Agradeço às minhas avós Luzia Fray e Darzi Quinhones e aos meus avôs José Irene de Siqueira e Fernando Góes Mendonça.

Sou grato às famílias que constitui em Florianópolis:

À Rep. In Wood: Em especial aos meus irmãos Daniel M. Ayoub, Ivan L. Bianchini e Anastácia Mello, que compartilharam e vivenciaram comigo os mais diversos momentos, durante a convivência diária, ao longo de quase 5 anos.

À Rep. Na Paulista: Diego B. Globekner, Mauricio Kac Dalva e Guilherme B. Mesquita, por termos enfrentado juntos o desafio da busca pela autonomia e independência, numa cidade nova, longe do aconchego familiar, com muita ternura, alegria e recheado de boas histórias.

À Rep. Tapa Tois e Rep. Varandagem: Em especial a Giovana Bragiola, Marcos Piacentini e Gloire Ilonde que em uma vivência breve e intensa me ensinaram muito.

Às Rep. Tiliano, Rep. Ponta Cana, Rep. CCP, Rep. Black Dog, Rep. Das Bananeiras e agregados de cada uma que me mostraram que é possível construir uma realidade mais cooperativa e solidária, onde cada um tem seu papel e compõe o todo.

Sou grato às grandes amigas e conselheiras Luciana Diniz, Nairim Moreira e Catarina Horn.

Sou grato à todos amigos e parceiros de São Paulo: Em especial Gabriel A. Bento e Camila, Felipe Alves Carlos, Pedro Mazzetti e Julia Novoa, Gabriel Valery, Rodrigo Soares, Bruno Moreira e Rafael Martins que, apesar da distância, sempre se mantiveram presentes em minha vida.

Agradeço a cada pessoa que trabalhou e investiu seu tempo na no Serviço Modelo de Engenharia e Tecnologia que foi, junto com o ENEDS, um dos espaços mais importantes de minha formação enquanto

engenheiro. A luta por uma Engenharia Popular e Solidária está avançando.

Agradeço aos amigos e colegas do INEP, Eletrosul e LabPlan: Em especial ao Marcos Aurélio, pela convivência, e aos prof. Telles Brunelli e prof. Mauro Rosa por abrirem as portas desses espaços ricos em informação e oportunidades.

Agradeço imensamente a confiança e o respeito depositados em mim pelo meu orientador prof. Everthon T. Sica. Obrigado pelo seu apoio incondicional, pela paciência, por ter me mostrado os possíveis caminhos a serem seguidos me dando liberdade de escolha.

Agradeço ao meu orientador prof. Hans Helmut Zürn pela sua paciência e compreensão. O senhor é um grande inspirador: Obrigado pelo apoio.

Agradeço à pessoa que julgo ser um exemplo de pedagogo: prof. Renato Lucas Pacheco. Sem você o Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica poderia ser comparado à linha de montagem dos *Tempos Modernos* de Charlie Chaplin.

Por fim, agradeço aos contribuintes, funcionários, servidores e professores da Universidade Federal de Santa Catarina pela oportunidade de desfrutar o privilégio de estudar em uma universidade pública, gratuita e de qualidade.

É impossível lembrar de todos que fizeram parte desta caminhada, mas agradeço a cada pessoa que fez parte dela: Vocês inspiram o que há de melhor em mim.

“Às vezes penso que foi tudo em vão  
Parei pra pensar tantos anos depois  
Se lembra quando éramos mais jovens  
E tudo parecia ser mais fácil

Acho que crescemos demais  
Aconteceu o que temíamos  
Não vamos mais nos entender  
Se foi a natureza ou o sistema só o tempo dirá”

*Canção para amigos – Dead Fish*

“A manhã que acorda nunca é  
A que vai dormir  
A manhã que acorda nunca é  
A que vai dormir

Seja a morte nascer do dia  
Morre-se a cada dia

Sabedoria é desaprender  
O que se finge saber

Sabedoria é desaprender”

(Caio Prado)



## RESUMO

Este trabalho se propõe a avaliar alternativas do uso de resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica. Parte-se de uma revisão bibliográfica sobre Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, Geração Distribuída e Diretrizes e Instrumentos das Políticas Nacionais voltadas a este fim. Em seguida, a partir do entendimento da problemática intrínseca nesta ideia, busca-se estratégias para construção de um modelo capaz de avaliar alternativas de geração de energia elétrica aliada ao manejo e tratamento adequado dos resíduos. Para tanto, adota-se, dentro do campo das metodologias multicriteriais de apoio à decisão, a Teoria da Utilidade Multiatributo. Posteriormente a estruturação e equacionamento da metodologia, aplica-se o modelo em estudos de caso através de softwares computacionais que terão como resposta a melhor alternativa, dentro dos critérios estabelecidos previamente.

**Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Geração Distribuída; Multicritério; Avaliação.**



## **ABSTRACT**

This work proposes to evaluate alternatives for use of municipal solid waste to electricity generation. The first part consist in a literature review on Integrated Solid Waste Management, Distributed Generation and National Policy Guidelines and Instruments geared to this end. Then, understanding the intrinsic problem in idea, strategies are investigated for the construction of a model capable of evaluating the alternatives of allied electric power generation in waste management and treatment. For this, a Multi-attribute Theory of Utility is adopted within the field of multiple-criteria decision analysis methodologies. Subsequently a structuring and equationament of the methodology, the model is applied in case studies through computational softwares that have as answer a better alternative, within the previously established criteria.

**Keywords: Urban Solid Waste; Distributed Generation: Multicriteria; Evaluation.**





## FIGURAS

FIGURA 1 - COMPOSIÇÃO RSU RIO DE JANEIRO .....	13
FIGURA 2 - COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RSU DE UBATUBA .....	13
FIGURA 3 - EXEMPLO DA EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO POR HABITANTE DE ACORDO COM A POPULAÇÃO A SER ATENDIDA, APENAS COM IMPLANTAÇÃO E EQUIPAMENTOS.....	16
FIGURA 4 - ETAPAS DA DIGESTÃO ANAERÓBICA .....	21
FIGURA 5 - GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM FUNÇÃO DA SAZONALIDADE .....	30
FIGURA 6 - GERAÇÃO MENSAL DE RESÍDUOS ORIUNDOS DA LIMPEZA PÚBLICA .....	31
FIGURA 7 - CONFIABILIDADE DO SISTEMA.....	38
FIGURA 8 - ORDEM DE PRIORIDADE .....	48
FIGURA 9 - DO NACIONAL AO LOCAL.....	48
FIGURA 10 - ESTRUTURAÇÃO DA TÉCNICA MULTICRITÉRIO .....	60
FIGURA 11 - ÁRVORE DE CRITÉRIOS.....	62
FIGURA 12 - COMPORTAMENTO PROPENSO .....	70
FIGURA 13 - COMPORTAMENTO AVESSO.....	71
FIGURA 14 - MATRIZ CONCORDÂNCIA CARACTERÍSTICAS DO MANEJO DOS RESÍDUOS .....	76
FIGURA 15 - COMPORTAMENTO DESCRITOR CARACTERÍSTICAS DO MANEJO.....	76
FIGURA 16 - TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE OS CRITÉRIOS DO PFV RSU.....	77
FIGURA 17 - MATRIZ CONCORDÂNCIA TRP DA BARRA DE FOLGA A RECEBER A GD..	78
FIGURA 18 - COMPORTAMENTO DESCRITOR TRP DA BARRA DE FOLGA A RECEBER A GD .....	79
FIGURA 19 - MATRIZ CONCORDÂNCIA CARACTERÍSTICAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	81
FIGURA 20 - COMPORTAMENTO DESCRITOR CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE GERAÇÃO.....	81
FIGURA 21 - TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE CRITÉRIOS DO PVF ELÉTRICO.....	82
FIGURA 22 - MATRIZ CONCORDÂNCIA CLASSE SOCIAL PREDOMINANTE NA REGIÃO DE ESTUDO .....	85
FIGURA 23 - COMPORTAMENTO DESCRITOR CLASSE SOCIAL PREDOMINANTE NA REGIÃO DE ESTUDO .....	85
FIGURA 24 - TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE CRITÉRIOS PVF SOCIAL.....	87
FIGURA 25- MATRIZ CONCORDÂNCIA CUSTO DA PLANTA DE GERAÇÃO ELÉTRICA..	88
FIGURA 26 - COMPORTAMENTO DESCRITOR CUSTO DA PLANTA DE GERAÇÃO ELÉTRICA .....	89
FIGURA 27 - MATRIZ CONCORDÂNCIA INCENTIVOS FISCAIS E FINANCEIROS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA GD.....	90
FIGURA 28 - COMPORTAMENTO DESCRITOR INCENTIVOS FISCAIS E FINANCEIROS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA GD .....	91

FIGURA 29 - TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE CRITÉRIOS DO PVF ECONÔMICO .....	93
FIGURA 30 - MATRIZ CONCORDÂNCIA REDUÇÃO DOS GEE .....	94
FIGURA 31 - MATRIZ CONCORDÂNCIA MÉTODO DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL.....	95
FIGURA 32 - TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO DO PVF AMBIENTAL .....	95
FIGURA 33 - MATRIZ CONCORDÂNCIA PMGIRS.....	96
FIGURA 34 - COMPORTAMENTO DESCRITOR PMGIRS .....	97
FIGURA 35 - MATRIZ CONCORDÂNCIA INCENTIVO PARA IMPLANTAÇÃO .....	98
FIGURA 36 - COMPORATMENTO DESCRITOR INCENTIVO PARA IMPLANTAÇÃO .....	98
FIGURA 37 - MATRIZ CONCORDÂNCIA ENVOLVIMENTO DE ESCOLAS E UNIVERSIDADES.....	99
FIGURA 38 - TAXA DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE CRITÉRIOS DO PVF POLÍTICO .....	100
FIGURA 39 - MATRIZ CONCORDÂNCIA CARACTERÍSTICAS DE GERAÇÃO DO BIOGÁS .....	101
FIGURA 40 - MATRIZ CONCORDÂNCIA TIPO DE GESTÃO .....	102
FIGURA 41 - MATRIZ CONCORDÂNCIA REGIME DIÁRIO DE FUNCIONAMENTO DA PLANTA .....	103
FIGURA 42 - TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO ENTRE CRITÉRIOS PVF OPERACIONAL.....	103
FIGURA 43 - ÁRVORE DE CRITÉRIOS .....	105
FIGURA 44 - MATRIZ CONCORDÂNCIA PFV .....	106
FIGURA 45 - SISTEMA IEEE 15 BARRAS .....	106
FIGURA 46 - DESEMPENHO DAS ALTERNATIVAS .....	123

## TABELAS

TABELA 1 - EXEMPLOS DE CATEGORIAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	9
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS .....	12
TABELA 3 - RESULTADOS PRELIMINARES DO DESEMPENHO DE BIODIGESTORES MODELO INDIANO E CHINÊS .....	24
TABELA 4 - ALGUMAS DAS VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	36
TABELA 5- NÍVEIS DE TENSÃO CONSIDERADOS PARA CONEXÃO DE MICRO E MINCENTRAIS GERADORAS .....	39
TABELA 6 - REQUISITOS MÍNIMOS EM FUNÇÃO DA POTENCIA INSTALADA .....	41
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO DE SA.....	45
TABELA 8 - DIFERENÇAS BÁSICAS ENTRE AS ESCOLAS EUROPÉIA E AMERICANA...57	
TABELA 9 - INTENSIDADE DA PREFERÊNCIA ENTRE P E Q .....	66
TABELA 10 – COEFICIENTE I EM FUNÇÃO DE N .....	67
TABELA 11 – MODELAGEM PRODUÇÃO MÉDIA PER CAPTA DE RS.....	74
TABELA 12 – MODELAGEM PROPORÇÃO DE ORGÂNICOS NO TOTAL COLETADO.....	75
TABELA 13 – MODELAGEM CARACTERÍSTICAS DO MANEJO DOS RESÍDUOS.....	76
TABELA 14 – MODELAGEM QUANTIDADE RECOLHIDA DE RECICLÁVEIS.....	77
TABELA 15 – MODELAGEM TRP DA BARRA A RECEBER A GD.....	79
TABELA 16 – MODELAGEM GANHO DE POTENCIA ATIVA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	80
TABELA 17 – MODELAGEM CARACTERÍSTICAS DA PLANTA DE GERAÇÃO ELÉTRICA.....	82
TABELA 18 – MODELAGEM DENSIDADE DEMOGRÁFICA.....	83
TABELA 19 – MODELAGEM POPULAÇÃO ATENDIDA PELO SERVIÇO DE COLETA EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO TOTAL DO MUNICÍPIO.....	83
TABELA 20 - MODELAGEM IDH-M .....	84
TABELA 21 – MODELAGEM PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL .....	84
TABELA 22 – MODELAGEM CLASSE SOCIAL PREDOMINANTE NA REGIÃO DE ESTUDO .....	86
TABELA 23 – MODELAGEM SAZONALIDADE NA GERAÇÃO DE RSU.....	86
TABELA 24 – MODELAGEM TAXA DE EMPREGADOS POR HABITANTE URBANO .....	87
TABELA 25 – MODELAGEM CUSTO UNITÁRIO MÉDIO DO SERVIÇO DE COLETA.....	88
TABELA 26 – MODELAGEM CUSTO DA PLANTA DE GERAÇÃO .....	89
TABELA 27 – MODELAGEM INCENTIVOS FISCAIS E FINANCEIROS PAR IMPLANTAÇÃO DA GD .....	91
TABELA 28 – MODELAGEM RECEITA ARRECADADA PER CAPTA COM SERVIÇOS DE MANEJO .....	92
TABELA 29 – MODELAGEM GASTOS COM SERVIÇOS TERCEIRIZADOS DE DISPOSIÇÃO EM ATERRO.....	92
TABELA 30 – MODELAGEM AMPLITUDE TÉRMICA .....	93

TABELA 31 – MODELAGEM REDUÇÃO DOS GEE .....	94
TABELA 32 – MODELAGEM MÉTODO DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL.....	95
TABELA 33 – MODELAGEM - PMGIRS.....	97
TABELA 34 – MODELAGEM INCENTIVO PARA IMPLANTAÇÃO .....	99
TABELA 35 – MODELAGEM ENVOLVIMENTO DE ESCOLAS E UNIVERSIDADES.....	100
TABELA 36 – MODELAGEM CARACTERÍSTICAS DE GERAÇÃO DO BIOGÁS.....	101
TABELA 37 – MODELAGEM TIPO DE GESTÃO .....	102
TABELA 38 – MODELAGEM REGIME DIÁRIO DE OPERAÇÃO DA PLANTA ELÉTRICA	103
TABELA 39 - LISTA DE CRITÉRIOS.....	104
TABELA 40 - DADOS DO SISTEMA IEEE 15 BARRAS .....	107
TABELA 41 – ESTIMATIVAS CASO 1 .....	113
TABELA 42 - CÁLCULO PARÂMETROS CASO 1.....	113
TABELA 43 - GPASD CASO 1 .....	114
TABELA 44 - TRP BARRA 13 PARA O CASO 1.....	114
TABELA 45 – ESTIMATIVAS CASO 2 .....	115
TABELA 46 - CÁLCULO PARÂMETROS CASO 2.....	115
TABELA 47 – GPASD CASO 2 .....	116
TABELA 48 - TRP BARRA 13 PARA O CASO 2.....	116
TABELA 49 - ESTIMATIVAS CASO 3 .....	116
TABELA 50 - CÁLCULO PARÂMETROS CASO 3.....	117
TABELA 51 – GPASD CASO 3 .....	117
TABELA 52 - TRP BARRA 13 PARA O CASO 3.....	118
TABELA 53 - MATRIZ INFORMAÇÕES .....	119
TABELA 54 - MATRIZ DESEMPENHO DE VALOR SOB COMPORTAMENTO INDIFERENTE. ....	120
TABELA 55 - MATRIZ DESEMPENHO DE VALOR SOB COMPORTAMENTO ECONÔMICO. .....	121
TABELA 56 - MATRIZ DESEMPENHO CONSIDERANDO TAXAS DE SUBSTITUIÇÃO...	122
TABELA 57 - VALOR DAS ALTERNATIVAS .....	124

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BB	Banco do Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BT	Baixa Tensão
CEF	Caixa Econômica Federal
COMCAP	Companhia Melhoramentos da Capital
EE	Energia Elétrica
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPASD	Ganho de Potência Ativa do Sistema de Distribuição
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
MAUT	Multi Attribute Utility Theory
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
MCDM	Multi Critéria Decision Making
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RDO	Resíduo Domiciliar
RPU	Resíduo Público
RS	Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SDEE	Sistema de Distribuição de Energia Elétrica
SLU	Serviço de limpeza urbana
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SIN	Sistema Elétrico Interligado Nacional
SINIMA	Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SRHQA	Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano
TRP	Tensão em Regime Permanente
TUSD	Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição
TUST	Tarifas de Uso dos Sistemas de Transmissão



# SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. PREMISSAS.....	3
1.3. OBJETIVO GERAL .....	3
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5. METODOLOGIA.....	4
1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	4
1.6.1. <i>Revisão Bibliográfica</i> .....	4
1.6.2. <i>Modelagem da metodologia</i> .....	4
1.6.3. <i>Implementação do modelo</i> .....	4
1.6.4. <i>Estudo de caso</i> .....	5
1.7. RESULTADOS ESPERADOS .....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS .....</b>	<b>7</b>
2.1. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	7
2.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	7
2.2.1. <i>Definição</i> .....	7
2.2.2. <i>Caracterização</i> .....	8
2.2.3. <i>Classificação</i> .....	10
2.2.3.1. Domiciliar.....	10
2.2.3.2. Comercial .....	10
2.2.3.3. Público .....	10
2.2.3.4. Serviços de Saúde e Hospitalar.....	11
2.2.3.5. Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários. 11	
2.2.3.6. Industrial.....	11
2.2.3.7. Agrícola .....	11
2.2.4. <i>Diagnóstico</i> .....	12
2.3. MÉTODOS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU.....	14
2.3.1. <i>Lixão</i> .....	15
2.3.2. <i>Aterros</i> .....	15
2.3.3. <i>Coleta Seletiva de Resíduos</i> .....	17
2.3.4. <i>Logística reversa</i> .....	17
2.3.5. <i>Reciclagem</i> .....	18
2.3.6. <i>Compostagem</i> .....	18
2.3.7. <i>Digestão Anaeróbica</i> .....	20
2.3.7.1. Biodigestores.....	21
2.3.7.1.1. Batelada .....	22
2.3.7.1.2. Estágio único .....	22
2.3.7.1.3. Estágios múltiplos.....	23
2.3.7.1.4. Indiano .....	23

2.3.7.1.5. Chines.....	23
2.3.7.1.6. Canadense.....	24
2.3.7.1.7. Mistura completa.....	25
2.3.8. <i>Incineração</i> .....	25
2.4. MANEJO.....	26
2.4.1. <i>Acodicionamento</i> .....	27
2.4.2. <i>Coleta</i> .....	27
2.4.2.1. Coleta porta a porta.....	28
2.4.2.2. Coleta ponto a ponto.....	28
2.4.3. <i>Transporte</i> .....	29
2.4.4. <i>Sazonalidade</i> .....	30
2.5. CONCEITO DE GESTÃO.....	31
2.5.1. <i>Gestão Privada</i> .....	31
2.5.2. <i>Gestão Pública</i> .....	32
2.5.3. <i>Gestão Social</i> .....	32
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....</b>	<b>35</b>
3.1. QUALIDADE DE ENERGIA.....	37
3.2. CONFIABILIDADE.....	38
3.3. TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	38
3.4. CONEXÃO.....	39
3.5. LOCALIZAÇÃO .....	40
3.6. PROTEÇÃO.....	40
3.7. MEDIÇÃO .....	42
3.8. MODOS DE OPERAÇÃO .....	42
3.9. SERVIÇOS ANCILARES .....	43
3.10. FATOR DE DEMANDA.....	45
3.11. FATOR DE CARGA .....	45
<b>4. DIRETRIZES E INSTRUMENTOS DAS POLÍTICAS NACIONAIS .....</b>	<b>47</b>
4.1. POLÍTICA NACIONAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (PNRS) .....	47
4.1.1. <i>Planos de Resíduos Sólidos</i> .....	48
4.1.1.1. Plano Nacional dos Resíduos Sólidos .....	49
4.1.1.2. Planos Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS) .....	50
4.1.1.3. Planos Microrregionais e de Regiões Metropolitanas .....	50
4.1.1.4. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) .....	51
4.1.2. <i>Sistemas de informação</i> .....	52
4.1.2.1. Sistemas brasileiros .....	52
4.1.2.2. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS .....	52
4.2. A LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002.....	53
4.2.1. <i>Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de ...</i>	53
4.2.2. <i>Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)</i> .....	54
4.2.3. <i>Resolução Normativa Nº 77 – ANEEL</i> .....	54



4.2.4. Resolução Normativa Nº 482 – ANEEL.....	55
4.2.5. Sistema de Compensação.....	55
<b>5. METODOLOGIAS MULTICRITERIAS .....</b>	<b>57</b>
5.1. MCDA.....	58
5.2. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO.....	59
5.2.1. Alternativas de ação potencial.....	61
5.2.2. Árvore do modelo multicritério .....	62
5.2.3. Taxa marginal de substituição (Traddeoff).....	63
5.2.4. Taxa marginal de substituição (Tradeoff).....	63
5.3. TEORIA DA PREFERÊNCIA .....	64
5.3.1. Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT).....	64
5.3.1.1. Analytic Hierarchy Process (AHP).....	65
5.3.1.1.1. Matriz concordância .....	66
5.3.1.1.2. Coeficiente de racionalidade (CR).....	67
5.4. EQUACIONAMENTO .....	67
5.4.1. Sistema de valores.....	67
5.4.2. Normalização linear proporcional.....	67
5.4.3. Normalização linear não proporcional .....	68
5.4.3.1. Crescente.....	68
5.4.3.2. Decrescente.....	68
5.4.4. Função desempenho .....	69
5.4.5. Função valor .....	69
5.4.6. Desempenho de valor sob comportamento indiferente.....	69
5.4.7. Desempenho de valor sob comportamento econômico .....	69
<b>6. ESTUDO DE CASO E SIMULAÇÃO .....</b>	<b>73</b>
6.1. MODELAGEM DO PROBLEMA .....	73
6.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos.....	73
6.1.1.1. Produção média per capta de RS .....	74
6.1.1.2. Proporção de orgânicos no total coletado.....	74
6.1.1.3. Características do manejo dos resíduos.....	75
Tabela 13 – Modelagem Características do manejo dos resíduos .....	76
6.1.1.4. Quantidade recolhida de recicláveis.....	77
Tabela 14 – Modelagem quantidade recolhida de recicláveis .....	77
6.1.1.5. Definição das taxas de substituição entre os critérios .....	77
6.1.2. Elétrico.....	78
6.1.2.1. Tensão em regime permanente da barra a receber a GD ..	78
6.1.2.2. Ganho de potência ativa do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica .....	79
6.1.2.3. Características da planta de geração elétrica .....	80
6.1.2.4. Definição das taxas de substituição entre os critérios .....	82
6.1.3. Social.....	82
6.1.3.1. Densidade demográfica.....	82
6.1.3.2. População atendida pelo serviço de coleta em relação à população total do município .....	83

6.1.3.3.	IDH-M.....	83
6.1.3.4.	Projeção de crescimento populacional.....	84
6.1.3.5.	Classe social predominante na região de estudo.....	84
6.1.3.6.	Sazonalidade na geração de RSU.....	86
6.1.3.7.	Taxa de empregados por habitante urbano.....	86
6.1.3.8.	Definição das taxas de substituição entre os critérios.....	87
6.1.4.	<i>Econômico</i> .....	87
6.1.4.1.	Custo unitário médio do serviço de coleta.....	87
6.1.4.2.	Custo da planta de geração elétrica.....	88
6.1.4.3.	Incentivos fiscais e financeiros para implantação da GD.....	89
6.1.4.4.	Receita arrecada per capita com serviços de manejo.....	91
6.1.4.5.	Gastos com serviços terceirizados de disposição em aterro 92	
6.1.4.6.	Definição das taxas de substituição entre os critérios.....	92
6.1.5.	<i>Ambiental</i> .....	93
6.1.5.1.	Amplitude térmica anual.....	93
6.1.5.2.	Redução dos GEE.....	93
6.1.5.3.	Método de tratamento e disposição final.....	94
6.1.5.4.	Definição das taxas de substituição entre os critérios.....	95
6.1.6.	<i>Político</i> .....	95
6.1.6.1.	PMGIRS.....	95
6.1.6.2.	Incentivo para implantação.....	97
6.1.6.3.	Envolvimento de escolas e universidades.....	99
6.1.6.4.	Definição das taxas de substituição entre os critérios.....	100
6.1.7.	<i>Operacional</i> .....	100
6.1.7.1.	Características de geração do biogás.....	100
6.1.7.2.	Tipo de gestão.....	101
6.1.7.3.	Regime diário de operação da planta elétrica.....	102
6.1.7.4.	Definição das taxas de substituição entre os critérios.....	103
6.1.8.	<i>Lista de critérios</i> .....	104
6.1.9.	<i>Árvore de critérios</i> .....	105
6.1.10.	<i>Taxas de substituição entre os PVF</i> .....	106
6.2.	<i>SOFTWARES UTILIZADOS</i> .....	106
6.3.	<i>SIMULAÇÃO</i> .....	106
6.3.1.	<i>SISTEMA IEEE 15 BARRAS</i> .....	106
6.3.2.	<i>Método de simulação</i> .....	107
6.4.	<i>ESTUDO DE CASO</i> .....	108
6.4.1.	<i>Caso 1</i> .....	108
6.4.2.	<i>Caso 2</i> .....	110
6.4.3.	<i>Caso 3</i> .....	111
6.5.	<i>ESTIMATIVA DE GERAÇÃO TERMO ELÉTRICA COM US DE</i> .....	112
BIODIGESTOR.....		112
6.5.1.	<i>Caso 1</i> .....	112
6.5.2.	<i>Caso 2</i> .....	115

6.5.3. Caso 3 .....	116
6.6. MATRIZES DE AVALIAÇÃO .....	118
6.6.1. Matriz de informações.....	119
6.6.2. Matriz desempenho de valor sob comportamento indiferente .....	120
6.6.3. Matriz desempenho de valor sob comportamento econômico .....	121
6.6.4. Matriz desempenho considerando taxas de substituição .....	122
6.7. RESULTADOS .....	123
6.7.1. Desempenho das alternativas.....	123
6.7.2. Avaliação global das alternativas.....	124
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>125</b>
7.1. INTRODUÇÃO.....	125
7.2. CONCLUSÕES.....	125
7.3. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	126
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>







# 1. APRESENTAÇÃO

## 1.1. INTRODUÇÃO

A ideia do desenvolvimento está intimamente ligada ao conceito de tecnologia. Tal fato subordina as metodologias acadêmicas tradicionais a um fetichismo pela tecnologia que ignora as causas e consequências do desenvolvimento tecnológico.

Esta obsessão reforça o *mito do desenvolvimento*, de Celso Furtado (1974), que, segundo o autor, é baseado num conjunto de hipóteses que não podem ser testadas.

Em sua *profecia do colapso*, Furtado ilustra o mito como faróis que iluminam o campo de percepção do cientista, permitindo-lhe ter uma visão nítida de certos problemas e nada a ver com outros, proporcionando-lhe um conforto intelectual, pois as discriminações valorativas que realiza surgem como um reflexo da realidade objetiva (FURTADO, 1974).

Neste contexto, Addor (2015) salienta que a construção da tecnologia que sirva à população e produza transformações efetivas, passa, inexoravelmente, por uma nova concepção de desenvolvimento tecnológico, onde é preciso compreender que o desenvolvimento de conhecimento e tecnologia não são exclusividades das universidades ou institutos de pesquisa.

Tais reflexões provocaram uma busca por maneiras de repensar o campo tecnológico, de forma que ele possa contribuir para a construção de um mundo social e ambientalmente mais justo.

Neste sentido, o presente trabalho foi motivado pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, de 2004, e pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos, de 2010.

Atualmente, o consumo excessivo e desenfreado de bens e serviços, nos centros urbanos, tem como consequência uma grande quantidade de resíduos, que sobrecarregam os sistemas de coleta e disposição do “lixo”, de forma que o Estado é obrigado a direcionar grande volume de recursos para este fim.

