

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**NOVO APLICATIVO PARA A AVALIAÇÃO  
MULTICRITÉRIO DE PROJETOS DE GERAÇÃO PARA  
ATENDIMENTO A COMUNIDADES ISOLADAS**

**DOUGLAS DE ARAÚJO MARTINS  
ALESSANDRO AURÉLIO DA CUNHA MENDES**

**ORIENTADOR: MAURO MOURA SEVERINO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BRASÍLIA/DF, JULHO DE 2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**NOVO APLICATIVO PARA A AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO  
DE PROJETOS DE GERAÇÃO PARA ATENDIMENTO A  
COMUNIDADES ISOLADAS**

**DOUGLAS DE ARAÚJO MARTINS  
ALESSANDRO AURÉLIO DA CUNHA MENDES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE  
DE TECNOLOGIA DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Mauro Moura Severino, Dr. (ENE-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira, Dr. (ENE-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Ivan Marques de Toledo Camargo, Dr. (ENE-UnB)  
(Examinador Interno)**

**BRASÍLIA/DF, JULHO DE 2009**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MARTINS, DOUGLAS DE ARAÚJO; MENDES, ALESSANDRO AURÉLIO DA CUNHA <b>Novo Aplicativo para a Avaliação Multicritério de Projetos de Geração para atendimento a Comunidades Isoladas</b> [Distrito Federal] 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.	
1.Introdução	2. Energia Elétrica
3. Comunidade Isolada	4. Externalidades e Multicritério
5.Metodologia	6.Resultados
I. ENE/FT/UnB	II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

### CESSÃO DE DIREITOS

AUTORES Douglas de Araújo Martins e Alessandro Aurélio da Cunha Mendes.

**TÍTULO: Novo Aplicativo para a Avaliação Multicritério de Projetos de Geração para atendimento a Comunidades Isoladas.**

GRAU: Engenheiro Eletricista      ANO: 2009

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desse trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem autorização por escrito dos autores.

---

Douglas de Araujo Martins  
Email: dmartins.a@hotmail.com  
Av. Pq. Águas Claras, nº 2615, apt. 1103  
71906-500 Brasília – DF – Brasil.

Alessandro Aurélio da Cunha Mendes  
Email: alessandroacmendes@gmail.com  
SQS 109, Bloco C, apt. 202  
70372-030 Brasília – DF – Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, o que seria de mim sem o seu infinito amor e cuidado.

Aos meus pais, Sebastião Martins Neto e Marta Matilde de Araújo, irmãos, Dário, Daiana e Daliane, e afilhada Flaviane, pelo apoio e encorajamento durante toda a minha caminhada, eles não mediram esforços para que eu chegasse ao fim desta etapa.

À minha esposa Luciane Faria Neiva Martins e meu filho Vinicius Neiva Martins, que me incentivaram a prosseguir. Por perdoarem minha ausência em casa e às vezes até a falta de atenção devida. Sei que sempre compreenderam esses momentos como um degrau na construção do nosso futuro.

Aos meus segundos pais Mário Lúcio Neiva e Martha Maria de Faria Neiva, por desejarem a minha felicidade como a um filho e também a Fabiano e Adriane, pelos momentos de descontração.

Aos Mestres e Professores da UnB, pela forma com que passaram o conteúdo e despertaram o interesse pelo conhecimento.

Ao meu orientador, Mauro Moura, sem sua compreensão, habilidade e extrema competência, seria impossível este trabalho.

À Polícia Militar do Distrito Federal, por permitir que eu conciliasse o trabalho e estudo, visando aprimorar seus servidores.

Ao tio Helio Marcos Neiva, pela preocupação e telefonemas de incentivo para a conclusão desta graduação.

Ao amigo Pedro Prescott, por ter iniciado este trabalho de forma tão brilhantemente.

Aos amigos e colegas, pelos momentos em sala de aula e fora dela, pelas inúmeras horas de estudo, em especial a Alessandro Mendes, pela paciência e esforço a este trabalho em equipe.

**Douglas Araújo Martins**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, principalmente minha mãe, pelas oportunidades dadas para que eu pudesse chegar até aqui.

A Deus, a quem sou eternamente grato por ter me dado uma vida e uma família maravilhosa.

Agradeço ao Pedro Prescott, por ter dado autorização para aprimorar o aplicativo por ele desenvolvido.

Ao meu amigo Douglas Araújo por ter me incentivado nos momentos de desânimo e pelo resultado de nosso trabalho.

A todos os Mestres, em especial o Professor Mauro Moura, que soube de maneira brilhante conduzir a orientação deste trabalho.

A todos da empresa TASS – Tele Alarme Sistemas de Segurança, em especial ao coronel Luiz Edmundo Coimbra e ao Engº Rodrigo Freire Dias, por todos conselhos e ensinamentos durante o período de estágio, e por permitirem que me ausentasse do trabalho para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

**Alessandro Aurélio da Cunha Mendes**

## RESUMO

A distribuição de energia elétrica a comunidades isoladas enfrenta grandes barreiras, quando se imagina que a relação custo/benefício não é nada atraente do ponto de vista econômico. No entanto, todos os efeitos sentidos por essas comunidades vão além do aspecto monetário. O modelo atual na escolha dos projetos de energia elétrica nem sempre considera os impactos ambientais e sociais, por muitas vezes não serem disponibilizadas formas objetivas de se considerarem estes aspectos.

Este trabalho, que trata do desenvolvimento de uma metodologia multicritério, com o conseqüente aprimoramento de um aplicativo, visa contribuir com a escolha do melhor projeto de geração de energia capaz de atender a comunidades isoladas. A metodologia e o aplicativo fornecem sistematicamente, uma forma de se considerar os aspectos econômicos, sociais, ambientais e técnicos, tornando-se uma grande ferramenta capaz de auxiliar os investidores.

A primeira versão do aplicativo foi desenvolvido pelo engenheiro eletricitista Pedro Prescott, que teve os méritos de iniciar as pesquisas pelos primeiros critérios e desenvolveu a metodologia inicial. Esta nova versão buscou aprimorar os critérios antigos e acrescentar outros, além das melhoras promovidas no programa.

O aplicativo foi desenvolvido na plataforma Excel ® 2007 com o auxílio da programação *Visual Basic for Applications*, este ambiente foi escolhido pela excelente interface gráfica proporcionada, além da facilidade de trabalho. É uma ferramenta capaz de comparar as alternativas de geração por meio das notas e pesos atribuídos aos diversos critérios, fornecendo uma classificação final que indica a melhor forma de geração de energia elétrica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Sistema termossolar – REGAP.....	9
Figura 2.2 Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica.....	10
Figura 2.3 Diagrama esquemático da SHGD.....	11
Figura 2.4 Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna.....	12
Figura 2.5 Demonstração genérica de uma PCH.....	13
Figura 2.6 Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.....	13
Figura 4.1 Soluções para eliminar as externalidades.....	22
Figura 4.2 Etapas a serem seguidas pela abordagem bottom-up.....	29
Figura 4.3 Impactos da poluição do ar e dos gases de efeito estufa.....	30
Figura 4.4 Custos externos da produção de eletricidade na Alemanha.....	31
Figura 4.5 Etapas da análise multicritério.....	35
Figura 6.1 Planilha principal com os passos a serem seguidos.....	66
Figura 6.2 Formulário para dados iniciais.....	67
Figura 6.3 Planilha para entrada dos dados referentes aos critérios eliminatórios.....	68
Figura 6.4 Planilha para entrada dos dados de cada projeto.....	69
Figura 6.5 Planilha Classificação dos Critérios.....	70
Figura 6.6 Planilha Método SWING.....	71
Figura 6.7 Legenda de escolha dos critérios.....	72
Figura 6.8 Matriz de comparações dos critérios.....	73
Figura 6.9 IDH por região.....	75
Figura 6.10 Formulário.....	76

Figura 6.11 Critérios eliminatórios.....	77
Figura 6.12 Projeto do SHGD preenchido.....	78
Figura 6.13 Prioridade resultante pelo método SWING.....	79
Figura 6.14 Prioridade resultante pelo método AHP.....	79
Figura 6.15 Tabela mostrando os resultados, conforme o método seja SWING ou AHP.....	80

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Matriz energética nos anos de 1973 e 2006.....	04
Gráfico 2.2 Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos de 1973 e 2006.....	04
Gráfico 3.1 Domicílios rurais sem acesso a energia elétrica – números absolutos.....	17
Gráfico 4.1 Representação da atribuição de pesos no método swing.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Empreendimentos em operação em novembro de 2008.....	05
Tabela 2.2 Eficiência de conversão e custo de células solares.....	10
Tabela 3.1 Custo de Instalação e de Geração de Energia de Fontes Renováveis.....	18
Tabela 4.1 Exemplos de externalidades positivas e negativas.....	22
Tabela 4.2 Escala Fundamental de Saaty.....	39
Tabela 4.3 Comparação entre os métodos baseada no estudo ExternE-Pol 2004.....	40
Tabela 5.1 Passos a serem seguidos no desenvolvimento da metodologia.....	43
Tabela 5.2 Padrão de avaliação dos critérios subjetivo.....	53
Tabela 5.3 Classificação proposta para os critérios.....	54
Tabela 5.4 Ilustração do método Swing para os impactos sociais.....	55
Tabela 5.5 Índice randômico do AHP.....	58

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - Analitic Hierarchy Process

ANELL - Agência Nacional de Engenharia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

BIG - Banco de Informações da Geração

CGH - Central de Geradora Hidrelétrica

EOL - Usinas Eolielétricas

GD - Geração Distribuída

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IEA - International Energy Agency

IPA - Impact Pathway Approach

O & M - operação e manutenção

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

SHGD - Sistema Híbrido de Geração Distribuída

SIN - Sistema Interligado Nacional

TVMA - Teoria do Valor Multi-atributo

UHE - Usinas Hidrelétricas

UTE - Usinas Termelétricas

UTN - Usinas Termonucleares

VBA - *Visual Basic for Applications*

WWI - Worldwatch Institute

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	MOTIVAÇÃO.....	1
1.2	OBJETIVO DO TRABALHO.....	1
1.3	ESTRUTURA.....	2
<b>2</b>	<b>ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>3</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	3
2.2	A ENERGIA ELÉTRICA: CONTEXTO BRASILEIRO E MUNDIAL .....	3
2.3	AS TENDÊNCIAS DO SETOR ELÉTRICO NO BRASIL E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	5
2.4	O CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	6
2.5	GERAÇÃO DISTRIBUIDA: FONTES DE GERAÇÃO .....	8
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	14
<b>3</b>	<b>COMUNIDADES ISOLADAS.....</b>	<b>15</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	15
3.2	COMUNIDADES ISOLADAS: CONCEITO .....	15
3.3	COMUNIDADES ISOLADAS: OS PROBLEMAS ENFRENTADOS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	16
3.4	COMUNIDADES ISOLADAS E GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	18
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	19
<b>4</b>	<b>IMPACTOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E AS SUAS ABORDAGENS: QUANTITATIVA E MULTICRITÉRIO.....</b>	<b>20</b>
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	20
4.2	ESTRUTURA DO CAPÍTULO.....	20
4.3	EXTERNALIDADES .....	21
4.3.1	Aspectos conceituais .....	21
4.3.2	Soluções para externalidades.....	22
4.3.3	O conceito de externalidades aplicado a Geração Distribuída.....	23
4.3.3.1	Externalidades ambientais .....	24
4.3.3.2	Externalidades políticas .....	24
4.3.3.3	Externalidades econômicas.....	25
4.3.3.4	Externalidades sociais.....	26
<b>4.4</b>	<b>TIPOS DE ABORDAGENS DOS IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS ....</b>	<b>26</b>

<b>4.5</b>	<b>ABORDAGEM QUANTITATIVA DOS IMPACTOS EXTERNOS DA GERAÇÃO – CUSTOS EXTERNOS .....</b>	<b>27</b>
4.5.1	Introdução .....	27
4.5.2	Metodologia para quantificar os custos externos: <i>Top-Down e Bottom-up</i> .....	27
4.5.3	<i>Impact Pathway Approach</i> .....	28
4.5.4	Comparação dos custos externos por kWh para a geração de energia por carvão, gás, reação nuclear e energia eólica .....	29
<b>4.6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE EXTERNALIDADES .....</b>	<b>31</b>
<b>4.7</b>	<b>ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DOS IMPACTOS DA GERAÇÃO .....</b>	<b>31</b>
4.7.1	Considerações iniciais .....	31
4.7.2	Estrutura da análise multicritério .....	32
4.7.3	Procedimentos da análise multicritério .....	34
4.7.4	Formas de eleger e agrupar preferências .....	35
4.7.5	Métodos para eleger pesos .....	36
4.7.6	Comparação entre os métodos multicritérios .....	39
4.7.7	Considerações finais sobre abordagem multicritério .....	41
<b>4.8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	42
5.2	ESTRUTURA GERAL DO PROBLEMA .....	42
5.3	TIPOS DE CRITÉRIOS E DEFINIÇÕES .....	43
5.4	CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	51
5.4.1	Critérios eliminatórios .....	51
5.4.2	Critérios classificatórios .....	52
5.5	DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS .....	55
5.5.1	Método SWING .....	55
5.5.2	Método AHP .....	56
5.6	APLICATIVO MULTICRITÉRIO .....	58
5.6.1	Considerações iniciais .....	58
5.6.2	Estrutura geral .....	59
5.7	ETAPAS A SEREM SEGUIDAS: INSTITUIÇÃO AVALIADORA .....	60
5.8	ETAPAS A SEREM SEGUIDAS: ESPECIALISTAS/DECISORES .....	62
5.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63

<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>64</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	64
6.2	APLICATIVO MULTICRITÉRIO .....	64
6.2.1	Aspectos construtivos .....	64
6.2.2	Tutorial.....	65
6.3	EXEMPLO PRÁTICO.....	74
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	81
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

Apesar de a idéia da universalização do acesso à energia elétrica ter se fortalecido no Brasil com a publicação da Lei nº 10.438, de 2002, delegando à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a determinação de metas de universalização do acesso à energia elétrica, ainda existem, principalmente na Amazônia, povos em situação de completa exclusão elétrica. O suprimento elétrico dessas comunidades não é de fácil solução, necessitando que sejam superadas questões tecnológicas, econômicas, ambientais, sociais e políticas. Porém, nos modelos atuais de escolha dos projetos de geração de energia elétrica, nem sempre todos esses fatores são levados em consideração, sendo avaliados, basicamente, os aspectos técnico-econômicos.

No caminho em direção à sustentabilidade energética, o Brasil deve ser capaz de quebrar esse paradigma e passar a considerar todos os fatores que de alguma maneira causam impactos as comunidades que estão sendo abastecidas. Uma das maneiras de se mitigar os efeitos oriundos das formas tradicionais de geração é o incentivo a descentralização. Esta abordagem permitirá ao país aproveitar seu imenso potencial de fontes renováveis. Além disso, garantirá um cenário adequado e mais democrático para o enfrentamento da crise climática, pois permitirá maior participação de pequenos investidores.

Diante dessa situação, a grande motivação desse trabalho é contribuir de alguma forma com a escolha da modalidade de geração que irá atender uma determinada comunidade isolada. Esse passo é de grande importância, tendo em vista que o aplicativo proposto irá considerar quatro grandes tipos de impactos que afetam estas comunidades – técnico, ambiental, social e econômico – buscando, dessa forma, mitigar os efeitos negativos da geração, como a poluição, os desmatamentos, as inundações, dentre outros, e valorizando todos os aspectos positivos que o uso da energia elétrica pode fornecer.

## **1.2 OBJETIVO DO TRABALHO**

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma metodologia capaz de culminar com a construção de um aplicativo multicritério. Esse programa deverá ser capaz de selecionar o

melhor projeto de geração de energia elétrica para determinada comunidade isolada, a partir de critérios pré-definidos de avaliação.

### **1.3 ESTRUTURA**

Este trabalho está estruturado em sete capítulos, buscando apresentar de maneira sucinta e clara todos os conceitos teóricos utilizados, bem como, apresentar os resultados obtidos, com a implementação final do aplicativo multicritério.

O capítulo 2 apresenta os conceitos de energia elétrica, panorama atual e tendências para este setor. Na segunda parte do capítulo, é discutido o conceito de geração distribuída (GD), suas características, vantagens, desvantagens e fontes principais.

No capítulo 3 é discutido o conceito de comunidade isolada, o que caracteriza tais comunidades e onde estão localizadas. Por fim, são discutidas formas de se gerar energia elétrica nessas comunidades até chegar ao conceito de GD. Seguindo essa tendência, o capítulo 4 irá discutir os impactos provocados pela geração e as abordagens, seja quantitativa ou multicritério.

O capítulo 5 apresenta a metodologia, fornecendo as bases para a implementação do aplicativo multicritério. O capítulo 6, por sua vez, mostra os resultados obtidos, com a demonstração prática de um exemplo, onde serão consideradas algumas formas de se gerar energia elétrica a uma comunidade isolada e o aplicativo indicará a melhor opção.

Finalmente, o capítulo 7 traz as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros.

## **2 ENERGIA ELÉTRICA**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

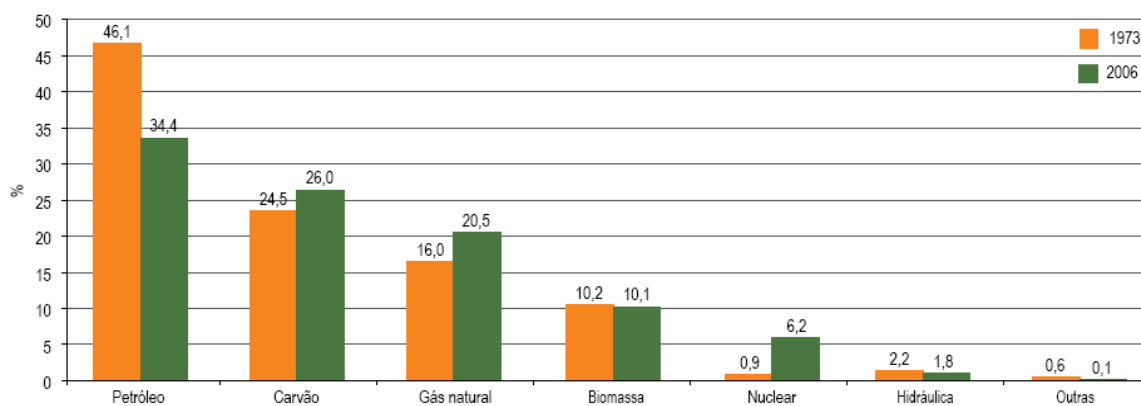
Este capítulo apresenta de maneira sucinta o panorama atual da energia elétrica no país e as tendências para este setor. Durante a revisão bibliográfica é possível verificar como se chegou ao atual modelo de geração de energia, onde se predominam as grandes centrais geradoras. Paralelamente, se buscará elementos que apresente as inovações para este setor, como a energia elétrica derivada de fontes alternativas. Por fim será discutido o conceito da GD, suas características, vantagens e desvantagens, sendo apresentadas algumas fontes de geração.

### **2.2 A ENERGIA ELÉTRICA: CONTEXTO BRASILEIRO E MUNDIAL**

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo alternativas de adaptação ao ambiente em que vive. Dessa forma, a exaustão, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outros (ANEEL, 2005).

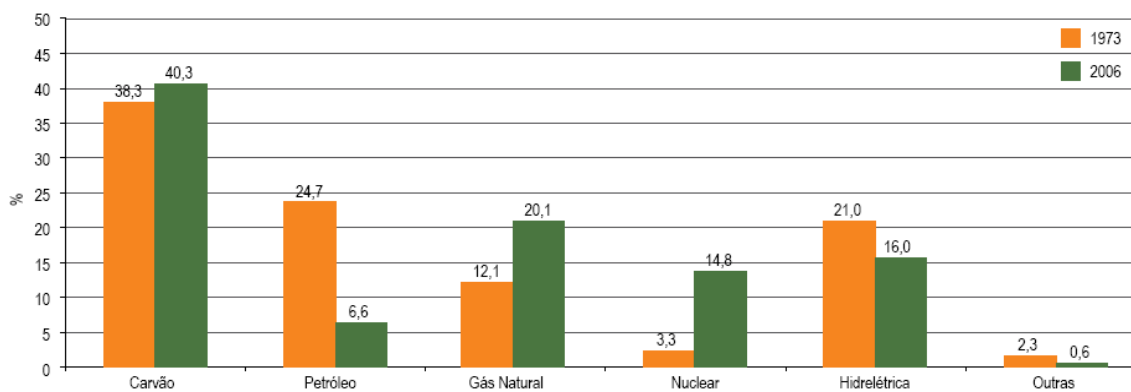
Devido à sua disponibilidade e à facilidade no aproveitamento, a água foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico.

Mesmo assim, a participação da água na matriz energética mundial é pouco expressiva e, na matriz da energia elétrica, decrescente. Segundo o último relatório *Key World Energy Statistics*, da *International Energy Agency* (IEA), publicado em 2008, entre 1973 e 2006, a participação da força das águas na produção total de energia passou, conforme o Gráfico 2.1, de 2,2% para apenas 1,8%. No mesmo período, como mostra a seguir o Gráfico 2.2, a posição na matriz da energia elétrica sofreu recuo acentuado de 21% para 16%, inferior à do carvão e à do gás natural (ANEEL, 2008).



**Fonte:** ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 3ª Ed.* Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 12 de janeiro 2009 (modificada).

Gráfico 2.1 *Matriz energética nos anos de 1973 e 2006.*



**Fonte:** ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 3ª Ed.* Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 12 de janeiro 2009 (modificada).

Gráfico 2.2 *Geração de energia elétrica no mundo por tipo de combustível nos anos de 1973 e 2006.*

O grande crescimento na capacidade instalada e, conseqüentemente, na produção de energia elétrica, de 1973 a 2004, resultou da tradição brasileira de investir nesse tipo de empreendimento, que por sua vez é fruto da opção que o país fez, no início do século XX, de usar essa fonte primária para gerar eletricidade, devido à escassez de reservas carboníferas de boa qualidade. (Cachapuz, 2003)

Essa opção ganhou outros impulsos, sendo as principais deles nos governos de Getúlio Vargas, seguindo-se com Juscelino Kubitschek e grande adesão durante o regime militar, com a construção de usinas hidrelétricas, como Itaipu e Tucuruí.

Atualmente, de acordo com o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, em novembro de 2008, existia em operação 227 CGHs, com potência total de 120 MW; 320 PCHs (2,4 mil MW de potência instalada) e 159 UHE com uma capacidade total instalada de 74,632 mil MW. Em novembro de 2008, as usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, respondem, portanto, por 75,68% da potência total instalada no país, de 102.262 mil MW, como mostra a Tabela 2.1 (ANEEL, 2008).

Tabela 2.1 *Empreendimentos em operação em novembro de 2008*

TIPO	QUANTIDADE	POTENCIA OUTORGADA (kW)	POTENCIA FISCALIZADA (kW)	%
<b>CGH</b> <sup>a</sup>	<b>227</b>	<b>120.009</b>	<b>146.922</b>	<b>0,11</b>
<b>EOL</b> <sup>b</sup>	<b>17</b>	<b>272.650</b>	<b>289.150</b>	<b>0,26</b>
<b>PCH</b> <sup>c</sup>	<b>320</b>	<b>2.399.598</b>	<b>2.381.419</b>	<b>2,29</b>
<b>SOL</b> <sup>d</sup>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
<b>UHE</b> <sup>e</sup>	<b>159</b>	<b>74.632.627</b>	<b>74.851.831</b>	<b>71,20</b>
<b>UTE</b> <sup>f</sup>	<b>1.042</b>	<b>25.383.920</b>	<b>22.585.522</b>	<b>24,22</b>
<b>UTIN</b> <sup>g</sup>	<b>2</b>	<b>2.007.000</b>	<b>2.007.000</b>	<b>1,92</b>
<b>Total</b>	<b>1.768</b>	<b>104.815.824</b>	<b>102</b>	<b>100,0</b>

**Fonte:** ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 2ª Ed.* Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 12 de janeiro 2009 (modificada).

- (a) CGH - Central Geradora Hidrelétrica
- (b) EOL - Usinas Eolielétricas
- (c) PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas
- (d) SOL - Fontes Alternativas de Energia
- (e) UHE -Usinas Hidrelétricas
- (f) UTE - Usinas Termelétricas
- (g) UTIN -Usinas Termonucleares

## 2.3 AS TENDÊNCIAS DO SETOR ELÉTRICO NO BRASIL E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Segundo um relatório do Worldwatch Institute, organização de pesquisa com sede em Washington, uma das tendências que se observam mundialmente é que as tradicionais usinas geradoras de eletricidade, tanto as nucleares quanto as hidrelétricas e termelétricas a carvão, estão na contramão da modernidade perdendo a batalha, pois não estão conseguindo fornecer, com confiabilidade e qualidade desejáveis, a energia elétrica necessária para mover a nova economia digital (Biblioteca Digital WWI-UMA apud Severino, 2008).

Dessa maneira, diante da incapacidade de fornecer energia com confiabilidade, as tradicionais formas de se produzir energia estão cedendo espaço para a produção de micro-energia que

proporcionará aos países em desenvolvimento a oportunidade de saltar diretamente para fontes energéticas mais baratas e limpas, em vez de construir mais usinas a carvão ou nucleares e estender as linhas de transmissão existentes (Biblioteca Digital WWI-UMA apud Severino, 2008).

Essa tendência de detrimento das grandes usinas em prol das pequenas gerações também ganha força no cenário nacional, especialmente, devido a alguns fatores: nos últimos anos piorou a qualidade ambiental da matriz energética brasileira; por ser essencialmente dependente da energia hidráulica, as mudanças climáticas anunciadas podem comprometer o fornecimento de energia; a deficiência nos reservatórios de água e gás natural podem causar diminuição no fornecimento de energia; e por fim, o Brasil é adepto de compromissos que visam à universalização da energia elétrica (Severino, 2008).

Diante de todas as inovações técnicas no setor elétrico, alguns fatores corroboram com a disseminação de outros conceitos, como por exemplo, a GD. Ademais o ambiente mais competitivo, especialmente na geração, onde cada vez mais aumenta a oferta de energia por produtores independentes e autoprodutores, associados ainda aos grandes impactos ambientais oriundos das grandes centrais de geração, impulsionam este novo tipo de geração (Severino, 2008).

## **2.4 O CONCEITO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Os projetos envolvendo a GD apresentam-se em duas grandes vertentes: existem os projetos voltados exclusivamente para a produção de energia em regiões isoladas, com o objetivo de universalizar o acesso a energia, e os projetos destinados a produzir energia para sistemas interligados em contexto de complementaridade energética.

O conceito de GD desenvolvido neste trabalho reporta-se a primeira vertente, em que a geração destina-se a abastecer comunidades isoladas, visando melhorias.

De maneira geral considera-se GD qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais ou próximas destas, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão.

A definição legal de GD encontra-se amparo no Decreto n.º 5.163/2004 que Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões de autorizações de geração de energia elétrica e dá outras providências (Brasil, 2004):

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.

Outro conceito desenvolvido e mais adequado para o trabalho foi apresentado por Severino (2008) que considera GD como um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia em determinada região. Pode-se considerar que uma fonte de energia elétrica é caso particular de GD quando ela reúne os seguintes elementos ( Severino, 2008):

[...] (a) está conectada diretamente a rede de distribuição; (b) está conectada do lado de um consumidor conectado a algum ponto do sistema elétrico; (c) supre cargas elétricas de uma instalação eletricamente isolada; (d) está conectada diretamente a rede de transmissão, desde que, neste caso, ela não possa ser considerada caso pertencente à geração centralizada.

## 2.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: FONTES DE GERAÇÃO

As diversas formas de geração de energia elétrica podem ser divididas em duas grandes categorias:

**Fontes convencionais:** aquelas que utilizam as formas tradicionais de geração, com tecnologias sedimentadas e difundidas. São originadas da época em que o objetivo era a geração em grandes quantidades sem serem observados os impactos ambientais e sociais, onde não se levava em consideração o racionamento de recursos naturais, uma vez que existiam em grandes quantidades. Neste grupo estão as usinas hidrelétricas de grande porte, de carvão mineral, petróleo, gás natural e a energia nuclear.

**Fontes alternativas:** as fontes alternativas representam soluções para a geração de energia utilizando as potencialidades de cada região e com menor impacto ambiental. Como ainda estão em desenvolvimento, essas fontes representam uma energia mais cara que a convencional, no entanto, estão se difundindo rapidamente e suas tecnologias estão cada vez mais acessíveis e viáveis.

Teoricamente, a GD pode ocorrer a partir de qualquer tipo de fonte primária de energia, que será utilizada em um processo de geração de energia elétrica que empregue qualquer tecnologia (Severino, 2008). No entanto, como o objetivo deste trabalho é buscar construir um decisor para a escolha de uma ou outra fonte de GD – assunto que será discutido posteriormente - serão apresentadas apenas as fontes principais. Desse modo, temos as seguintes alternativas: a solar heliotérmica, a solar fotovoltaica, a SHGD<sup>1</sup>, a eólica, a turbinas hidrocinéticas, a biomassa de cana e gás do lixo e o gerador a diesel. Considerando ainda o objetivo final do trabalho, serão discutidas a seguir apenas as características gerais de cada alternativa, ficando os impactos ambientais, econômicos e a viabilidade técnica para o capítulo 4.

### a) Solar Heliotérmica

A tecnologia que utiliza como fonte primária o sol não pode ser considerada uma tecnologia única, mas um painel de tecnologias. Assim temos que lidar com fenômenos térmicos, elétricos, químicos, dentre outros. Como mencionado anteriormente, será dada ênfase as

---

<sup>1</sup> Um sistema híbrido de geração de energia reúne, pelo menos, duas fontes de geração diferentes. O projeto apresentado é composto por painéis fotovoltaicos, células a combustível e baterias ( Severino, 2008).

tecnologias que se ocupam da conversão da energia solar em energia térmica e em energia elétrica. Neste tópico será discutida a primeira delas.

A geração de energia elétrica por meio da energia solar é uma forma de energia dita renovável<sup>2</sup> e se caracteriza por ser de forma indireta, ou seja, por meio do uso do calor para gerar vapor que, expandindo-se em turbina a vapor, aciona um gerador elétrico em uma usina termelétrica, constituindo os chamados sistemas termossolares. Devido a sua localização o Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente na região Nordeste, o que posiciona o país entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar. Abaixo se encontra a figura 2.1, exemplificando a aplicação dos sistemas termossolares na geração de energia elétrica.



**Fonte:** PETROBRAS. *Energias renováveis: ações perspectivas* na Petrobras. Disponível em [www.moretti.agrarias.ufpr.br](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br). Acesso em 12 de janeiro 2008.

Figura 2.1 *Sistema termossolar - REGAP*

## **b) Solar Fotovoltaica**

Este sistema de conversão de energia, conhecido com sistema fotovoltaico, é uma forma de energia renovável e se caracteriza pela conversão da energia solar em eletricidade. O sistema

---

<sup>2</sup> Chama-se de energia renovável, às formas de energia que, depois de utilizada ainda podemos dispor novamente, ou seja, são constantemente renováveis, diferentemente, têm-se as energias chamadas de não renováveis que são finitas, como as oriundas dos combustíveis fósseis.

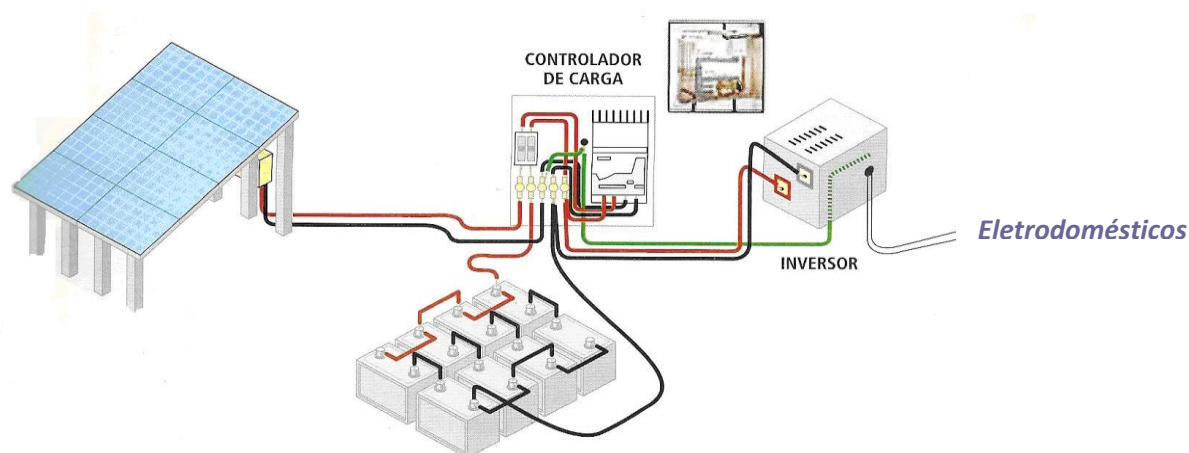
é constituído por um conjunto de painéis fotovoltaicos, um regulador de tensão, um sistema de armazenamento e um inversor que converte corrente contínua em alternada. O painel fotovoltaico cumpre a função de gerador e é construído por células fotovoltaicas construídas a partir de semicondutores que ao receberem a radiação solar sobre sua superfície, geram tensão elétrica em seus terminais.