Bellingieri *et. al.* (2012) afirmam que, graças à diminuição do ciclo de vida útil dos produtos e à velocidade com que a tecnologia torna-os obsoletos, estimula-se um sistema de produção e consumo viciados.

A produção de produtos para consumo humano exige uma considerável parcela de geração de energia elétrica. Em contra partida,

observa-se uma tendência dos gestores públicos na direção de evitar a construção de grandes empreendimentos hidrelétricos e térmicos, devido à pressão de entidades sociais em função dos impactos socioambientais gerados.

Assim, a oferta de energia gerada com fontes intermitentes, como eólica e solar, tem se mostrado como alternativas mais limpas de incremento do sistema de geração de energia elétrica.

Entretanto, para os sistemas de energia operarem com confiabilidade, exige-se um *backup* destas com fontes de geração contínuas, de forma a garantir o atendimento à carga nos períodos de pouco vento e pouca radiação solar.

Assim, o crescimento da inserção de fontes intermitentes tem preocupado as companhias de distribuição, pois não há uma garantia absoluta do atendimento à carga e, além disso, as mesmas podem gerar instabilidade nos sistemas de distribuição.

Observa-se, ainda, que a demanda de energia elétrica tem crescido mais do que a oferta, e o preço deste recurso para o consumidor residencial fica cada vez mais alto.

A partir deste contexto, deseja-se avaliar, neste trabalho, as possibilidades do uso do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos para geração distribuída de energia elétrica, junto a incentivos para coleta seletiva dos materiais recicláveis.

Objetiva-se incentivar o desenvolvimento local, com gestão social, por meio da educação ambiental, descentralização da geração de energia elétrica e otimização do manejo e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

A abordagem da problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), com foco no seu aproveitamento energético, se deu através de uma avaliação integrada de alternativas de ações potenciais, a partir de uma análise multicriterial de apoio à decisão.

O trabalho proporcionou a estruturação de um modelo capaz de investigar aspectos econômicos, sociais, ambientais, políticos, operacionais e elétricos vinculados ao manejo e gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

Dentre as tecnologias disponíveis para o aproveitamento energético dos RSU, foi dada maior importância à micro geração distribuída, através da queima do biogás proveniente de digestores anaeróbicos.

Com o auxílio dos sistemas e informação dos Ministérios da Cidade e Meio Ambiente, Instituto de Geografia e Estatísticas, e de *softwares* computacionais foi possível alimentar o modelo desenvolvido



para avaliar o desempenho da possível implementação de um sistema de geração de energia elétrica (SDEE) a biogás em três diferentes cidades de pequeno porte.

## 1.2. PREMISSAS

- Alto consumo de bens e produtos;
- Excesso de RSU;
- Alto gastos com Coleta e Disposição dos RSU;
- Confiabilidade do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica frente à Geração Distribuída
- Custo da EE para o consumidor residencial;
- Necessidade de *backup* para as fontes renováveis intermitentes;
- Geração de emprego e renda.

## 1.3. OBJETIVO GERAL

Proposta de avaliação de alternativas para o manejo e uso energético dos RSU com foco no desenvolvimento local e gestão social.

## 1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar alternativas por meio da teoria das metodologias multicriteriais de apoio à decisão;
- Estudar, buscar e propor alternativas para descentralização da coleta, manejo, tratamento e disposição dos RSU;
- Avaliar o impacto da micro/mini geração termo elétrica a biogás conectada ao sistema de distribuição de energia elétrica;
- Explorar, propor, apresentar, estudar, incorporar, implementar o uso de metodologias participativas para o planejamento integrado de recursos;
- Desenvolver estudo de caso por meio de um *software* de simulação computacional.

## 1.5. METODOLOGIA

Partiu-se da pesquisa exploratória para alavancar os conhecimentos teóricos em pesquisas bibliográficas com consulta às bases disponibilizadas pela Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina.

Nos estudos de caso foi adotada a Teoria da Utilidade Multiatributo pautada nas Metodologias Multicriteriais de Apoio à Decisão.

## 1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

### 1.6.1. Revisão Bibliográfica

- a) Conceitos básicos;
  - a. RSU
  - b. GD
- b) Gestão e Gerenciamento de RS;
- c) Tecnologias para obtenção do biogás;
- d) Tecnologias de geração distribuída com Biogás;
- e) Políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos e geração distribuída;
- f) Metodologias Multicritério de Apoio a Decisão.

### 1.6.2. Modelagem da metodologia

- a) Estruturação do modelo;
- b) Determinação dos pontos de vista fundamentais;
- c) Determinação dos descritores;
- d) Construção da árvore de critérios;
- e) Equacionamento;

### 1.6.3. Implementação do modelo

Utilização dos *softwares* MS Excel e Matlab.

#### **1.6.4. Estudo de caso**

Usar a ferramenta desenvolvida para avaliar alternativas do uso do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos através da mini e micro geração termoelétrica em diferentes contextos.

#### **1.7. RESULTADOS ESPERADOS**

Proposição de alternativas favoráveis a descentralização do manejo de resíduos sólidos urbanos e geração térmica distribuída.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

### 2.1. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os sistemas de gerenciamento integrado consistem em um processo que inclui desde ações de geração, acondicionamento, coleta seletiva e triagem, transporte, transferência, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, até a manutenção da limpeza dos logradouros públicos. A obtenção da máxima redução na geração, aumento das ações de reutilização e reciclagem e no tratamento adequado para disposição final consistem nos planos de metas e ações deste sistema (Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Ubatuba, 2014)

Sua função é:

*“promover a inclusão social, economizar o uso dos recursos naturais e das fontes energéticas, transformar os resíduos em matérias-primas e matrizes energéticas alternativas para sociedade, com uma visão da sustentabilidade abrangente e que envolve as dimensões da equidade social, a viabilidade econômica e a qualidade ambiental”*  
(Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Ubatuba, 2014).

### 2.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

#### 2.2.1. Definição

Resíduo sólido já foi definido como todo o lixo resultante das atividades das aglomerações urbanas que não possua valor ou utilidade (PINTO, M. da S, 1979).

A definição de Hogan *et. al.* (2000) vai para além do meio urbano. Nela entende-se que resíduo sólido é “todo e qualquer material sólido decorrente das atividades humanas em sociedade, cujo produtor ou proprietário não o considere com valor suficiente para conservá-lo” (HOGAN ET AL, 2000, p. 290).

Já a NBR 10004 (ABNT (2004) define resíduos sólidos como resíduos nos estados semi-sólidos e sólidos, oriundos de atividades

industriais, hospitalares, domésticas, comerciais, agrícolas, varrição e de serviços. A norma brasileira classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

A LEI FEDERAL - 12.305, sancionada em 2010, trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) e traz a seguinte definição:

*“[...] resíduos sólidos podem ser: 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 (PNRS, 2010, p.11).*

Silvestre (2011) indica que a produção de resíduos está diretamente associada a todos os bens de consumo, desde a produção de matéria prima, fabricação, transporte, uso e descarte.

Entretanto, MONTEIRO, J. H. P. *et. al.* (2001) chamam a atenção para a condição de inservível do “lixo”, pois aquilo que não tem serventia para quem o descarta, para outro pode ser matéria prima de um novo produto ou processo.

### **2.2.2. Caracterização**

Os RS podem ser caracterizados de maneira quantitativa e qualitativa. A caracterização quantitativa é expressa em função de massa e volume, enquanto a caracterização qualitativa pode ser definidas de acordo com as diversas identificações físico-químicas (BRANCHER, 2010).

As características qualitativas e quantitativas dos resíduos sólidos podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos (CASTILHO JR, 2003).

No entendimento de Lima (1991), muitos são os fatores que influenciam a origem e formação do lixo, tais como: número de habitantes do local, variações sazonais, nível educacional, condições climáticas, hábitos e costumes da população, poder aquisitivo, eficiência e tempo da coleta, leis e regulamentações específicas e outros.

De todo modo, a Tabela 1 lista uma caracterização dos RS e apresenta alguns exemplos para cada categoria.

Tabela 1 - EXEMPLOS DE CATEGORIAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

CATEGORIA	EXEMPLO
Matéria orgânica putrescível	Restos alimentares, flores, podas de arvores.
Plástico	Sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes água e leite, recipientes de produtos de limpeza, esponjas, isopor, utensílios de cozinha.
Papel e papelão	Caixas, revistas, jornais, cartões, pratos, cadernos, livros, pastas.
Vidro	Copo, garrafas de bebida, pratos espelhos, embalagens de produtos de limpeza, embalagem de produtos alimentícios.
Metal ferroso	Palha de aço, alfinetes, agulhas, embalagens de produtos alimentícios.
Metal não-ferroso	Latas de bebidas, restos de cobre, restos de chumbo, fiação elétrica.
Madeira	Caixa, tábuas, palitos de fósforo, palitos de picolé, tampas, móveis, lenha.
Panos, trapos, couro e borracha.	Roupas, panos de limpeza, pedaços de tecido, bolsas, tecidos, sapatos, tapetes, luvas, cintos, balões.
Contaminante Químico	Pilhas, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, raticidas, colas em geral, cosméticos, vidro de esmaltes, embalagens de produtos químicos, latas de óleo de motor, latas de tintas, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel-carbono, filme fotográfico.
Contaminante biológico	Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, gases e panos com sangue, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, seringas, laminas de barbear, cabelos, pelos, embalagens de anestésicos, luvas cirúrgicas.
Pedra, terra e cerâmica	Vasos de flores, pratos, restos de construção, terra, tijolos, cascalho, pedras decorativas.
Diversos	Velas de cera, restos de sabão e sabonete, carvão, giz, pontas de cigarro, rolhas, cartões de créditos, lápis de cera, embalagens longa-vida, embalagens metalizadas, sacos de aspirador de pó, lixas e outros materiais de difícil identificação.

Fonte: Adaptado de (PESSIN *et. al.*, 2002 *apud* JUNIOR, 2003).

### 2.2.3. Classificação

A classificação dos resíduos sólidos abrange a identificação do processo que lhe deu origem – seus constituintes e características – e a comparação destes com listagens de resíduos e substâncias das quais os impactos à saúde e ao meio ambiente são conhecidos (CEMPRE, 2010)

Há formas distintas para se classificar o “lixo”. Cempre (2010) indica que a classificação pode ser de acordo com:

- Sua natureza física: seco ou molhado;
- Sua composição química: matéria orgânica e matéria inorgânica;
- Os riscos potenciais ao meio ambiente: perigosos, não inertes e inertes.

Para a grande heterogeneidade da composição do “lixo”, adota-se a seguinte classificação em função da sua origem:

#### 2.2.3.1. Domiciliar

São originados na vida diária das residências – restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico e outros. Contém também alguns resíduos que podem ser tóxicos.

#### 2.2.3.2. Comercial

Aquele produzido nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços – supermercados, bancos, lojas, restaurantes. É característica a grande quantidade de papel, plásticos e embalagens.

#### 2.2.3.3. Público

Advêm dos serviços de limpeza pública urbana, incluindo-se todos resíduos de varrição das vias públicas, limpeza de praias e galerias, córregos e terrenos; restos de podas de árvore e até corpos de animais. limpeza de áreas de feiras livres, constituído por restos vegetais e embalagens diversas.



#### 2.2.3.4. Serviços de Saúde e Hospitalar

São os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou podem conter germes patogênicos, oriundos de locais como: hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias e postos de saúde.

Nestes locais também se encontram resíduos assépticos – papel, restos de alimentos, resíduos de limpezas gerais – que são semelhantes aos resíduos domiciliares.

#### 2.2.3.5. Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários.

Também aqui se encontram resíduos sépticos, produzidos nos portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários, como restos de alimentos e materiais de higiene, os quais podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

Os resíduos assépticos destes locais, desde que coletados segregadamente e não entrem em contato direto com os resíduos sépticos, são semelhantes aos resíduos domiciliares.

#### 2.2.3.6. Industrial

Originado nas atividades industriais – metalúrgica, química, petroquímica, papelreira, alimentícia - podem ser representados por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis madeiras, fibras, borrachas, vidros e cerâmicas.

Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico.

#### 2.2.3.7. Agrícola

Equivalem aos resíduos das atividades agrícolas e da pecuária. Incluem embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações, restos de colheita e outros.

Os defensivos agrícolas geram um lixo considerado muito tóxico, que em contato com rios ou córregos, representam uma ameaça séria à saúde pública.

Em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, como os defensivos agrícolas que representam uma

grave ameaça a saúde pública, e as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva.

#### 2.2.4. Diagnóstico

A Tabela 2 apresenta a composição dos resíduos de quatro grandes cidades brasileiras nos anos 2000. São apresentadas na tabela as proporções de vidros, metais, plásticos, papel e papelão e matéria orgânica e outros.

Tabela 2 - Composição dos resíduos de algumas cidades brasileiras  
Fonte: Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo, *apud* CHENNA, 2000.

COMPONENTE	SÃO PAULO (%)	SALVADOR (%)	BELO HORIZONTE (%)	SÃO CARLOS (%)
Vidros	1,10	4,00	2,07	1,40
Metais	3,2	4,00	3,22	5,40
Plásticos	12,08	11,00	1,90	8,50
Papel e papelão	14,43	19,00	16,77	21,3
Matéria orgânica e outros	69,15	62,00	76,04	63,40

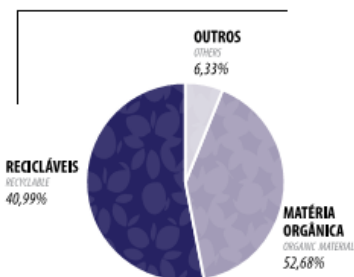
Já as Figura 1 e Figura 2 ilustram como se dá a composição dos resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro - RJ e da cidade de Ubatuba - SP. A primeira uma grande metrópole, a segunda uma cidade menor, ambas no litoral sudeste.

**QUADRO III**  
COMPOSIÇÃO DO LIXO DOMICILIAR  
E DE SUA FRAÇÃO RECICLÁVEL

**TABLE III**  
COMPOSITION OF THE DOMESTIC WASTE  
AND OF ITS RECYCLED FRACTION

**COMPOSIÇÃO DO LIXO DOMICILIAR  
NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

COMPOSITION OF THE DOMESTIC  
WASTE AT RIO DE JANEIRO CITY



**COMPOSIÇÃO DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS  
NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

COMPOSITION OF THE RECYCLABLE

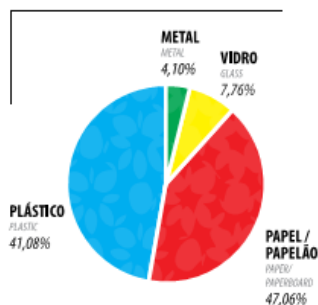


Figura 1 - Composição RSU Rio de Janeiro  
Fonte: PMGIRS – Rio de Janeiro, 2012.

Síntese da composição gravimétrica do RSD		
Rejeitos	Plástico Filme e isopor	5,4%
	Fraldas descartáveis	3,9%
	Trapos	2,5%
Recicláveis	Papeis	5,8%
	Papelões	3,8%
	Poliestireno	0,3%
	Polipropileno	1,4%
	Politereftalato de etileno	1,5%
	Polietileno de alta densidade	4,9%
	Polietileno de baixa Densidade	5,1%
	Cloreto de Polivinila	2,6%
Recicláveis	Embalagens longa vida	1,5%
	Borracha	0,1%
	Metais ferrosos	1,3%
	Metais não Ferrosos	1,4%
	Vidros	1,8%
	Areia e Pedra	3,8%
Orgânicos	Couro	0,2%
	Madeiras e poda	3,8%
	Material orgânico	49,1%

Figura 2 - Composição Gravimétrica dos RSU de Ubatuba

### 2.3. MÉTODOS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU.

A Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental do MMA (2010) constatou o baixo grau de desenvolvimento institucional dos serviços públicos de manejo de resíduos sólidos nos municípios brasileiros.

A constatação aponta a fragilidade dos órgãos gestores, a limitada capacidade técnica, a ausência de uma política de investimentos e recuperação de custos e a ausência de planejamento, monitoramento, regulação e controle (MMA, 2010).

Os métodos no Brasil, predominantemente, se resumem à coleta dos resíduos, varrição e limpeza da área urbana e despejo do material coletado em lixões (MMA, 2010).

A criação da PNRS (2010) possibilitou a evolução dos processos de gestão e gerenciamento de RS em todo território nacional na medida em que, dentre as principais atribuições da política, o conceito de lixo deu lugar ao reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania (PNRS, 2010).

A Via Pública (2012) indica a criação de um emprego para cada 10 mil toneladas anuais de RSU processadas em usinas de incineração.

Já na rota tecnológica da biodigestão são gerados aproximadamente 10 empregos para cada 10 mil toneladas anuais de RSU. Nas indústrias ligadas à reciclagem dos diversos materiais recuperados são criados 25 empregos para cada 10 mil toneladas (VIA PÚBLICA, 2012).

Tais dados permitem constatar que o correto manejo dos resíduos pode ser uma importante fonte de renda, mostrando um caminho em direção à sustentabilidade e geração de emprego.

No contexto atual, a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos deve priorizar a escolha dos métodos de manejo dos RSU que levem em conta aspectos ambientais, sociais, econômicos, financeiros, políticos e culturais.

Não há um modelo ideal pré-determinado a ser replicado de maneira tecnicista, pois a escolha do método de manejo adequado, que impactará positivamente no desenvolvimento local, deve considerar as peculiaridades de cada caso e contar com a participação social.

Uma das metas da PNRS (2010) é a extinção dos lixões, que são causadores de fortes impactos socioambientais.

No âmbito da gestão e gerenciamento de RS, a disposição dos resíduos em aterros, o tratamento através da digestão anaeróbica, a compostagem, a coleta seletiva, a reciclagem e a incineração são opções tecnológicas disponíveis para os agentes decisores.

### **2.3.1. Lixão**

A deposição dos resíduos sólidos nos lixões é inadequada. Geralmente, o resíduo coletado é simplesmente despejado sobre o solo ou em locais sem manejo adequado – por exemplo, sem a cobertura diária dos resíduos (GONÇALVES, 2004).

Gonçalves (2004) alerta que os trabalhadores catadores dos lixões, apesar de inclusos informalmente no circuito econômico dos resíduos recicláveis e da reciclagem de forma mais ampla, estão longe dos olhos daqueles que geram o lixo nos centros urbanos, ou seja, grande parte dos cidadãos não conhece um lixão, nem tampouco sabe como se realiza o trabalho de catação/garimpagem nesses locais.

A atividade de catação nos lixões consiste basicamente em recuperar, dentre os detritos produzidos nos centros urbanos e levados pelos caminhões para os locais de aterro a céu aberto, os resíduos recicláveis que podem ser comercializados. Nos casos estudados, o material recolhido pelos catadores é separado e, posteriormente, comercializados a preços insignificantes com os compradores/atravessadores (os sucateiros donos de depósitos na região), que posteriormente revendem para as indústrias da reciclagem (GONÇALVES, 2006).

### **2.3.2. Aterros**

Segundo Proença (2010), o método de disposição final de resíduos em aterros sanitários constitui-se no confinamento dos resíduos no solo, sob as condições adequadas, de forma a minimizar a poluição ambiental e os riscos à saúde pública.

Os resíduos são descarregados em local apropriado e impermeabilizado, para serem cobertos por uma camada de solo compactado. Seu chorume é coletado e tratado, o biogás gerado pela decomposição também é captado e queimado, de modo a evitar explosões. Nos últimos anos, no Brasil, é possível observar o

crescimento do aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários (MCT, 0000).

Porém, o Governo Federal e os Estaduais têm enfrentado diversas dificuldades quanto aos resultados de implantação de aterros sanitários. O Ministério do Meio Ambiente realizou um estudo em 2002 que apontava a queda dos custos per capita de investimento em aterros, à medida que se ampliava a população a ser atendida. A Figura 3 evidencia como o fator escala é decisivo na viabilidade de um aterro.

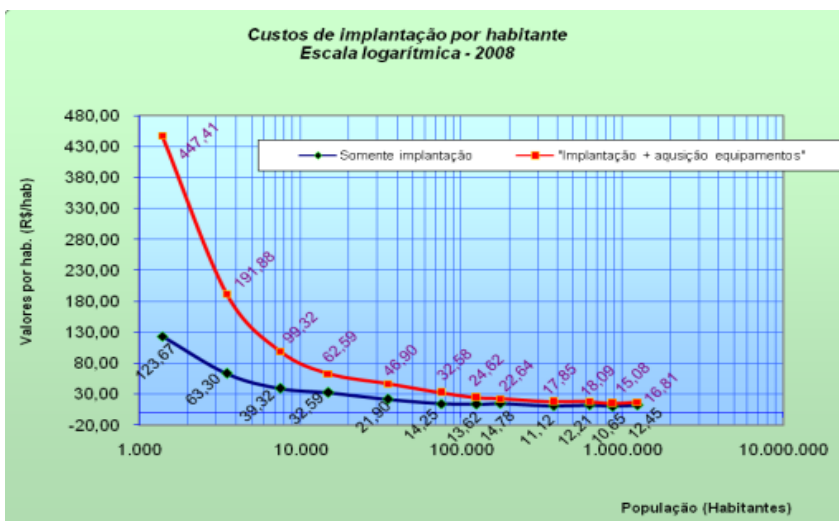


Figura 3 - Exemplo da evolução dos custos de implementação de aterro sanitário por habitante de acordo com a população a ser atendida, apenas com implantação e equipamentos.

Fonte: MMA (2010a, p.9)

Estima-se que ganho de escala semelhante seja alcançado também na operação. Assim, as dificuldades municipais para manter operacionalizando essas instalações, especialmente para os municípios de menor porte populacional, são preocupantes e exigem soluções alternativas. Se, por um lado, temos o ganho do custo de investimentos e de operação com o compartilhamento das instalações, por outro, as dificuldades dos municípios para enfrentarem sozinhos o desafio de operar um aterro sanitário (MMA, 2010b).

### **2.3.3. Coleta Seletiva de Resíduos**

A coleta seletiva de resíduos é uma etapa anterior ao processo de reciclagem. Oliveira (2005) afirma que toda definição de coleta seletiva implica a separação do lixo logo na fonte. O Manual para implantação de compostagem e coleta seletiva no âmbito dos consórcios públicos explica que vários modelos de coleta são adotados no Brasil. De modo geral, são classificados em dois grandes grupos: coleta porta a porta e coleta ponto a ponto.

A coleta porta a porta é aquela em que veículos específicos percorrem as ruas fazendo a coleta nos domicílios. Já a coleta ponto a ponto acontece em PEVs (Pontos de Entrega Voluntária) ou LEVs (Locais de Entrega Voluntária), que são locais, preferencialmente de fácil acesso, destinados à entrega dos resíduos previamente separados pela população (MMA, 2010).

O sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos e a logística reversa, de acordo com a PNRS, 2010, deverão priorizar a participação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, constituídas por pessoas físicas de baixa renda. A PNRS (2010) ressalta que deve ser priorizada a aplicação de recursos da União em municípios que implantem a coleta seletiva com a participação dos catadores e ofereçam condições de melhoria do trabalho destes (PNRS, 2010).

Dentre as políticas públicas de incentivo voltadas aos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, destaca-se a possibilidade de dispensa de licitação nos termos da Lei de Saneamento Básico para a contratação de cooperativas ou associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis (PNRS, 2010).

### **2.3.4. Logística reversa**

Nos termos da PNRS, 2010, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; produtos eletroeletrônicos e seus componentes têm a obrigação de estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos, após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Além desta responsabilidade, o poder público municipal pode instituir incentivos econômicos aos consumidores que participam do sistema de coleta seletiva.

Um exemplo ilustrativo foi o da distribuidora de energia do estado do Ceará. A Coelce instituiu um programa para reduzir a conta de luz de seus clientes de baixa renda através da troca de resíduos recicláveis. Com a coleta seletiva, o material levado pelos clientes aos locais credenciados era pesado e transformado em bônus na conta de energia elétrica (EE). Em dois anos, a empresa recebeu seis mil toneladas de resíduos que foram revertidos em R\$ 749.000,00 em bônus. O programa inspirou outras iniciativas realizadas pelas concessionárias do Rio de Janeiro, Bahia e Pernambuco (LIMA *et. al.*, 2008).

### **2.3.5. Reciclagem**

De acordo com Via Pública (2012), a reciclagem é resultado de atividades em que materiais que se tornariam lixo ou estão no lixo são desviados, sendo coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens.

A partir da visão da sustentabilidade, a reciclagem representa menor consumo de recursos naturais, visto que uma parcela do que é jogado fora retorna como matéria-prima secundária ao processo produtivo, ao invés de ser descartado aos aterros sanitários. É fato que há economia de energia elétrica e água durante a transformação da matéria-prima reciclada em um determinado bem ou produto, se comparado ao uso da matéria prima virgem (OLIVEIRA, 2005).

A reciclagem também tem o poder de diminuir os gastos da prefeitura com coleta e transporte do lixo recolhido, visto que a parte reciclável é separada e doada aos catadores ou levada aos pontos de entrega (OLIVEIRA, 2005).

A principal desvantagem da reciclagem é mercadológica, pois a instalação de plantas indústrias recicladoras depende de investimentos significativos, como o da reciclagem do alumínio, por exemplo. Tal fato faz com que o setor seja monopolizado por um pequeno grupo, que dita as condições de compra e venda (OLIVEIRA, 2005).

### **2.3.6. Compostagem**

A compostagem consiste no processo de estabilização de resíduos orgânicos a partir da ação de microrganismos aeróbios (BIDONE, 2001). O processo pode ocorrer de forma espontânea no ambiente.



Entretanto, métodos foram desenvolvidos para acelerar o processo e garantir a qualidade do composto.

Segundo Reichert; Silveira (2005), o principal método adotado no Brasil é a disposição dos resíduos em leiras (elevação de terra entre sulcos) estáticas que são revolvidas periodicamente, garantindo, assim, as condições aeróbicas de degradação. Para catalisar o processo, pode-se instalar tubulações de ar introduzidas nas leiras. A compostagem também pode ser feita dentro de túneis quando devidamente projetados para este fim.

A parcela de orgânicos no lixo doméstico do Brasil, estimada pela Associação Brasileira de empresas de limpeza Pública (2009), é em média 52%, dos quais apenas 3% são reciclados.

Farias (2010) afirma que a maior parte dos resíduos orgânicos provenientes dos alimentos, tem sido desperdiçada e jogada nos aterros sanitários.

Em contrapartida, a partir da década de 90, o processo de aproveitamento de resíduos orgânicos para geração de fertilizantes tem despertado um novo interesse, principalmente pela falta de locais para destinação correta desses resíduos. Tal fato deve-se às pressões exercidas para utilização de métodos com menor impacto ambiental, visando ao atendimento dos princípios do desenvolvimento sustentável (BRITO, 2006).

Quando os resíduos orgânicos são separados na fonte, gastos com transporte são poupados, a vida útil dos sistemas de tratamento sanitário aumenta e o melhor aproveitamento destes é facilitado. Como já dito anteriormente, a educação ambiental e a sensibilização cidadã permitem incorporar a população nesses processos. Assim, propostas de manejo dos resíduos sólidos produzidos nas comunidades devem ser pesquisadas, levando em conta os princípios das tecnologias aliadas a sustentabilidade (FARIAS, 2010).

Eduardo Farias (2010) destaca alguns critérios essenciais às tecnologias voltadas para compostagem:

- Baixo custo;
- Adaptável à realidade local;
- Favorecer a autonomia local;
- Utilização de equipamentos de fácil manuseio;
- Utilização de mão de obra local;
- Ser replicável;
- Permitir a gestão comunitária;

A PNRS, 2010, no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, define que cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos observar, em seu plano municipal de gestão integrada, a implantação de sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular, com os agentes econômicos e sociais, formas de utilização do composto produzido.

### **2.3.7. Digestão Anaeróbica**

A digestão anaeróbica é um processo análogo ao da compostagem, porém realizado em condições anaeróbicas. A digestão ocorre de forma natural em aterros sanitários, mas pode ser realizada em reatores (digestores anaeróbicos), permitindo um melhor controle do processo e recuperação de subprodutos, como o composto estabilizado e, principalmente, o biogás.

Países como Alemanha, Dinamarca e Suécia são líderes na utilização de digestores anaeróbicos no tratamento de resíduos orgânicos, utilizando o biogás para geração de energia elétrica, calefação e como combustível automotivo (AL SEADI et. al., 2008).