A geração ocorre em virtude da excitação dos elétrons de alguns materiais na presença de luz solar, dentre os materiais destacam-se o silício (ANEEL, 2008). A tabela 2.2 mostra alguns materiais (células solares) e a eficiência de conversão. Já a figura 2.2 ilustra um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica.

Tabela 2.2 *Eficiência de conversão e custo de células solares*

TIPO DE CÉLULAS	EFICIÊNCIA			CUSTO (US\$/Wp)
	Teórica	Laboratório	Comercial	
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

**Fonte:** ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 3ª Ed.* Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 12 de janeiro 2009 (modificada).

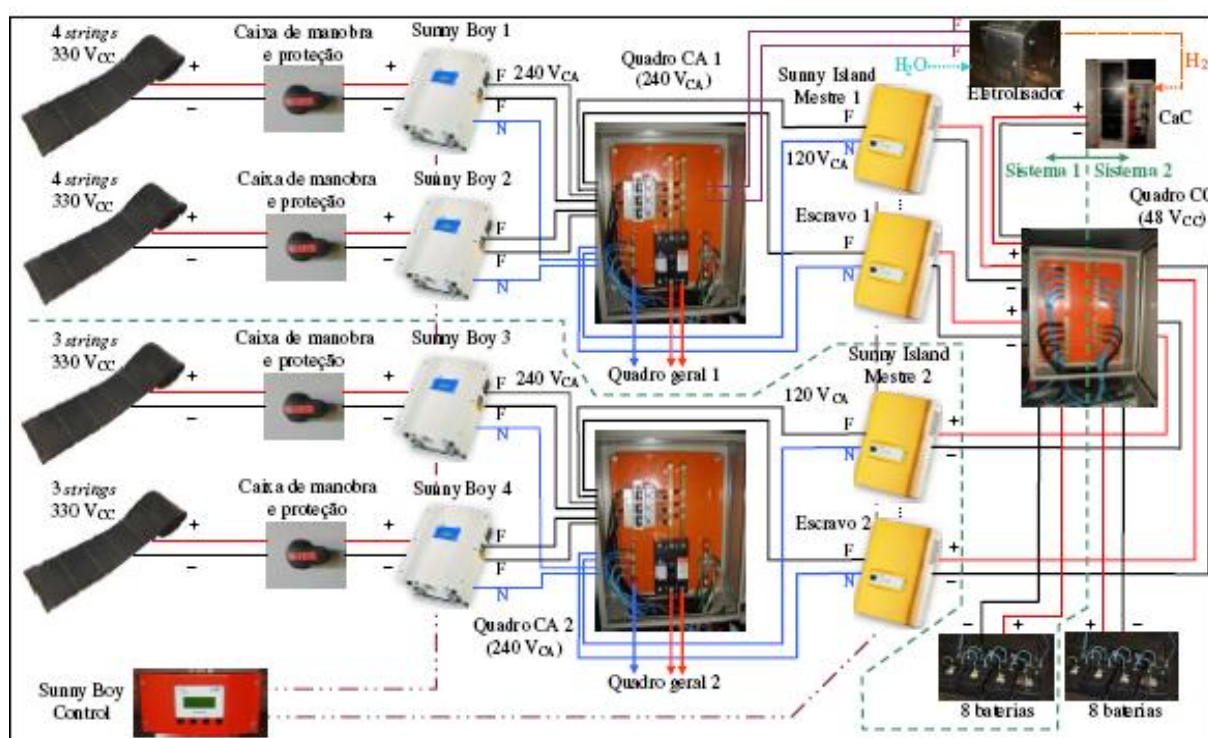


**Fonte:** Centro de referência para a energia solar Sérgio de Salvo Brito – CRESESB. PETROBRAS. Disponível em [www.moretti.agrarias.ufpr.br](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br). Acesso em 12 de janeiro 2009.

Figura 2.2 *Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica*

### c) SHGD – Sistema Híbrido de Geração Distribuída

Um sistema híbrido de geração de energia reúne mais de uma fonte de energia. Especificamente, neste trabalho, será utilizado como sugestão para a geração de energia, um sistema híbrido composto por painéis fotovoltaicos, células a combustíveis e baterias. Este sistema caracteriza-se por ser renovável, por possuir um alto impacto social, instalação capaz de atender um consumidor isolado e possuir uma produção pequena de GD (Severino, 2008). A figura 2.3 apresenta o diagrama esquemático do SHGD.



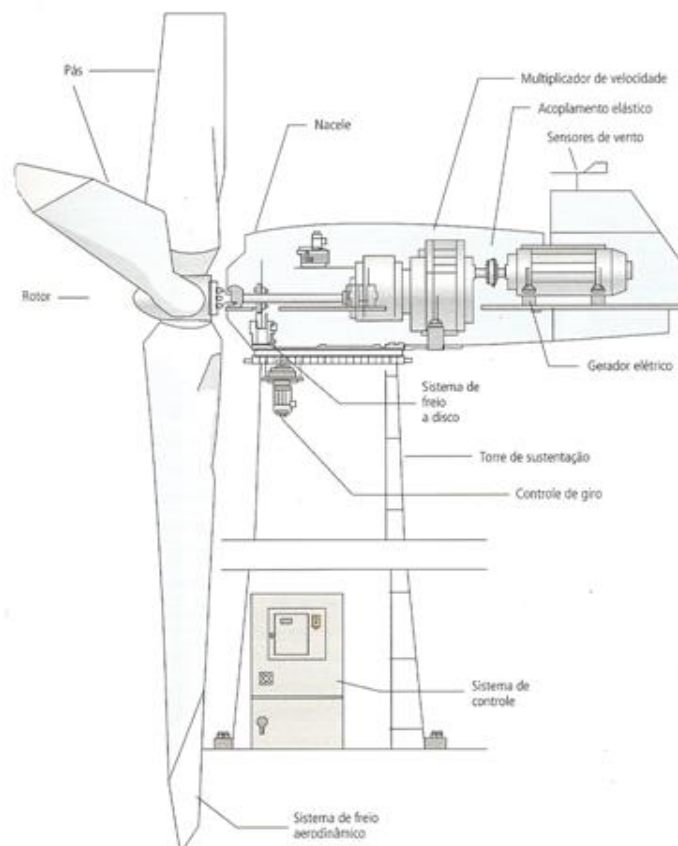
**Fonte:** SEVERINO, Mauro Moura. Avaliação técnico-econômica de um sistema híbrido de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas da Amazônia. 2008. 335f. Tese (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. (modificada)

Figura 2.3 Diagrama esquemático do SHGD

### d) Eólica

Esta modalidade de se obter energia elétrica utiliza a energia cinética do vento, que aciona um rotor, que pode ter várias formas, dentre elas, o tipo hélice e a multipá, e que, por meio de um sistema mecânico de transmissão, aciona um gerador elétrico. Para a implantação em comunidades isoladas, utiliza-se o armazenamento da energia elétrica em compostos de

baterias, chamadas de acumuladores. A figura 2.4 abaixo demonstra um exemplo deste tipo de sistema:



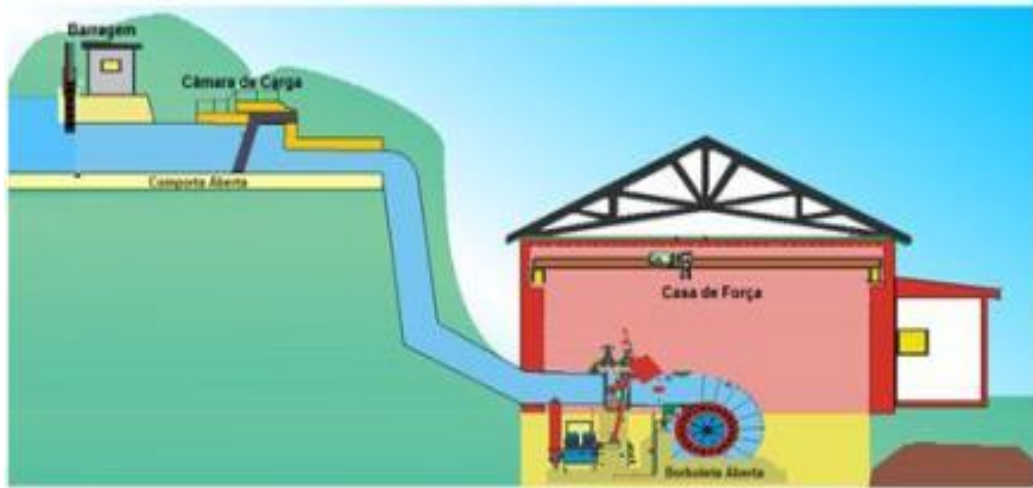
**Fonte:** Centro Brasileiro de Energia Eólica – ECEE/UFPE.  
Disponível em [www.moretti.agrarias.ufpr.br](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br). Acesso em 15 de janeiro 2009. (modificada)

Figura 2.4 *Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna*

### e) Turbinas Hidráulicas

Esta modalidade de se obter energia elétrica faz o uso de turbinas hidráulicas acionadas por quedas d'água. Para o atendimento de comunidades isoladas são usadas usinas hidrelétricas de pequeno porte, chamadas PCHs<sup>3</sup>, com menor capacidade de produção e pequenos reservatórios associados ou até mesmo nenhum. Como a geração ocorre próximo à carga, esta modalidade é capaz de promover o desenvolvimento de pequenas comunidades. Um esquema geral pode ser visto na figura abaixo:

<sup>3</sup> As chamadas pequenas centrais elétricas, PCHs, caracterizam por serem de pequeno porte (até 30 MW) com o objetivo de reduzir os impactos ambientais provocados pelas grandes centrais. Constam com diversos incentivos para os empreendedores por parte da ANEEL, visando aumentar sua expansão e a descentralização do sistema.

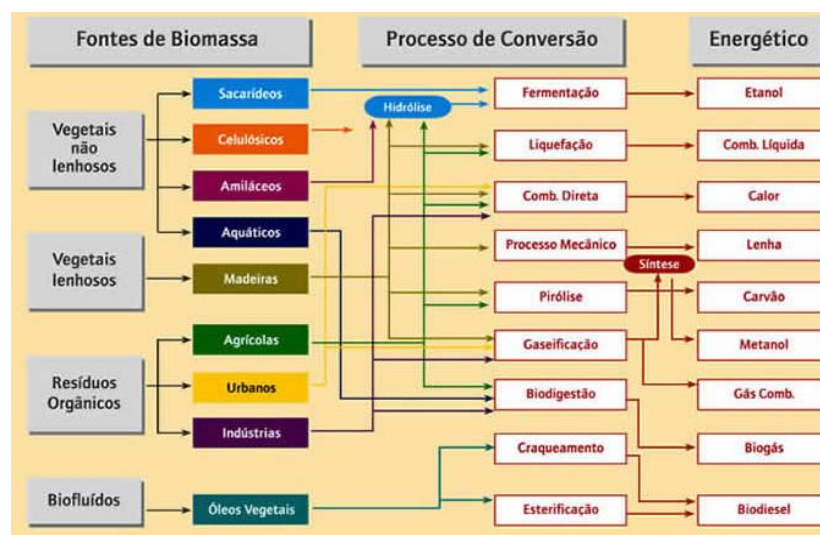


**Fonte:** Portal da PCHs. Disponível em [www.portalpch.com.br](http://www.portalpch.com.br). Acesso em 12 de fevereiro 2009. (modificada)

Figura 2.5 Demonstração genérica de uma PCH

#### f) Biomassa – Cana e Gás do Lixo

A conversão da Biomassa, matéria orgânica de origem animal ou vegetal, em energia elétrica, representa uma alternativa capaz de atender comunidades isoladas. A figura 2.6 mostra um esquema dos processos de conversão energética da biomassa.



**Fonte:** ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 2ª Ed. Disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em 12 de fevereiro 2009. (modificada)

Figura 2.6 Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa

As duas opções apresentadas por este trabalho são as alternativas da geração de energia por meio do aproveitamento dos resíduos da lavoura canavieira e a obtida pelo gás do lixo. A energia é obtida pela transformação do calor em trabalho, por meio da absorção da energia térmica da fonte e a transforma em mecânica que acoplada ao um gerador elétrico, produz energia elétrica.

#### **g) Gerador a diesel**

Apesar de todos os impactos oriundos da geração utilizando o óleo diesel, ela representa hoje a principal fonte de geração de energia elétrica para as comunidades isoladas, principalmente no norte do Brasil. Neste processo a energia elétrica é obtida por meio de um conjunto de motor diesel e gerador de corrente alternada, denominado grupo gerador. O funcionamento é autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo diesel.

## **2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo apresentou o conceito de energia elétrica, a situação atual deste setor e as tendências. Devido ao grande potencial existente e a herança dos anos anteriores, foi possível perceber que no Brasil ainda predomina o fornecimento de energia oriundo das grandes centrais produtoras, principalmente as usinas hidrelétricas. Concomitante a isso, foi introduzido o conceito de GD e fornecido os elementos que comprovam que essa forma de geração é a mais viável de atender a uma comunidade isolada. Foi visto também que teoricamente, qualquer fonte primária de energia pode ser utilizada na GD, sendo apresentadas em seguida, as características principais de algumas delas.

### **3 COMUNIDADES ISOLADAS**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo apresenta o conceito de comunidade isolada e discorre sobre a necessidade de se levar até essas comunidades os benefícios e as perspectivas que a energia elétrica pode oferecer. Logo no início do capítulo será discutido o conceito e as características necessárias para que a comunidade seja considerada como isolada, além disso, será feita a diferenciação entre comunidades isoladas atendidas e não-atendidas por energia elétrica. Para concluir o capítulo é feito um paralelo entre comunidade isolada e GD, tentando buscar elementos que indique esta forma de se gerar energia como solução para atender esta problemática da exclusão.

#### **3.2 COMUNIDADES ISOLADAS: CONCEITO**

Embora algumas características sejam atribuídas e quase que necessárias para que uma comunidade seja considerada isolada, como a baixa densidade populacional, infra-estrutura urbana deficiente e a baixa atividade econômica, existem outras que quase nunca são lembradas.

Di Lascio (2004) faz alusão às mesmas comunidades por outros termos, como moradias isoladas, aglomerados urbanos isolados, sítios isolados e pequenos vilarejos, no entanto, algumas características são inerentes a todos, seja em maior ou menor grau:

- a) Pobreza generalizada;
- b) Fornecimento de energia insuficiente ou inexistente;
- c) Parte significativa da renda é utilizada para prover a energia elétrica produzida de maneira intermitente;
- d) Sem possibilidade de interligação com alguma rede elétrica.

Apesar de todas as características acima serem de grande relevância, o mais adequado e o que será utilizado para este trabalho, entenderá o conceito de comunidade isolada como intrinsecamente ligado ao fornecimento de energia elétrica, desse modo, será considerada como isolada a comunidade que não é assistida pelos meios convencionais de energia elétrica.

Logo, por se tratar de um critério bastante utilizado pelas engenharias elétricas e mecânicas, iremos fazer a seguinte distinção:

- **Comunidade isolada atendida:** Neste caso a comunidade pertence a um sistema elétrico isolado, não conectado ao SIN<sup>4</sup>, gerando e consumido a energia dentro de uma área delimitada;
- **Comunidade isolada não-atendida:** Aqueles que não dispõem de nenhum fornecimento de energia, incluindo-se em um grande grupo de “excluídos elétricos”.

### 3.3 COMUNIDADES ISOLADAS: OS PROBLEMAS ENFRENTADOS PARA O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Segundo Correia (2005), as estatísticas mostram que aproximadamente 10 milhões de pessoas que moram em regiões afastadas dos centros urbanos não possuem atendimento do fornecimento de energia elétrica, isso acontece principalmente na região amazônica. As grandes dificuldades para o atendimento de energia elétrica nessas comunidades de pequena demanda, passam por alguns fatores, além das grandes distâncias para os centros produtores, têm-se os altos custos de geração, o que inviabilizam projetos de abastecimentos para estas comunidades.

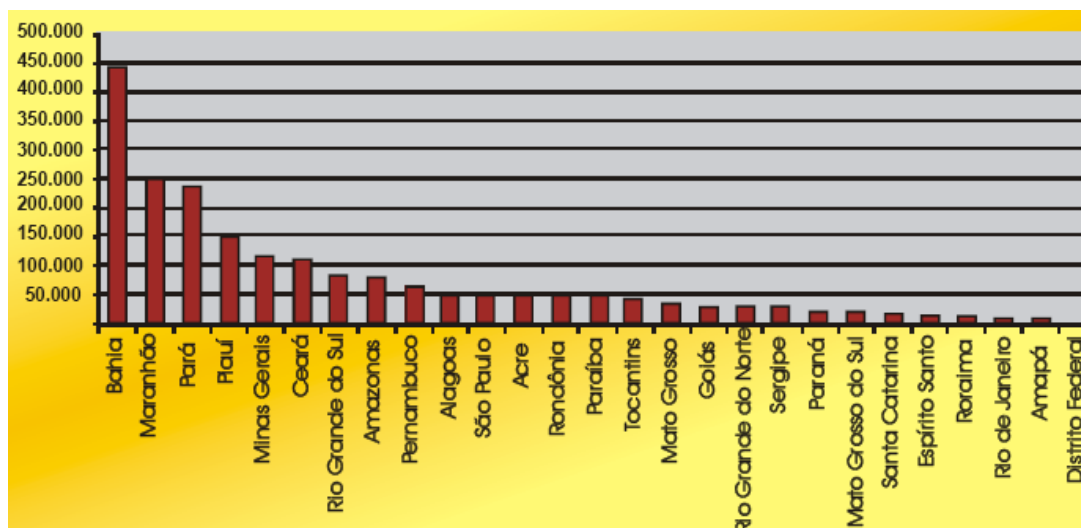
Os estados brasileiros onde se encontram o maior número de sistemas elétricos isolados estão concentrados na região norte, destacando-se os estados do Acre, Amazonas, Amapá e Rondônia. No entanto, apesar de parte da região norte ser atendida por sistemas isolados, o modelo de energia implantado no Brasil, gerou um esquecimento das populações dispersas na área amazônica, com densidades às vezes menores que 1 hab/km<sup>2</sup>, mas que totalizando chega a atingir vinte milhões de habitantes sem oferta adequada de energia (Rocha e Silva, 2002).

Nos últimos anos algumas medidas foram adotadas pelo governo federal com o objetivo de amenizar a exclusão energética. Em um primeiro momento, no início da década de 90, houve incentivos a implantação de projetos de pesquisa tecnológica, com a inserção de novas formas de se obter energia pelos centros de pesquisa e universidades da região. Em um segundo momento, que teve início em 2002, houve a implantação de sistemas alternativos fomentados

---

<sup>4</sup> SIN é o sistema interligado nacional. Devido ao seu tamanho e características é considerado único em todo o mundo, abrange as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. (ONS, 2003)

pelo poder público, e por fim, com a implementação do Programa “Luz para Todos”, acontece à disseminação da universalização do acesso e uso da energia elétrica. O que se percebe, porém, é que mesmo com esses incentivos a quantidade de domicílios sem atendimento de energia ainda é expressivo, conforme mostra a gráfico abaixo:



**Fonte:** MME. Disponível em <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em 15 de janeiro 2009. (modificada)

Gráfico 3.1 *Domicílios rurais sem acesso a energia elétrica – números absolutos*

Nas comunidades citadas a principal forma de geração de energia é o gerador a diesel, mas os altos custos da geração, aliados ainda, ao alto custo do combustível, inviabilizam as comunidades isoladas como nichos de mercado para este tipo de geração, exemplo disso é que apenas 32 comunidades das 4.600 reconhecidamente existentes no estado do Amazonas são assistidas. Há de se levar em conta que mesmo nas comunidades onde existem os grupos-geradores, devido à baixa renda dos moradores, o fornecimento de energia tem que ser subsidiado pelo governo local (Correa, 2005).

Por tudo que foi exposto, percebe-se que o abastecimento as comunidades isoladas ainda é muito baixo se comparado a quantidade de comunidades existentes, e quando existe o abastecimento, este é muito precário. A falta de retorno econômico acaba por desestimular ações que diminuam essa situação, no entanto, diversos fatores têm que ser levados em consideração, como o desenvolvimento social dessas comunidades.

### 3.4 COMUNIDADES ISOLADAS E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Apesar de muitos autores, erroneamente, imaginar que a GD só é possível por meio de uma fonte renovável, a discussão realizada no capítulo 2 mostrou que tal geração pode ocorrer a partir de qualquer fonte primária de energia. No entanto, devido à maneira abundante que as fontes renováveis são encontradas na natureza, acabam se tornando as principais fontes com potencial para atender as comunidades isoladas.

A GD a partir das fontes renováveis, uma das soluções capazes de amenizar o problema, ainda enfrenta grande resistência. O alto nível de investimento inicial em tecnologia de transformação, a inexistência de tecnologia de transformação em pequena escala, o uso de tecnologias ainda não consolidadas e o desconhecimento do investidor, acabam por contribuir com o panorama atual. A tabela 3.1 apresenta algumas fontes renováveis encontradas na Amazônia<sup>5</sup> e o custo de instalação e de geração a elas associadas, para uma melhor avaliação são levadas em consideração a sub-rogação da Conta de Consumo de Combustível (CCC) destinada a subsidiar a instalação de fontes renováveis (Correia, 2005).

Tabela 3.1 *Custo de Instalação e de Geração de Energia de Fontes Renováveis*

GERAÇÃO	CUSTO DE INSTALAÇÃO (US\$)	CUSTO DE GERAÇÃO (US\$/MWh)	
		Sem CCC	Com CCC
FOTOVOLTAICA	10.000,00	313,32	78,33
HIDROcinÉTICA	5.000,00	180,10	98,23
EÓLICA	1.000,00	45,01	26,05
GASEIFICAÇÃO	750,00	115,28	101,00
VAPOR	600,00	113,67	96,91
BIODIESEL	303,00	305,00	300,18

**Fonte:** CORREIA, José de Castro. Atendimento Energético a Pequenas Comunidades Isoladas: Barreiras e Possibilidades. *T&C Amazônia*, Ano III, Número 6, janeiro de 2005. (modificada)

O que se percebe é que este quadro tende a se perpetuar por algum tempo. Segundo Correia (2005), a pouca demanda pela aquisição, faz com que as fontes não diminuam seus custos, que por sua vez provoca a pouca demanda, em virtude dos altos custos das fontes. Existem ainda a se considerar como obstáculos para a adoção por parte das comunidades isoladas, a informação, a formação educacional e a restrição orçamentária, o que acaba provocando investimentos na sede dos municípios, penalizando o atendimento a comunidades isoladas,

<sup>5</sup> Na fonte renovável de Biodiesel será utilizado como combustível o babaçu, a hidrocínética é a partir da roda d'água flutuante e a gaseificação será sem o consumo de diesel.

isso porque o retorno do investimento e a dificuldade de cobrança do uso da energia são inviáveis.

Nesse sentido, a introdução do uso de energias alternativas que levem em consideração o custo e a facilidade na gestão, são fatores importantes para sua viabilidade, além é claro, dos impactos sociais e ambientais, que quase nunca são mensurados.

### **3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo apresentou de maneira bem sucinta o conceito de comunidade isolada, mostrando alguns aspectos que caracterizam tais núcleos de povoamento, como a pobreza generalizada, o fornecimento de energia insuficiente ou inexistente, a impossibilidade de interligação com alguma rede elétrica, dentre outras. Além disso, foi feita a diferenciação entre comunidades isoladas atendidas e não-atendidas por energia elétrica, verificando-se que este é um conceito bastante utilizado nas engenharias elétricas e mecânicas. Por último, foram apresentadas as barreiras ainda existentes na disseminação da GD, principalmente nos casos onde a fonte primária de energia decorre de uma fonte renovável.

## **4 IMPACTOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E AS SUAS ABORDAGENS: QUANTITATIVA E MULTICRITÉRIO**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Anteriormente foi visto que a geração de energia elétrica causa diversas consequências no meio ambiente e na população atendida. Então para a geração de energia em uma comunidade isolada não se pode escolher a fonte de energia levando em conta apenas critérios econômicos. Também deve-se levar em conta os critérios sociais e ambientais para a escolha da fonte de energia. Tendo isso em mente, fica a pergunta: Como analisar esses critérios para eleger a melhor fonte de energia para uma determinada comunidade? Este capítulo irá levantar bases teóricas para responder essa questão.

Nas últimas décadas significativos progressos têm sido alcançados no desenvolvimento de técnicas para a análise dos impactos sociais e ambientais causados pela produção e consumo de eletricidade (ExternE-Pol, 2004). Como resultado desses progressos tem-se as abordagens quantitativas e qualitativas. A abordagem quantitativa visa quantificar os custos externos (externalidades) e a abordagem multicritério aborda aspectos qualitativos e quantitativos.

### **4.2 ESTRUTURA DO CAPÍTULO**

Este capítulo irá expor os dois tipos de abordagens (qualitativa e quantitativa). Antes de apresentar a abordagem quantitativa, na seção 4.3 será dado o conceito de externalidades, já que essa abordagem trata de quantificar essas externalidades. Ao estudar este conceito percebe-se que as externalidades causam ineficiências no mercado e por isso apresentam-se os principais tipos de soluções para essa ineficiência. Logo depois é apresentado o conceito de externalidade aplicado à geração de energia citando os seus principais tipos. Na seção 4.5 serão apresentados os dois métodos para a abordagem quantitativa: os métodos *Top-down* e *Bottom-up*. Dentro da abordagem Bottom-up será apresentada a avaliação utilizada no estudo ExternE (2005), a avaliação *Impact pathway approach*, que visa a quantificação das externalidades. Logo depois são mostrados alguns resultados da avaliação *Impact pathway approach*.

Na seção 4.7 tem-se a abordagem multicritério. Nela serão apresentados os elementos estruturais e os procedimentos da abordagem multicritério, além da breve descrição de seus

principais métodos de análise. Com a base teórica formulada, a seção 4.7.4 apresenta uma comparação dos métodos descritos e então é feita a escolha do método a ser utilizado.

## **4.3 EXTERNALIDADES**

### **4.3.1 Aspectos conceituais**

O termo Externalidades significa os custos ou benefícios que não estão incluídos nos preços (Bolognini, 1996). Podem ser chamado também de custos externos. É um conceito oriundo das ciências econômicas, mas que está sendo estendido para outras áreas, significando impactos, sejam eles positivos ou negativos, associados a determinado produto ou serviço, e que não são contabilizados no momento da venda.

Segundo Mankiw (2007), de maneira bem resumida, a externalidade é “o impacto das ações de uma pessoa sobre o bem-estar de outras que não tomam parte da ação”. Uma característica intrínseca das externalidades é a de serem bens/serviços que são valorizados pelas pessoas, mas não são negociados no mercado (Marques, 2008)

As externalidades podem ser classificadas em dois tipos, conforme Ferraz (2008) em:

- Externalidades positivas: onde o efeito de determinada atividade tem efeito indireto ou externo positivo, que tende a beneficiar outros grupos ou pessoas.
- Externalidades negativas: produzem efeito prejudicial a outras atividades ou outras pessoas, que não ligadas à atividade em questão.

Quando o custo social da ação excede o custo privado, ou seja, o custo marginal social é maior que o custo marginal, ocorre uma externalidade negativa. E quando os benefícios sociais são maiores que os benefícios privados, ocorrem o que se chama de externalidade positiva. A tabela 4.1 apresenta algumas externalidades positivas e negativas. Por exemplo, uma usina termoeletrica que utiliza combustível fóssil como fonte de energia. A queima desse combustível libera grandes quantidades de gases de efeito estufa, o que provoca o aquecimento global. Essa externalidade gerada se caracteriza como negativa. Considerando a mesma usina termoeletrica, pode-se dizer que a população beneficiada pela energia gerada por ela teve seu nível de qualidade de vida elevado com a chegada da energia elétrica, caracterizando-se assim como uma externalidade positiva.

Tabela 4.1 *Exemplos de externalidades positivas e negativas*

<b>Externalidades positivas</b>	<b>Externalidades negativas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Um progresso científico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Educação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trânsito congestionado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uma propriedade vizinha bem conservada, que faz subir o valor de mercado da nossa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subida nos prêmios de seguro devido ao consumo de álcool ou cigarro por parte dos outros participantes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhores hábitos ao volante, que reduzem os riscos de acidentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Festas barulhentas na vizinhança</li> </ul>

Uma economia baseada no sistema de mercado regula as relações entre os agentes econômicos através do sistema de preços para atingir o equilíbrio. Na presença de externalidades, este mecanismo não funciona e o equilíbrio não é atingido. Esse desequilíbrio causa ineficiência, o que faz com que os mercados aloquem de forma ineficiente os recursos disponíveis (Marques, 2008).

#### 4.3.2 Soluções para externalidades

As externalidades identificam um tipo de falha de mercado que normalmente ocorrem devido à inexistência de direitos de propriedade sobre os recursos. Os direitos de propriedade definem quem possui o direito de utilizar os recursos (Marques, 2008).

Para eliminar as externalidades pode-se adotar as soluções públicas ou soluções privadas. As soluções têm como objetivo elevar a alocação de recursos o mais próximo do ótimo social. A figura 4.1 mostra algumas soluções para eliminar as externalidades.



Figura 4.1 *Soluções para eliminar as externalidades*

As soluções privadas podem ocorrer através de códigos morais, das instituições filantrópicas ou através de interesses das partes envolvidas. As instituições filantrópicas são tipicamente fundadas para atender as externalidades, como por exemplo, fundações de proteção ao meio-ambiente que visam minimizar os impactos ambientais. Os mercados privados também solucionam os problemas com base no interesse próprio das partes e algumas vezes a solução passa a integrar diferentes tipos de negócios. Por exemplo, um apicultor e um agricultor (árvores de fruto). Se ignorar as externalidades positivas tem-se menos mel e menos fruto. Nesse mesmo exemplo pode-se ter um contrato que compense o apicultor e o agricultor das externalidades positivas.

Nem sempre é possível solucionar o problema das externalidades através de negociações e com isso, torna-se necessário recorrer aos tribunais, que concede os direitos de propriedade a uma das partes e obriga a outra a negociar com a parte detentora dos direitos.

O governo também procura resolver as questões das externalidades basicamente por meio de políticas de comando e controle e políticas baseada no mercado. Uma das soluções, baseada na política de comando e controle, é a regulamentação, em que o governo pode remediar uma externalidade proibindo ou requerendo certos tipos de comportamento, por exemplo, limitar a emissão de gases poluentes dos carros. As soluções públicas baseados no mercado são os impostos Pigouvianos e subsídios e licenças negociáveis. O imposto Pigouviano é um imposto utilizado pelo governo para corrigir os efeitos de uma externalidade negativa, de maneira que os agentes econômicos levem em consideração os efeitos externos de suas ações (internalização de uma externalidade). Outra solução é a utilização das licenças negociáveis, que limita a quantidade de licenças disponíveis para determinada atividade estabelecendo um limite de geração de externalidade, que pode ser negociado no mercado (Marques, 2008).

#### **4.3.3 O conceito de externalidades aplicado a Geração Distribuída**

Nos projetos de geração de energia elétrica, quase sempre são considerados apenas valores de custos de capital, de combustível, de operação e manutenção, entre outros, desconsiderando o valor dos custos ambientais (externalidades ambientais) no custo total do projeto. Assim, ocorre que os custos de geração obtidos para projetos que usam as tecnologias convencionais acabam sendo inferiores aos custos para produção de eletricidade a partir de fontes renováveis (Coelho, 1999).