Segundo a PNRS, 2010, a digestão anaeróbica estabiliza os resíduos tratados e reduz seu volume. Além disso, a Política destaca que a geração de empregos na rota baseada na digestão anaeróbica é superior aos gerados na rota com incineração (PNRS, Art. 6º, inciso VIII, Art. 36 §1º, 2010).

A digestão anaeróbia da matéria orgânica é um processo desenvolvido por um conjunto de microrganismos em condições de ausência de oxigênio. Segundo Wiesmann et. al. (2007), há três grupos de bactérias responsáveis por este processo: acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas. Estes grupos de bactérias ilustram igualmente as três etapas da digestão anaeróbia, embora alguns autores considerem a hidrólise como a primeira de quatro etapas, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 - Etapas da digestão anaeróbica  
 Fonte: (JORGENSEN, 2009 *apud* PROENÇA, 2010)

### 2.3.7.1. Biodigestores

Os biodigestores são câmaras, com formatos variados, onde se processa a fermentação da matéria orgânica, em solução aquosa e condições anaeróbicas. Há diversas variações de modelos e, segundo Casarim (2016), os principais fatores de diferenciação estão na sua finalidade e escala.

Sua principal função é a obtenção de biogás, tendo como subproduto o biofertilizante (adubo). O melhor biodigestor é o que tem maior eficiência na produção de biogás. Há diversos parâmetros que influenciam no processo de digestão anaeróbica em um biodigestor. Dentre eles pode-se citar: tempo de retenção, volume, concentração de resíduos sólidos na mistura, temperatura, número de estágios, adição de insumos, pH e agitação da mistura (VANDEVIVERE et Al, 2002).

Vandevivere *et. al.* (2002) identificaram diversos modelos para digestão anaeróbica de resíduo urbano. Além de sua finalidade e escala, a escolha adequada do biodigestor deve levar em conta os parâmetros operacionais e a composição do resíduo a ser processado. Segundo a referência, pode-se classificar os biodigestores em três tipos:

- Estágio único, onde todas as etapas da digestão acontecem no mesmo reator;
- Estágios múltiplos, que são mais complexos;

- c) Batelada, que representa a configuração mais simples deste tipo de tratamento, são usados em condições de alto teor de sólidos no substrato.

Outra forma de classificação considera o teor de sólidos no substrato de matéria orgânica. O substrato com baixo teor é composto por até 15 %, de sólidos enquanto que o substrato com alto teor fica entre 20% e 40% de sólidos.

Segundo estudos da Via Pública (2012), a rota tecnológica baseada no biodigestor anaeróbico atende melhor aos aspectos definidos pela legislação nacional, apresentando mais vantagens do ponto de vista econômico-financeiro (custo de investimento), social (geração de emprego) e ambiental (emissões reduzidas e conservação de energia).

Assim, é possível observar a complementaridade entre a rota com os biodigestores e a coleta seletiva. A recuperação de materiais secos nas etapas que antecedem à destinação e, se necessário, na própria instalação, representa atividade desejável, considerando que a biodigestão se aplica apenas à parcela úmida dos RSU (VIA PÚBLICA, 2012).

#### 2.3.7.1.1. Batelada

Simple e de baixo custo, a batelada apresenta um menor rendimento na obtenção do biogás, quando comparada com os outros tipos. Além disso, pode oferecer maiores complicações operacionais (VANDEVIVERE *et. al.*, 2002).

#### 2.3.7.1.2. Estágio único

Vandevivere *et. al.* (2002) afirmam que é o sistema mais comum e com maior aplicação industrial. Operam com o resíduo diluído em água na concentração de até cerca de 12% de elementos sólidos, ou podem operar a seco. Quando a carga é seca, implica em sistemas com menores volumes, maior complexidade e maiores custos.

Comparado ao modelo de estágios múltiplos, seus custos e complexidade de instalação e operação são menores (PROENÇA, 2010).

### *2.3.7.1.3. Estágios múltiplos*

Este sistema tem a maior complexidade dentre todos e maiores custos. Segundo Vandevivere (2002), são aconselhados para resíduos com pouca celulose, como lixo de cozinha que, quando não manipulados de maneira adequada, acidificam rapidamente e inibem o processo de digestão.

Proença (2010) salienta que a vantagem dele é a possibilidade de manter condições ótimas de operação para cada estágio do processo, resultando numa maior taxa de degradação dos resíduos e maior produção de biogás.

Dentre as configurações mais usadas estão o modelo indiano, chinês, canadense e de mistura completa. A seguir são apresentadas algumas características das tecnologias.

### *2.3.7.1.4. Indiano*

Magalhães (1986) explica que este é um sistema de produção de biogás, vertical, contínuo, com gasômetro flutuante acoplado ao corpo da câmara digestora, localizada abaixo do nível do terreno. O gasômetro fica mergulhado sobre a biomassa em fermentação ou em selo d'água externo, resultando em diminuição das perdas durante o processo de produção de gás.

O modelo opera a pressão constante e seu gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume do sistema, à medida que o gás produzido não é consumido de imediato (PECORA, 2006).

Seu abastecimento é contínuo e o resíduo utilizado deve apresentar uma concentração de sólidos totais de até 8%. Tal fato facilita a circulação de resíduo pelo interior da câmara de fermentação e diminui as possibilidades de entupimentos dos canos de entrada e saída do material (PECORA, 2006).

Este é um modelo utilizado em instalações de pequeno porte, pois seu aumento de escala implica em altos custos (CASARIM, 2016).

### *2.3.7.1.5. Chinês*

Magalhães (1986) expõe que o biodigestor modelo chinês é um sistema de produção de biogás, vertical, de cúpula (gasômetro) fixa, de forma cilíndrica, situado abaixo do nível do terreno, com calotas inferior e superior construídas em alvenaria ou em concreto.

Por seu gasômetro ser fixo, seu volume não varia. Consequentemente há uma oscilação na pressão interna à medida que a produção de gás aumenta, resultando uma maior probabilidade de ocorrerem vazamentos (CASARIM, 2016).

O substrato deve ter uma concentração em torno de 8% de sólidos e ser fornecido continuamente. A baixa concentração se justifica pelo fato de assim se evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (PECORA, 2006).

Na comparação entre os modelos indiano e chinês, Casarim (2016) afirma que o chinês apresenta menores custos e mostra-se interessante para aplicações de pequeno porte, justamente pelo fato do gasômetro fixo desonerar sua implantação. Pecora (2006) justifica que a não utilização deste modelo em instalações de grande porte se dá pelo fato de que uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberada para atmosfera, o que reduz parcialmente a pressão interna.

Do ponto de vista de produção de gás, ambos os modelos apresentam resultados semelhantes, conforme mostra a Tabela 3, com o resultado comparativo entre o modelo indiano e o chinês, ambos com capacidade de 5,5m<sup>3</sup> e usando esterco bovino.

Tabela 3 - Resultados preliminares do desempenho de biodigestores modelo Indiano e Chinês

	Biodigestor	
	Chines	Indiano
Redução de Sólidos (%)	37	38
Produção média de Biogás (m <sup>3</sup> /dia)	2,7	3,0
Produção Média de Substrato (1m <sup>3</sup> )	489	538

Fonte: (JÚNIOR, 1987 apud PECORA, 2006)

#### 2.3.7.1.6. *Canadense*

Nishimura (2009) ilustra o modelo canadense por uma base retangular construída de alvenaria, onde é depositado o substrato e o gasômetro que, neste caso, é uma lona flexível de PVC, ancorada ao redor do perímetro do biodigestor.

O modelo é usado em regiões onde a temperatura ambiente ajuda a manter a temperatura do biodigestor em níveis adequados para a realização do processo de digestão anaeróbica.

#### 2.3.7.1.7. Mistura completa

O Guia Prático do Biogás “Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização” (2010) apresenta este modelo de biodigestores. Ele é composto por um reservatório, parcial ou totalmente enterrado, com fundo de concreto e paredes de aço ou concreto armado. Sobre o reservatório é montada uma cobertura impermeável ao gás. Normalmente os tetos são formados por lona e concreto. A mistura completa do substrato no reator é realizada por agitadores posicionados internamente ou lateralmente.

#### 2.3.8. Incineração

Inicialmente, a tecnologia de incineração tinha como objetivo a redução da massa, do volume e da periculosidade dos resíduos. Atualmente, ela tem possibilidade de redução superior a 90%. Além disso, a tecnologia pode se apropriar do poder calorífico dos resíduos combustíveis através do aproveitamento da energia térmica resultante do processo de combustão destes materiais (MENEZES *et. al.* (2000).

As tecnologias de incineração destinadas ao tratamento, por via térmica, de resíduos sólidos, têm como destaque o incinerador de leito fixo, leito fluidizado, pirolítico e tambor rotativo. De todas elas, a que conta com maior aplicação comercial no Brasil e em outras partes do mundo é o denominado *Mass Burn* – processo este que queima os resíduos na forma como são recebidos, com separação apenas do vidro e metal, ou com adição de outro combustível fóssil para alcançar poder calorífico adequado (VIA PÚBLICA, 2012).

Recentemente, o desenvolvimento das tecnologias de incineração incluíram a modernização dos sistemas de controle e tratamento de gases poluentes e promoveram ambientes para maior aceitabilidade de unidades baseadas em tecnologias *waste-to-energy* (WtE), na tradução literal: lixo para energia (HENRIQUES, 2004).

A PNRS (2010) trata a questão da incineração em diversos artigos. No Art. 7 ela afirma que a incineração *Mass Burn* gera resíduos perigosos que terão como destino aterros especiais Classe I, que serão ofertados em pequeno número no território nacional (PNRS, Art. 7º, inciso V, 2010).

O fato mais preocupante da incineração é que ela se mostra, de modo geral, como uma tecnologia que disputa espaço com a coleta seletiva e reciclagem. Pelas características dos RSU brasileiros, a incineração depende da queima do resíduo sem separação ou da adição de combustíveis fósseis. Na primeira hipótese, perde-se o potencial de reciclagem e logística reversa, conforme estabelecido pela PNRS. Já a adição de combustíveis fósseis implica em aumento dos custos operacionais e das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) (PNRS, 2010).

Assim, é possível afirmar que a incineração se apresenta como uma boa alternativa para os rejeitos, que são a parte dos RS onde não há mais possibilidades de aproveitamento. Neste caso, respeitando a hierarquia estipulada pela PNRS, ela se mostra como uma boa alternativa, principalmente se associada à tecnologia de Incineração WtE.

## 2.4. MANEJO

O gerenciamento de Resíduos Sólidos abrange geração, acondicionamento, coleta e transporte. A estruturação do processamento, tratamento e a disposição final sanitariamente adequada dos resíduos, devem abarcar a minimização, reutilização e reciclagem (DAVID MONTERO DIAS *et. al.* 2012)

Farias (2010) afirma que a educação ambiental e a sensibilização cidadã permitem incorporar a população nesses processos. Neste sentido, encontrar propostas de manejo dos resíduos sólidos para serem desenvolvidas nas comunidades, levando em conta os princípios da tecnologia social e da sustentabilidade, se faz necessário. É importante que sejam de baixo custo, adaptável à realidade local, que favoreçam a autonomia local, com utilização de equipamentos de fácil manuseio e de mão de obra local, ser replicável e permitir a gestão comunitária.

A seguir serão abordadas as definições de acondicionamento, coleta, transporte e tratamento.



### **2.4.1. Acondicionamento**

O acondicionamento constitui a primeira etapa do processo de remoção dos resíduos sólidos, onde são utilizados vários recipientes para armazenamento - vasilhas domiciliares, tambores, sacos plásticos, sacos de papel, contêiner (SILVESTRE, 2011)

Embora esta etapa seja uma responsabilidade do gerador, a administração municipal deve promover a regulamentação, educação e fiscalização, no intuito de assegurar condições sanitárias e operacionais adequadas (SILVESTRE, 2011).

### **2.4.2. Coleta**

Para Vieira (1999) “a operação de coleta visa recolher todos os resíduos sólidos gerados pela comunidade de forma organizada, segura e econômica, depositá-los em locais de tratamento, em estações de transferência, ou encaminhá-los para a disposição final” (VIEIRA, 1999, p. 4)

Este processo engloba desde a saída do veículo de coleta, o roteiro de coleta, até a estação de transbordo ou de transferência (VIEIRA, 1999). Existem três diferentes formas de coleta: convencional, seletiva e especial.

Segundo a COMCAP (2009), o sistema de coleta convencional consiste no recolhimento dos resíduos sólidos misturados, com roteiro regular para recolhimento nos domicílios e com dias e horários pré-estabelecidos.

Resíduos do sistema domiciliar com grande volume ou peso – móveis, eletrodomésticos, restos de animais mortos – podem ser prejudiciais ao sistema de coleta convencional, sendo então atendidos pela coleta especial.

Segundo FUNASA (2006), a coleta e o transporte de resíduos sólidos devem atender alguns requisitos:

- A universalidade do serviço prestado;
- Regularidade da coleta (periodicidade, frequência e horário);
- Periodicidade: os resíduos sólidos devem ser recolhidos em períodos regulares;
- Frequência: intervalo entre uma coleta e a seguinte, devendo ser o mais curto possível;
- Horário: a coleta geralmente é feita durante o dia. Entretanto, a coleta noturna se mostra mais viável e áreas

comerciais e locais com tráfego intenso de pessoas e veículos.

Vários modelos de coleta são adotados no Brasil, mas segundo MMA (2010b), em linhas gerais, elas podem ser classificadas em dois grandes grupos: coleta porta a porta e coleta ponto a ponto.

#### 2.4.2.1. Coleta porta a porta

O MMA (2010b) aponta as seguintes vantagens para a coleta realizada porta a porta:

- a) Permite correção da segregação mais de perto pela possibilidade de contato direto do agente da coleta com o morador;
- b) Permite medir a adesão da população ao programa;
- c) As pessoas já estão acostumadas a dispor seus resíduos para coleta em determinados dias e horários, acondicionados de determinada maneira. Com isso, concentra a mudança de comportamento na segregação dos resíduos;
- d) Dispensa o transporte por parte do usuário dos resíduos até o local da coleta, permitindo maior participação.

Entretanto, esse tipo de coleta tem um grande problema: os custos de transporte são elevados e a produtividade por quilômetro percorrido é baixa (MMA, 2010b).

#### 2.4.2.2. Coleta ponto a ponto

No modelo de coleta ponto a ponto, a entrega é feita em locais identificados para receber resíduos, previamente selecionados pela população. Neste tipo de coleta o gerador do resíduo deve transportá-los até estes locais, que preferencialmente devem estar localizados onde há grande fluxo de pessoas e fácil acesso (MMA, 2010b).

Na coleta feita em PEVs ou LEVs são apontadas as seguintes vantagens:

- a) Diminui custos de transporte, pois concentra a coleta em pontos pré-determinados;
- b) Evita que a população necessite de local próprio para acumulação dos recicláveis;
- c) Permite exploração do espaço do PEV para publicidade e parcerias que diminuam os custos de implantação e manutenção;

d) Facilita a separação por tipo de resíduo, facilitando a triagem.

Entretanto, este tipo de coleta pode oferecer os seguintes desafios:

- a) Requer muitos recipientes;
- b) Demanda maior disposição da população;
- c) Não permite identificar as adesões;
- d) Exige constante manutenção e limpeza.

### **2.4.3. Transporte**

O transporte dos resíduos sólidos coletados nos centros urbanos para os aterros sanitários é, predominantemente, feito por caminhões. Um estudo realizado no aterro de Itajaí, Santa Catarina, computou um consumo médio de combustível de 2 litros por quilômetro percorrido (MENDOZA, 2014) .

O estudo mostra, ainda, que a distância média percorrida pelos caminhões (ida e volta) desde o aterro sanitário de Canhanduba até o ponto de coleta do RSU é de 30 km para o município de Itajaí e 25 km para o município de Balneário Camboriú.

Ciasca; Junior (2011) identificaram um intenso fluxo intermunicipal de resíduos sólidos, especialmente nos estados da região Sul. Dos participantes do SNIS-RS na região Sul, 103 municípios detém unidades (grande maioria de aterros sanitários) que recebem resíduos de outros 723 municípios.

Em seu estudo, Gandelini, (2002) afirma que os moradores da cidade são contrários ao funcionamento de locais para receber lixo nas proximidades dos centros urbanos, implicando na instalação de um pequeno número de aterros a grandes distancias das zonas urbanas. Eleva-se, dessa forma, os custos com transporte.

O fator distância tem grande impacto no transporte de RSU. Recomenda-se que o aterro sanitário esteja a uma distância mínima de 500 metros de residências isoladas e de 2000 metros de áreas urbanizadas (GANDELINI, 2002).

Por fim, Gandelini (2002) supõe que a separação dos resíduos orgânicos na fonte trás várias vantagens, poupando gastos de transporte, aumentando a vida útil dos sistemas de tratamento sanitários e facilitando o aproveitamento dos resíduos orgânicos.

Silvestre (2011) ressalta que implantação de uma rede de instalações urbanas de fácil acesso aos usuários dos serviços que permita

a captação adequada dos resíduos gerados, de maneira difusa, e sua concentração para o transporte até as unidades de processamento, se mostra como importante alternativa.

#### 2.4.4. Sazonalidade

A sazonalidade da geração de RS é um fator de grande importância e relevância no planejamento e execução das ações do manejo dos resíduos.

Em municípios turísticos, a geração de RS é oscilatória ao longo do ano. Nas épocas de maior fluxo de turistas, há uma sobrecarga do sistema de manejo, enquanto que nos períodos da baixa temporada, há uma ociosidade do sistema.

O município de Ubatuba, no litoral norte de São Paulo, apresenta uma sazonalidade que atinge cerca de 37% em relação à média anual. A Figura 5 e a Figura 6 ilustram a sazonalidade da produção de resíduos públicos e domiciliares ao longo do ano.

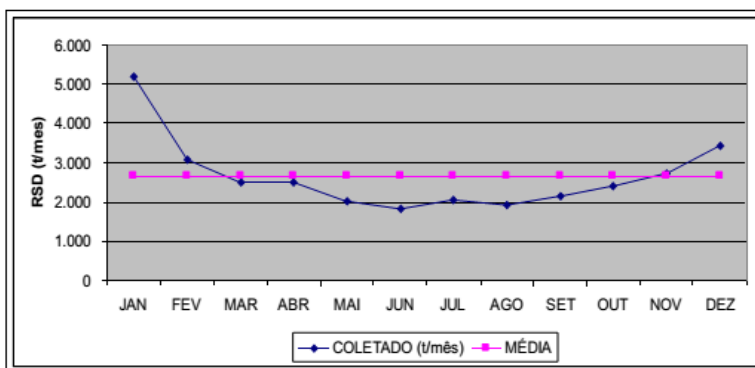


Figura 5 - Geração de resíduos sólidos domiciliares em função da sazonalidade  
Fonte: Prefeitura Municipal da Estância Balneária de UBATUBA, 2014,p.47)

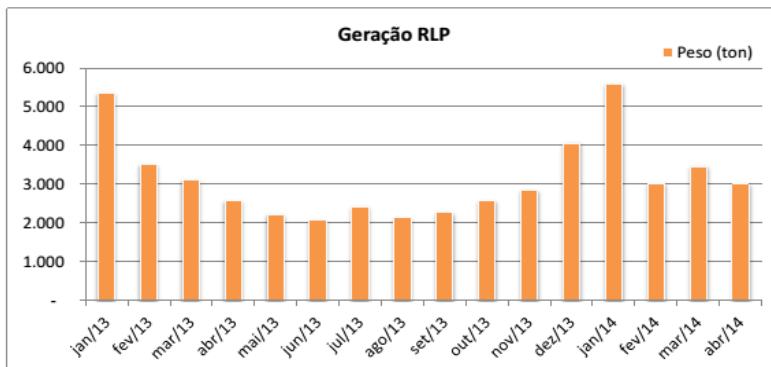


Figura 6 - Geração mensal de resíduos oriundos da limpeza pública  
 Fonte: Prefeitura Municipal da Estância Balneária de UBATUBA, 2014, p.47)

## 2.5. CONCEITO DE GESTÃO

Segundo a literatura em administração, a definição clássica é aquela introduzida no Século XX, que aponta quatro processos gerenciais básicos: o planejamento, a organização, a direção e o controle (FILHO, 2008).

A implementação dos quatro processos está sujeita a objetivos específicos. Deste modo, Filho (2008) aponta três diferentes formas de gestão: a gestão privada, predominantemente empresarial; a gestão pública, predominante estatal; e a gestão social. Cada forma de gestão deve ser empregada de acordo com lógica determinada pelos objetivos específicos.

A gestão integrada de resíduos sólidos não se enquadra nesta perspectiva clássica segmentada em três formas de gestão, pois ela exige processos gerenciais que englobam diversos atores da sociedade. Assim, observa-se que seus objetivos e processos implicam, muitas vezes, na intersecção entre o privado, o público e o social.

### 2.5.1. Gestão Privada

Há mais de cem anos se desenvolveu um aparato técnico e metodológico extremamente avançado, gerando conhecimento formal, voltado predominantemente para o campo empresarial.

Nesta lógica, a racionalidade instrumental, funcional e tecnicista torna o social, o político, o cultural, o ecológico e o estético

subordinados, ou reféns, da lógica da gestão privada, compreendida em termos estritamente mercantis (FILHO, 2008).

Filho (2008) aponta que nesta lógica, “importa menos a qualidade intrínseca das ações (seu sentido e significados – remetendo ao plano ético da conduta) e mais a sua capacidade (da ação) em contribuir para a consecução dos fins propostos, sempre definidos em termos meramente econômicos” (FILHO, 2008).

Segundo Filho (2008), por gestão privada entende-se àquela praticada pelas organizações dentro do mercado. Assim, utiliza-se dos meios necessários para alcançar os fins econômicos definidos numa base técnica e funcional, segundo os parâmetros clássicos de relação custo-benefício.

### **2.5.2. Gestão Pública**

A Gestão Pública é aquela praticada nas diversas instâncias das instituições públicas de Estado. Ela distingue-se da Gestão Privada no que diz respeito à natureza dos objetivos.

Entretanto, aproxima-se dela em relação à operacionalização da gestão, utilizando-se da lógica de poder, segundo parâmetros de racionalidade instrumental e técnica. A postura deste modo de gestão também varia em função da composição do poder político governamental, ficando assim condicionada pela cultura política de cada momento (FILHO, 2008).

### **2.5.3. Gestão Social**

A partir da definição de Filho (2008) a gestão social é o modo de gestão próprio das organizações, atuando numa rede que não é originalmente do mercado e nem do Estado. Ela refere-se a algo elaborado num espaço público, seja ele estatal ou societário. Assim, as organizações, ao atuarem neste âmbito, não perseguem objetivos econômicos. O econômico é apenas um meio para a realização dos fins sociais.

Ao que se refere às demandas e necessidades sociais modernas, sua gestão sempre foi atribuição típica do Estado, através das chamadas Políticas Públicas, especialmente as sociais. (FILHO, 2008).

Este modo de entendimento não tem como objetivo legitimar uma visão liberal, onde se elimina a responsabilidade do Estado. Trata-se aqui de um contraponto entre a visão moderna de que o Estado é o único responsável por gerir as demandas e necessidades sociais e da afirmação

de que o político não é atribuição exclusiva do estado como instituição. (FILHO, 2008).

O termo gestão social sugere que, para além do Estado, a gestão das demandas e necessidades do social podem se dar via a própria sociedade, através das suas mais diversas formas e mecanismos de auto-organização, especialmente o fenômeno associativo. Neste sentido, a auto-organização e o associativismo apresentam-se como mecanismos do mesmo (FILHO, 2008).

A gestão social pode ser pensada como modo de orientação para uma ação organizacional. Entretanto, um desafio importante à gestão social refere-se a sua própria operacionalização. Filho (2008) destaca que a reprodução da lógica gerencial da empresa trazem resultados desastrosos e fazem com que os projetos percam seu verdadeiro sentido.





### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Geração distribuída (GD) é, segundo Griffin *et. al.* (2000), um sistema de geração modular ou equipamento de armazenamento localizado no centro de carga, ou perto dele, geralmente conectado à rede de distribuição de energia elétrica.

A ANEEL define a micro e a minigeração distribuída como a produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2012).

A GD é usada como fonte de energia para autoconsumo industrial, predial ou residencial, com ou sem produção de excedentes. Complementarmente, ela serve para suprir necessidades locais de distribuição de energia através dos serviços ancilares (CHAVES, 2009).

Entende-se que, para um sistema de distribuição operar com confiabilidade, deve-se considerar os recursos e ações que garantam a continuidade do fornecimento, a segurança do sistema e a manutenção dos limites de frequência e tensão (CHAVES, 2009).

Assim, a conexão de uma fonte de GD na rede de distribuição deve, segundo o Módulo 8 do PROIDST – ANEEL, respeitar determinados critérios de qualidade de energia. A responsabilidade de garantir que serão respeitados os índices de QEE é da concessionária de distribuição (BRIGNOL, 2013).

A expansão da geração distribuída requer estudos apropriados e análises minuciosas dos sistemas de distribuição que serão penetrados por estas fontes. A má alocação de uma fonte de GD pode causar transtornos ao sistema e acarretar problemas de natureza gerencial, regulatória e operacional (BARIN, 2007).

Por outro lado, Barin (2007) afirma que a apropriada conexão das fontes de geração distribuída na rede, realizada de forma ordenada com estudos elétricos prévios sobre a localização, potências geradas e horas de atuação, pode determinar uma significativa melhoria das características técnicas e econômicas do sistema, tanto em relação à solução de problemas operacionais já existentes quanto ao planejamento de novas redes elétricas.

Na Tabela 4 - Algumas das vantagens e desvantagens da Geração , estão dispostas as vantagens e desvantagens da geração distribuída listadas por Chaves (2009) em sua tese.

Tabela 4 - Algumas das vantagens e desvantagens da Geração Distribuída  
 Fonte:(CHAVES, 2009)

BENEFÍCIOS DA GD:	DESVANTAGENS DA GD:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aos consumidores: qualidade da energia, confiabilidade aumentada, flexibilidade para reagir aos preços;</li> <li>• Às concessionárias: investimento evitado, novos mercados (aplicações remotas);</li> <li>• À economia: alavancagem de uma nova indústria;</li> <li>• Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (ou à demanda reprimida) por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimo à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição;</li> <li>• Aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local, por adicionar fonte não sujeita a falhas na transmissão e distribuição;</li> <li>• A GD requer menor investimento e pouco tempo para a construção. A GD pode ser muito mais uma opção estratégica a curto prazo do que uma concorrente das tecnologias convencionais;</li> <li>• Aumento da eficiência energética, redução simultânea dos custos das energias elétrica e térmica e colocação dos excedentes da primeira no mercado a preço competitivo;</li> <li>• Ao ambiente: redução de impactos ambientais da geração, pelo uso de combustíveis menos poluentes, pela melhor utilização dos combustíveis tradicionais e, em certos tipos de cogeração, com a eliminação de resíduos industriais poluidores;</li> <li>• Benefícios gerais decorrentes da maior eficiência energética obtida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da complexidade do gerenciamento da rede, inclusive garantia do “<i>back-up</i>”;</li> <li>• Maior complexidade nos procedimentos e na realização de manutenções, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas;</li> <li>• Maior dificuldade de coordenação das atividades;</li> <li>• Em certos casos, diminuição do fator de utilização das instalações das concessionárias de distribuição, o que tende a aumentar o preço médio de fornecimento das mesmas;</li> <li>• Interferência na qualidade da energia na rede;</li> <li>• O saturamento nas redes elétricas ao instalar a GD obriga ao distribuidor a fazer investimentos nas redes para atingir o bom funcionamento da GD.</li> </ul>

<p>pela conjugação da geração distribuída com a geração centralizada e das economias resultantes;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maiores oportunidades de comercialização e de ação da concorrência no mercado de energia elétrica, na diretriz das leis que reestruturaram o setor elétrico.</li> </ul>	
--	--

Com os dados da Tabela 4 - Algumas das vantagens e desvantagens da Geração pode-se concluir que são muitas as variáveis envolvidas no projeto, dimensionamento, instalação, operação e manutenção de unidades de geração distribuída. Portanto, a escolha da tecnologia e componentes a serem empregados devem respeitar os critérios e parâmetros de confiabilidade e qualidade de energia, observando as normas para a conexão com a rede da concessionária de distribuição, além de levar em conta as consequências e impactos gerados pelos serviços ancilares.

### 3.1. QUALIDADE DE ENERGIA

O termo “qualidade de energia” engloba uma grande diversidade de fenômenos relacionados a sistemas de energia elétrica. Basicamente, segundo Paulilo (2016), a qualidade de energia é consequência dos fenômenos que influenciam nas frequências e formas de onda de tensão e/ou corrente. Assim, a falha ou operação indevida de equipamentos elétricos conectados a um sistema afetará diretamente a qualidade da energia.

O módulo 8 do PRODIST - ANEEL (2017) define que os aspectos considerados da qualidade da energia em regime permanente ou transitório são:

- a) Tensão em regime permanente;
- b) Fator de potência;
- c) Harmônicas;
- d) Desequilíbrio de tensão;
- e) Flutuação de tensão;
- f) Variações de tensão de curta duração;
- g) Variação de frequência.

Portanto, do ponto de vista social, ambiental ,técnico e econômico, o serviço de fornecimento de energia elétrica de boa qualidade e custos viáveis deve garantir o funcionamento seguro e confiável de equipamentos e processos sem afetar o meio ambiente e o bem-estar das pessoas (PAULILO, 2016) .

### 3.2. CONFIABILIDADE

Segurança, suficiência e qualidade são, segundo Chaves (2009), os três atributos essenciais para um sistema elétrico de potência operar de maneira confiável, conforme ilustra a Figura 7.



Figura 7 - Confiabilidade do Sistema  
Fonte: (LASCANO, 2004 *apud* CHAVES, 2009)

Segurança é uma característica dinâmica. Ela é entendida como a capacidade do sistema suportar contingências mediante o uso de equipamentos de proteção e da operação de usinas e serviços ancilares (CHAVES, 2009).

Suficiência está diretamente relacionada à habilidade do sistema em atender os requerimentos de todos os consumidores em qualquer período de tempo. De maneira objetiva, é a existência de suficientes instalações para satisfazer a demanda (CHAVES, 2009).

### 3.3. TECNOLOGIAS PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Segundo Chaves (2009), as principais tecnologias que podem ser utilizadas atualmente nas aplicações de GD são:

- Turbinas a gás convencionais, médio porte;
- Microturbinas a gás convencionais, pequeno porte;
- Turbinas de vapor;

- Ciclos combinados;
- Motores alternativos;
- Mini Hidráulica;
- Eólica;
- Solar (fotovoltaica);
- Células combustíveis.

### 3.4. CONEXÃO

Nos sistemas de distribuição brasileiro há três níveis de tensões: alta, média e baixa. Para cada nível, existe um conjunto de regras definido para estabelecer os critérios de conexão, conforme ilustrado na Tabela 5.

O ponto de conexão compreende a fronteira de responsabilidades entre a acessada e o acessante. A acessante é a unidade consumidora, central geradora, distribuidora ou agente importador ou exportador de energia com instalações que se conectam ao sistema elétrico de distribuição, individualmente ou associados. Já a acessada é a distribuidora de energia elétrica responsável pelo sistema elétrico cujo acessante irá conectar suas instalações (ANEEL, 2012)

Deste modo, para que uma central geradora classificada como micro ou minigeração distribuída possa acessar o sistema, é necessário que se faça uma solicitação de acesso. A solicitação de acesso deve conter o projeto das instalações de conexão, incluindo memorial descritivo, localização, arranjo físico e diagramas (ANEEL, 2008).

O acesso em cada um dos níveis de tensão é determinado pela potência instalada. Assim, a definição da tensão de conexão para unidades consumidoras é a mostrada na Tabela 5.

Tabela 5- Níveis de tensão considerados para conexão de micro e mincentrais geradoras

POTÊNCIA INSTALADA	NÍVEL DE TENSÃO DE CONEXÃO
< 10Kw	Baixa Tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 100kW	Baixa Tensão (trifásico)
101 a 500 Kw	Baixa Tensão (trifásico) / Média Tensão
501 Kw A 1 MW	Média Tensão

Excepcionalmente, as centrais geradoras de energia podem ser conectadas ao sistema de distribuição de BT, desde que preservadas a confiabilidade e a segurança operativa do sistema elétrico. O acessante que optar por uma tensão de conexão diferente da estabelecida deve assumir os investimentos adicionais necessários à conexão no nível de tensão pretendido, observados os contratos (ANEEL, 2008).

Por fim, a distribuidora responsável pela rede poderá desconectar a unidade consumidora possuidora de sistema de micro geração de seu sistema elétrico nos casos em que:

- (i) A qualidade da energia elétrica fornecida pelo (proprietário do microgerador) não obedecer aos padrões de qualidade dispostos no Parecer de Acesso;
- (ii) Quando a operação do sistema de microgeração representar perigo à vida e às instalações da distribuidora, neste caso, sem aviso prévio.

### 3.5. LOCALIZAÇÃO

A localização das fontes de geração distribuída pode impactar de maneira positiva ou negativa a rede de distribuição. A inserção ótima de uma GD pode resultar numa significativa redução das perdas de potência e uma grande melhoria nos níveis de tensão, colaborando para a redução destes níveis no período de pico e contribuindo para que o sistema opere em condições próximas ao ideal (BARIN, 2007).

Em contrapartida, a injeção de potência dessas fontes descentralizadas em lugares inapropriados, sem a regulação dos meios de controle de tensão, pode resultar em um aumento nas perdas de potência no sistema e em indesejáveis níveis de tensão, fora dos limites aceitáveis (BARIN, 2007).

A adequada localização das fontes de GD é um importante aspecto citado nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 3. É importante observar que o PRODIST tem a responsabilidade de regular e nortear os diversos processos que envolvem o planejamento e a operação dos sistemas de distribuição.

### 3.6. PROTEÇÃO

Segundo ANEEL (2008), um projeto de proteção é uma parte indispensável de um sistema elétrico. Análise de faltas, condições pré e

pós-falta são necessárias para a escolha dos dispositivos de interrupção, relés de proteção e suas coordenações.

Com o intuito de manter a confiabilidade, exige-se que os sistemas elétricos tenham capacidade de suportar distúrbios na rede. Para isso, são determinados limites de tolerância que deverão ser respeitados e observados pelos usuários e concessionárias.

A resposta da rede às perturbações depende da magnitude da perturbação, impedância e localização da GD, o uso de dispositivos reguladores de tensão e configuração do sistema de energia (OLIVEIRA, 2010).

**A Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as exigências de equipamentos previstas pela ANEEL, que estabelecem os equipamentos necessários para a conexão de uma GD de acordo com seu nível de potência.

Tabela 6 - Requisitos mínimos em função da potencia instalada  
Fonte: ANEEL (2008, p.79)

EQUIPAMENTO		POTÊNCIA INSTALADA	
	Até 100Kw	101 Kw A 500Kw	501Kw A 1 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefrequencia	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Estudo de curto-circuito	Não	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidiior 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes
Ensaio	Sim	Sim	Sim

Conclui-se que, quanto maior a potência, maior a necessidade de equipamentos de proteção e medição e, conseqüentemente, mais complexas sua instalação, operação e manutenção.

### 3.7. MEDIÇÃO

O sistema de medição é condição necessária e essencial para o funcionamento adequado do sistema de compensação de energia. Com ele poderão ser contabilizados e faturados os montantes de energia ativa gerada e consumida em cada unidade consumidora.

Para a conexão de uma GD na rede, o sistema de medição deve atender às mesmas especificações exigidas para unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da central geradora, acrescida da medição bidirecional de energia elétrica ativa (ANEEL, 2008).

O acessante é responsável por ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição, nos termos da regulamentação específica. Já a distribuidora é responsável por instalar o sistema de medição, assim como pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição (ANEEL, 2008).

### 3.8. MODOS DE OPERAÇÃO

Souza (2010) cita que as unidades de GD, por apresentarem uma característica modular e compacta, têm aplicação em diversas situações operativas conforme mostrado a seguir:

- a. Potência *stand by*: O equipamento permanece à disposição da carga para suprimento em caso de faltas ou necessidades específicas;
- b. Geração na ponta: O equipamento é programado para gerar energia apenas nos picos de carga;
- c. Geração na base: A geração de energia é constante, ou seja, durante todo ou parte do período de trabalho;
- d. Cogeração: A energia térmica dissipada pode ser aproveitada para produção combinada de calor (vapor) e energia mecânica.

Segundo Barin (2007), nos períodos de menor demanda torna-se interessante o uso de acumuladores de energia. Nos horários de pico de



demanda, estes sistemas poderão abastecer ou dar suporte às fontes geradoras.

Dentre as tecnologias de acumulação de energia tem se destacado as “*flywheels*”, os banco de capacitores, as baterias, os sistemas de bombeamento e a produção de H<sub>2</sub> para ser utilizado em células de combustível (BARIN, 2007).

### 3.9. SERVIÇOS ANCILARES

Chaves (2009) descreve que os serviços ancilares são serviços tradicionalmente agregados de forma implícita na geração distribuída, que não correspondem propriamente à energia em si.

Estes serviços caracterizam-se por relações causa-efeito que afetam os sistemas como um todo e que ultrapassam as fronteiras de abrangência das empresas e/ou serviços principais (CHAVES, 2009).

Chaves (2009) elencou, na lista a seguir, alguns dos principais serviços ancilares que a GD pode oferecer:

- a. Controle de tensão;
- b. Regulação da frequência;
- c. Seguimento da carga;
- d. Reserva rápida;
- e. Reserva suplementaria;
- f. Serviço de restabelecimento ou “*backup*”;
- g. Compensação de harmônicos;
- h. Estabilidade da rede;
- i. Suporte de potência na ponta de curva de demanda (*Peak Shaving*).

Atualmente, através da eletrônica de potência, é possível melhorar o perfil de tensão na regulação das redes, sendo beneficiados assim, tanto os usuários das redes de distribuição, como os proprietários da GD.

A

Tabela 7 elenca serviços auxiliares com seus respectivos objetivos.

Tabela 7 - Classificação de SA

FONTE: LESCANO, 2004 *apud* CHAVES, 2009

SERVIÇO	OBJETIVOS
Programação, controle e despacho	Despaço de geração, progrmação de geração, programação de corte de carga;
Fornecimento de reativos e controle de perfil de tensão	Suporte da tensão durante o regime dinâmico do sistema, suporte local de reativo, suporte de reativo ao nível de sistema
Regulação e resposta da frequência	Regulação da frequência, regulação (gerenciamento) da carga, previsão da carga
Desequilíbrio carga X geração	Controles automáticos de geração
Reserva operativa / reserva girante	Reserva girante, corte de carga, reserva de transmissão
Reserva operativa / reserva suplementar	Reserva não girante, planejamento da reserva, fornecimento de <i>backup</i> automático.

### 3.10. FATOR DE DEMANDA

Segundo a Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, o fator de demanda é a razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo especificado e a potência instalada na unidade consumidora.

$$FD = \frac{\text{Demanda máxima [kwh]}}{\text{Potência instalada}} \quad (1)$$

### 3.11. FATOR DE CARGA

Segundo a Resolução a Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, o fator de carga é definido como sendo a razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo especificado.

$$FC = \frac{\text{Demanda média}}{\text{Demanda máxima}} \quad (2)$$



## 4. DIRETRIZES E INSTRUMENTOS DAS POLÍTICAS NACIONAIS

### 4.1. Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)

Instituída pela Lei 12.305/2010 e pelo decreto nº 7.404/2010, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) tem por função reunir um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, metas e ações adotados pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, distrito federal, municípios, ou particulares, com o objetivo de construir uma gestão integrada e um gerenciamento ambientalmente adequado dos Resíduos Sólidos (PNRS, 2010).

A PNRS marcou o início de uma forte articulação institucional entre os três entes federados, o setor produtivo e a sociedade em geral, com o objetivo de buscar soluções para os problemas que interferem na qualidade de vida dos brasileiros (PNRS, 2010). Yoshida (2012) afirma que "a longa espera pelo advento da PNRS é compensada pelo vanguardismo de sua concepção, de seus princípios e objetivos" (YOSHIDA, 2012, p.1).

Dentre os princípios e objetivos da PNRS, merecem ser destacados:

- i. A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- ii. O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- iii. Direito da sociedade à informação e ao controle social;
- iv. Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluindo a recuperação e aproveitamento energético.

Faz-se importante observar, em relação as diretrizes de gerenciamento de RS propostos na PNRS, a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, conforme Figura 8.



Figura 8 - Ordem de Prioridade  
Fonte:(MMA, 2012a)

Neste contexto, poderão ser utilizadas tecnologias que visem a recuperação energética dos RSU, mediante comprovação de sua viabilidade técnica, ambiental e com a implantação de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão responsável (PNRS, 2010).

#### 4.1.1. Planos de Resíduos Sólidos

A lei caracteriza como planos de resíduos sólidos uma tipologia variada e complementar, de modo a completar as diversas configurações territoriais e arranjos institucionais. A Figura 9 mostra que não há propriamente uma hierarquia, mas sim um corolário de possíveis articulações entre as diversas instâncias da Federação na elaboração dos planos (CRESPO; COSTA, 2012).



Figura 9 - Do nacional ao local.  
Fonte: (MMA, 2012a)

Observa-se que há seis possíveis tipologias a serem elaboradas:

- Plano Nacional de Resíduos Sólidos;
- Planos Estaduais de Resíduos Sólidos;
- Os Planos Microrregionais de Resíduos e os Planos de Resíduos Sólidos de Regiões Metropolitanas ou Aglomerações Urbanas;
- Planos Intermunicipais de Resíduos Sólidos;
- Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS);
- Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Quanto mais os planos forem alinhados, mais facilmente se desenharão os incentivos financeiros que poderão acompanhar a implementação da lei no Brasil (CRESPO; COSTA, 2012)

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos é um dos instrumentos mais importantes da Política Nacional. Em 2011 iniciou-se o processo de sua elaboração, que teve como objetivo indicar planos de metas, programas e ações a serem seguidos de modo a impactar positivamente, através de alternativas na gestão e gerenciamento passíveis de implementação, os problemas identificados em cada tipo de resíduo gerado (MMA, 2012b).

#### 4.1.1.1. Plano Nacional dos Resíduos Sólidos

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), em conjunto com órgãos dos Governos Federal, Estaduais e Municipais, iniciativa privada, organizações não governamentais e com a participação da sociedade civil, tem a responsabilidade de coordenar o desenvolvimento de ações a fim de viabilizar a implementação da PNRS, respeitando o cumprimento dos prazos estipulados (MMA, 2012b).

Objetivando um trabalho integral e com ampla abrangência quanto ao tema em questão, o PNRS mantém relação com outros importantes planos nacionais – o de Mudanças Climáticas (PNMC), de Recursos Hídricos (PNRH), de Produção e Consumo Sustentável (PPCS), com a Política Nacional de Educação Ambiental e com a proposta de Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). (MMA, 2012b).

A cada 4 (quatro) anos o plano deve ser atualizado observando-se uma série mínima de conteúdo com 11 (onze) itens a serem revisados. O prazo de vigência é indeterminado e seu horizonte é de 20 (vinte) anos.

#### 4.1.1.2. Planos Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS)

Os Resíduos Sólidos Urbanos são de titularidade municipal. No entanto, do ponto de vista da gestão integrada de RS, os RSU envolvem processos mais complexos e os municípios apresentam relativa insuficiência para equacionar individualmente os principais problemas do manejo inadequado destes resíduos. Entende-se, então, que os estados brasileiros têm o papel primordial de planejar a gestão dos RS no seu espaço geográfico (CRESPO; COSTA, 2012).

A elaboração do PERS é condição necessária para que os estados acessem os recursos controlados pela União, incentivos e financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. Assim, segundo a PNRs, os estados que instituírem microrregiões para integrarem a organização, planejamento e a execução das ações a cargo de municípios limítrofes na gestão dos RS têm prioridade no acesso a recursos federais (PNRS, 2010).

Crespo e Costa (2012) afirmam que, por uma questão de escala, os estados devem articular os municípios e buscar, sempre que possível, a gestão do manejo associada à esses serviços públicos com o uso de tecnologias compartilhadas.

A lei dos RS define que o PERS deverá abranger todo o território do estado, para um horizonte de vinte anos, com revisões a cada quatro anos. Complementarmente, o PERS deve estar em consonância com os objetivos e as diretrizes dos planos plurianuais (PPA) e de saneamento básico, com a legislação ambiental, de saúde, educação ambiental, dentre outras (MMA, 2012b).

#### 4.1.1.3. Planos Microrregionais e de Regiões Metropolitanas

A elaboração e a implementação de planos microrregionais e planos específicos direcionados às regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas devem ser feitas pelo estado. Estes planos não excluem nem substituem qualquer das prerrogativas a cargo dos municípios envolvidos, previstas pela lei, e devem acontecer



obrigatoriamente com a participação dos municípios envolvidos (MMA, 2012b).

#### 4.1.1.4. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS)

O Objetivo principal da PMGIRS é a administração integrada dos resíduos sólidos por um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, juntamente com diversos setores da sociedade, enfatizando a responsabilidade compartilhada.

Através do PMGIRS, propõe-se padronizar o serviço público adequado a realidade ambiental, social, sanitária e econômica local, a partir de tecnologias disponíveis e economicamente aplicáveis. (UBATUBA, 2014).

Yoshida (2012) observa, que na realidade do federalismo cooperativo brasileiro, a tendência centrípeta convive em constante e crescente embate com a tendência centrífuga. Ela resulta não só no desmembramento de um Estado Unitário, mas da união entre entes políticos autônomos, configurando uma estrutura federativa de três níveis políticos (federal, estadual/distrital, municipal), em que o município desempenha um papel destacado sob o aspecto da descentralização (YOSHIDA, 2012).

Em relação a gestão de resíduos sólidos, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, a PNRS (2010) priorizará a concessão de recursos da união para os municípios que implantarem a coleta seletiva com participação de cooperativas ou associações de catadores, formadas por pessoas físicas de baixa renda (PNRS, 2010).

Ubatuba (2014) ressalta que, para inserir e praticar ações adequadas e compatíveis com cada situação, é necessário identificar as características dos resíduos e as peculiaridades da cultura local, numa abordagem sistêmica de sensibilização e educação ambiental

Nesse contexto, para contemplar a ampla diversidade dos bairros do município e das suas comunidades, parte-se da apropriação que cada comunidade faz da percepção ambiental e da forma como resolve seus desafios e busca suas soluções, associando as boas práticas com metas e diretrizes de enfrentamento às problemáticas dos resíduos (UBATUBA, 2014).

#### 4.1.2. Sistemas de informação

O planejamento e a execução de políticas públicas, segundo Bellingieri (2012), exige orientação na aplicação dos recursos. A avaliação dos serviços tem o papel de incentivar a eficiência e eficácia no cumprimento dos objetivos, além do aperfeiçoamento da gestão no processo.

Assim, o acompanhamento das atividades de regulação, fiscalização e controle social necessitam de ferramentas de coleta, tratamento, interpretação, acompanhamento e disponibilidade de informações, pois "não é possível gerir aquilo que não se pode medir" (KAPLAN, 2004, p.1).

Define-se sistema de informação (SI) como todo sistema usado para prover e processar informações, independente do uso que será feito dela. Um SI é composto por elementos interrelacionados de coleta, manipulação, armazenamento, disseminação e mecanismos de avaliação (BELLINGIERI, 2012). Um Sistema de Informação, por conseguinte, é essencial para o planejamento e execução de políticas públicas.

##### 4.1.2.1. Sistemas brasileiros

Neste contexto, a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) de 1981 instituiu o SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente, para distribuir as responsabilidades entre municípios, estados e a União através de um modelo descentralizado de gestão ambiental, criando uma rede articulada de organizações nos diferentes âmbitos da federação.

O SISNAMA conta hoje com o SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a gestão dos RS, que é um instrumento da PNRS. O Sistema de Informação da PNRS está ancorada neste sistema, e sua evolução e articulação envolve o SINIMA - Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente, o SINISA - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento Básico - atual SNIS - e o SNIRH - Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos.

##### 4.1.2.2. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS

O SNIS está vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades. Ele é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento brasileiro. O

Sistema possui uma base de dados que contém informações e indicadores sobre a prestação de serviços de Água e Esgotos e de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.

Todas as informações do SNIS são fornecidas anualmente pelos prestadores de serviços de água, esgotos e resíduos sólidos urbanos. Por isso, ele é dividido em dois componentes: Água e Esgotos (SNIS-AE); e Resíduos Sólidos (SNIS-RS). Suas informações e indicadores têm caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade sobre a prestação de serviços de Água e Esgotos e de Resíduos Sólidos Urbanos.

Em 1996, o Governo Federal criou e desde então administra o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. O SNIS publica anualmente (desde 1996 para Água e Esgotos e desde 2002 para Resíduos Sólidos Urbanos) os Diagnósticos da situação da prestação de serviços de saneamento básico, divididos em Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos e Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS, 2016).

#### 4.2. A LEI Nº 10.438, DE 26 DE ABRIL DE 2002

Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica.

##### **4.2.1. Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de**

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa teve o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

O programa trouxe uma condição desafiadora ao impor que, para ser admitida a participação direta de fabricantes de equipamentos de geração, sua controlada, coligada ou controladora na constituição do Produtor Independente Autônomo, o índice de nacionalização dos equipamentos e serviços seja de, no mínimo, sessenta por cento do valor na primeira etapa do programa e, na segunda etapa, de no mínimo noventa por cento em valor. O horizonte de planejamento e metas do Programa aponta para que as fontes eólica, pequenas centrais

hidrelétricas e biomassa atendam a 10% (dez por cento) do consumo anual de energia elétrica no País, objetivo a ser alcançado em até 20 (vinte) anos, aí incorporados o prazo e os resultados da primeira etapa.

No âmbito da geração de EE com RSU, o PROINFA teve pouco impacto. O BEN 2015 mostra que, em 2005, a geração de EE com biogás era de 20MW e que em 2014 ela cresceu para 70MW.

#### **4.2.2. Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)**

Em 2002 a Lei 10.438 criou a Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, que visa ao desenvolvimento energético dos Estados, promovendo a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional. A função do CDE é promover a competitividade da energia produzida a partir de várias fontes – eólica, termossolar, fotovoltaica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, outras fontes renováveis e gás natural.

No sentido da universalização do serviço público de energia elétrica, a Aneel poderá promover licitações para outorga de permissões de serviço público de energia elétrica, em áreas já concedidas cujos contratos não contenham cláusula de exclusividade. Assim, a Lei 10.438/2002 expõe que

“a permissionária será contratada para prestar serviço público de energia elétrica utilizando-se da forma convencional de distribuição, podendo, simultaneamente, também prestar o serviço mediante associação ou contratação com agentes detentores de tecnologia ou titulares de autorização para fontes solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas”.

Em vista disso, a permissão de serviço público de energia elétrica contratada na forma poderá prever condições e formas de atendimento específicas, compatíveis com a tecnologia utilizada.

#### **4.2.3. Resolução Normativa N° 77 – ANEEL**

Esta resolução, atualizada pela Resolução 745 de 2016, estabelece procedimentos relativos à redução das tarifas de uso dos

sistemas de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD – quando aplicáveis à empreendimentos hidrelétricos com potência igual ou inferior a 50MW e àqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência vai até 300 MW. Segundo o art. 7º do Decreto 2.655/1998, a responsabilidade da ANEEL é estabelecer condições gerais de acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de EE, compreendendo o uso e a conexão, além de regular as tarifas, com vistas a estimular novos investimentos na expansão dos sistemas elétricos.

Este decreto também determina que a contratação e o faturamento do acesso e uso deverão observar as regras e resoluções da ANEEL, os Procedimentos de Rede e os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST

Para finalizar, é importante ressaltar que, a partir do decreto, fica assegurado o direito a 100% de redução da TUST e TUSD na produção e no consumo da energia para geradores que utilizem como insumo energético no mínimo 50% de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto.

#### **4.2.4. Resolução Normativa Nº 482 – ANEEL**

Em 17 de abril de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) instituiu, através Resolução Normativa nº 482, as condições gerais para acesso de sistemas de geração distribuída aos sistemas de distribuição de EE através do sistema de compensação de EE.

A resolução é um marco importante na modernização do sistema elétrico de potência brasileiro e traz consigo grandes avanços e desafios. Sua principal contribuição está no incentivo ao uso de energias alternativas e renováveis conectadas à rede de distribuição. Ela foi uma iniciativa em busca de alternativas aos grandes empreendimentos de alto impacto socioambiental e da diversificação da matriz energética do país.

#### **4.2.5. Sistema de Compensação**

O Sistema de Compensação é uma modalidade de *feed in tariff*, onde a energia ativa injetada por uma unidade consumidora, com micro ou minigeração, é cedida por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local e, posteriormente, compensada no consumo de energia ativa da unidade (ANEEL, 2012).

Define-se micro geração distribuída como uma central geradora de EE, com potência instalada menor ou igual a 75kW e que utilize cogeração qualificada.

A mini geração distribuída é definida como uma central geradora de EE, com potência instalada superior a 75kW e até 3MW, para fontes hídricas, ou até 5MW para cogeração qualificada.

No sistema de compensação, a diferença positiva entre a EE injetada e a consumida é o excedente de EE, como mostra a equação.

$$EE \text{ excedente} = EE \text{ injetada} - EE \text{ Consumida} \quad (3)$$

Caso a injeção tenha sido maior que o consumo ao final de um ciclo de faturamento (1 mês), a unidade consumidora acumulará um crédito que poderá ser usado nos próximos 60 meses. O valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor será cobrado, e o custo do “aluguel” da RDEE não poderá ser pago com os créditos gerados.

Em 2015, a ANEEL atualizou a resolução para atender diferentes configurações de unidades consumidoras que podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica. Hoje as seguintes configurações podem ter acesso:

- i. Unidade Consumidora: Padrão;
- ii. Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: Condomínio;
- iii. Geração compartilhada: Cooperativa ou Consórcio;
- iv. Autoconsumo remoto: Unidade de geração e unidade consumidora em diferentes locais.

A resolução tem como objetivo facilitar e incentivar o acesso da geração distribuída aos sistemas de distribuição. Nesse sentido, dispensa-se a assinatura de contrato de uso e conexão na qualidade de central geradora para os participantes do sistema de compensação de EE. Basta que se cumpra as condições estabelecidas pelo Módulo 3 dos PRODIST.

Segundo a resolução, com o intuito de manter e respeitar a confiabilidade dos sistemas de distribuição, são previstas penalidades às unidades consumidoras com geração distribuída que gerarem dano ao sistema. Assim, todos cuidados e procedimentos de proteção e segurança previstos no PRODIST devem ser observados e executados.

## 5. METODOLOGIAS MULTICRITERIAS

As Metodologias Multicriteriais tem duas correntes de pensamento: a Escola Americana e a Escola Europeia. As metodologias desenvolvidas na Escola Americana denominam-se Multicriteriais de Tomada de Decisão (MCDM), enquanto que as metodologias desenvolvidas na Escola Europeia denominam-se Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA), conforme salienta Ensslin (2002).

Segundo Ensslin (2002), são três os aspectos que caracterizam a distinção entre as duas correntes de pensamento:

- i. A forma de tratar a objetividade e reconhecer a subjetividade;
- ii. A função do facilitador no processo decisório;
- iii. O enfoque do encaminhamento do processo.

O quadro comparativo elaborado por Dutra (1998, p.45) ressalta as características de cada escola, conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Diferenças básicas entre as Escolas Européia e Americana  
Fonte: Dutra (1998, p.45)

Escola Européia	Escola Americana
Reconhecimento da presença e necessidade de integração, tanto dos elementos de natureza objetiva como os de natureza subjetiva;	Reconhecimento apenas dos elementos de natureza objetiva;
O principal objetivo é construir ou criar algo (atores e facilitadores em conjunto) que, por definição, não preexistia completamente;	O principal objetivo é descobrir ou descrever algo que, por definição, preexiste completamente;
Busca entender um axioma particular, no sentido de saber qual o seu significado e o seu papel na elaboração de 'recomendações';	Busca analisar um axioma particular, no sentido de que ele levará a uma verdade através de 'normas para prescrever';
Ajudar a entender o comportamento do tomador de decisão, trazendo para ele argumentos capazes de fortalecer ou enfraquecer suas próprias convicções.	Não existe a preocupação de fazer com que o tomador de decisão compreenda o 'seu problema', apenas que explicita as suas preferências.