Assim sendo, danos ambientais locais, como chuvas ácidas, ou globais, como o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio, representam riscos significativos para a saúde humana, mas os seus custos não estão incluídos na maioria das análises econômicas. Mesmo quando os projetos levam em conta os custos ambientais, são considerados apenas custos para reduzir os impactos (Coelho, 1999).

Porém a geração de energia elétrica não gera somente externalidades ambientais e apesar dos exemplos até aqui serem de externalidades negativas, temos também externalidades positivas relacionadas a geração de energia. Segundo Shayani e Oliveira (2008), podem-se citar quatro tipos de externalidades das fontes convencionais, mas que também se aplica a fontes alternativas, são elas: externalidade ambiental, social, política e econômica.

#### 4.3.3.1 Externalidades ambientais

É o mais conhecido tipo de externalidade na geração de energia. Conforme já foi dito, na maioria dos projetos seus valores de custo não são agregados ao custo da energia, e quando seu valor é considerado são apenas custos para reduzir seu impacto. Como exemplos, podemos citar:

- Emissão de gases poluentes para a atmosfera, no caso de geração termoeletrica, independente do combustível;
- O descarte inadequado de baterias do tipo chumbo-ácido, utilizadas como acumuladores de energia para a geração solar ou eólica, provocando a contaminação de rios e possíveis reservatórios de água utilizados pela comunidade local;
- Alagamentos de áreas cultiváveis e o impacto na vida de animais que vivem no rio ou riachos que são represados para a construção de uma PCH;
- O aumento de temperatura da água do rio ou riacho onde a água usada para esfriar os condensadores é despejada. Esse aumento de temperatura afeta os seres vivos que vivem naquele rio.

#### 4.3.3.2 Externalidades políticas

Externalidades políticas também ocorrem, as quais são muito difíceis de mensurar, porém afetam diretamente a economia dos países envolvidos (Shayani e Oliveira, 2008). Atualmente

no Brasil vive-se um impasse em relação à usina de Itaipu. Da energia gerada apenas 5 % é consumida pelo Paraguai e os outros 95 % restantes pelo Brasil. O excedente paraguaio de 45 %, por força de tratado, é vendido anualmente ao Brasil. Pelo tratado de Itaipu o Paraguai tem direito a 50% da energia gerada, entretanto, por não ter alcançado um relativo desenvolvimento industrial nesses últimos 30 anos, o Paraguai vê-se impedido de consumir a energia gerada em Itaipu, em contrapartida, transfere para o Brasil, mediante constante propaganda política de grande aceitação, a responsabilidade de seu descompasso econômico em relação aos seus parceiros latinos.

O Brasil paga US\$ 42,50 por MWh acrescidos US\$ 2,81 referentes a um adicional sob a modalidade “cessão de energia”, totalizando US\$ 45,31 por MWh, valor que tem se constituído a base discordante paraguaia, que segundo o governo paraguaio, estaria plenamente defasado em termos de mercado. Visto isso, o Paraguai não visa somente a atualização do preço MWh, mas ganhos capazes de compensar a larga defasagem de economia em relação aos seus parceiros do MERCOSUL (Neto, 2008).

A pretensão Paraguaia tem sido considerada inoportuna e irritante e, sob o ponto de vista bolivariano, agressiva ao curso das relações bilaterais com o Paraguai (Neto, 2008). Sendo assim, há a necessidade de um entendimento entre as partes envolvidas para encontrar soluções para o que tende a ser uma nova crise política.

#### 4.3.3.3 Externalidades econômicas

Existem custos diretos na geração de energia através de fontes convencionais e alternativa, os quais não estão agregados ao custo final por terem sido subsidiados, como por exemplo, obtenção de terrenos gratuitamente, isenções fiscais e ajudas diretas do governo (Shayani e Oliveira, 2008).

Outro exemplo é a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados – CCC-ISOL, que é administrada pela Eletrobrás e tem como finalidade precípua o reembolso de parte das despesas com combustíveis utilizados na geração de energia elétrica nas usinas localizadas em regiões isoladas eletricamente.

#### 4.3.3.4 Externalidades sociais

Independentemente do tipo de fonte de energia, toda geração de energia gera externalidades sociais. Pode-se citar como um impacto da geração de energia para uma determinada região, o aumento do Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, índice que é usado para medir o nível de desenvolvimento humano a partir de indicadores de educação, longevidade, e renda.

O fornecimento de energia elétrica para uma determinada comunidade, por exemplo, afeta diretamente todos os indicadores que compõem o IDH. Com a chegada da energia elétrica os adultos, que em comunidades isoladas são geralmente analfabetos, podem freqüentar uma sala de aula no período noturno, já que durante o dia eles trabalham. As atividades econômicas da comunidade podem melhorar significante, por exemplo, os agricultores poderão utilizar bombas para a irrigação das lavouras e com isso melhorar a produtividade. Como consequência do aumento da produtividade, tem-se o aumento da renda dos trabalhadores, pois mais empregos serão gerados visto que houve um aumento na produção.

A saúde também sofre um impacto na geração de energia, pois agora será possível a estocagem de medicamentos que necessitam de armazenamento em baixa temperatura, como por exemplo, a vacina. Também haverá um aumento na qualidade da alimentação, pois torna-se possível a estocagem de alimentos na geladeira, por exemplo.

#### 4.4 TIPOS DE ABORDAGENS DOS IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

Grandes progressos foram feitos nos últimos anos quando se fala de técnicas para análise dos impactos sociais, ambientais e econômicos causados pela produção e consumo de eletricidade (Ferraz, 2008). Estes progressos tiveram como resultado as abordagens quantitativa e qualitativa.

Os custos externos (externalidades) são o principal foco da abordagem quantitativa, uma vez que ela tenta valorar os custos das externalidades (negativa ou positiva) na geração de energia. Já a abordagem multicritério não somente tenta valorar, como também qualificar os efeitos da geração de energia na população e no meio ambiente. Portanto trata-se de uma abordagem quantitativa e/ou qualitativa.

Estas duas abordagens serão apresentadas nas próximas seções deste capítulo.

## **4.5 ABORDAGEM QUANTITATIVA DOS IMPACTOS EXTERNOS DA GERAÇÃO – CUSTOS EXTERNOS**

### **4.5.1 Introdução**

Conforme exposto anteriormente existem diversos custos que não são agregados aos custos da energia elétrica. A partir deste problema, com base no conceito de externalidade, desenvolveram-se diversos estudos sobre os custos externos da geração de energia elétrica, custos estes, que envolvem principalmente danos ao meio ambiente e à saúde causados pela geração de energia elétrica. Estes estudos visam quantificar os custos externos, sejam eles danos ou benefícios externos gerados pela atividade de geração de energia ( Ferraz, 2008).

No final dos anos 80 foi desenvolvida uma estrutura mais abrangente e científica para a quantificação dos custos externos da geração de energia, nela pode-se destacar duas principais metodologias para quantificar os custos externos: a *Top-down* e a *Bottom-up*.

### **4.5.2 Metodologia para quantificar os custos externos: *Top-Down* e *Bottom-up***

Na metodologia *top-down* são feitas estimativas para mensurar os danos causados por um determinado efeito externo, podendo ser feitas estimativas em nível regional ou nacional. Depois de estimado um valor total para os danos causados, relaciona-se este valor com o valor total de emissões de um determinado gás, por exemplo, obtendo-se assim o custo por unidade de emissão. Esta metodologia depende muito da qualidade das informações e da forma como isso é feito, além da análise se tornar mais genérica impedindo assim um detalhamento maior do objeto em estudo (Prado, 2007). Para um melhor entendimento, considere uma região que é atendida por geração termelétrica, em que o combustível usado é o carvão mineral, cuja queima produz elevadas quantidades de  $SO_2$ . Para se obter o custo externo por unidade emitida de  $SO_2$ , estima-se o custo externo total causado pela emissão de  $SO_2$  na região (como danos ao ecossistema, corrosão de construções causadas pelas chuvas ácidas, problemas respiratórios e outros) e divide-se pelo valor total de emissão de  $SO_2$  na região.

Na metodologia *bottom-up* utiliza-se dados específicos da tecnologia de conversão, por exemplo, tratando-se de uma geração termelétrica que usa como combustível o carvão mineral, serão usados dados específicos dos poluentes gerados, por exemplo, o  $SO_2$ . Pode-se

dizer que esta metodologia percorre o caminho oposto, que se inicia na emissão local de um poluente e estimam-se os danos marginais causados, através do uso de modelos de dispersão, funções de resposta à exposição ao poluente e a multiplicação dos impactos por seu valor monetário (Ferraz, 2008). O maior problema deste modelo é a quantidade massiva de dados para determinar os efeitos externos e na ausência de informações os impactos não são avaliados o que impossibilita uma visão completa do problema (Prado, 2007). Uma aplicação da metodologia *bottom-up* é a metodologia *Impact Pathway Approach*, que também segue um caminho mais lógico de quantificação das externalidades (ExternE, 2005). Essas análises dos custos externos são de natureza local, e, portanto deve ser feita uma análise para cada região a ser analisada.

#### 4.5.3 *Impact Pathway Approach*

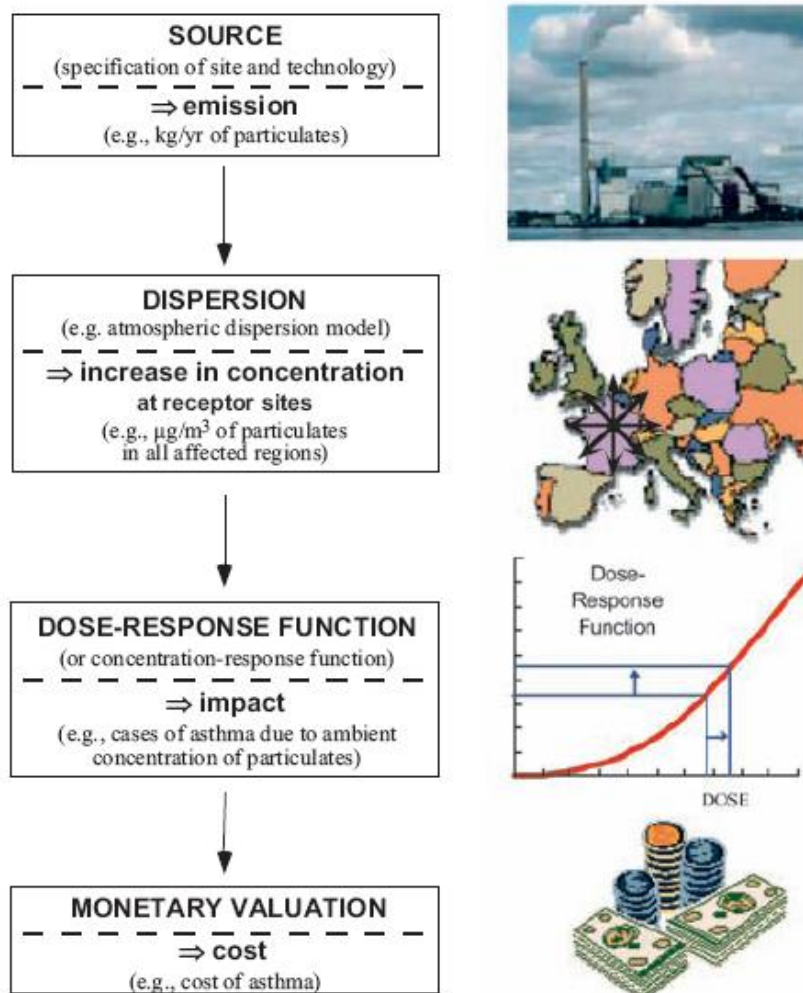
A avaliação IPA é uma abordagem *bottom-up* na quais benefícios ambientais e custos são estimados seguindo o caminho da fonte de emissão via qualidade do ar, do solo e da água até os impactos físicos, antes de serem expressos em benefícios monetários e custos.

Segundo o estudo ExternE o IPA se divide em quatro etapas, que estão mostras abaixo:

- 1) **Emissão** – Nesta etapa deve-se ter um bom conhecimento sobre os poluentes produzidos pela fonte de energia para a correta coleta dos dados dos poluentes em questão.
- 2) **Dispersão** – cálculo do aumento da concentração dos poluentes nas regiões afetadas utilizando modelos computacionais (Ferraz, 2008), encontrando valores em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  das partículas em questão, por exemplo. Não é somente a poluição atmosférica que é calculada, mas também a poluição na água e no solo.
- 3) **Impacto** – cálculo da exposição cumulativa ao poluente, e em seguida calcula-se o impacto da exposição usando funções dose-resposta (Ferraz, 2008). Um exemplo é o impacto causado pelos metais pesados, pois os mesmos se acumulam no solo e na água, onde são criados os animais e retirada a água para a alimentação humana. Sendo assim a saúde humana sofre severos impactos devido ao acúmulo de metais pesados, proveniente das fontes de alimentos, no organismo.
- 4) **Valoração monetária** – é a multiplicação dos impactos pelos valores monetários estimados (Ferraz, 2008). Para alguns impactos, como danos a produção agrícola e materiais de construção, podem ter os valores estimados pelo preço de mercado. Porém,

para produtos não negociáveis, como por exemplo, danos à saúde humana, pode-se estimar o valor como sendo o gasto de um indivíduo para tratar o dano na saúde sofrido por ele.

A figura 4.2 ilustra bem as quatro etapas descritas anteriormente.



**Fonte:** EXTERNE. *externalities of energy*. Metodology 2005 Update. Stuttgart, 2005.

Figura 4.2 Etapas a serem seguidas pela abordagem bottom-up

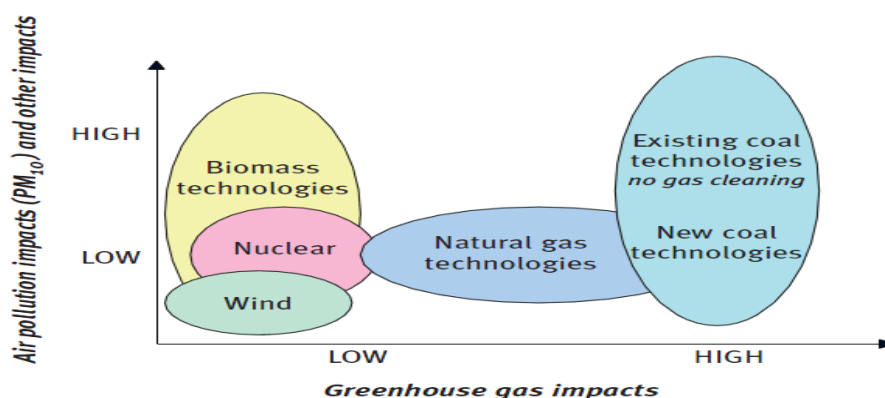
#### 4.5.4 Comparação dos custos externos por kWh para a geração de energia por carvão, gás, reação nuclear e energia eólica

Esta comparação é o resultado do estudo Externe, publicado em 2005, e exemplifica bem os custos externos associados a geração de energia várias vezes citados no trabalho.

Em geral, as tecnologias que utilizam os ventos como fonte de energia são as mais “limpas” no que diz respeito aos poluentes clássicos, como o  $SO_2$ ,  $NO_x$  e partículas de poeiras, e também se levarmos em consideração os gases de efeito estufa. Porém esta tecnologia não pode ser aplicada em qualquer lugar, como outras tecnologias, o local de possuir um potencial eólico mínimo para a viabilidade do projeto. A energia nuclear gera baixos custos externos, incluindo a probabilidade de acidentes, que é muito baixa, que tem consequências desastrosas. Essa é também uma tecnologia com baixa emissão de gases de efeito estufa.

Podemos citar também, a geração de energia através de biomassa, fonte essa que dispõe de várias tecnologias. Os custos externos para essa fonte dependem muito do tipo de biomassa utilizada para a geração. Essa fonte também gera pouca emissão de gases de efeito estufa. O carvão é a fonte de energia que mais produz gases de efeito estufa e poluentes clássicos, porém novas tecnologias permitiram a redução de emissão de alguns poluentes.

A figura abaixo ilustra bem o peso dos impactos de poluição do ar e da emissão de gases de efeito estufa das fontes de energia citadas.