Ensslin (2002, p. 143) afirma que a Escola Europeia tem a capacidade de incorporar a natureza humana do processo decisório, pois ela permite:

- i. Abordar diferentes tipos de informações: qualitativas, quantitativas e verbais;
- ii. Capturar e apresentar, explicitamente, os objetivos dos decisores;
- iii. Induzir os decisores a refletirem sobre seus objetivos, prioridades e preferências;
- iv. Desenvolver um conjunto de condições e meios que sirvam de base para as decisões.

Neste sentido, não restam mais dúvidas na escolha da abordagem metodológica adequada à avaliação das alternativas para aproveitamento energético dos RSU com foco no desenvolvimento local e gestão social.

### 5.1. MCDA

O apoio a um processo de decisão tem por objetivo apresentar modelos que trarão elementos de respostas para as questões colocadas pelos atores envolvidos neste processo (ROY, 2003).

Os elementos de respostas devem apresentar uma visão nítida do processo decisório. Sua função é recomendar e favorecer um comportamento que aumente a coerência na evolução do processo, dos objetivos e dos valores previamente colocados pelos agentes decisores (ROY, 2003).

Nas situações onde os envolvidos representam diferentes objetivos e valores, Sica (2009) sugere que a abordagem do problema proporcione elementos de resposta que tenham a capacidade de inclusão da subjetividade dos decisores.

A análise da decisão identifica os atores envolvidos, as possibilidades de ações, as consequências e os riscos do processo. Deste modo, será possível propor estratégias para a compreensão mútua da situação, a fim de estabelecer uma conjuntura favorável ao debate e a cooperação entre os envolvidos (ROY, 2003).

A abordagem monocriterial é incapaz de orientar o processo decisório neste contexto multiobjetivo, de modo que uma análise multicriterial se apresenta como alternativa (Roy, 2003; Sica, 2009).

Resumidamente, Hobbs e Meier (2000, p.6-8) *apud* Sica (2009) sintetizam os objetivos da técnica multicritério:



- Estruturar o processo de decisão;
- Facilitar a negociação;
- Documentar como as decisões foram feitas; e
- Informar aos agentes envolvidos as implicações e consequências dos atributos examinados, inspirando mais segurança na tomada de decisão.

Grande parte das aplicações dos métodos analíticos para MCDA é desenvolvida para indivíduos que tomarão decisões em nome de outros. Em todos os casos, espera-se o uso de estratégias embasadas em fundamentos racionais e justificáveis. Entretanto, nem sempre os argumentos estão de acordo com os axiomas racionais da teoria da decisão (DYER, 2005).

## 5.2. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Dentre os caminhos possíveis para a ajuda de uma decisão, deve-se escolher o que se mostra como mais adequado, ou combiná-los. Roy (2003) coloca três possíveis escolhas:

- O caminho do realismo, que leva à busca de uma discussão para descobrir;
- O caminho axiomático, que geralmente está associado à busca de normas de prescrição; e
- O caminho do construtivismo, que vai em busca de hipóteses de trabalho a serem recomendadas.

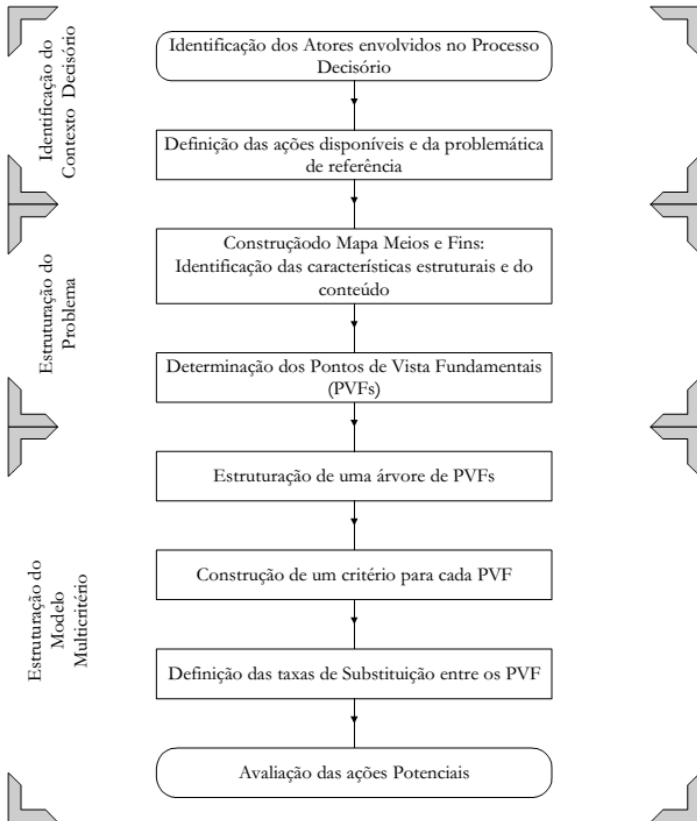
Considerando os possíveis caminhos, a construção de um modelo multicriterial de apoio à decisão inicia-se na identificação dos atores envolvidos, da problemática de referência e das possíveis ações disponíveis (SICA, 2009).

Em seguida, deve-se elicitar os Pontos de Vista Fundamentais (PFV) pertinentes ao processo. A elicitação dos PVF deve ocorrer de forma nítida e independente.

Um PVF deve ser essencial, controlável, completo, mensurável, operacional, isolável, não redundante, conciso e compreensível (SICA, 2009).

Deste modo, Roy (2003) afirma que, naturalmente, será possível associar critérios específicos que irão descrever cada PFV.

A Figura 10 ilustra o processo de apoio à decisão por meio da metodologia multicritério dividido em três etapas: Identificação do contexto decisório, Estruturação do problema e Estruturação do modelo multicritério.



Fonte: Adaptado de Ensslin *et al*, (2001, p. 38-39).

Figura 10 - Estruturação da técnica multicritério  
Fonte: Sica (2003, p. 54)

Os aspectos envolvidos no processo decisório, quando apresentados de maneira inteligível, possibilitam indicar ações potenciais a serem avaliadas.

Roy (2003) alerta que a ideia de ação, a priori, não incorpora qualquer noção de viabilidade ou implementação, mas sim a ideia do que constitui o objetivo da decisão pela melhor alternativa.

### 5.2.1. Alternativas de ação potencial

O caso particular onde duas ações potenciais distintas não podem, de modo algum, ser colocadas em operação conjuntamente, configura o conceito de alternativa (Roy, 2003).

Seja  $A$  um conjunto com  $m$  possíveis alternativas de ações potenciais:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \quad (4)$$

Onde  $a_j$  representa uma alternativa de ação potencial  $j$ , composta pelas  $n$  variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_n$

$$a_j = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (5)$$

Para a escolha de uma alternativa em detrimento de outra, Sica (2009) elenca a seguinte estratégia:

“Uma alternativa Y domina uma alternativa X se na passagem de Y para X existir melhoria de pelo menos uma das funções desempenho e as restantes permanecerem inalteradas. Dessa forma, a alternativa X é denominada inferior e deve ser descartada” (SICA, 2009).

Habitualmente, a escolha feita por um agente decisor se baseia numa função implícita, que o permite avaliar os objetivos através de uma escala cardinal e elencar uma preferência entre as possíveis alternativas. Entretanto, tal função, não é capaz de quantificar a preferência de uma alternativa em detrimento da outra (SICA, 2009).

### 5.2.2. Árvore do modelo multicritério

Roy (2003) sugere que a diferenciação entre alternativas seja feita através de critérios compreensivos numa ordem comparativa de seus potenciais de ação.

Um critério complexo pode ser decomposto em subcritérios de mais fácil mensuração, estabelecendo, assim, uma lógica hierárquica. A partir deste princípio, estrutura-se um modelo multicritério em formato arborescente (SICA, 2009).

Nesta organização hierárquica, o conjunto dos critérios de um nível inferior define por completo o nível superior, e seus critérios devem ser mutuamente exclusivos (SICA, 2009).

A partir das propriedades definidas para cada critério de cada PVF, define-se um descritor que terá uma função utilidade associada a ele. O descritor deve respeitar as propriedades de mensurabilidade, operacionalidade e compreensibilidade, além de ser classificado como:

- i. direto, construído ou indireto;
- ii. quantitativo ou qualitativo;
- iii. contínuo ou discreto.

A Figura 11 ilustra como deve ser a organização da árvore de critérios para um modelo.

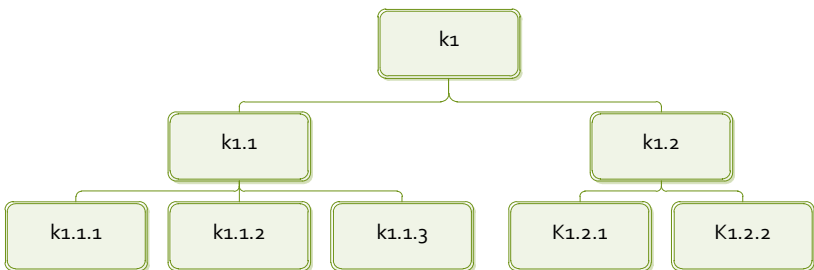


Figura 11 - Árvore de critérios.

Fonte: adaptado de Sica (2009)

Complementarmente à definição de critérios, se faz necessária uma representação capaz de medir a força de preferência entre os PVF definidos e entre os descritores que os compõem.

### 5.2.3. Taxa marginal de substituição (*Traddeoff*)

Segundo Sica (2009), a taxa marginal de substituição representa a preferência do decisor sobre um critério em detrimento de outro.

A avaliação das ações potenciais, locais e globais, requer o emprego das taxas de substituição (SICA, 2003).

Por avaliações locais, entende-se as avaliações das funções desempenho dos descritores e pontos de vista fundamentais. Por avaliação global, entende-se a agregação de todas as avaliações locais.

As taxas de substituição são consideradas como constantes de escala, que transformam valores locais de preferência em valores globais (SICA, 2003).

Assim, pode-se fazer uma avaliação global através da utilização de uma função de agregação aditiva, conforme segue:

$$V(a_j) = w_1 \cdot v_1(a_j) + w_2 \cdot v_2(a_j) + w_3 \cdot v_3(a_j) + \dots + w_n \cdot v_n(a_j) \quad (6)$$

Onde:

$$V(a_j) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(a_j)$$

-  $V(a_j)$  é o valor global da ação potencial  $a_j$ ;

-  $v_1(a_j), v_2(a_j), v_3(a_j), \dots, v_i(a_j)$  são os valores parciais da ação potencial  $a_j$  nos critérios 1,2,3,...,n;

-  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  são as taxas de substituição dos critérios 1,2,3,...,n;

- n é o número de critérios do modelo.

### 5.2.4. Taxa marginal de substituição (*Tradeoff*)

O método dos pesos tem por objetivo otimizar as funções de desempenho de cada critério  $k_i$ . Nele associa-se um coeficiente  $w_i$ , também chamado de *tradeoff*, a cada função.

Assim, pode-se transformar um problema multi-objetivo em mono-objetivo, conforme a condição descrita em (7):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (7)$$

### 5.3. TEORIA DA PREFERÊNCIA

A teoria da preferência estuda os aspectos fundamentais do comportamento de escolha individual.

É fundamental identificar e quantificar as preferências dos indivíduos sobre um conjunto de alternativas. Deste modo, define-se estratégias para determinar as funções que representarão apropriadamente a preferência dos atores envolvidos no processo decisório (DYER, 2005).

A teoria da preferência se baseia em axiomas rigorosos que caracterizam o comportamento da escolha de um indivíduo. O conjunto de axiomas de preferência estabelecem as funções que representam a preferência e fornecem a justificativa para sua análise (DYER, 2005).

Assim, pode-se concluir que, dentre os possíveis caminhos propostos por Roy (2003), a composição das visões axiomática e construtivista se mostra como o caminho que melhor se apresenta ao problema em questão.

#### 5.3.1. Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT)

A Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) nada mais é que a Teoria da Utilidade aplicada a processos decisórios que consideram múltiplos critérios, muitas vezes conflituosos. Ela define uma função-utilidade multiatributo, composta por funções-utilidade individuais (MARGUERON, 2005).

Sica (2003) afirma que o modelo multicritério pode ser construído através de atributos individuais, associados às ações a serem avaliadas. O objetivo básico dos atributos é mensurar a performance de cada ação potencial.

Para isto, são definidos níveis de impacto para cada descritor, onde um nível de impacto é visto como a representação do desempenho de uma ação potencial no objetivo considerado.

Sica (2003) indica que os níveis de impacto são ordenados em termos de preferência, de acordo com o sistema de valores dos decisores.

DYER (2005) identifica a teoria de preferência baseada em comparações ordinais e força de preferência como funções de valor. À teoria de preferência sobre alternativas de risco, o autor adota o termo função de utilidade. Esta destinação, feita por Keeney e Raiffa (1976), é a geralmente adotada na literatura. Entretanto, usa-se também o termo

modelo de preferência multiatributo para incluir todos casos (DYER, 2005).

Assim, a MAUT define uma função utilidade para cada descritor. Esta função representa a utilidade subjetiva percebida pelo agente decisor através de um valor numérico (NOGUEIRA, 2002).

O uso de tais modelos permite descrever o problema de decisão multiatributo, bem como as condições que possibilitam a decomposição de uma função de preferência em formas aditivas e multiplicativas sobre condições de certeza e risco.

### 5.3.1.1. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

O Método *Analytic Hierarchy Process (AHP)* possibilita empregar os modelos de modo realista, com inclusão de medidas importantes, tangíveis ou intangíveis, levando em conta fatores qualitativos ou quantitativamente mensuráveis (SICA, 2009).

Nogueira (2002) afirma que a teoria do *AHP* reflete a maneira natural do funcionamento da mente humana ao avaliar e estruturar um problema complexo.

Ao identificar uma questão complexa, o cérebro humano decompõe a complexidade encontrada, descobre relações, sintetizando-a quantas vezes forem necessárias, deste modo:

“O modelo do funcionamento da mente humana permite uma repetição do processo de síntese, em relação as suas propriedades comuns de identificação, como os elementos de um novo nível no sistema. Esses elementos podem ser agrupados segundo um outro conjunto de propriedades, gerando os elementos de um outro nível, até ser atingido um único elemento que, muitas vezes, pode ser identificado como o objetivo “maior” do processo decisório. (NOGUEIRA, 2002, p.44)

O método *AHP* usa comparações por pares entre as alternativas e entre os critérios, a fim de definir prioridades entre eles. Neste sentido, uma ordenação em níveis hierárquicos possibilita uma visão global do problema e de sua relação de complexidade (SICA, 2009).

Nogueira (2002) afirma, ainda, que um modelo *AHP* pode ser considerado também como um modelo da MAUT, apesar de não definir uma função utilidade.

### 5.3.1.1.1. Matriz concordância

Cada agente de decisão fará a comparação, par a par, de cada elemento de um dado nível hierárquico, criando-se uma matriz concordância, recíproca positiva, em que ele representará, a partir de uma escala pré definida sua opinião/preferência dentre os elementos, comparados entre si (SAATY, 1980)

A Tabela 9 indica as categorias semânticas que serão usadas para indicar a intensidade da preferência entre um par p e q.

Tabela 9 - Intensidade da preferência entre p e q

$v_{(p,q)}$	Julgamento Semântico
1	Igualmente preferido (indiferente)
3	Preferência fraca de p sobre q
5	Preferência moderada de p sobre q
7	Preferência forte de p sobre q
9	Preferência absoluta de p sobre q

$$\begin{pmatrix} v_{1,1} & \cdots & v_{1,q} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{p,1} & \cdots & v_{p,q} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Em que

$$v_{p,q} = \frac{1}{v_{q,p}} \quad (9)$$

Saaty (1980) determina a importância relativa entre as alternativas avaliadas segundo o único autovetor  $\gamma$  positivo e não nulo da matriz.



### 5.3.1.1.2. Coeficiente de racionalidade (CR)

Sugere-se que se calcule a consistência do julgamento disposto na matriz de concordância da seguinte forma:

$$CR = \begin{cases} \text{Consistente se } \frac{1}{I} \cdot \frac{\lambda_{max} - 1}{n - 1} \leq 10\% \\ \text{Inconsistente se } \frac{1}{I} \cdot \frac{\lambda_{max} - 1}{n - 1} > 10\% \end{cases} \quad (10)$$

Onde  $\lambda_{max}$  é o maior autovalor,  $n$  é a dimensão da matriz e  $I$  é determinado com base na Tabela 10.

Tabela 10 – Coeficiente I em função de n

Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Se o valor do CR for menor ou igual a 10%, o julgamento foi consistente. Caso contrário, deve-se refazer a matriz concordância.

## 5.4. EQUACIONAMENTO

### 5.4.1. Sistema de valores

A análise do valor, segundo Csilag (1991), é a aplicação sistemática de técnicas reconhecidas que identificam a função de um produto ou serviço.

Deste modo, o conceito de função aqui é definido como a característica de desempenho, de um item ou serviço, que atinge as necessidades e desejos do usuário (CSILAG, 1991).

Csilag (1991) afirma que o valor é expresso em relação a algo por meio de comparação. Assim, o nível mais atrativo corresponde a uma ação cujo desempenho é o melhor possível. De outra forma, o menos atrativo corresponde a uma ação cujo desempenho é o pior aceitável (SICA, 2003)

### 5.4.2. Normalização linear proporcional

Seja um conjunto  $R$  composto por  $m$  elementos, conforme (11).

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\} \quad (11)$$

A normalização  $w_i$  de um elemento  $r_i$ , tal que  $i \leq m$ , se dá por (12).

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_m^1 r_k} \quad (12)$$

### 5.4.3. Normalização linear não proporcional

Seja um intervalo contínuo  $I$ , tal que:

$$I = [\mu_{min}; \mu_{máx}] \quad (13)$$

Onde  $\mu_{min}$  e  $\mu_{max}$  representam, respectivamente, o pior aceitável e o melhor possível de um descritor.

O comportamento de um descritor pode ser crescente ou decrescente. Desta forma, a normalização linear não proporcional  $K_i$  do descritor  $i$  varia para cada um.

#### 5.4.3.1. Crescente

A normalização linear não proporcional  $K_i$  de um descritor  $i$  com comportamento crescente é calculada conforme (14).

$$K_i = \frac{\mu_i - \mu_{min}}{\mu_{max} - \mu_{min}} \quad (14)$$

#### 5.4.3.2. Decrescente

A normalização linear não proporcional  $K_i$  de um descritor  $i$  com comportamento decrescente é calculada conforme (15).

$$K_i = \frac{\mu_{max} - \mu_i}{\mu_{max} - \mu_{min}} \quad (15)$$

#### 5.4.4. Função desempenho

A função desempenho de um descritor  $i$  para uma determinada alternativa  $a_j$  é representado pela sua normalização linear não proporcional, de acordo com seu comportamento. Os valores de  $\mu$  são dados em unidades reais.

#### 5.4.5. Função valor

A função valor  $v$  de um descritor  $i$  para uma determinada alternativa  $a_j$  pode ser representada de três diferentes formas:

$$v_{i(a_j)} = x_1 + x_2 \cdot e^{x_3 \cdot \mu_i(a_j)} \quad (16)$$

$$v_{i(a_j)} = x_1 \cdot \mu_i(a_j)^2 + x_2 \cdot \mu_i(a_j) \quad (17)$$

$$v_{i(a_j)} = \frac{e^{\alpha k_i} - 1}{e^\alpha - 1}, \alpha \in \mathbb{R}_* \quad (18)$$

#### 5.4.6. Desempenho de valor sob comportamento indiferente

O desempenho da função valor sob comportamento indiferente de um descritor  $i$ , para uma determinada alternativa  $a_j$  é dado diretamente pela sua função desempenho.

#### 5.4.7. Desempenho de valor sob comportamento econômico

O desempenho da função valor sob comportamento econômico de um descritor  $i$  para uma determinada alternativa  $a_j$  é dado pela equação (13). Seu comportamento pode ser avesso ou propenso, de acordo com o valor do termo  $\alpha$

a. Propenso:

O comportamento do desempenho de valor sob comportamento econômico de um descritor  $i$  para uma determinada alternativa  $a_j$  é

propenso quando o termo  $\alpha$  é negativo e diferente de zero, conforme mostra a Figura 12 - Comportamento propenso.

$$\alpha \in \mathbb{R}_*^- : -1, -2, -3, -4, \dots \quad (19)$$

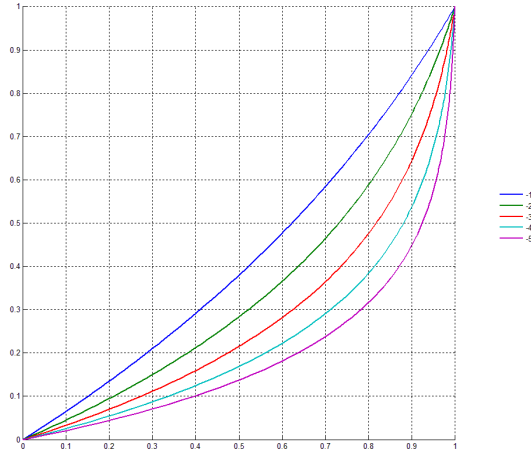


Figura 12 - Comportamento propenso

b. Averso:

O comportamento do desempenho de valor sob comportamento econômico de um descritor  $i$  para uma determinada alternativa  $a_j$  é propenso quando o termo  $\alpha$  é positivo e diferente de zero, conforme mostra a Figura 13.

$$\alpha \in \mathbb{R}_*^+ : 1, 2, 3, 4, \dots \quad (20)$$

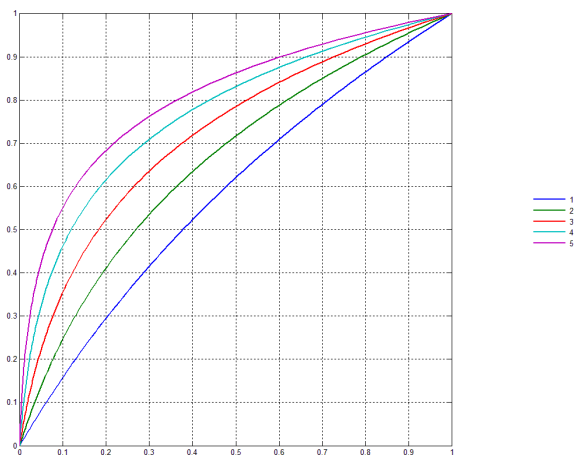


Figura 13 - Comportamento avesso



## 6. ESTUDO DE CASO E SIMULAÇÃO

### 6.1. MODELAGEM DO PROBLEMA

Para aplicar a teoria das metodologias multicriterias de apoio à decisão, no contexto do aproveitamento energético dos RSU, os seguintes PVF foram elencados:

- Resíduos Sólidos Urbanos (RSU);
- Elétrico (ELE);
- Econômico (ECO);
- Social (SOC);
- Ambiental (AMB);
- Operacional (OPE);
- Político (POL).

A seguir são apresentados os descritores definidos para cada PVF, levando em conta seu comportamento, os melhores e piores valores possíveis, sua unidade de medida e a fonte de informação de onde os dados foram coletados.

A análise dos melhores e piores valores possíveis se deu através de um *benchmarking* das fontes de referência disponíveis. Para os descritores qualitativos, foram estabelecidos níveis de impacto, ponderados através da aplicação da matriz concordância, de acordo com o método *AHP*.

Os *tradeoffs* definidos para cada descritor e PVF também foram determinados através do método *AHP* e matriz concordância.

#### 6.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos

O PVF RSU é analisado através de quatro descritores: produção média per capita de RS, proporção de orgânicos no total coletado, características do manejo dos resíduos orgânicos e quantidade recolhida e recicláveis.

### 6.1.1.1. Produção média per capita de RS

A produção média per capita de RS é um indicador determinado pela massa per capita de resíduos domiciliares coletada em relação à população atendida pelo serviço de coleta do município (SNIS, 2016).

O critério foi modelado por um comportamento crescente, quantitativo e contínuo. Através da análise dos dados fornecidos pelos municípios brasileiros ao SNIS (2016), definiu-se como valor mínimo 0 quilogramas diários por habitante e por valor máximo 3,8 quilogramas diários por habitante.

A mediana dentre o conjunto de valores da produção média per capita de RS declarados pelas prefeituras municipais brasileiras é 0,59 quilogramas diários por habitante.

A Tabela 11 – Modelagem produção média per capita de RS apresenta um resumo da modelagem do critério

Tabela 11 – Modelagem produção média per capita de RS

RSU#01						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	3,8	Kg/hab/dia	SNIS, 2016

### 6.1.1.2. Proporção de orgânicos no total coletado

A proporção de orgânicos no total coletado é determinada pela fração orgânica dos resíduos domiciliares coletados em relação à população atendida pelo serviço de coleta.

O critério foi modelado por um comportamento crescente, quantitativo e contínuo. Definiu-se como valor mínimo 0% e por valor máximo 100%.

O valor da fração orgânica dos resíduos domiciliares de um município pode ser encontrado em seu PMGIRS ou em algum diagnóstico elaborado pelo município. O valor desta proporção é da ordem de 50%.

A Tabela 12 apresenta um resumo da modelagem do critério.



Tabela 12 – Modelagem proporção de orgânicos no total coletado

RSU#02						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	100	%	PMGIRS

### 6.1.1.3. Características do manejo dos resíduos

As características do manejo dos resíduos orgânicos são representadas pelo tipo de coleta; tipo de separação; se há ou não coleta seletiva.

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 0 e seu valor máximo é 1. O critério apresentou oito níveis de impacto ( $N_n$ ):

- N1: Coleta porta a porta, separação adequada dos orgânicos e coleta seletiva;
- N2: Coleta porta a porta, separação dos orgânicos e coleta seletiva;
- N3: Coleta ponto a ponto, separação adequada dos orgânicos e coleta seletiva;
- N4: Coleta ponto a ponto, separação dos orgânicos e coleta seletiva;
- N5: Coleta porta a porta e coleta seletiva;
- N6: Coleta ponto a ponto e coleta seletiva;
- N7: Coleta porta a porta;
- N8: Coleta ponto a ponto;

O valor de cada nível de impacto,  $vkn$ , foi definido pela matriz concordância mostrada na Figura 14.

3 - Características do manejo dos resíduos										$\lambda_{max}$	$\gamma_1$	CR%	$V_{kn}$
N	$v_{p,q}$	1	2	3	4	5	6	7	8	8,675	0,714	6,89%	1,000
1	1	1	3	3	3	5	5	7	9				
2	2	1/3	1	1	3	5	5	7	9		0,459		0,621
3	3	1/3	1	1	3	3	5	7	7		0,412		0,551
4	4	1/3	1/3	1/3	1	3	3	7	7		0,262		0,328
5	5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	5	5		0,163		0,182
6	6	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	3		0,099		0,086
7	7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3		0,059		0,027
8	8	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1		0,041		0,000

Figura 14 - Matriz concordância características do manejo dos resíduos

O gráfico da Figura 15 ilustra o comportamento da preferência entre os 8 níveis de impacto determinada pela modelagem do problema:

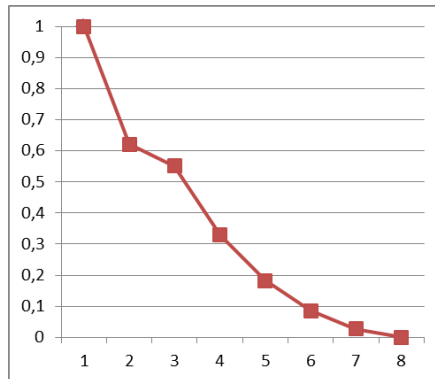


Figura 15 - Comportamento descritor características do manejo

A Tabela 13 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 13 – Modelagem Características do manejo dos resíduos

RSU#03						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Contínuo	0	1		SNIS,

#### 6.1.1.4. Quantidade recolhida de recicláveis

A quantidade recolhida de recicláveis é determinada pela massa recuperada per capita de materiais recicláveis, exceto matéria orgânica e rejeitos, em relação à população urbana (SNIS, 2016).

O critério foi modelado por um comportamento crescente, quantitativo e contínuo. Através da análise dos dados fornecidos pelos municípios brasileiros ao SNIS (2016), definiu-se como valor mínimo 0 quilogramas diários por habitante e o valor máximo como 20 quilogramas diários por habitante.