**Fonte:** EXTERNE. *externalities of energy*. Metodology 2005 Update. Stuttgart, 2005.

Figura 4.3 Impactos da poluição do ar e dos gases de efeito estufa

A metodologia IPA aplica-se a uma região específica, pode-se usar como exemplo outro resultado do estudo ExternE que calculou os custos externos da geração de energia na Alemanha e está representado pela figura 4.4.

<b>QUANTIFIED MARGINAL EXTERNAL COSTS OF ELECTRICITY PRODUCTION IN GERMANY<sup>2</sup></b> <b>(IN € CENT PER KWH)</b>							
	Coal	Lignite	Gas	Nuclear	PV	Wind	Hydro
<i>Damage costs</i>							
Noise	0	0	0	0	0	0.005	0
Health	0.73	0.99	0.34	0.17	0.45	0.072	0.051
Material	0.015	0.020	0.007	0.002	0.012	0.002	0.001
Crops	0	0	0	0.0008	0	0.0007	0.0002
Total	0.75	1.01	0.35	0.17	0.46	0.08	0.05
<i>Avoidance costs</i>							
Ecosystems	0.20	0.78	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03
Global Warming	1.60	2.00	0.73	0.03	0.33	0.04	0.03

**Fonte:** EXTERNE. *externalities of energy*. Metodology 2005 Update. Stuttgart, 2005.

Figura 4.4 Custos externos da produção de eletricidade na Alemanha.

## 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE EXTERNALIDADES

Os diversos estudos sobre externalidades têm como objetivo a quantificação dos custos externos, que no nosso caso, são os custos externos gerados pela geração de energia elétrica. Esta quantificação tenta resolver um problema de ineficiência de mercado, já que os custos da energia elétrica, quase nunca levam em consideração os custos externos, e quando levam, incluem somente taxas cobradas pelo governo como forma de diminuir essa ineficiência.

Sendo assim, com a inclusão dos custos externos nos valores dos projetos de geração de energia, tem-se o real preço do custo da energia elétrica para a sociedade, preço esse em que estão incluídos os impactos causados pela geração de energia.

## 4.7 ABORDAGEM MULTICRITÉRIO DOS IMPACTOS DA GERAÇÃO

### 4.7.1 Considerações iniciais

Existem basicamente duas formas de abordar os impactos da geração de energia elétrica, a abordagem quantitativa e a multicritério. Na seção anterior foi visto que a abordagem quantitativa tem como objetivo a valoração dos custos externos totais dos impactos causados pela geração de energia. Já a abordagem multicritério não tenta valorar os impactos em termos monetários, e sim tenta agregar estes impactos ou categorias deles em critérios (Ferraz, 2008).

Essas abordagens foram desenvolvidas para problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos, e é por isso, que diante de situações onde estão envolvidas muitas variáveis associadas a incertezas, que o método de abordagem multicritério se mostra mais adequado que o método apenas quantitativo. Elas têm como base o princípio de que o conhecimento e a experiência das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto as informações utilizadas para a tomada de decisão.

Os métodos multicritérios permitem avaliar critérios que não podem ser transformados em valores monetários ou são muito difíceis de serem transformados, como por exemplo, a sinergia que a fonte de energia tem com a comunidade em que será instalada. Sua aplicação é apropriada para comparar alternativas de projetos, políticas e cursos de ações, e também para analisar projetos específicos, identificando seu de impacto global, as ações mais eficazes e as que devem ser modificadas.

#### **4.7.2 Estrutura da análise multicritério**

Existem vários métodos de análise multicritério diferentes, porém podem ser identificados elementos estruturais comuns entre eles (Ferraz, 2008). Uma das principais dificuldades da análise multicritério certamente são a escolha de ações alternativas e a escolha dos critérios que devem ser valorados. Visto isso, foram criadas várias estruturas para se seguir um caminho consistente e sistemático para essas escolhas. Segundo o estudo ExternE-Pol (2004) a estrutura mais conveniente e compreensiva é a lista de checagem CAUSE (*Criteira, Alternatives, Uncertainty, Stakeholders, Environment*).

**Critérios** – representam aspectos, considerados adequados pelo tomador de decisão, que serão utilizados para a comparação das alternativas. Existem duas principais formas para determinar as escolhas dos critérios, que também são os dois caminhos para a construção do problema multicritério: A abordagem top-down e a bottom-up, que foram apresentadas anteriormente. A abordagem top-down utiliza uma estrutura hierárquica onde são definidos objetivos principais que se segmentam até critérios específicos; e a bottom-up, onde os critérios são escolhidos por um processo sistemático e depois são agrupados em categorias mais amplas. Em ambas as abordagens a escolha coerente do critério deve apresentar as seguintes propriedades:

- **Relevância:** os critérios devem estar ligados a objetivos fundamentais dos tomadores de decisão que lhes permitam especificar as suas preferências.
- **Clareza:** O conceito por trás de cada critério deve ser claro e deve haver uma visão comum sobre a melhor direção do desempenho da alternativa. Por exemplo, um critério definido foi a emissão de gases de efeito estufa, com isso todos os tomadores de decisão devem como ponto de vista em comum que quantos menos gases de efeito estufa a fonte de energia emitir, melhor é a alternativa.
- **Abrangência:** a escolha dos critérios deve abranger todos os importantes aspectos do problema considerado, devendo também serem concisos e operacionais (ExternE-Pol, 2004).
- **Mensurabilidade:** o desempenho da alternativa deve poder ser expresso quantitativamente ou qualitativamente em uma escala adequada.
- **Não-redundância:** nenhum critério deve abranger o mesmo conceito que o outro, para evitar redundância e a super valorização de um critério (Ferraz, 2008).

**Alternativas** - As alternativas são os objetos da análise multicritério. Usualmente são oferecidas como dados ou podem resultar de uma sistemática exploração dos objetivos perseguidos na decisão da situação considerada, exploração essa que mostra interessantes alternativas que não eram óbvias ou aparentes a primeira vista. É importante gerar alternativas criativas com os pensamentos centrados nos valores das pessoas envolvidas na causa. Em ocasiões em que os tomadores de decisões se deparam com um número grande de alternativas, deve-se identificar um conjunto administrável de escolhas de alternativas boas, interessantes e representativas (ExternE-Pol, 2004).

**Tomadores de decisão** - Os tomadores de decisão são aqueles a quem foram formalmente ou moralmente delegados o poder de decisão, podendo intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação (Boas, 2006). Estão envolvidos no processo decisório onde é identificada a natureza do problema e são os responsáveis por conduzir os procedimentos às direções preferidas (Ferraz, 2008).

**Incertezas** - As incertezas estão inseridas no processo de decisão e podem ser tanto internas quanto externas (Ferraz, 2008). A principal causa das incertezas é o conhecimento limitado sobre os parâmetros externos que podem influenciar o desempenho das ações consideradas. Este tipo de incerteza pode ser tratada através da construção de cenários para os diferentes valores possíveis dos parâmetros que geram as incertezas (ExternE-Pol, 2004). Outra causa

são as incertezas decorrentes das hesitações na hora da escolha de alternativas e critérios pelos decisores.

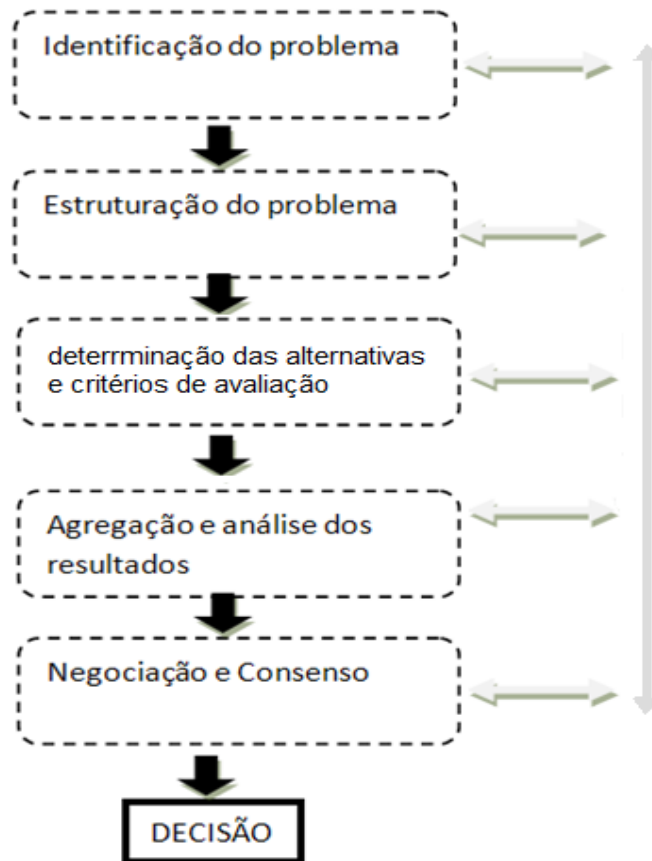
**Ambiente** - refere-se a todos os parâmetros que definem o contexto da decisão. Aspectos econômicos, culturais, legislativos e ambientais, têm bastante influência no processo decisório, com isso eles podem ampliar ou restringir o âmbito da análise e também impor restrições no processo decisório.

#### 4.7.3 Procedimentos da análise multicritério

A análise multicritérios é desenvolvida em etapas, que de modo geral, será representada aqui de acordo com o estudo ExternE-Pol (2004), representado pelo diagrama da figura 4.5. Esta estrutura permite a construção de uma análise multicritério mais coerente. Esta estrutura será detalhada a seguir:

- **Identificação do problema:** O primeiro passo é a identificação do problema em questão, para com isso chegar a um acordo sobre o foco e o âmbito da análise, e reconhecer os aspectos externos físicos, legislativos, tempo e recursos disponíveis.
- **Estruturação do problema:** Nesta etapa deve-se escolher entre os diversos tipos de estruturação, que como foi apresentado, a estrutura conveniente é a lista de checagem CAUSE.
- **Determinação das alternativas e critérios de avaliação:** Os atores envolvidos na tomada de decisão devem constituir um conjunto de alternativas que atendam ao problema colocado. Nesta etapa, também deve ocorrer a elaboração de um conjunto de critérios que permita avaliar os efeitos causados pela ação ao meio ambiente por exemplo. Esta é uma etapa longa, com sucessivas aproximações entre os objetivos desejados e a possibilidade de atendimento com os recursos financeiros, tempo e conhecimentos disponíveis (Boas, 2006).
- **Agregação e análise dos resultados:** esta etapa os pontos das alternativas com as informações preferenciais para chegar a uma solução final que leva em consideração todos os critérios de avaliação. Com a solução em mãos os tomadores de decisão a revisão para, assim constatar se a solução foi satisfatória. Essa revisão acontece pois um decisor pode achar que houve um erro em algum peso atribuído por ele a um ou mais critérios.

- **Negociação e consenso:** quando existem vários tomadores de decisão podem ocorrer desacordos em relação à solução proposta. Uma discussão estruturada e processo de negociação, através da revisão de alguns elementos estruturais e aspectos preferenciais, ou até mesmo métodos computacionais, para isso chegarem a um acordo sobre a melhor solução a ser proposta.



**Fonte:** Aplicativo para a avaliação multicritério de projetos de geração para comunidades isoladas. Ferraz, Pedro George Prescott, 2008. (modificado)

Figura 4.5 *Etapas da análise multicritério*

#### 4.7.4 Formas de eleger e agrupar preferências

Existem diferentes métodos multicritérios, no entanto as suas diferenças concentram principalmente na forma de eleger preferências e agregá-las (Ferraz, 2008). Segundo o estudo ExternE-Pol (2004), os métodos multicritérios podem ser divididos em dois grandes grupos:

- **Teoria do Valor Multi-atributo (TVMA):** A TVMA pode ser usado para resolver problemas que envolvem um conjunto finito e discreto de alternativas devem ser avaliadas com base nos objetivos conflitantes. Para um determinado objetivo, um ou

mais atributos ou critérios diferentes são usados para mensurar o desempenho. A TVMA é uma técnica compensatória. Isso significa que o método permite a compensação de um critério que tem fraco desempenho por outro critério de bom desempenho. A TVMA objetiva associar um único número ou valor que representa cada alternativa de forma geral, levando todos os critérios em conta ( Ferraz, 2008). Para começar funções de valores parciais são definidas para cada critério, no intervalo de 0 a 1. A mais simples e o mais comumente modelo de agregação usada é um modelo aditivo:

$$V(a) = \sum_i w_i \cdot v_i(a) \quad (4.1)$$

Onde,  $V(a)$  é o valor total associado a cada alternativa  $a$ , e  $w_i$  é o peso atribuído a cada critério.

- **Método *outranking*** – Este método começa com a comparação em pares das alternativas para cada critério, e é por isso que a relação *outranking* é definida como sendo binária. Ela compara os argumentos favoráveis e contrários à hipótese de que a alternativa “a” é no mínimo tão boa quanto a alternativa “b”, isso equivale a dizer que “a” não é pior que “b”. Os valores das preferências entre os pares de alternativas comparados são determinados numa escala normalizada que vai de 0 a 1. Neste método, os pesos são usados para combinar as relações de preferências em vez de pontuação de alternativas ( ExternE-Pol, 2004).

#### 4.7.5 Métodos para eleger pesos

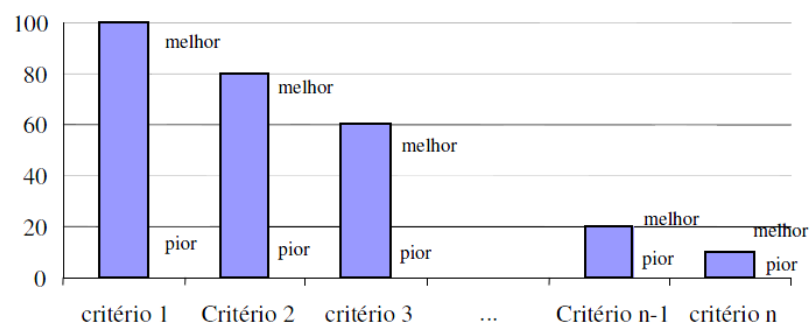
Os métodos para eleger os pesos são usualmente divididos em duas categorias: compensatória e não-compensatória. Métodos compensatórios são aqueles que possibilitam a compensação de um critério de fraco desempenho por outro critério de bom desempenho, explicitados na forma de valores (Ferraz, 2008). Por exemplo, se considerarmos uma geração que utiliza painéis fotovoltaicos, e escolhermos como critério a sinergia da fonte com a comunidade, teremos um peso muito baixo para este critério, porém ele pode ser compensado pelo critério de emissão de gases de efeitos estufa, que tem um peso alto. Os métodos compensatórios mais usados para eleger pesos são os seguintes (ExternE-Pol, 2008):

## MÉTODO TRADE-OFF

É um método baseado numa base teórica rígida e revela o dilema dos tomadores de decisão por meio de uma comparação de critérios em pares. De acordo com o estudo ExternE (2004), em cada par duas alternativas hipotéticas são criadas para apenas estes dois critérios. A primeira alternativa tem a melhor performance em um critério e a pior no outro, enquanto o desempenho oposto é assumido para a segunda alternativa. É pedido aos tomadores de decisão que escolham uma das duas alternativas, sendo assim, suas escolhas indicam o critério mais importante. No segundo passo, pede-se a eles para definirem o quanto estão dispostos a abrir mão desse critério para que possam levar o outro a um nível melhor (ExternE-Pol, 2004). Estas respostas revelam diretamente a relação de compromisso entre os critérios (Ferraz, 2008).

## MÉTODO SWING

O método SWING começa com a construção de dois cenários hipotéticos extremos, W e B, o primeiro apresenta o pior desempenho em todos os critérios e o segundo corresponde ao melhor desempenho. Assume-se então que os tomadores de decisão têm preferência pelo cenário W. O processo de determinação das preferências consiste em pedir aos tomadores de decisão que analisem cuidadosamente potenciais ganhos de mudança do cenário W para o B e em seguida quais critérios eles querem levar ao cenário B primeiro. Assumindo que esta primeira mudança tem um valor de 100 unidades em uma escala hipotética, os tomadores de decisão são solicitados a atribuir um valor menor que 100 unidades para o segundo critério movido para B, depois para o terceiro e assim por diante até o último critério movido para B. Com isso temos a definição dos pesos de cada critério (ExternE-Pol, 2004). O gráfico 4.1 representa a atribuição dos pesos no método swing.