A mediana dentre o conjunto de valores das quantidades recolhidas de recicláveis declarados pelas prefeituras municipais brasileiras é 14,5 quilogramas diários por habitantes.

A Tabela 14 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 14 – Modelagem quantidade recolhida de recicláveis

RSU#04						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	20	Kg/hab/dia	SNIS 2016

#### 6.1.1.5. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A Figura 146 apresenta a matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF RSU, onde  $w_{kn}$  representa o peso estabelecido para cada um deles.

#	$w_{kn}$	$v_{p,q}$	RSU				$\lambda_{max}$	$\gamma$	CR%
			1	2	3	4			
1	0,56	1	1,00	3,00	5,00	7,00	4,11	0,88	4,12%
2	0,26	2	0,33	1,00	3,00	5,00		0,41	
3	0,12	3	0,20	0,33	1,00	3,00		0,18	
4	0,06	4	0,14	0,20	0,33	1,00		0,09	

Figura 16 - Taxas de substituição entre os critérios do PVF RSU

## 6.1.2. Elétrico

### 6.1.2.1. Tensão em regime permanente da barra a receber a GD

Tensão em regime permanente (TRP) da barra a receber a GD é o nível de tensão eficaz em regime permanente da rede de distribuição, medido no ponto que receberá a conexão.

Os limites para os níveis de tensão são classificados pelo PRODIST como adequado, precário e crítico.

Caso não se tenha os dados necessários, Brignol (2013) afirma que é possível estimar os valores por meio da metodologia da Aplicação dos Coeficientes Unitários de Queda de Tensão.

O critério foi modelado por um comportamento crescente, discreto e qualitativo, com quatro níveis de impacto ( $N_n$ ):

- N1: Sub Crítica:  $V < 0,9$  pu;
- N2: Precária:  $0,9 \leq V < 0,93$  pu;
- N3: Adequada:  $0,93 < V \leq 1,05$  pu;
- N4: Sobre crítica:  $V > 1,05$  pu.

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido pela matriz concordância da Figura 17.

6 - TRP da barra a receber a GD									
N	$vp,q$	1	2	3	4	$\lambda_{max}$	Y1	CR%	$Vk_n$
1	1	1	3	5	9	4,169	0,885	6,33%	1,000
2	2	1/3	1	3	7		0,418		0,432
3	3	1/5	1/3	1	5		0,198		0,165
4	4	1/9	1/7	1/5	1		0,062		0,000

Figura 17 - Matriz concordância TRP da bara de folga a receber a GD

O gráfico da Figura 18 ilustra o comportamento da preferência entre os 4 níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

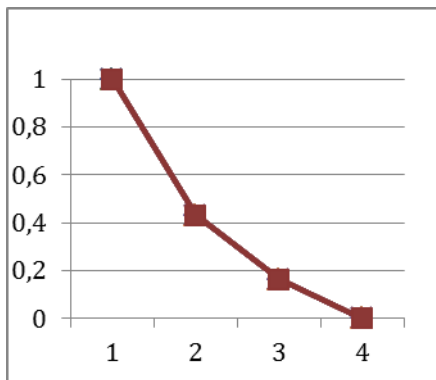


Figura 18 - Comportamento descritor TRP da barra de folga a receber a GD

A Tabela 15 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 15 – Modelagem TRP da barra a receber a GD

ELE#01						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1,2	s.u.	PRODIST

#### 6.1.2.2. Ganho de potência ativa do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

O ganho de potência ativa do SDEE (GPASD) engloba a potência ativa da planta de GD e a influência de sua conexão nas perdas de transmissão da rede.

O critério foi determinado por um comportamento crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 0 kW e seu valor máximo é 1000 kW. Pode-se determiná-lo conforme (21).

$$GPASD = GD + \Delta P_{PERDAS} \quad (21)$$

Onde GD é a potência em kW da planta e  $\Delta P_{PERDAS}$  é a diferença das perdas de transmissão sem a GD instalada e com a GD instalada, conforme a equação (22)

$$\Delta P_{PERDAS} = \text{Perdas sem GD} - \text{Perdas com GD} \quad (22)$$

A Tabela 16 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 16 – Modelagem ganho de potencia ativa do sistema de distribuição de energia eléctrica

ELE#02						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	1000	kW	Autor

### 6.1.2.3. Características da planta de geração eléctrica

As características da planta de geração eléctrica são determinadas pela forma de ligação da GD à rede do SDE e pelos requisitos mínimos do ponto de conexão do micro ou mini gerador.

O Módulo 3 do PRODIST determina os equipamentos de proteção necessários para diferentes faixas de potência, bem como a forma de ligação para cada uma delas.

O critério foi modelado por um comportamento crescente, qualitativo e discreto com quatro níveis de impacto ( $N_n$ ):

- N1:  $P < 10K$ ; BT - 1FÁSICO; elemento de desconexão, elemento de interrupção, proteção de subretensão, proteção de sobrefrequencia, relé de sincronismo, anti ilhamento, medição bidirecional, ensaios;
- N2:  $10K < P < 75K$ ; BT - 3FÁSICO; elemento de desconexão, elemento de interrupção, proteção de subretensão, proteção de sobrefrequencia, relé de sincronismo, anti ilhamento, medição bidirecional, ensaios;

- N3:  $75K < P < 150K$ ; BT - 3FÁSICO/MT; elemento de desconexão, elemento de interrupção, transformador de acoplamento, proteção de subretensão, proteção de sobrefrequencia, relé de sincronismo, anti ilhamento, estudo de curto circuito, medição quatro quadrantes, ensaios;
- N4:  $P > 150K$ ; AT; elemento de desconexão, elemento de interrupção, transformador de acoplamento, proteção de subretensão, proteção de sobrefrequencia, proteção contra desequilíbrio de corrente, proteção contra desbalanço de tensão, sobrecorrente direcional, sobrecorrente com restrição de tensão, relé de sincronismo, anti ilhamento, estudo de curto circuito, medição quatro quadrantes, ensaios.

O valor de cada nível de impacto,  $Vkn$ , foi definido pela matriz concordância da Figura 19.

7 - Características de geração de energia elétrica					$\lambda_{max}$	Y1	CR%	Vkn	
N	$v_{p,q}$	1	2	3	4	4,287	0,832	10,74%	1,000
1	1	1	3	3	7				
2	2	1/3	1	5	5		0,513		0,572
3	3	1/3	1/5	1	3		0,195		0,145
4	4	1/7	1/5	1/3	1		0,087		0,000

Figura 19 - Matriz concordância características de geração de energia elétrica

O gráfico da Figura 20 ilustra o comportamento da preferência entre os 4 níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

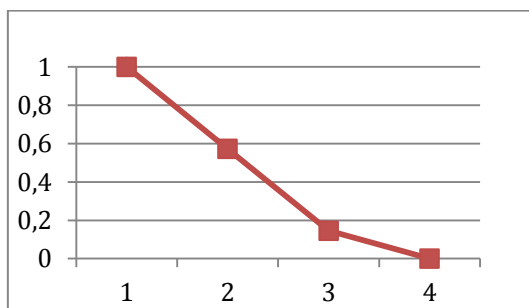


Figura 20 - Comportamento descritor características da planta de geração

A Tabela 17 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 17 – Modelagem características da planta de geração elétrica

ELE#03						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1	s.u.	PRODIST

#### 6.1.2.4. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A Figura 21 apresenta a matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF ELE, onde  $wkn$  representa os *tradeoffs* estabelecidos entre eles deles.

ELE								
#	$wkn$	$vp,q$	1	2	3	$\lambda_{max}$	$\gamma$	CR%
1	0,73	1	1,00	5,00	7,00	3,05	0,96	4,81%
2	0,19	2	0,20	1,00	3,00		0,25	
3	0,08	3	0,14	0,33	1,00		0,11	

Figura 21 - Taxas de substituição entre critérios do PVF Elétrico

### 6.1.3. Social

#### 6.1.3.1. Densidade demográfica

A Densidade demográfica é a razão entre a população da região sobre a área da região em estudo (IBGE, 2013).

O critério foi modelado com comportamento crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 22,43 habitantes por quilômetro quadrado e seu valor máximo é 13 024,6 habitantes por quilômetro quadrado.

A Tabela 18 apresenta um resumo da modelagem do critério.



Tabela 18 – Modelagem densidade demográfica

SOC#01						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	2,43	13.024,16	Hab/km <sup>2</sup>	IBGE, 2013

### 6.1.3.2. População atendida pelo serviço de coleta em relação à população total do município

Este critério demonstra a População Urbana atendida diretamente (porta-a-porta), sem uso de caçambas declaradas no município (SNIS, 2016; IBGE, 2013).

O critério foi modelado como sendo crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 0% e seu valor máximo é 100%.

A Tabela 19 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 19 – Modelagem população atendida pelo serviço de coleta em relação à população total do município

SOC#02						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	100	6.189	%	SNIS, 2016; IBGE, 2013

### 6.1.3.3. IDH-M

O IDH-M brasileiro, assim como o IDH Global, considera três dimensões: longevidade, educação e renda.

O critério foi modelado como sendo crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 0 e seu valor máximo é 1.

A Tabela 20 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 20 - Modelagem IDH-M

SOC#03						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	1		IBGE, 2013

#### 6.1.3.4. Projeção de crescimento populacional

A projeção de crescimento populacional estipula o crescimento populacional do município para um futuro de 10 anos.

O critério foi modelado como sendo crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 0% e seu valor máximo é 100%.

Existe uma dificuldade em encontrar os valores para cada município. No entanto, possível fazer uma projeção com base nos dados estaduais. Há ainda a possibilidade do estado disponibilizar estudos específicos. Mas a nível nacional não foram encontrados registros dessas projeções.

A Tabela 21 apresenta um resumo da modelagem do critério

Tabela 21 – Modelagem projeção de crescimento populacional

SOC#04						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	100	%	IBGE,

#### 6.1.3.5. Classe social predominante na região de estudo

Este critério define a classe social predominante na região de estudo.

Cada classe social gera uma diferente quantidade de resíduos. Entretanto as classes sociais mais baixas têm maior preferência em ações de saneamento apesar de terem menor geração per capita de lixo.

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto com seis níveis de impacto. São eles:

- N1: D/E;
- N2: C2;
- N3: C1;
- N4: B2;
- N5: B1;
- N6: A;

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido pela matriz concordância conforme Figura 22.

12 - Classe social predominante na região de estudo								$\lambda_{max}$	Y1	CR%	$Vk_n$
N	$vp, q$	1	2	3	4	5	6	6,485	0,827	7,76%	1,000
1	1	1	3	5	7	7	9		0,476		0,552
2	2	1/3	1	3	5	7	9		0,254		0,270
3	3	1/5	1/3	1	3	5	7		0,134		0,116
4	4	1/7	1/5	1/3	1	3	5		0,075		0,041
5	5	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3		0,042		0,000
6	6	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1				

Figura 22 - Matriz concordância classe social predominante na região de estudo

O gráfico da Figura 23 ilustra o comportamento da preferência entre os seis níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

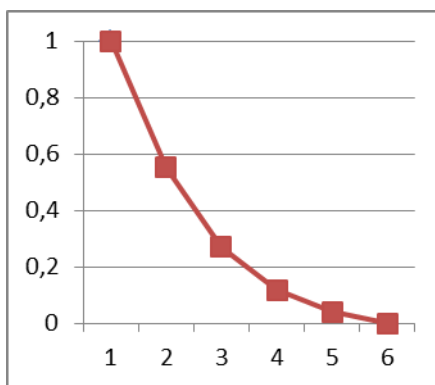


Figura 23 - Comportamento descritor classe social predominante na região de estudo

A

Tabela 22 apresenta um resumo da modelagem do critério

Tabela 22 – Modelagem classe social predominante na região de estudo

SOC#05						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		IBGE,

#### 6.1.3.6. Sazonalidade na geração de RSU

A sazonalidade na geração de RSU mede a intensidade da geração flutuante de resíduos ao longo do ano. É determinada pela maior razão entre a diferença da geração mensal e a média anual sobre a média anual (UBATUBA, 2014).

O critério foi modelado como sendo decrescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é 0% e seu valor máximo é 100%.

A Tabela 23 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 23 – Modelagem sazonalidade na geração de RSU

SOC#06						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Decrescente	Quantitativo	Contínuo	0	100	%	PMGIRS,

#### 6.1.3.7. Taxa de empregados por habitante urbano

A Taxa de empregados por habitante urbano demonstra a quantidade de empregados no manejo de resíduos para cada 1000 habitantes do município.

O critério foi modelado como sendo crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é de 3,4 empregados para cada mil habitantes e seu valor máximo é de 16,87 empregados para cada mil habitantes.

A Tabela 24 apresenta um resumo da modelagem do critério

Tabela 24 – Modelagem taxa de empregados por habitante urbano

SOC#07						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	3,4	16,87	empregados / 1000habitantes	IBGE, 2013

#### 6.1.3.8. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A Figura 24 apresenta a matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF SOC, onde  $wkn$  representa os *tradeoffs* estabelecidos entre eles.

#	$wkn$	$vp,q$	SOC							$\lambda_{max}$	$\gamma$	CR%
			1	2	3	4	5	6	7			
1	0,06	1	1,00	0,20	0,20	0,33	0,20	7,00	1,00	7,6665	0,13	8,23%
2	0,31	2	5,00	1,00	1,00	5,00	3,00	9,00	5,00		0,67	
3	0,27	3	5,00	1,00	1,00	3,00	3,00	7,00	3,00		0,57	
4	0,08	4	3,00	0,20	0,33	1,00	0,20	5,00	1,00		0,18	
5	0,18	5	5,00	0,33	0,33	5,00	1,00	5,00	3,00		0,39	
6	0,02	6	0,14	0,11	0,14	0,20	0,20	1,00	0,20		0,05	
7	0,07	7	1,00	0,20	0,33	1,00	0,33	5,00	1,00		0,15	

Figura 24 - Taxas de substituição entre critérios PVF Social

### 6.1.4. Econômico

#### 6.1.4.1. Custo unitário médio do serviço de coleta

Para o cálculo deste custo é considerada a soma das despesas da Prefeitura, o custo do Serviço de limpeza urbana (SLU) e as despesas com empresas contratadas.

O critério foi modelado como sendo crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é R\$0,00 por tonelada e seu valor máximo é R\$760,00 tonelada.

A mediana do conjunto de valores dos custos unitários médios do serviço de limpeza declarados pelas prefeituras municipais é R\$139,00 por tonelada.

A Tabela 25 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 25 – Modelagem custo unitário médio do serviço de coleta

ECO#01						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	250,00	R\$	SNIS 2016

#### 6.1.4.2. Custo da planta de geração elétrica

O custo da planta de geração elétrica engloba os custos de compra, instalação, operação e manutenção ao longo da vida útil do sistema de elétrico de geração.

O critério foi modelado como sendo decrescente, qualitativo e discreto com 6 níveis de impacto. O valor mínimo é R\$ 0,00 e o valor máximo é R\$ 50.000.000,00.

A seguir são apresentados os intervalos que delimitam os seis níveis de impacto e o comportamento da preferência determinados pela modelagem do problema. Os intervalos são expressos em reais.

- N1: [ 0;10 mil];
- N2: [ 10 mil; 50 mil];
- N3: [ 50 mil; 200 mil];
- N4: [ 200 mil; 1 milhão];
- N5: [1 milhão; 10 milhões];
- N6: [10 milhões; 50 milhões].

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido pela conforme a matriz concordância apresentada na Figura 25.

16 - Custo da planta de geração elétrica											
N	$vp,q$	1	2	3	4	5	6	$\lambda_{max}$	Y1	CR%	$Vkn$
1	1	1	3	5	7	9	9	6,456	0,734	7,29%	1,000
2	2	1/3	1	3	5	7	9		0,510		0,658
3	3	1/5	1/3	1	3	5	7		0,346		0,407
4	4	1/7	1/5	1/3	1	3	5		0,242		0,248
5	5	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3		0,119		0,060
6	6	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1		0,079		0,000

Figura 25- Matriz concordância custo da planta de geração elétrica

O gráfico da Figura 26 ilustra o comportamento da preferência entre os seis níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

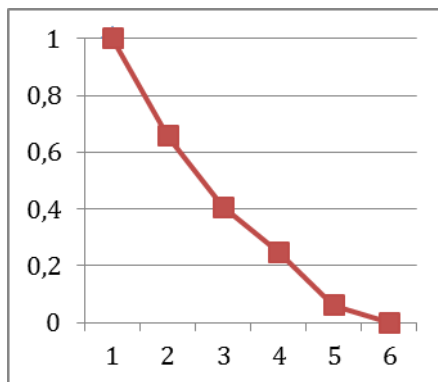


Figura 26 - Comportamento descritor custo da planta de geração elétrica

A Tabela 26 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 26 – Modelagem custo da planta de geração

ECO#02						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	50 Milhões	R\$	PRODIST

#### 6.1.4.3. Incentivos fiscais e financeiros para implantação da GD

Disponibilidade de incentivos fiscais e linhas crédito direcionadas para geração com fontes alternativas de energia elétrica.

Há a possibilidade de isenção total ou parcial de impostos, linhas de crédito especiais do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), Caixa Econômica Federal (CFE), Banco do Brasil (BB), cooperativas de crédito e bancos privados.

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto com sete níveis de impacto. São eles:

- **N1:** isenção fiscal, BNDES, bancos públicos, cooperativa de créditos e bancos privados;
- **N2:** isenção fiscal parcial, BNDES, bancos públicos, cooperativa de créditos e bancos privados;
- **N3:** BNDES, bancos públicos, cooperativa de créditos e bancos privados;
- **N4:** BNDES, bancos públicos e bancos privados;
- **N5:** bancos públicos e bancos privados;
- **N6:** bancos privados;
- **N7:** sem financiamento.

O valor de cada nível de impacto,  $v_{kn}$ , foi definido pela matriz concordância apresentada na Figura 27.

17 - Incentivos fiscais e financeiros para implantação de uma GD									
N	$v_{p,q}$	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	3	3	3	5	7	9	$\lambda_{max}$ 7,563
2	2	1/3	1	3	3	5	7	9	Y1 0,774
3	3	1/3	1/3	1	3	3	5	7	CR% 6,94%
4	4	1/3	1/3	1/3	1	3	5	7	Vkn 0,562
5	5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	5	0,244
6	6	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1	3	0,108
7	7	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	0,103
									0,056
									0,036
									0,000

Figura 27 - Matriz concordância incentivos fiscais e financeiros para implantação de uma GD

O gráfico mostrado na Figura 28 ilustra o comportamento da preferência entre os sete níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.



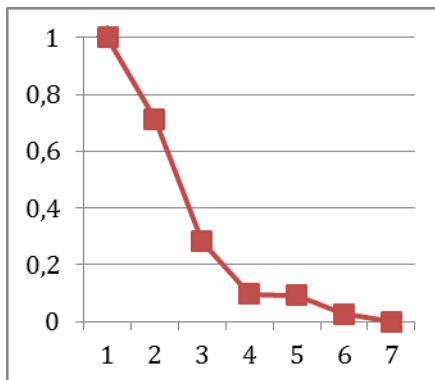


Figura 28 - Comportamento descritor incentivos fiscais e financeiros para implantação de uma GD

A Tabela 27 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 27 – Modelagem incentivos fiscais e financeiros par implantação da GD

ECO#03						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	discreto	0	1	s.u.	Autor

#### 6.1.4.4. Receita arrecada por capita com serviços de manejo

A receita arrecadada per capita com serviços de manejo é a obtida através das taxas e formas de cobrança pela prestação de serviços de manejo do RSU sobre a população urbana do município (SNIS, 2016).

O critério foi modelado como sendo crescente, quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é R\$0,00 e o valor máximo é R\$412,00.

A mediana do conjunto de valores das receitas arrecadadas per capita com serviços de manejo declarados pelas prefeituras municipais é R\$16,65.

A Tabela 28 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 28 – Modelagem receita arrecadada per capta com serviços de manejo

ECO#04						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	412,00	R\$	SNIS 2016

#### 6.1.4.5. Gastos com serviços terceirizados de disposição em aterro

Valor contratual de aterramento de Resíduos domiciliares (RDO) e Resíduos públicos (RPU) quando executado por agente privado (SNIS, 2016).

O critério foi modelado como sendo crescente quantitativo e contínuo. Seu valor mínimo é R\$0,00 e o valor máximo é R\$250,00.

A mediana do conjunto de valores dos gastos com serviços terceirizados de disposição em aterro é R\$80,00.

A Tabela 29 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 29 – Modelagem gastos com serviços terceirizados de disposição em aterro

ECO#05						
Comportamento			$V_{min}$	$V_{max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Quantitativo	Contínuo	0	250,00	R\$	SNIS 2016

#### 6.1.4.6. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF ECO, onde  $w_{kn}$  representa o *tradeoff* estabelecido entre eles, é mostrada na Figura 29.

#	wkn	vp,q	ECO				$\lambda_{max}$	Y	CR%
			1	2	3	4			
1	0,11	1	1,00	0,20	3,00	0,14	5,38	0,19	8,64%
2	0,36	2	5,00	1,00	5,00	1,00		0,63	
3	0,07	3	0,33	0,20	1,00	0,14		0,12	
4	0,43	4	7,00	1,00	7,00	1,00		0,74	
5	0,03	5	0,20	0,11	0,20	0,11		0,05	

Figura 29 - Taxas de substituição entre critérios do PVF Econômico

## 6.1.5. Ambiental

### 6.1.5.1. Amplitude térmica anual

Amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima registradas no ano anterior.

O critério foi modelado como sendo decrescente, quantitativo e contínuo. Seu valor máximo é de 12 °C.

A Tabela 30 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 30 – Modelagem amplitude térmica

AMB#01						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Decrescente	Quantitativo	Contínuo	0	12	°C	INPE

### 6.1.5.2. Redução dos GEE

O critério redução dos gases de efeito estufa (GEE) indica qual impacto da tecnologia de disposição final e das distâncias percorridas no transporte dos resíduos na redução dos gases de efeito estufa. Considera-se que o transporte é feito através de caminhões movidos à diesel.

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto, com 4 níveis de impacto, onde:

- N1: Biodigestão, queima de metano e curtas distâncias;
- N2: Aterro com queima de metano e curtas distâncias;
- N3: Aterro com queima de metano e longas distâncias;
- N4: Lixão ou aterro sem queima de metano.

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido pela matriz concordância mostrada na Figura 30.

21 - Redução dos GEE						$\lambda_{max}$	Y1	CR%	$Vk_n$
N	$vp,q$	1	2	3	4				
1	1	1	3	5	7	6,456	0,734	65,49%	1,000
2	2	1/3	1	3	5		0,510		0,545
3	3	1/5	1/3	1	3		0,346		0,211
4	4	1/7	1/5	1/3	1		0,242		0,000

Figura 30 - Matriz concordância redução dos GEE

A Tabela 31 – Modelagem Redução dos GEE apresenta um resumo da modelagem do critério

Tabela 31 – Modelagem Redução dos GEE

AMB#02						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		

### 6.1.5.3. Método de tratamento e disposição final

O critério método de tratamento e disposição final indica a maneira como o resíduo é tratado e como se dá sua disposição final. Dentre as possibilidades destacam-se digestão anaeróbica, coleta seletiva, compostagem, logística reversa, aterro sanitário e lixão.

O critério foi modelado como crescente, discreto e crescente, com 5 níveis de impacto. São eles:

- N1: Digestão anaeróbica, compostagem, logística reversa e reciclagem;
- N2: Digestão anaeróbica, compostagem, reciclagem;
- N3: Digestão anaeróbica e reciclagem;
- N4: Aterro sanitário e reciclagem;
- N5: Lixão, sem tratamento.

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido conforme matriz concordância mostrada na Figura 31.

22 - Método de tratamento e disposição final							
N	vp,q	1	2	3	4	5	
1	1	1	3	5	7	9	$\lambda_{max}$ 5,372
2	2	1/3	1	3	5	9	$\Upsilon$ 0,734
3	3	1/5	1/3	1	5	7	CR% 8,38%
4	4	1/7	1/5	1/5	1	3	Vkn 1,000
5	5	1/9	1/9	1/7	1/3	1	0,636
							0,346
							0,242
							0,119
							0,200
							0,000

Figura 31 - Matriz concordância método de tratamento e disposição final

A Tabela 32 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 32 – Modelagem método de tratamento e disposição final

AMB#03						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescentre	Qualitativo	Discreto	0	1	0	

#### 6.1.5.4. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF AMB, onde  $w_{kn}$  representa as *tradeoffs* estabelecidos entre eles, é mostrada na Figura 32.

AMB								
#	wkn	vp,q	1	2	3	$\lambda_{max}$	$\Upsilon$	CR%
1	0,50	1	1,00	3,00	5,00	3,0385	0,92	3,70%
2	0,30	2	0,33	1,00	3,00		0,37	
3	0,20	3	0,20	0,33	1,00		0,15	

Figura 32 - Taxas de substituição do PVF Ambiental

### 6.1.6. Político

#### 6.1.6.1. PMGIRS

PMGIRS mede a intensidade da predisposição municipal ao manejo integrado de RSU (MMA, 2012b)

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto. Seu valor mínimo é 0 e seu valor máximo é 1. O critério apresentou nove níveis de impacto. São eles:

- N1: Há PMGIRS com o objetivo da geração de energia elétrica com biogás dos RSU, coleta seletiva, compostagem, agricultura urbana;
- N2: Há PMGIRS com o objetivo da geração de energia elétrica com biogás dos RSU, coleta seletiva, compostagem;
- N3: Há PMGIRS com o objetivo da geração de energia elétrica com biogás dos RSU e coleta seletiva;
- N4: Há PMGIRS com o objetivo da geração de energia elétrica com biogás dos RSU;
- N5: Há PMGIRS propenso à geração de energia elétrica com biogás dos RSU;
- N6: Há PMGIRS;
- N7: PMGIRS em desenvolvimento;
- N8: Município propenso à desenvolver um PMGIRS;
- N9: Não há PMGIRS.

O valor de cada nível de impacto,  $v_{kn}$ , foi definido pela conforme matriz concordância mostrada na Figura 33.

23 - PMGIRS														
N	$v_{p,q}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\lambda_{max}$	Y1	CR%	Vkn
1	1	1	3	3	3	3	5	7	7	9	9,643	0,669	5,54%	1,000
2	2	1/3	1	3	3	3	5	7	7	9		0,516		0,758
3	3	1/3	1/3	1	3	3	5	7	7	9		0,397		0,572
4	4	1/3	1/3	1/3	1	3	3	5	7	7		0,270		0,370
5	5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	3	3	5	7		0,189		0,242
6	6	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	3	5		0,113		0,124
7	7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3	3		0,067		0,051
8	8	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3		0,045		0,016
9	9	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1		0,035		0,000

Figura 33 - Matriz concordância PMGIRS

O gráfico mostrado na Figura 34 ilustra o comportamento da preferência entre os nove níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

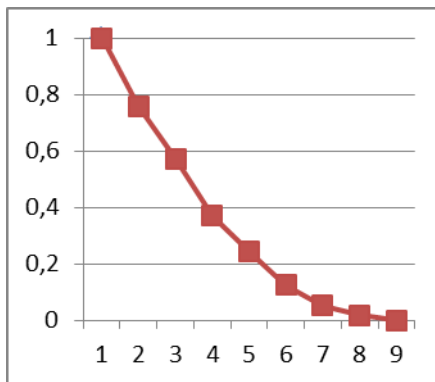


Figura 34 - Comportamento descritor PMGIRS

A Tabela 33 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 33 – Modelagem - PMGIRS

POL#01						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		PMGIRS

#### 6.1.6.2. Incentivo para implantação

O incentivo para implantação é o apoio político para implantação de um projeto (PMGIRS).

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto. Seu valor mínimo é 0 e seu valor máximo é 1. O critério apresentou oito níveis de impacto. São eles:

- N1: Prefeitura, órgãos ambientais, empresa responsável pela coleta e manejo, distribuidora, comunidade local organizada, ongs e movimentos sociais;
- N2: Prefeitura, órgãos ambientais, empresa responsável pela coleta e manejo, distribuidora, comunidade local organizada;

- N3: Prefeitura, órgãos ambientais, empresa responsável pela coleta e manejo, distribuidora, comunidade local não organizada;
- N4: Prefeitura, órgãos ambientais, empresa responsável pela coleta e manejo, distribuidora;
- N5: Prefeitura, órgãos ambientais, empresa responsável pela coleta e manejo;
- N6: Prefeitura, órgãos ambientais;
- N7: Prefeitura;
- N8: Sem incentivo.

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido conforme matriz concordância mostrada na Figura 35 - Matriz concordância incentivo para implantação.

24 - Incentivo para implantação										$\lambda_{max}$	Y1	CR%	Vkn
N	vp,q	1	2	3	4	5	6	7	8				
1	1	1	3	3	5	5	7	7	9	8,955	0,720	9,85%	1,000
2	2	1/3	1	3	5	5	7	7	9		0,545		0,745
3	3	1/3	1/3	1	3	3	5	5	9		0,319		0,416
4	4	1/5	1/5	1/3	1	3	5	5	7		0,220		0,272
5	5	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3	5	7		0,151		0,171
6	6	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1	3	5		0,085		0,075
7	7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1	3		0,056		0,033
8	8	1/9	1/9	1/9	1/7	1/7	1/5	1/3	1		0,033		0,000

Figura 35 - Matriz concordância incentivo para implantação

O gráfico mostrado na Figura 36 ilustra o comportamento da preferência entre os oito níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

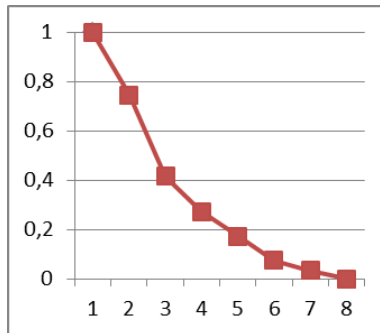


Figura 36 - Comportamento descritor incentivo para implantação



A Tabela 34 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 34 – Modelagem incentivo para implantação

POL#02						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		PMGIRS

### 6.1.6.3. Envolvimento de escolas e universidades

O critério envolvimento de escolas e universidades indica qual o interesse da participação das universidades da região na promoção da educação ambiental no município a receber uma GD. A universidade tem o poder de intervir através de projetos de ensino pesquisa e extensão, trabalhando junto às escolas de educação básica e ensino médio.

O critério foi modelado como crescente, qualitativo e discreto, com cinco níveis de impacto. São eles:

- N1: Projetos de ensino, pesquisa e extensão, com participação das escolas, voltados à educação ambiental;
- N2: Projetos de pesquisa e extensão, com participação das escolas, voltado à educação ambiental;
- N3: Projetos de extensão com participação das escolas voltado à educação ambiental;
- N4: Participação das escolas com educação ambiental;
- N5: Sem envolvimento de estudantes.

O valor de cada nível de impacto,  $vk_n$ , foi definido conforme matriz concordância mostrada na Figura 37.

25 - Envolvimento de Escolas e Universidades										
N	$vp,q$	1	2	3	4	5	$\lambda_{max}$	Y1	CR%	$Vk_n$
1	1	1	3	5	7	9	5,349	0,855	7,87%	1,000
2	2	1/3	1	3	5	9		0,454		0,502
3	3	1/5	1/3	1	3	5		0,214		0,204
4	4	1/7	1/5	1/3	1	5		0,122		0,090
5	5	1/9	1/9	1/5	1/5	1		0,049		0,000

Figura 37 - Matriz concordância envolvimento de escolas e universidades

A Tabela 37 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 35 – Modelagem envolvimento de escolas e universidades

POL#03						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		

#### 6.1.6.4. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF POL, onde  $w_{kn}$  representa os *tradeoffs* estabelecidos entre eles, é mostrada na Figura 38.

POL								
#	$w_{kn}$	$vp,q$	1	2	3	$\lambda_{max}$	$\gamma$	CR%
1	0,65	1	1,00	5,00	7,00	3,0537	0,96	5,16%
2	0,25	2	0,20	1,00	3,00	0,2479	0,37	
3	0,10	3	0,14	0,33	1,00	0,1055	0,15	

Figura 38 - Taxa de substituição entre critérios do PVF Político

### 6.1.7. Operacional

#### 6.1.7.1. Características de geração do biogás

As características de geração de biogás são representadas pelo TDH, volume do biodigestor, necessidade de tratamento.

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto com seis níveis de impacto. São eles:

- N1: TDH < 30 dias; Volume do BD pequeno; BD de alta eficiência;
- N2: TDH < 30 dias; Volume do BD grande; BD de alta eficiência;
- N3: TDH > 30 dias; Volume do BD pequeno; BD de alta eficiência;

- N4: TDH > 30 dias; Volume do BD grande; BD de alta eficiência;
- N5: TDH < 30 dias; Volume do BD pequeno; BD de baixa eficiência;
- N6: TDH > 30 dias; Volume do BD grande; BD de baixa eficiência.

O valor de cada nível de impacto,  $vkn$ , foi definido conforme matriz concordância mostrada na Figura 39.

26 - Características de geração de biogás								$\lambda_{max}$	Y1	CR%	Vkn
N	$v_{p,q}$	1	2	3	4	5	6	6,609	0,734	9,75%	1,000
1	1	1	3	5	7	7	9				
2	2	1/3	1	3	5	7	9	0,510			0,658
3	3	1/5	1/3	1	3	5	7	0,346			0,407
4	4	1/7	1/5	1/3	1	5	5	0,242			0,248
5	5	1/7	1/7	1/5	1/5	1	3	0,119			0,060
6	6	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,079			0,000

Figura 39 - Matriz concordância características de geração do biogás

A Tabela 36 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 36 – Modelagem características de geração do biogás

OPE#01						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		

#### 6.1.7.2. Tipo de gestão

O critério tipo de gestão indica por quem será gerida a planta de geração distribuída. A gestão pode ser privada, pública ou social.

O critério foi modelado como crescente, qualitativo e discreto, com três níveis de impacto, onde:

- N1: Gestão social;
- N2: Gestão pública;
- N3: Gestão privada.

O valor de cada nível de impacto,  $v_{kn}$ , foi definido conforme matriz concordância mostrada na Figura 40.

27 - Tipo de gestão								
N	$vp,q$	1	2	3	$\lambda_{max}$	Y1	CR%	$V_{kn}$
1	1	1	5	7	3,062	0,963	5,99%	1,000
2	2	1/5	1	3		0,248		0,166
3	3	1/7	1/3	1		0,106		0,000

Figura 40 - Matriz concordância tipo de gestão

A Tabela 37 apresenta um resumo da modelagem do critério

Tabela 37 – Modelagem tipo de gestão

OPE#02						
Comportamento			Vmin	Vmax	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		

### 6.1.7.3. Regime diário de operação da planta elétrica

O Regime diário de operação da planta elétrica indica o modo de funcionamento da planta de geração termelétrica conectada à rede de distribuição.

O critério foi modelado como sendo crescente, qualitativo e discreto. Seu valor mínimo é 0 e seu valor máximo é 1. O critério apresentou cinco níveis de impacto. São eles:

- N1: Operação contínua, automática e em sincronia com a curva de carga;
- N2: Operação descontínua e automática nos períodos de pico de carga;
- N3: Operação contínua e independente da carga;
- N4: Operação descontínua e independente da carga;
- N5: Planta desligada.

O valor de cada nível de impacto,  $v_{kn}$ , foi definido conforme matriz concordância mostrada na Figura 41.

28 - Regime diário de funcionamento da planta							$\lambda_{\max}$	$\Upsilon$	CR%	$V_{kn}$
N	$vp, q$	1	2	3	4	5	5,236	0,863	5,32%	1,000
1	1	1	3	5	7	9				
2	2	1/3	1	3	5	7		0,440		0,476
3	3	1/5	1/3	1	3	5		0,217		0,199
4	4	1/7	1/5	1/3	1	3		0,107		0,063
5	5	1/9	1/7	1/5	1/3	1		0,056		0,000

Figura 41 - Matriz concordância regime diário de funcionamento da planta

O gráfico da ilustra o comportamento da preferência entre os cinco níveis de impacto determinada pela modelagem do problema.

A Tabela 38 apresenta um resumo da modelagem do critério.

Tabela 38 – Modelagem regime diário de operação da planta elétrica

OPE#03						
Comportamento			$V_{\min}$	$V_{\max}$	[ ]	Fonte
Crescente	Qualitativo	Discreto	0	1		

#### 6.1.7.4. Definição das taxas de substituição entre os critérios

A matriz concordância com a comparação entre os critérios do PVF OPE, onde  $w_{kn}$  representa os *tradeoffs* estabelecidos entre eles, é mostrada na Figura 42.

OPE									
#	$w_{kn}$	$vp, q$	1	2	3	$\lambda_{\max}$	$\Upsilon$	CR%	
1	0,65	1	1,00	5,00	3,00	3,0251	0,91	2,41%	
2	0,07	2	0,20	1,00	1,00		0,10		
3	0,28	3	0,33	1,00	1,00		0,39		

Figura 42 - Taxas de substituição entre critérios PVF Operacional

### 6.1.8. Lista de critérios

A Tabela 39 mostra a lista de organização dos 28 critérios definidos para os 7 PVF do estudo.

Tabela 39 - Lista de critérios

PFV	i	Descrição
RSU	1	Produção média per capta de RS
	2	Proporção de orgânicos no total coletado
	3	Características do manejo dos resíduos
	4	Quantidade recolhida de recicláveis
	5	GPASD
ELE	6	TRP da barra após receber a GD
	7	Características de geração de energia elétrica
SOC	8	Densidade demográfica
	9	População atendida pelo serviço de coleta
	10	IDHM
	11	Projeção de crescimento populacional
ECO	12	Classe social predominante na região de estudo
	13	Sazonalidade
	14	Taxa de empregados por habitante urbano
	15	Custo serviço de coleta (rdo + rpu)
AMB	16	Custo da planta de geração elétrica
	17	Incentivos fiscais e financeiros
	18	Receita arrecadada com serviços de manejo
POL	19	Serviço terceirizados de disposição em aterro
	20	Amplitude térmica anual
OPE	21	Redução dos GEE
	22	Método de tratamento e disposição final
	23	PMGIRS
OPE	24	Incentivo para implantação
	25	Envolvimento de Escolas e Universidades
OPE	26	Características de geração de biogás
	27	Tipo de gestão
	28	Regime diário de Funcionamento da planta

## 6.1.9. Árvore de critérios

A Figura 43 ilustra como ficou estruturada a árvore de critérios definida para o problema.

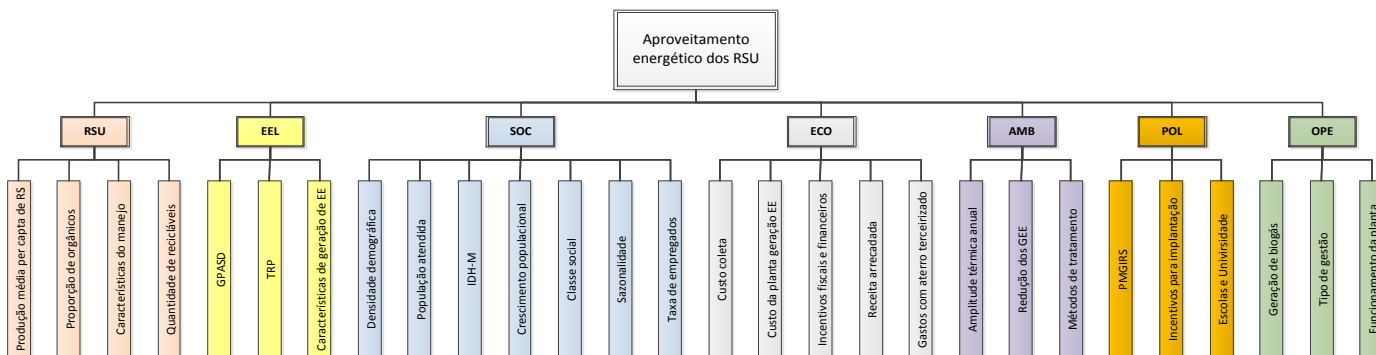


Figura 43 - Árvore de critérios

### 6.1.10. Taxas de substituição entre os PVF

A matriz concordância mostrada na Figura 44 apresenta como foram determinados do *tradeoffs* entre os PVF

#	PVF	wkn	vp,q	1	2	3	4	5	6	7	$\lambda_{max}$	$\Upsilon$	CR%
1	RSU	0,36	1	1,00	3,00	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	7,81	0,77	10,00%
2	ELE	0,21	2	0,33	1,00	1,00	3,00	5,00	5,00	5,00		0,44	
3	SOC	0,16	3	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00	5,00		0,34	
4	ECO	0,11	4	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	5,00		0,23	
5	AMB	0,08	5	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	1,00	5,00		0,17	
6	POL	0,04	6	0,20	0,20	0,20	0,33	1,00	1,00	0,33		0,09	
7	OPE	0,04	7	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	3,00	1,00		0,10	

Figura 44 - Matriz concordância PVF

## 6.2. SOFTWARES UTILIZADOS

Os estudos contaram com apoio dos softwares MS Excel e Matlab.

## 6.3. SIMULAÇÃO

### 6.3.1. SISTEMA IEEE 15 BARRAS

O sistema de distribuição escolhido para o estudo foi o IEEE de 15 barras. A Figura 45 apresenta a configuração do sistema.

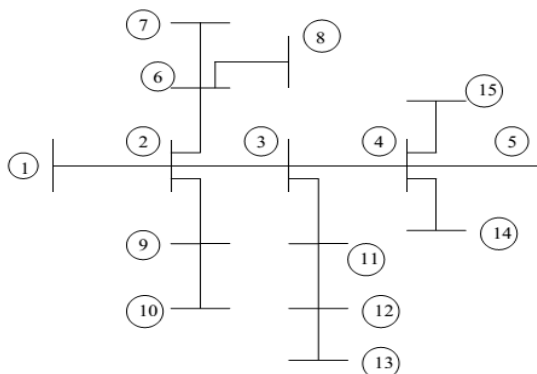


Figura 45 - Sistema IEEE 15 barras



A Tabela 40 indica os dados das linhas de transmissão e as cargas conectadas à cada barra do sistema considerado.

Tabela 40 - Dados do sistema IEEE 15 barras

Características das Linhas				Cargas	
De	Para	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	Barra	Carga (kVA)
1	2	1,35309	1,32349	1	0
2	3	1,17024	1,14464	2	63
3	4	0,84111	0,82271	3	100
4	5	1,53248	1,02760	4	200
2	9	2,01317	1,35790	5	63
9	10	1,68671	1,13770	6	200
2	6	2,55727	1,72490	7	200
6	7	1,08820	0,73400	8	100
6	8	1,25143	0,84410	9	100
3	11	1,79553	1,21110	10	63
11	12	2,44845	1,65150	11	200
12	13	2,01317	1,35790	12	100
4	14	2,23081	1,50470	13	63
4	15	1,19702	0,80740	14	100
				15	200

### 6.3.2. Método de simulação

O fluxo de potência do sistema de distribuição foi o calculado através do Método de Newton com Coordenadas retangulares com auxílio do programa desenvolvido pelo professor R. S. Salgado (2016) do Grupo de Sistemas de Potência (LABSPOT) do Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina. O programa foi disponibilizado durante o curso de Introdução a Sistemas Elétricos de Potência, oferecido ao curso de graduação de Engenharia Elétrica.

## 6.4. ESTUDO DE CASO

A metodologia foi aplicada no estudo comparativo de três cidades brasileiras de pequeno porte, com população entre 2000 e 4.000 habitantes, de modo a avaliar, segundo os critérios definidos, qual a melhor alternativa para o aproveitamento energético dos RSU, por meio da geração de energia elétrica com o biogás produzido em biodigestores.

Definiu-se uma demanda média de 2,5kVA por residência, totalizando, para o sistema de 15 barras, 700 casas.

A estimativa da geração de energia elétrica com o uso de biodigestores foi feita através da metodologia apresentada por Lúcio Costa Proença (2010).

A descrição dos casos permitiu estipular valores para cada um dos descritores dos PVF determinados.

Com a produção diária per capta, a sua fração orgânica e o tempo de detenção hidráulica (TDH) foi possível estimar o volume do biodigestor para um determinado número de habitantes.

A adoção dessas premissas fornece o total de casas a serem atendidas pelo sistema proposto.

O uso da metodologia permite, ainda, estimar o volume de gás metano produzido e a quantidade de energia resultante.

Deste modo, adotou-se que cada metro cúbico de metano corresponde a 9,94kwh de energia mecânica. A eficiência de conversão de energia mecânica em energia elétrica foi considerada como 40% e entende-se que biodigestores com volumes menores que 50 m<sup>3</sup> são pequenos.

Por fim, foi considerado, por meio de estudos prévios, que a barra mais propensa a receber uma GD é a barra 13 do sistema de IEEE de 15 barras.

### 6.4.1. Caso 1

A Cidade 1 localiza-se na região noroeste do estado de São Paulo e conta com uma população inteiramente urbana, de 3139 habitantes. A cidade tem um perfil turístico, o que gera uma oscilação da população, que pode chegar a 5000 pessoas em determinadas épocas do ano.

Com uma projeção de crescimento populacional do município, para os próximos 10 anos, de 1,1%, a cidade tem uma alta densidade demográfica, 749,5 habitantes por km<sup>2</sup>, e apresenta um IDH-M de 0,85, com classe social predominante B2.

O fato de ser uma cidade turística influencia na produção média diária per capta de RSU, que é de 1,37 quilogramas, dos quais 54% são orgânicos.

O serviço de coleta dos resíduos é feito porta a porta, atende 100% da população do município e conta com a coleta seletiva de recicláveis. A geração diária de resíduos recicláveis (públicos e domiciliares) é de 15 quilogramas por pessoa.

O custo médio da coleta dos resíduos domiciliares e públicos é de R\$177,00 por tonelada, dos quais R\$119,00 são destinados à disposição em aterro sanitário na cidade vizinha. A taxa de empregados na coleta para cada mil habitantes é 5,1 e a receita anual arrecadada pela prefeitura para os serviços de manejo é de R\$106,00.

A implementação de um sistema de aproveitamento energético dos RSU conta com apoio da prefeitura, órgãos ambientais, empresa de coleta e manejo dos resíduos, da distribuidora de energia e da comunidade local organizada. O município tem um PMGIRS que visa à geração de energia elétrica com o biogás proveniente dos RSU, bem como, a coleta seletiva global.

As universidades da região já desenvolvem projetos de pesquisa voltados para tal sistema e demonstram grande interesse em desenvolver projetos de ensino e extensão nas escolas da cidade, de modo a incentivar a educação ambiental na região.

Na conjuntura atual, o projeto, implementação e gestão dos recursos tem condições de serem desenvolvidos por uma empresa privada através de um programa de isenção fiscal parcial, por parte da prefeitura, e possibilidades de financiamento no BNDES, CEF, BB, cooperativas de crédito e bancos privados.

A Cidade 1 tem um potencial de produção de EE de 22,4 kW através da geração com biogás. As estimativas sugerem que a conexão da GD no SDEE seja capaz de oferecer um GPASD de quase 25 kW, além de elevar a TRP da barra 13, que atualmente é de 0,893 pu.

O investimento para a implementação de um sistema de GD deste porte será de até 1 milhão de reais. Por conta do clima, o sistema terá um TDH maior que 30 dias e necessitará, por conta disto, de um biodigestor com volume acima de 60 m<sup>3</sup> e alta eficiência.

A planta de geração será conectada em média tensão e poderá operar continuamente, de forma automática e sincronizada com o comportamento da curva de carga do sistema de distribuição.

### 6.4.2. Caso 2

A Cidade 2 localiza-se no estado do Tocantins, tem uma população de 2803 habitantes, dos quais 1643 vivem na região urbana, e a parcela restante vive na região rural. Devido à grande área do município, sua densidade demográfica é de apenas 1,31 habitantes por quilometro quadrado.

A classe social predominante na região é D, o valor de seu IDH-M é 0,57 e a projeção de crescimento da população para os próximos 10 anos é de 1,05%.

O serviço de coleta do município atende apenas 54% dos habitantes. Tal fato faz com que o registro da produção média per capita de RS seja de 0,78 kg diários, dos quais 55% são resíduos orgânicos. A quantidade de materiais recicláveis (públicos e domiciliares) recuperados em relação à população do município é de 2 kg por habitante. A coleta é majoritariamente feita ponto a ponto, com a coleta dos resíduos recicláveis.

O custo unitário médio do serviço de coleta é de R\$ 313,00 reais por tonelada, enquanto que a receita anual per capita para os serviços de coleta é de apenas R\$ 3,14. Os serviços de manejo empregam 7,2 pessoas para cada 1000 habitantes. Os gastos com serviço terceirizado de disposição em aterro é de R\$250,00, o que gera grandes dificuldades. Tal fato faz com que a maior parte do lixo seja levada ao um lixão da cidade.

O município não tem PMGIRS, entretanto, órgãos ambientais e a empresa responsável pela coleta e manejo dos resíduos, a distribuidora local, comunidade local organizada, ongs e movimentos sociais têm cobrado uma atitude da prefeitura.

Cumprir com o compromisso de buscar alternativas para o manejo de resíduos na cidade, de modo à atender a totalidade da população com um serviço de qualidade, e adequar-se à PNRS, será um grande desafio para atual gestão.

Neste sentido, o município contará com todos os incentivos fiscais financeiros disponíveis, além do apoio das universidades da região, através de projetos de pesquisa e extensão, com participação das escolas, voltados à educação ambiental.

O desejo do município é que haja uma descentralização da coleta e que o lixo não seja mais encaminhado para o lixão, que deverá ser extinguido. Propõe o aproveitamento energético do biogás do lixo e da implementação de sistemas de compostagem voltados à geração de insumos para agricultura.

A Cidade 2 tem um potencial de produção de EE de 11,38 kW através da geração com biogás. As estimativas sugerem que a conexão da GD no SDEE seja capaz de oferecer um GPASD de 12,8 kW, além de elevar a TRP da barra 13 que atualmente é de 0,893 pu.

As condições de crédito oferecidas pelo BNDES, bancos públicos e bancos privados permitem um investimento de até R\$50.000. Por conta do clima, o sistema terá um TDH maior que 28 dias e terá um biodigestor com volume de 40m<sup>3</sup>.

A planta de geração será conectada em baixa tensão e poderá operar continuamente, independentemente da carga.

### **6.4.3. Caso3**

A Cidade 3 localiza-se na região litorânea do estado do Rio Grande do Norte. Sua população de 3116 habitantes é praticamente toda urbana. Sua densidade demográfica é de 66 habitantes por km<sup>2</sup>.

A classe social D é a predominante na região, que tem um IDH-M de 0,58 e uma projeção de crescimento populacional de 1,07% para os próximos 10 anos.

Cada habitante do município produz, em média, 1,1 quilograma de resíduos por dia, dos quais 50% são orgânicos. A geração de resíduos aumenta em até 15% em relação à média anual nos períodos de veraneio e férias.

O serviço de coleta dos resíduos da cidade conta com a colaboração da população que já separa em suas próprias casas o lixo de maneira adequada. O sistema de coleta porta a porta recolhe os resíduos orgânicos e os resíduos recicláveis em diferentes dias e horários. O massa média recolhida de materiais recicláveis é de 4 quilogramas por habitantes.

O sistema de coleta e transporte dos resíduos atende 97% da população e emprega 3,64 pessoas para cada 1000 habitantes. São gastos R\$ 29,18 para cada tonelada recolhida, sendo que a receita anual arrecadada por pessoa é de R\$20,00. A disposição dos resíduos em um aterro sanitário na cidade vizinha custa R\$ 120,00 por tonelada. O aterro fica próximo da cidade 3 e nele o gás metano gerado é queimado sem que haja seu aproveitamento energético.

A Prefeitura, órgãos ambientais e empresa responsável pela coleta e manejo têm grande interesse em melhorar este sistema de manejo de resíduos. Neste sentido, o PMGIRS prevê a geração de

energia elétrica com biogás dos RSU, coleta seletiva, compostagem, agricultura urbana através da digestão anaeróbica, logística reversa e reciclagem.

As universidades da região já tem trabalhado em projetos de extensão voltados para a educação ambiental nas escolas municipais, de modo a estimular a participação da população neste processo.

Linhas de crédito no BNDES, bancos públicos, cooperativa de créditos da região e bancos privados estão disponíveis para que o município possa se adequar à PNRS.

A Cidade 3 tem um potencial de produção de EE de 17,8 kW através da geração com biogás. As estimativas sugerem que a conexão da GD no SDEE seja capaz de oferecer um GPASD de quase 20 kW, além de elevar a TRP da barra 13 que atualmente é de 0,893 pu.

O investimento para a implementação do sistema de GD poderá chegar à R\$200.000. Por conta do clima, o sistema terá um TDH de 25 dias e necessitará de um biodigestor com volume acima de 50 m<sup>3</sup> e de alta eficiência.

A planta de geração será conectada baixa tensão e terá operação em modo descontínuo, com partida automática nos períodos de pico de carga e desligamento nos períodos de carga baixa.

## 6.5. ESTIMATIVA DE GERAÇÃO TERMO ELÉTRICA COM US DE BIODIGESTOR

A estimativa do potencial de geração elétrica a partir do biogás proveniente dos RSU para cada caso foi obtida através da metodologia apresentada por Proença (2010).

A partir da produção diária per capita de RSU, proporção de orgânicos e definição do parâmetro Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), foi possível determinar o potencial de energia elétrica gerado para cada um dos casos.

A metodologia permite, também, calcular o volume do biodigestor de acordo com o volume de lixo gerado.

### 6.5.1. Caso 1

A partir dos dados colhidos e através da implementação da metodologia no Excel, pode-se chegar ao valor de 847,6 toneladas

anuais de resíduos orgânicos para a Cidade 1. As estimativas calculadas são apresentadas na Tabela 41

Tabela 41 – Estimativas Caso 1

Parâmetro	Unidade	Valor
População	habitantes	3139
Geração per capta de RSU	kg/hab/dia	1,37
Fração orgânica dos RSU	%	0,54
Volume diário de orgânicos	kg/dia	2322,23
Volume anual de orgânicos	t/ano	847,61

O volume anual de orgânicos e um TDH de 35 dias resultaram num biodigestor com 9 metros de diâmetro e 1,5 metro de altura. Os parâmetros obtidos levaram a um potencial de geração elétrica de 22,4 kW, capazes de suprirem 39,6 casas.

A operação do sistema irá consumir 4,5 kW de potência e o saldo final de energia é de 12888 kWh gerados por mês. Considerando a conexão de uma GD na rede de distribuição através do sistema de compensação, será possível gerar até R\$ 7233,00 em créditos, conforme mostra a Tabela 42.

Tabela 42 - Cálculo parâmetros Caso 1

Parâmetro	Unidade	Valor
TDH	dias	35
Vbd	m <sup>3</sup>	95,6
Dbd	m	9,0
Hbd	m	1,5
Vch4	Nm <sup>3</sup> /ano	49298,3
PE	kW	55,9
PEE	kW	22,4
OP	Kw	4,5
EM	Kwh/mês	12888,3
RA	Casas	39,6
PC	R\$/mês	6846,5
PC	R\$/mês	7039,9
PC	R\$/mês	7233,2

TDH:	Tempo de detenção hidráulica;
Vbd:	Volume do biodigestor;
Dbd:	Diâmetro do biodigestor;
Hbd:	Altura do biodigestor;
Vch4:	Volume de metano produzido;
PE:	Potencial energético;
PEE:	Potencial de energia elétrica;
OP:	Quantidade de energia consumida na operação;
EM:	Energia mensal
RA:	Residências atendidas;
PC:	Projeção de créditos em cada bandeira.

A partir de estudos prévios, sabe-se que a barra 13 é a mais propensa a receber a conexão de uma geração distribuída. Assim, a conexão de uma GD com 22,38 kW de potência no sistema IEEE de 15 barras resultou numa diminuição de 2,55 kW em perdas, conforme tabela e um GPASD de 24,93kW, conforme mostra a Tabela 43

Tabela 43 - GPASD Caso 1

PEE	22,38
$\Delta P$	2,55
GPASD	24,93

A tensão em regime permantes inicial estava abaixo do valor mínimo estipulado pela ANEEL. Após a conexão, houve uma melhora do nível de tensão da barra trezes, que foi de 0,893 pu para 0,916 pu, conforme mostra a Tabela 44.