**Fonte:** Aplicativo para a avaliação multicritério de projetos de geração para comunidades isoladas. Ferraz, Pedro George Prescott, 2008. (modificado)

Gráfico 4.1 Representação da atribuição de pesos no método swing.

## ***RESISTANCE TO CHANGE***

Esse método é baseado na Teoria de Construção Pessoal e recentemente foi adaptado para estimar a importância relativa dos critérios no método *outranking*. Neste método assumem-se dois diferentes pólos de desempenho, um desejável e outro indesejável. Depois os tomadores de decisão devem comparar par a par todas as combinações possíveis envolvendo todos os critérios e nessa comparação devem escolher um dos dois critérios para movê-lo para o lado indesejável. Com isso os critérios serão classificados de acordo com o número de vezes que ele resistiu a mudança para o pólo indesejável. Logo, o critério que resistiu mais vezes a mudança quando comparado com todos os outros, será o critério de maior relevância e o que resistiu menos vezes será o de menor importância (ExternE-Pol, 2004).

## ***MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique)***

MACBETH é um método que integra o processo de escolha do peso como parte essencial da avaliação geral (Ferraz, 2008). Este método compreende elementos do método *SWING* e *TRADE-OFF*, enquanto as comparações incluem pontuações caracterizadas por serem neutras ou positivas. Trata-se de uma abordagem que requer somente julgamentos qualitativos sobre diferenças de valor para ajudar um indivíduo ou um grupo quantificar a atratividade relativa das opções. O MACBETH mede o grau de preferência de um tomador de decisão sobre um conjunto de alternativas, dessa forma, permite que se verifique inconsistência nos juízos de valores, possibilitando a revisão (Boas, 2006).

## **ESTIMATIVA HOLÍSTICA**

Neste método é pedido aos decisores que ordenem as alternativas analisadas através da atribuição de notas a todos os critérios escolhidos. As preferências holísticas são então encontradas por meio de uma análise de regressão estatística para encontrar funções de valor único e os pesos correspondentes a cada critério. Este método é muito conveniente para os decisores, já que requer a simples informação de preferências das alternativas. Entretanto pessoas têm a tendência de ignorar ou interpretar erroneamente muitos atributos, mesmo aqueles de maior importância na análise, quando estão ordenando suas preferências quanto as alternativas, e com isso tratando-os de forma inconsistente (ExternE-Pol, 2004).

## MÉTODO AHP (*Analitic Hierarchy Process*)

No Método AHP cada decisor deve fazer uma comparação par a par de todos os critérios, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os critérios comparados. A matriz quadrada gerada será uma matriz quadrada recíproca positiva, conhecida também como matriz dominante. Nessa matriz será expresso o número de vezes em que um critério domina ou é dominado pelo outro.

A escala predefinida citada anteriormente é a escala proposta por Saaty, denominada de Escala Fundamental de Saaty. Nesta escala, a nota atribuída aos critérios quando comparados par a par varia de 1 a 9. A tabela 4.2 mostra com maior detalhe a escala fundamental de Saaty.

*Tabela 4.2 Escala Fundamental de Saaty.*

1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

**Fonte:** Saaty, 2001 (adaptado)

### 4.7.6 Comparação entre os métodos multicritérios

Os métodos multicritérios apresentados na seção anterior diferem em relação ao número de propriedades que podem influenciar significativamente sua capacidade de traduzir as preferências humanas em valores numéricos (ExternE-Pol, 2004). São elas:

- Simplicidade e transparência;
- Graus de inconsistência na articulação de preferências; e
- Habilidade em lidar com um pequeno ou grande número de critérios;

Uma tabela muito interessante usada para comparar os métodos multicritérios apresentados aqui, foi elaborada por Ferraz (2008). Essa tabela sintetiza muito bem a comparação das propriedades dos métodos multicritérios.

Tabela 4.3 *Comparação entre os métodos baseada no estudo ExternE-Pol 2004.*

<b>Método multicritério</b>	<b>Simplicidade</b>	<b>Inconsistência na articulação das preferências</b>	<b>Habilidade de lidar com grande número de critérios</b>
<b>TRADE-OFF</b>	Complicado	Alta inconsistência (pode parecer confuso)	Dificuldade de lidar com muitos critérios
<b>SWING</b>	Simples	De pequena a média inconsistência	Grande facilidade relativa em lidar com muitos critérios
<b>RESISTANCE TO CHANGE</b>	Complicado	Pequena inconsistência	Dificuldade de lidar com muitos critérios
<b>MACBETH</b>	Complicado	Alta inconsistência (pode parecer confuso)	Dificuldade de lidar com muitos critérios
<b>Estimativa Holística</b>	O mais simples	Alta inconsistência (tendência de haver negligência na avaliação)	Facilidade acompanhada de probabilidade crescente de inconsistências
<b>AHP</b>	Média simplicidade	Baixa inconsistência	Dificuldade de lidar com muitos critérios

**Fonte:** Aplicativo para a avaliação multicritério de projetos de geração para comunidades isoladas. Ferraz, Pedro George Prescott, 2008.

O método que apresenta mais vantagens é o método Swing, pois é o mais simples, transparente, é o que gera menos inconsistências e é aplicável a praticamente a qualquer número de critérios ( ExternE-Pol, 2004).

#### **4.7.7 Considerações finais sobre abordagem multicritério**

A abordagem multicritério é o método mais adequado quando tratar de problemas que incluem aspectos qualitativos e/ou quantitativos. Para o melhor entendimento dessa abordagem foram apresentados seus aspectos estruturais, bem como sua construção. Também foram apresentadas breves descrições dos principais métodos da abordagem multicritério, construindo assim toda uma base teórica a respeito desse critério.

### **4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo foi apresentado o conceito de externalidade e seus dois principais tipos: externalidade negativa e positiva. Vimos que as externalidades causam ineficiências no mercado quando não são levadas em consideração e que para esse caso existem dois tipos de solução: solução privada e pública. Vimos também os tipos de externalidades que a geração de energia pode causar.

Na seção 4.4 vimos aspectos básicos da abordagem quantitativa como a metodologia *Impact Pathway Approach* e alguns resultados obtidos pelo estudo Externe (2005).

Na seção 4.6 foram apresentados elementos estruturais e os procedimentos para se efetuar uma análise multicritério. Também foram apresentadas breves descrições dos métodos de análise multicritério. Com isso foi possível a comparação dos métodos e o método que se mostrou mais adequado foi o *Swing*.

Através do estudo deste capítulo foi possível concluir que a abordagem multicritério se mostrou mais adequada para a determinação da fonte de energia para uma comunidade, visto que nessa avaliação entrarão critérios subjetivos, já que alguns critérios sociais são de difícil valoração, como por exemplo, o impacto do fornecimento de energia na qualidade de vida. E como na abordagem quantitativa temos somente critérios objetivos essa abordagem se mostrou inadequada ao problema proposto pelo trabalho.

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo irá apresentar a metodologia multicritério utilizada na construção do aplicativo. Dentro de toda a temática que foi vista no capítulo anterior, será seguida uma cronologia, buscando identificar o problema e eleger os diversos critérios. Dessa maneira, dependendo do tipo de geração a ser instalada em uma comunidade isolada, serão avaliados os diversos impactos que estarão vinculados a esta geração, antes da escolha da melhor opção.

O grande desafio é inserir critérios que hoje não são levados em consideração no momento da escolha do projeto, quebrando o paradigma de se considerarem apenas os aspectos técnico-econômicos como únicos fatores de avaliação. Outra dificuldade em inserir novos critérios – sociais e ambientais – está em valorar, principalmente o primeiro.

No início do capítulo será apresentado um diagnóstico geral do problema, com a apresentação dos critérios. Dentro de cada um, serão considerados diversos aspectos, apresentando suas características e a maneira como serão avaliados, bem como, as classificações a que pertencem, se eliminatórios ou classificatórios, ou ainda, se objetivos ou subjetivos.

No segundo momento serão definidos os pesos dos critérios, para em seguida agregá-los. Por fim, serão discutidas as atribuições da empresa responsável pelo certame e dos profissionais responsáveis pela avaliação e decisão.

### **5.2 ESTRUTURA GERAL DO PROBLEMA**

Antes de discutir a metodologia, será apresentado na tabela abaixo um resumo das etapas a serem seguidas, tanto para a definição dos critérios quanto para a estrutura do aplicativo. Este tópico busca nortear a execução final do aplicativo multicritério, seguindo as premissas discutidas no capítulo anterior.

Tabela 5.1 *Passos a serem seguidos no desenvolvimento da metodologia*

ETAPA	ATIVIDADE
<b>Definir os critérios</b>	Consiste em definir os critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais, apresentando os diversos aspectos de cada um.
<b>Classificar e avaliar os critérios</b>	Definidos os critérios, cada um será enquadrado como classificatório e/ou eliminatório, e avaliado, se objetivo ou subjetivo.
<b>Definir os pesos dos critérios</b>	Aqui serão discutidas as duas formas de definir os pesos dos critérios utilizados no aplicativo, que serão os métodos Swing e o ' <i>Analityc Hierarchy Process</i> '(AHP).
<b>Aplicativo Multicritério</b>	Será apresentado o aplicativo multicritério.
<b>Instituição Avaliadora</b>	Serão definidas todas as responsabilidades da instituição avaliadora.
<b>Especialistas/Decisores</b>	Serão definidas todas as responsabilidades dos Especialistas/Decisores, responsáveis pela seleção.

### 5.3 TIPOS DE CRITÉRIOS E DEFINIÇÕES

O problema a ser resolvido visa avaliar a melhor proposta de geração por meio do estudo de quatro grandes tipos de critérios, que são eles:

**1) Técnicos:** Os critérios técnicos são aqueles que estão relacionados diretamente ao tipo de tecnologia que será utilizada. Dessa maneira, temos os seguintes aspectos como indicadores:

**a) Disponibilidade e Confiabilidade do Sistema:** Este critério busca avaliar a funcionalidade da tecnologia escolhida, ou seja, quanto mais confiável e disponível for a tecnologia, maior será a avaliação deste critério. Este é um critério de natureza subjetiva. As características que devem ser levadas em consideração são:

- Maturidade: capacidade de evitar falhas provenientes de algum defeito no produto tecnológico;
- Tolerâncias as falhas: capacidade de manter um nível de desempenho estabelecido em caso de defeito;
- Recuperabilidade: capacidade de restabelecer o desempenho especificado em caso de defeito;
- Margem de segurança: avalia se o sistema trabalha com uma margem de segurança em relação a demanda requerida. Quanto maior essa margem melhor.
- Comportamento em relação ao tempo: capacidade de atender o fornecimento de energia sem necessidade de espera ou de armazenamento prévio;
- Os sistemas que ainda não possuem tecnologias consolidadas devem ser penalizados.

**b) Manutenção:** devido às grandes distâncias em que normalmente se encontram as comunidades isoladas, é imprescindível que a modalidade de geração escolhida requeira o mínimo possível de manutenção e que esta seja a menos complexa possível. Este é um critério subjetivo. Assim:

- Quanto menor a necessidade de manutenção e quanto mais prática de ser realizada, melhor será avaliado este critério.
- Será avaliada também a possibilidade dessa manutenção ser realizada pelos próprios moradores.

**c) Operação:** este critério avalia o funcionamento do sistema sem a necessidade de interferências. Assim serão observados os seguintes aspectos:

- Quanto menor for a complexidade de operação do sistema, melhor será classificado o sistema;
- Quanto menor for à frequência de intervenção no sistema, melhor classificado o sistema.

- d) Capacidade ofertada de energia:** neste critério subjetivo, busca-se verificar a capacidade de suprir carga pelo sistema caso haja um aumento na demanda. Assim quanto melhor for essa capacidades, melhor será classificada a modalidade de geração.
- e) Necessidade de gerenciamento da carga:** este item está relacionado a necessidade de se gerenciar a carga quando da utilização da energia elétrica pelos moradores, ou seja, deverá ser observado se a modalidade de geração que está sendo avaliada, requer cuidados no que tange a quantidade de equipamentos que estão sendo ligados a rede para que o sistema não entre em colapso. Assim quanto mais forem esses cuidados pior será a avaliação para este critério. Este é um critério subjetivo.
- f) Eficiência:** representa a compatibilidade entre a quantidade de recursos utilizada e o nível de desempenho requerido pelo produto tecnológico sob condições estabelecidas. Algumas características a serem consideradas são:
- Comportamento em relação aos recursos: capacidade de usar quantidade e tipos de recursos adequados sob condições específicas;
  - Conformidade relativa à eficiência: capacidade de aderir às normas, convenções, legislações e prescrições similares relativas à eficiência.
- g) Vida Útil:** neste aspecto será considerada a vida útil da modalidade de geração que está concorrendo. Assim, quanto menor a vida útil, pior será avaliado este critério. Neste caso será subjetivo.

**2) Econômicos:** Os critérios considerados aqui são aqueles relacionados a custo monetário.

- a) Custo de geração:** representa um indicador objetivo de eficiência econômica do projeto, dado em R\$/kWh;
- b) Custo de implantação:** representa o custo com a implantação total do sistema, aqui estão incluídos desde os gastos com pesquisas até a implantação final, será avaliado monetariamente. Este é um critério objetivo.
- c) Custo de operação e manutenção (O & M):** representa os custos de operação e manutenção do sistema. Este é um critério objetivo.

**3) Sociais:** Essa modalidade avalia os efeitos sentidos pela comunidade em âmbito social, desse modo temos:

- a) **Capacidade de geração de emprego:** aqui serão avaliados os postos de emprego criados diretamente ou indiretamente e que estejam relacionados a atividade de geração de energia, como por exemplo, a criação de postos de trabalho em virtude da necessidade do transporte dos rejeitos da cana-de-açúcar. Assim, se a modalidade considerada, for capaz de criar emprego em virtude da atividade de geração de energia, melhor será avaliada. Este critério será avaliado objetivamente.
- b) **Grau de instrução dos moradores:** devido à baixa escolaridade e a falta de especialização que normalmente apresentam os moradores das comunidades isoladas, é imprescindível que a modalidade escolhida seja de fácil compreensão e que possa funcionar de maneira autônoma, sem que haja interferência dos moradores. Assim melhor será avaliado este critério quanto menor for a necessidade de gerenciamento por parte da comunidade e o quanto simples seja sua operação. É um critério essencialmente subjetivo.
- c) **Impactos na saúde:** aqui estão os efeitos sentidos sobre a saúde das comunidades devido a modalidade de geração escolhida. Alguns aspectos que deveram ser observados são:
  - As gerações de energia que tragam problemas diretamente a saúde dos moradores, como os provocados pela emissão de gases poluentes, bem como, distúrbios provocados por ruídos audíveis que provocam sensação de insegurança, deverão ser apenadas e classificadas com menções menores;
  - O descarte inadequado de baterias do tipo chumbo-ácido, utilizadas como acumuladores de energia para a geração solar ou eólica, provocando a contaminação de rios e reservatórios de água, deverá ser apenada.
  - Aqui também deverão ser apenadas as modalidades de geração que tragam riscos de acidentes de trabalho ou riscos ocupacionais em virtude da operação do sistema;
  - Por fim, deverão ser considerados os impactos sobre a saúde ocasionados de maneira indireta, como são os problemas psicológicos sentidos pela comunidade, devido os impactos sobre os animais domésticos ou a perda de locais de descanso e lazer, que

são inundados ou ocupados pelo pelas áreas de produção para a biomassa, por exemplo.

**d) Impactos no IDH:** O índice de desenvolvimento humano é um indicativo que mede o desempenho geral de um país – ou de uma coletividade – em relação as dimensões econômicas, de saúde e educação, atribuindo um valor de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1 mais desenvolvida será a coletividade nestes aspectos. Este é um critério subjetivo e quanto maior o impacto no índice maior será sua menção;

**e) Qualidade de vida:** Este é um critério subjetivo e busca avaliar os impactos sentidos na qualidade de vida da comunidade. Uma boa qualidade de vida está relacionada à excelente estado físico e mental, dessa maneira, qualquer aspecto que afete estes estados, deverão ser considerados durante a avaliação deste critério. É um aspecto bem genérico e engloba algumas características discutidas anteriormente. Afim de nortear o avaliador, abaixo segue algumas características a serem consideradas:

- A modalidade de energia escolhida propicia de alguma forma que haja um aumento na capacidade de lazer;
- Qualquer situação que traga insônia e irritabilidade aos moradores, devido o funcionamento, deverá ser penalizada;
- Aspectos alimentares como promoção ou perda da diversidade nutricional, deverão, respectivamente, serem avaliados positivamente ou negativamente.
- Impactos sentidos no trabalho diário, na vida familiar ou em sociedade, e na espiritualidade, também deverão ser avaliados.