Tabela 44 - TRP barra 13 para o Caso 1

TRP barra 13	
s/ gd	0,893
c/ gd	0,916



### 6.5.2. Caso 2

A partir dos dados colhidos e através da implementação da metodologia no Excel, pode-se chegar ao valor de 430,93 toneladas anuais de resíduos orgânicos para a Cidade 2, conforme mostra a Tabela 45

Tabela 45 – Estimativas Caso 2

Parâmetro	Unidade	Valor
População	habitantes	2803
Geração per capita de RSU	kg/hab/dia	0,78
Fração orgânica dos RSU	%	0,54
Volume diário de orgânicos	kg/dia	1180,62
Volume anual de orgânicos	t/ano	430,93

O volume anual de orgânicos e um TDH de 28 dias resultaram num biodigestor com 5,7 metros de diâmetro e 1,5 metro de altura. Os parâmetros obtidos levaram a um potencial de geração elétrica de 11,4 kW, capazes de suprirem 20,1 casas.

A operação do sistema irá consumir 2,3 kW de potência, e o saldo final de energia é de 6552,4 kwh gerados por mês. Considerando a conexão de uma GD na rede de distribuição através do sistema de compensação, será possível gerar até R\$ 3667,40 em créditos, conforme mostra a Tabela 46.

Tabela 46 - Cálculo parâmetros Caso 2

Parâmetro	Unidade	Valor
TDH	dias	28
Vbd	m <sup>3</sup>	38,9
Dbd	m	5,7
Hbd	m	1,5
Vch4	Nm <sup>3</sup> /ano	25063,3
PE	kW	28,4
PEE	kW	11,4
OP	Kw	2,3
EM	Kwh/mês	6552,4
RA	Casas	20,1
PC	R\$/mês	3480,8
PC	R\$/mês	3579,1
PC	R\$/mês	3677,4

A conexão de uma GD com 11,38 kW de potência na barra 13 do sistema IEEE de 15 barras resultou numa diminuição de 1,44 kW nas perdas de transmissão e um GPASD de 12,82 kW, conforme tabela.

Tabela 47 – GPASD Caso 2

PEE	11,38
$\Delta P$	1,44
GPASD	12,82

A tensão em regime permanente inicial estava abaixo do valor mínimo estipulado pela ANEEL. Após a conexão, houve uma melhora do nível de tensão da barra trezes, que foi de 0,893 pu para 0,905 pu, conforme mostra a Tabela 48.

Tabela 48 - TRP barra 13 para o Caso 2

TRP barra 13	
s/ gd	0,893
c/ gd	0,905

### 6.5.3. Caso 3

A partir dos dados colhidos e através da implementação da metodologia no Excel, pode-se chegar ao valor de 675,58 toneladas anuais de resíduos orgânicos para a Cidade 3, conforme mostra Tabela 49.

Tabela 49 - Estimativas Caso 3

Parâmetro	Unidade	Valor
População	habitantes	3116
Geração per capita de RSU	kg/hab/dia	1,10
Fração orgânica dos RSU	%	0,54
Volume diário de orgânicos	kg/dia	1850,90
Volume anual de orgânicos	t/ano	675,58

O volume anual de orgânicos e um TDH de 25 dias, resultaram num biodigestor com 6,8 metros de diâmetro e 1,5 metros de altura. Os parâmetros obtidos levaram a um potencial de geração elétrica de 11,4 kW, capazes de suprirem 31,5 casas.

A operação do sistema irá consumir 3,6 kW de potência, e o saldo final de energia é de 6552,4 kwh gerados por mês. Considerando a conexão de uma GD na rede de distribuição através do sistema de compensação, será possível gerar até R\$ 5775,10 em créditos, conforme mostra Tabela 50.

Tabela 50 - Cálculo parâmetros Caso 3

Parâmetro	Unidade	Valor
TDH	dias	25
Vbd	m <sup>3</sup>	54,4
Dbd	m	6,8
Hbd	m	1,5
Vch4	Nm <sup>3</sup> /ano	39292,6
PE	kW	44,6
PEE	kW	17,8
OP	Kw	3,6
EM	Kwh/mês	10272,5
RA	Casas	31,5
PC	R\$/mês	5456,9
PC	R\$/mês	5611,0
PC	R\$/mês	5765,1

A conexão de uma GD com 17,83 kW de potência na barra 13 do sistema IEEE de 15 barras resultou numa diminuição de 2,12 kW nas perdas de transmissão e um GPASD de 19,95 kW, conforme mostra Tabela 51.

Tabela 51 – GPASD Caso 3

PEE	17,83
$\Delta P$	2,12
GPASD	19,95

A tensão em regime permanente inicial estava abaixo do valor mínimo estipulado pela ANEEL. Após a conexão, houve uma melhora do nível de tensão da barra trezes, que foi de 0,893 pu para 0,911 pu, conforme mostra Tabela 52.

Tabela 52 - TRP barra 13 para o Caso 3

TRP barra 13	
s/ gd	0,893
c/ gd	0,911

## 6.6. MATRIZES DE AVALIAÇÃO

Foram criadas quatro planilhas responsáveis por receberem as informações pertinentes aos critérios, calcularem o desempenho das funções valor e incorporarem as taxas de substituição definidas para cada um dos 28 critérios.

Preencheu-se, inicialmente, a matriz informações com os dados obtidos de cada estudo de caso. Em seguida, calculou-se o valor do desempenho sob comportamento indiferente de cada um dos 28 critérios para que depois, com a definição dos parâmetros  $\alpha$ , fosse possível determinar para cada critério o desempenho dos valores sob comportamento econômico.

Por fim, partindo dos resultados sob comportamento econômico, foram aplicadas as taxas de substituição definidas para os critérios dentro de cada um dos sete PVF.

### 6.6.1. Matriz de informações

As informações obtidas para cada alternativa de ação potencial são os parâmetros de entrada da metodologia. Os vinte e oito critérios tiveram seus valores preenchidos com as informações fornecidas pelos estudos de caso, de acordo com a modelagem já apresentada. A matriz de informações é apresentada na Tabela 53.

Tabela 53 - Matriz informações

i	Critério - ki			$\mu_i$ (aj)		
	$\mu_{min}$	$\mu_{max}$	C/D	a1	a2	a3
1	0	3,8	0	1,37	0,78	1,10
2	0	100	0	54,00	55,00	50,00
3	0	1	0	0,18	0,09	1,00
4	0	20	0	15,00	2,00	4,00
5	0	100	0	22,30	13,05	16,68
6	0	1	0	1,00	0,90	0,90
7	0	1	0	0,57	1,00	0,57
8	0	13024,6	0	749,45	1,31	65,99
9	0	100	1	100,00	54,00	97,00
10	0	1	1	0,85	0,57	0,58
11	0	1	0	0,01	0,01	0,01
12	0	1	1	0,12	1,00	1,00
13	0	100	0	50,00	4,00	15,00
14	0	16,87	1	5,10	7,20	3,64
15	0	760,1	0	176,83	312,99	29,18
16	0	1	0	0,06	0,66	0,41
17	0	1	1	0,71	1,00	0,28
18	0	412	0	106,00	3,14	20,00
19	0	250	0	119,39	250,00	120,00
20	0	12	1	8,00	6,00	8,00
21	0	1	0	1,00	0,00	0,54
22	0	1	0	0,00	0,37	1,00
23	0	1	0	0,57	0,05	1,00
24	0	1	0	0,74	0,17	1,00
25	0	1	0	1,00	0,50	0,20
26	0	1	0	0,66	1,00	1,00
27	0	1	0	0,00	1,00	0,17
28	0	1	0	1,00	0,20	0,48

### 6.6.2. Matriz desempenho de valor sob comportamento indiferente

O cálculo do desempenho da função valor sob comportamento indiferente utilizou de (14) para os critérios crescentes ( $C/D = 0$ ) e de (15) para os critérios decrescentes ( $C/D = 1$ ). Os resultados são apresentados na Tabela 54.

Tabela 54 - Matriz desempenho de valor sob comportamento indiferente.

i	Kki(aj)		
	a1	a2	a3
1	0,3605	0,2053	0,2895
2	0,5400	0,5500	0,5000
3	0,1818	0,0861	1,0000
4	0,7500	0,1000	0,2000
5	0,2230	0,1305	0,1668
6	1,0000	0,9000	0,9000
7	0,1450	0,5717	0,5717
8	0,0575	0,0001	0,0051
9	0,0000	0,4600	0,0300
10	0,1460	0,4310	0,4240
11	0,0110	0,0105	0,0107
12	0,1164	1,0000	1,0000
13	0,5000	0,0400	0,1500
14	0,6977	0,5732	0,7842
15	0,2326	0,4118	0,0384
16	0,2483	0,6577	0,4066
17	0,7126	0,0911	0,2813
18	0,2573	0,0076	0,0485
19	0,4776	0,0000	0,0000
20	0,3333	0,5000	0,3333
21	1,0000	0,0000	0,5446
22	0,1999	0,6356	1,0000
23	0,5718	0,0508	1,0000
24	0,7448	1,0000	0,1712
25	1,0000	0,5021	0,2045
26	0,2480	0,0605	0,6577
27	0,0000	1,0000	0,1656
28	1,0000	0,1992	0,4759

### 6.6.3. Matriz desempenho de valor sob comportamento econômico

O desempenho de valor sob comportamento econômico foi calculado através de (18), com a definição do termo  $\alpha$  de acordo com o comportamento desejado, conforme mostra Tabela 55.

Tabela 55 - Matriz desempenho de valor sob comportamento econômico.

i	$\alpha$	$v_i(a_j)$		
		a1	a2	a3
1	2	0,102	0,045	0,072
2	2	0,304	0,314	0,269
3	2	0,069	0,029	1,000
4	2	0,545	0,035	0,077
5	2	0,088	0,047	0,062
6	2	1,000	0,727	0,727
7	2	0,335	1,000	0,335
8	2	0,010	0,000	0,001
9	2	0,000	0,236	0,010
10	2	0,053	0,214	0,209
11	2	0,003	0,003	0,003
12	2	0,760	0,000	0,000
13	2	0,269	0,013	0,055
14	2	0,373	0,240	0,498
15	2	0,152	0,297	0,023
16	2	0,036	0,541	0,292
17	2	0,122	0,000	0,502
18	2	0,105	0,002	0,016
19	2	0,250	1,000	0,252
20	2	0,090	0,182	0,090
21	2	1,000	0,000	0,216
22	2	0,000	0,171	1,000
23	2	0,335	0,017	1,000
24	2	0,538	0,064	1,000
25	2	1,000	0,184	0,044
26	2	0,541	1,000	1,000
27	2	0,000	1,000	0,061
28	3	1,000	0,043	0,166

#### 6.6.4. Matriz desempenho considerando taxas de substituição

O desempenho de cada critério, considerando suas taxas de substituição foi calculado através de (6) e das taxas de substituição calculadas na modelagem do problema (Item 6.1), conforme mostra Tabela 56.

Tabela 56 - Matriz desempenho considerando taxas de substituição.

i	wi	wi.vi(aj)		
		a1	a2	a3
1	0,56	0,057	0,025	0,041
2	0,26	0,080	0,083	0,071
3	0,12	0,008	0,003	0,118
4	0,06	0,030	0,002	0,004
5	0,73	0,064	0,034	0,045
6	0,19	0,188	0,137	0,137
7	0,08	0,027	0,080	0,027
8	0,06	0,001	0,000	0,000
9	0,31	0,000	0,074	0,003
10	0,27	0,014	0,057	0,056
11	0,08	0,000	0,000	0,000
12	0,18	0,140	0,000	0,000
13	0,02	0,006	0,000	0,001
14	0,07	0,026	0,017	0,035
15	0,11	0,017	0,033	0,003
16	0,36	0,013	0,196	0,106
17	0,07	0,009	0,000	0,035
18	0,43	0,045	0,001	0,007
19	0,03	0,007	0,028	0,007
20	0,50	0,045	0,091	0,045
21	0,30	0,300	0,000	0,065
22	0,20	0,000	0,034	0,200
23	0,65	0,217	0,011	0,648
24	0,25	0,135	0,016	0,250
25	0,10	0,101	0,019	0,004
26	0,65	0,352	0,650	0,650
27	0,07	0,000	0,071	0,004
28	0,28	0,278	0,012	0,046



## 6.7. RESULTADOS

### 6.7.1. Desempenho das alternativas

O gráfico da Figura 46 ilustra comportamento de cada uma das alternativas nos 28 critérios definidos, considerando todas taxas de substituição.

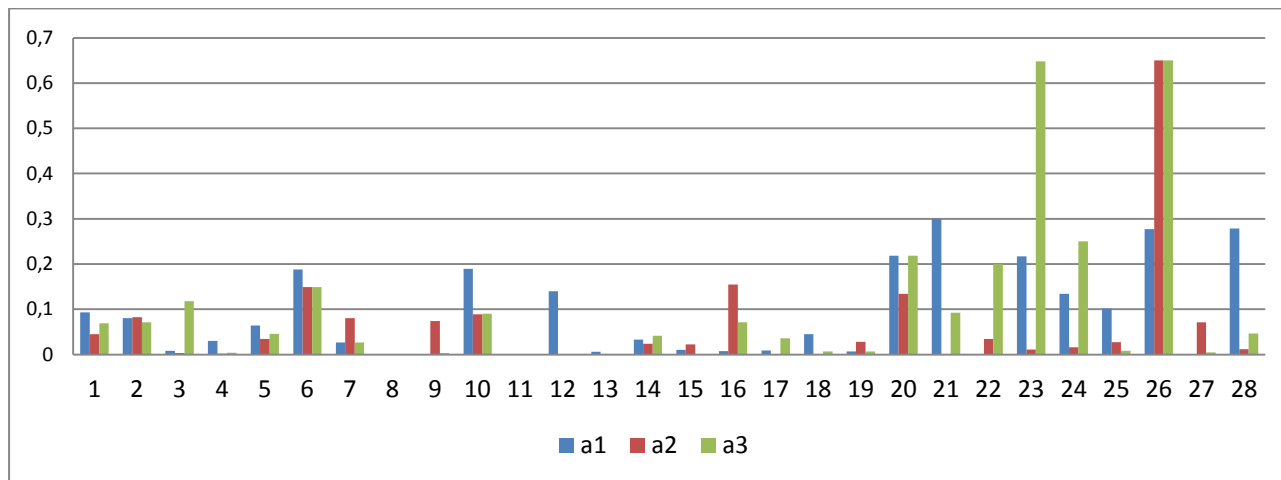


Figura 46 - Desempenho das alternativas

### 6.7.2. Avaliação global das alternativas

O valor das alternativas foram calculados com a aplicação de (6) para cada um dos níveis hierárquicos, de modo à obter a avaliação global a partir das avaliações locais.

A Tabela 57 - Valor das alternativas mostra o valor da avaliação de cada uma das alternativas de ação potencial levantadas previamente. A Cidade 3 foi a melhor avaliada, enquanto que a Cidade 2 teve o pior desempenho. A Cidade 1 ficou em segundo lugar.

Tabela 57 - Valor das alternativas

a1	a2	a3
0,06737	0,05309	0,08196

Portanto, a implementação de um sistema de manejo integrado dos RS voltado para geração de energia elétrica com o uso de biodigestores é mais indicada para a Cidade 3.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1. INTRODUÇÃO

O tema escolhido é completamente transdisciplinar, o que exigiu grandes esforços para conseguir abordá-lo de maneira concreta e objetiva.

Cada etapa do desenvolvimento do trabalho trouxe muitos questionamentos e reflexões. Algumas vezes, a necessidade de superar as contradições e paradigmas que surgiram pelo caminho, contribuiu para a dispersão do foco central.

Por se tratar de um trabalho de conclusão do curso de Engenharia Elétrica, com certeza as duas etapas mais desafiadoras foram a de entendimento da problemática dentro do contexto de resíduos sólidos, bem como o entendimento, estruturação e implementação da metodologia proposta.

O caráter transdisciplinar do trabalho exige muita consciência e clareza do objetivo central, pois, caso contrário, as pesquisas acabam aprofundando-se demais em temas específicos, de áreas diversas, que nem sempre vão contribuir no alcance da meta estabelecida.

### 7.2. CONCLUSÕES

A elaboração do trabalho permitiu estabelecer condições para avaliar de maneira ampla, considerando algumas externalidades, as possibilidades de implementação de um sistema tecnológico que visa ao gerenciamento integrado dos resíduos de maneira descentralizada.

A proposta central do trabalho era aliar a questão do lixo à questão energética, visando aos processos mais eficientes, capazes de possibilitar o desenvolvimento local, favorecendo a visão de autonomia energética, estimulando a educação ambiental e geração de emprego e renda.

Entende-se que o modelo desenvolvido permitiu determinar qual alternativa de ação potencial terá o melhor desempenho no objetivo proposto, de acordo com os valores determinados pelos atores envolvidos no processo de decisão.

Entretanto, como o estudo foi meramente teórico, sem a real interação do facilitador com os atores envolvidos no processo, o resultado semântico dos julgamentos tendeu aos valores idealizados pelo autor.

Nota-se, neste ponto, que o grande desafio da implementação das metodologias multicriteriais de apoio à decisão está, propriamente, na real representatividade de todos envolvidos, sejam eles passivos ou ativos, no processo decisório. Pode-se, deste modo, chegar a conclusão de que não há uma imparcialidade ou neutralidade neste processo.

De todo modo, o único objetivo específico não atingido foi o de explorar, propor, apresentar, estudar, incorporar e implementar o uso de metodologias participativas no planejamento integrado de recursos.

Assim, com o cumprimento de todos outros objetivos propostos, torna-se possível a utilização do modelo desenvolvido em diferentes contextos.

A situação ideal, pode-se dizer ideológica, é a da implementação simultânea da proposta de ação potencial em diferentes regiões de uma cidade urbana, de forma que seja possível criar centros de triagem e tratamento locais, que trabalhem de modo autossuficiente e sejam capazes de absorver todo o volume de resíduo gerado nesta região.

Por fim, o maior desafio do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos está no processo de educação ambiental da população urbana, pois apesar da vagarosa evolução, a ideia de “lixo” continua enraizada em nosso cotidiano.

### 7.3. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalho futuros alinhados ao objetivo deste, pode-se propor:

- A estruturação do modelo aqui desenvolvido num caso real, com participação de todos os atores envolvidos;
- Buscar e aplicar alternativas de metodologias participativas capazes de incorporarem ao processo de construção/estruturação do modelo de apoio à decisão uma representação fiel e confiável dos julgamentos de valores de cada um dos envolvidos no processo;
- Incorporar, dentro da estruturação das ações potenciais, a visão da economia solidária, da autogestão e do conceito de tecnológica social;

## REFERÊNCIAS

ABNT. **Resíduos sólidos: classificação.** 2004.

ADDOR, Felipe; HENRIQUES, Flávio Chedid (Org.). **Tecnologia, Participação e Território: Reflexões a partir da prática extensionista.** Rio de Janeiro: Editora Ufrj, 2015. 394 p. (Coleção Pe).

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. , 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 18/1/2017.

ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8\\_Revisao\\_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19)>. Acesso em: 2/2/2017.

ANEEL, A. N. DE E. E. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. , 2008.

ARMANDO BORGES DE CASTILHO JUNIOR. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** Rio de Janeiro: ABES: Projeto Prosab, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA, A. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.** Brasil, 2009.

BARIN, A. **METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DOS EFEITOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOBRE AS**

**CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO TÉCNICAS MULTICRITERIAIS**, 2007. Dissertação (mestrado), Santa Maria, RS, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.

BELLINGIERI, P. H.; JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; FILHO, J. V. M. Sistema de informações sobre resíduos sólidos como instrumento de gestão. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**, 2012.

BIDONE, F. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: Abes, 2001.

BRANCHER, V. **PANORAMA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**, 2010. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

BRIGNOL, W. DA S. **CONTRIBUIÇÕES À IDENTIFICAÇÃO DE REGIMES OPERACIONAIS DE CENTRAIS GERADORAS A BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS CONECTADAS À REDE**, 2013. Dissertação (mestrado), Santa Maria, RS, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.

BRITO, M. **Manual de Compostagem**. Portugal: Escpça Superior Agrária de Ponte Lima, 2006.

CASARIM, M. A. **MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DE DEJETOS SUÍNOS: O CAMINHO PARA UMA SUINOCULTURA SUSTENTÁVEL**, 2016. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

**CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** São Paulo, 2010.

CHAVES, F. D. M. Serviços ancilares através da geração distribuída: reserva de potência ativa e suporte de reativos. , 2009.

CIASCA, B.; JUNIOR, N. S. Caderno de diagnóstico - Instrumentos Econômicos e Sistemas de Informação para Gestão de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/10\\_CADDIAG\\_Inst\\_Econ\\_SIGRS.pdf](http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/10_CADDIAG_Inst_Econ_SIGRS.pdf)>. Acesso em: 14/9/2016.

COMCAP. **Considerando mais o lixo.** 2º ed. Florianópolis, 2009.

CSILAG, J. M. **Análise do valor: metodologia do valor: engenharia do valor: redução de custos, racionalização administrativa.** São Paulo: Atlas, 1991.

DAVID MONTERO DIAS; CARLOS BARREIRA MARTINEZ; RAPHAEL TOBIAS VASCONCELOS BARROS; MARCELO LIBÂNIO. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. , v. v.17, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a09>>. Acesso em: 10/2/2017.

DUTRA, A. **Elaboração de um sistema de avaliação de desempenho dos recursos humanos da Secretaria de Estado da Administração - SEA à luz da metodologia multicritério de apoio à decisão,** 1998. Dissertação (mestrado), Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

DYER, J. S. MAUT - MULTIATTRIBUTE UTILITY THEORY. **Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art Surveys**. p.302–333, 2005. Austin, TX, EUA: Springer.

EDUARDO FARIAS. **REVOLUÇÃO DOS BALDINHOS: UM MODELO DE GESTÃO COMUNITÁRIA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS QUE PROMOVE A AGRICULTURA URBANA**, 2010. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <[http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2014/05/a\\_rev\\_balduinhos.pdf](http://www.mobilizadores.org.br/wp-content/uploads/2014/05/a_rev_balduinhos.pdf)>. Acesso em: 25/1/2017.

ENSSLIN, S. R. **A incorporação da perspectiva sistêmico-snergética na metodologia MCDA-Constructivista: uma ilustração de implementação**, 2002. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

FILHO, G. C. DE F. **DEFININDO GESTÃO SOCIAL. Gestão social: Práticas em Debate, teorias em construção**, 2008. Juazeiro do Norte.

FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília, 2006.

GANDELINI, L. **Localização De Aterros Sanitários E Lixões No Estado De São Paulo, Considerando Padrões Ambientais Distintos: Uma Aplicação De Modelos Matemáticos De Otimização**. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FURTADO, CELSO. **O Mito do desenvolvimento econômico**. 3. ed. Universidade de Michigan: Paz e Terra, 1974.



GONÇALVES, M. A. **O TRABALHO NO LIXO**, 2006. Presidente Prudente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP.

GRIFFIN, T.; TOMSOVIC, K.; SECREST, D.; LAW, A. Sitting of dispersed generation systems for reduced losses. . v. 33, 2000. Havai.

GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS: Geração e Utilização. ., 2010. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Disponível em: <[http://web-resol.org/cartilhas/giz\\_-\\_guia\\_pratico\\_do\\_biogas\\_final.pdf](http://web-resol.org/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf)>. Acesso em: 24/1/2017.

HENRIQUES, R. M. **APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA ABORDAGEM TECNOLÓGICA**, 2004. Rio de Janeiro: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/rachelh.pdf>>. Acesso em: 10/3/2017.

IGOR ARAÚJO DE OLIVEIRA. **IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM UM ALIMENTADOR REAL NA PRESENÇA DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO**. , 2010.

LIMA, C. A. F.; GRADVOHL, A. B.; CARVALHO, T.; NAVAS, J. R. P.; ARRUDA, O. S. Programa Ecoelce de Troca de Resíduos por Bônus na Conta de Energia. , 2008.

LÚCIO COSTA PROENÇA. **UTILIZAÇÃO DE DIGESTORES ANAERÓBIOS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM FLORIANÓPOLIS, SC**, 2010. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124514/235.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16/11/2016.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. 1º ed. São Paulo: Noble, 1986.

MENDOZA, D. A. G. **ANÁLISE EXERGÉTICA E AMBIENTAL DA PRODUÇÃO E USO DE BIOGÁS PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**, 2014. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

MENEZES, R.; MENEZES, M.; GERLACK REAL, J. Estágio Atual da Incineração no Brasil. , 2000. São Paulo.

MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2012b.

MMA. **PROJETO INTERNACIONAL DE COOPERAÇÃO TÉCNICA PARA A MELHORIA DA GESTÃO AMBIENTAL URBANA NO BRASIL: MANUAL PARA IMPLANTAÇÃO DE COMPOSTAGEM E DE COLETA SELETIVA NO ÂMBITO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS**. Brasília,df, 2010a.

MMA. **PROJETO INTERNACIONAL DE COOPERAÇÃO TÉCNICA PARA A MELHORIA DA GESTÃO AMBIENTAL URBANA NO BRASIL: MANUAL PARA IMPLANTAÇÃO DE COMPOSTAGEM E DE COLETA SELETIVA NO ÂMBITO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS**. Brasília,df, 2010b.

MONTEIRO, J. H. P. [ET. AL]. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM ), 2001.

**NISHIMURA, R. Análise de balanço energético de sistemas de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional**, 2009. Dissertação, Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

**NOGUEIRA, C. W. A METODOLOGIA MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP): UM ESTUDO DE CASO NA PRIORIZAÇÃO DE TRAÇADO DE PAVIMENTAÇÃO DE UMA ESTRADA**, 2002. Dissertação, Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

**OLIVEIRA, C. P. DE. A COLETA SELETIVA DE LIXO NO MUNICÍPIO DE SANTA GERTRUDES/SP E SEUS BENEFÍCIOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS**, 2005. Rio Claro: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA.

PAULILO, G. Conceitos gerais sobre qualidade da energia. Disponível em: <[http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed84\\_fasc\\_qualidade\\_energia\\_cap1.pdf](http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed84_fasc_qualidade_energia_cap1.pdf)>. Acesso em: 3/2/2017.

**PECORA, V. IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DEMONSTRATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DE TRATAMENTO DO ESGOTO RESIDENCIAL DA USP – ESTUDO DE CASO**, 2006. Dissertação, São Paulo: Universidade de São Paulo.

**PINTO, M. DA S. A coleta e a disposição do lixo no Brasil**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1979.  
**PREFEITURA MUNICIPAL DA ESTÂNCIA BALNEÁRIA DE UBATUBA. Plano Municipal de Gestão Integrada de**

**Resíduos Sólidos.** Ubatuba: Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Ubatuba, 2014.

REICHERT, G. A.; SILVEIRA, D. A. Estudo de viabilidade da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos com geração de energia. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. Anais, 2005.

ROY, B. Paradgms and Challenges. **Multiple Criteria Decision Analysis - State of the Art Surveys**. p.40–61, 2003. França: Kluwer Academic Puclishers.

SAATY, T. L. **The Analytuc Hierarchy Process**. Nova Iorque: MacGraw-Hill, 1980.

SICA, E. T. **Internalização de variáveis qualitativas no planejamento de sistemas elétricos de energia: uma proposta metodológica**, 2003. Dissertação (mestrado), Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

SICA, E. T. **Planejamento Integrado de Recursos Hidricos para a Geração de Energia Elétrica: um sistema de apoio à decisão multicritério e dinâmica de sistemas**, 2009. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVESTRE, V. V. **ESTUDO DE LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE RESÍDUOS SOLIDOS URBANOS PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS**. 2011.

SOUZA, J. DE. **DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS PARA COMPRESSÃO DE BIOGÁS**, 2010. Dissetação, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27267/000763752.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 7/2/2017.

VANDEVIVERE, L.; DE BAERE, L.; VERSTRAETE, W. Types of anaerobic digesters for solid wastes. , 2002. Disponível em: <[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/VANDEVIVERE%20et%20al%202002%20Types%20of%200anaerobic%20digesters%20for%20solid%20wastes.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/VANDEVIVERE%20et%20al%202002%20Types%20of%200anaerobic%20digesters%20for%20solid%20wastes.pdf)>. Acesso em: 24/1/2017.

**VIA PÚBLICA. ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. Incinerador mass burn e Biodigestor anaeróbio.** ClimateWork, 2012.