**4) Ambientais:** Neste tipo de critério estão os aspectos que afetam de alguma maneira o meio ambiente:

**a) Poluição atmosférica:** Existem diversas emissões que contribuem com a poluição atmosférica. Dentre elas destacam-se o  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{PM}_{10}$  (partículas com diâmetro menor que  $10\ \mu\text{m}$ ). O  $\text{SO}_2$  é responsável por uma série de impactos como a diminuição da expectativa de vida e o aumento de admissões em hospitais e danos ao meio ambiente por meio das chamadas ‘chuvas ácidas’. Já o  $\text{NO}_x$  pode causar redução da expectativa de vida, danos às plantações e ao ecossistema e eutrofização, além de ser o responsável pela formação de  $\text{O}_3$ , que possui uma série de outros possíveis impactos. O  $\text{PM}_{10}$  (*Particulate Matter*) é uma denominação que engloba uma série de

poluentes (com diâmetro menor que 10  $\mu\text{m}$ ) que podem causar diversos impactos à saúde humana. Devido à natureza deste critério estas emissões serão avaliadas de maneira objetiva ou subjetiva, assim se os dados disponíveis forem completos, teremos uma avaliação objetiva, caso contrário, será subjetiva:

- Avaliação objetiva da Poluição Atmosférica: Objetivamente iremos considerar a emissão dos três tipos de gases com igual importância, dessa maneira, o valor final deste critério será formado pela soma das três emissões.
  - Avaliação subjetiva da Poluição Atmosférica: Caso não seja possível avaliar objetivamente a poluição atmosférica, os responsáveis pelo certame deverão atribuir menções a este critério, baseado em conhecimentos sobre este tipo de impacto.
- b) Poluição sonora:** aqui reúne todos os efeitos sentidos pela comunidade em virtude de ruídos oriundos da tecnologia escolhida. Como exemplo, temos os ruídos vindos do funcionamento dos aerogeradores. A avaliação para este critério será objetiva e subjetiva, ficando a critério da instituição, desse modo teremos:
- Avaliação objetiva da Poluição Sonora: Caso seja escolhida esta forma de avaliação para este critério, deverá ser observado os valores concretos para a quantidade de ruído de cada forma de geração de energia concorrente;
  - Avaliação subjetiva da Poluição Sonora: Caso não existam dados referentes ao ruído, a avaliação deverá ser subjetiva, atribuindo-se menção para cada forma de geração concorrente.
- c) Poluição visual:** aqui reúne os efeitos que de alguma forma modificam o aspecto visual das paisagens. Como exemplo, temos as alterações devido os corpos e hélices da geração eólica. É uma avaliação subjetiva e quanto mais negativo forem os impactos provocados, pior será.
- d) Aquecimento Global:** Este critério visa penalizar as fontes de geração de energia que mais contribuem com o aquecimento global. Assim, como anteriormente, este critério será avaliado tanto objetivamente quanto subjetivamente. As emissões aqui consideradas serão as de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ .

- Avaliação Objetiva do critério Aquecimento Global: a relação entre os gases de efeito estufa com o aquecimento global pode ser dada pelo índice CO<sub>2eq</sub> (dióxido de carbono equivalente). A relação do metano com o dióxido de carbono é de 21 para 1. Já a relação entre o óxido nitroso é 310 para 1. Isso significa que a emissão de 1 tonelada de metano e de 1 tonelada de óxido nitroso equivalem a 21 e a 310 toneladas de dióxido de carbono, respectivamente. Logo, a opção de geração com o menor índice de CO<sub>2eq</sub> receberá nota dez e a de maior emissão à nota zero, valores intermediários serão avaliados proporcionalmente;
  - Avaliação Subjetiva do critério Aquecimento Global: Caso não haja dados para se fazer a análise objetiva, deverá se considerar a avaliação subjetiva, neste caso, serão atribuídas menções pelos especialistas.
- e) **Inundações:** neste critério será considerado o quanto a geração avaliada agride o meio ambiente, provocando inundações de áreas produtoras de alimento e florestas. Podem ser avaliadas de duas maneiras:
- Avaliação Objetiva do critério Inundações: caso seja possível mensurar a área inundada, a avaliação para este critério poderá ser objetiva;
  - Avaliação Subjetiva do critério Inundações: caso não seja possível mensurar a área a ser inundada ou por decisão da instituição responsável pela seleção, a avaliação do critério inundações poderá ser subjetiva, nesse caso será atribuído uma menção.
- f) **Desmatamentos:** as avaliações para este critério deverão levar em consideração a quantidade de área desmatada em virtude da implantação do sistema de geração de energia elétrica. Como exemplo, pode-se citar a área desmatada devido a utilização de madeira na geração termelétrica ou aquela área perdida devido o sistema de geração eólico, dentre outras. Este critério poderá ser tanto objetivo, caso haja dados concretos, ou subjetivo, dependendo do organizador.
- g) **Prejuízos ao solo:** este item tenta penalizar aquelas modalidades de geração que de alguma maneira provocam impactos negativos ao solo, como são:
- A degradação do solo em virtude do cultivo para atender a Biomassa;
  - Riscos de contaminação devido a vazamentos do combustível estocado;

- Contaminação do solo por material químico oriundo de baterias do tipo chumbo-ácido, utilizadas como acumuladores de energia para a geração solar ou eólica;
- A erosão do solo.

**h) Efeitos sobre a flora:** aqui serão avaliadas negativamente todas as modalidades de energia que tragam prejuízos a flora, incluindo a aquática. É um critério subjetivo e como exemplo, temos a perda da diversidade na vegetação devido o desmatamento.

**i) Efeitos sobre a fauna:** aqui serão avaliadas negativamente todas as modalidades de energia que tragam prejuízos a fauna, incluindo a aquática. Alguns aspectos a serem considerados são:

- Alagamentos de áreas cultiváveis e o impacto na vida de animais que vivem nos rios ou riachos que são represados para a construção de uma PCH;
- O aumento de temperatura da água do rio ou riacho onde a água usada para esfriar os condensadores é despejada, afetando a fauna aquática.

Devido à grande quantidade de critérios, além de tentar buscar não engessar o aplicativo, será deixado margem para que o avaliador/decisor desconsidere alguns deles durante a avaliação.

Vale salientar que alguns efeitos sentidos pela comunidade são inerentes a todos os tipos de geração, independente da modalidade, e neste caso, não podem ser levados em consideração na hora da escolha da melhor forma de geração, como a diminuição do êxodo rural, aumento da capacidade de produção agrícola, capacidade de armazenar alimentos por um período maior, promoção na diversidade nutricional, dentre outras.

Visando a coerência do aplicativo e a garantia de que serão utilizados projetos dentro de uma mesma margem de aplicação prática, os diversos critérios serão classificados em eliminatórios e classificatórios. Os critérios eliminatórios têm por objetivo retirar da avaliação os projetos que não estejam dentro das condições estipuladas pelos avaliadores como possíveis alternativas viáveis de geração de energia, bem como, selecionar a comunidade isolada que será atendida. Já os critérios classificatórios, buscam, dentro das alternativas aceitas pelos avaliadores, apontar a melhor maneira de geração de energia capaz de atender a comunidade isolada. (Ferraz, 2008)

## 5.4 CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Como mencionado anteriormente, os diversos critérios serão classificados em eliminatórios e classificatórios, sendo que estes últimos serão avaliados objetivamente e subjetivamente.

### 5.4.1 Critérios eliminatórios

Os critérios eliminatórios visam escolher a comunidade isolada que será atendida e retirar do certame os projetos que não estejam nas condições estipuladas para concorrência. Assim temos:

- 1) **Critério de eliminação da comunidade isolada:** os critérios aqui escolhidos visam selecionar a comunidade isolada que será atendida. Os critérios utilizados serão:
  - **IDH:** Como critério eliminatório, o IDH da região será utilizado para eliminar da concorrência às comunidades que estejam com o índice superior ao estipulado pela instituição responsável pelo projeto;
  - **PIB:** O produto Interno Bruto é a soma de todos os serviços e bens produzidos num período (mês, semestre, ano) numa determinada região (país, estado, cidade, continente). O PIB é expresso em valores monetários (no caso do Brasil em Reais). Ele é um importante indicador da atividade econômica de uma região, representando o crescimento econômico. Como critério eliminatório, o PIB da região será utilizado para eliminar da concorrência às comunidades que estejam com este índice superior ao estipulado pela instituição responsável pela seleção;
  - **Número de Habitantes:** À critério da instituição responsável pelo investimento, será definido um número mínimo de habitantes como parâmetro para a escolha da comunidade a ser beneficiada. Assim serão retiradas da concorrência as comunidades que não possuam o número mínimo de habitantes exigidos.

**2) Critério de eliminação dos projetos de geração de energia:** os critérios aqui escolhidos visam eliminar os projetos inviáveis de permanecerem na concorrência. Os critérios utilizados serão:

- **Custo do projeto:** os projetos deverão estar dentro de uma mesma faixa – valor presente - assim definida:

$$VP_{min} < VP < VP_{max}$$

Os valores presentes mínimos e máximos deverão ser estipulados pela empresa responsável pelo investimento.

- **Energia anual produzida compatível com a demanda:** a produção de energia em kWh/ano deve ser no mínimo igual a energia demandada mínima anual.
- **Viabilidade da alternativa de geração:** as modalidades de geração capacitadas para concorrerem, deveram ser compatíveis com a região onde serão instaladas. Caso não haja compatibilidade esta alternativa de geração deverá ser descartada. Como exemplo tem-se a implantação de uma termelétrica que usa como combustível os rejeitos da cana-de-açúcar em um local onde não possui solo apropriado para o cultivo.

#### **5.4.2 Critérios classificatórios**

Os critérios classificatórios são todos aqueles discutidos no item 5.3 e irão ser utilizados para a escolha da fonte de geração de energia. Serão avaliados da seguinte forma:

##### **a) Avaliação Objetiva**

A avaliação objetiva será realizada nos critérios que permitem avaliações concretas, como por exemplo, custos do projeto. Por tudo que foi pesquisado e discutido no capítulo 4, esta avaliação será feita com a construção de dois cenários, M e P, onde o último representa o conjunto dos piores cenários e o primeiro representa o conjunto dos melhores cenários. Dessa

maneira cada critério terá um conjunto de índices, entre os quais haverá o melhor (nota 10) e pior (nota zero). Os índices intermediários serão avaliados de maneira linear, ente zero e dez. (Ferraz, 2008).

## **b) Avaliação Subjetiva**

Serão avaliados de maneira subjetiva os critérios que não são possíveis quantificar diretamente. Dessa maneira, será de grande importância o conhecimento dos avaliadores/decisores no momento de atribuir estas menções. Vale ressaltar que aqui também serão inclusos os critérios objetivos que não estejam disponíveis em um conjunto de dados. Como sugestão, deve-se seguir a tabela abaixo como parâmetro na escolha das notas (Ferraz, 2008).

Tabela 5.2 *Padrão de avaliação dos critérios subjetivos*

<b>AVALIAÇÃO - MENÇÃO</b>	<b>NOTA</b>
<b>Muito bom</b>	<b>10</b>
<b>Bom</b>	<b>7</b>
<b>Regular</b>	<b>5</b>
<b>Ruim</b>	<b>3</b>
<b>Muito ruim</b>	<b>0</b>

**Fonte:** PRESCOTT, Pedro George. *Aplicativo para a Avaliação Multicritério de Projetos de Geração para atendimento a Comunidades Isoladas*. 2008.102 f. Trabalho de Conclusão de Curso Departamento de Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. (modificada)

Após a classificação dos diversos critérios, torna-se importante agrupá-los, conforme sejam objetivos, subjetivos ou ambos. A tabela a seguir representa uma classificação proposta por este trabalho, nota-se que alguns critérios possuem mais de uma classificação devido sua natureza, fato que será observado durante a implementação do aplicativo.

Tabela 5.3 Classificação proposta para os critérios

TIPOS DE CRITÉRIOS	CRITÉRIOS	CLASSIFICAÇÃO
<b>TÉCNICO</b>	Disponibilidade e Confiabilidade do Sistema	Classificatório e subjetivo
	Manutenção	Classificatório e subjetivo
	Operação	Classificatório e subjetivo
	Capacidade ofertada de energia	Classificatório e subjetivo
	Necessidade de gerenciamento da carga	Classificatório e subjetivo
	Eficiência	Classificatório e subjetivo
	Vida Útil	Classificatório e subjetivo
<b>AMBIENTAL</b>	Poluição atmosférica	Classificatório e objetivo ou subjetivo
	Poluição sonora	Classificatório e objetivo ou subjetivo
	Poluição visual	Classificatório e subjetivo
	Aquecimento Global	Classificatório e objetivo ou subjetivo
	Inundações	Classificatório e objetivo ou subjetivo
	Desmatamentos	Classificatório e objetivo ou subjetivo
	Prejuízos ao solo	Classificatório e subjetivo
	Efeitos sobre a flora	Classificatório e subjetivo
	Efeitos sobre a fauna	Classificatório e subjetivo
<b>ECONOMICO</b>	Custo de geração	Classificatório e objetivo
	Custo de implantação	Eliminatório e/ou classificatório e objetivo
	Custo de operação e manutenção (O & M)	Classificatório e objetivo
<b>SOCIAL</b>	Capacidade de geração de emprego	Classificatório e subjetivo
	Grau de instrução dos moradores	Classificatório e subjetivo
	Impactos na saúde	Classificatório e subjetivo
	IDH	Eliminatório e/ou classificatório e subjetivo
	Qualidade de vida	Classificatório e subjetivo

## 5.5 DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Definidos os critérios, torna-se necessário realizar as avaliações para definir a importância de cada um e o peso que representarão na composição do aplicativo. Os pesos traduzem numericamente a importância relativa de cada critério, revelando as preferências dos decisores. Dentro dos métodos discutidos no capítulo 4, serão utilizados os métodos Swing e/ou o método ‘Analytic Hierarchy Process’(AHP), por contemplarem todos os critérios e por serem de fácil implementação.

### 5.5.1 Método SWING

O método SWING inicia-se com a construção de dois cenários hipotéticos extremos, o *P* e o *M*, onde o primeiro representa o conjunto de todos os piores cenários de cada critério, e o segundo, é composto pelos melhores cenários em cada critério. Assim os decisores deverão determinar as preferências cuidadosamente dos potenciais ganhos em mover do cenário *P* para o *M*, para, em seguida, decidir qual o primeiro critério a ser movido do cenário *P* para o *M*. Estipulando que esta primeira troca tem o valor de 100 unidades numa escala hipotética, os decisores serão solicitados a atribuir outro valor hipotético (<100) ao segundo critério movido para o cenário *M*, em ordem de importância. Seguindo nesta mesma linha de raciocínio, segue-se até percorrer todos os critérios. Assim são definidos os pesos de cada critério, resultando em uma coluna “peso” normalizada. A tabela abaixo ilustra este método.

Tabela 5.4 Ilustração do método Swing para os impactos sociais

CRITÉRIOS	CENÁRIO		PESO	PRIORIDADE RESULTANTE
	Pior	Melhor		
Avaliação dos índices de emprego				
Operação manual do sistema pelos moradores				
Relação entre a fonte primária de energia e as atividades produtivas locais				
Saúde humana				

### 5.5.2 Método AHP

O método AHP foi desenvolvido por Saaty em meados dos anos 70 dentro dos princípios da escola americana de métodos multicritérios. Utiliza-se de conceitos da álgebra linear, pesquisa computacional e psicologia para o seu desenvolvimento.

O AHP está baseado em dois princípios básicos: estruturação ou construção da hierarquia e avaliação. A fase de estruturação contempla a estruturação da hierarquia do problema a ser resolvido. Nessa fase o método permite que os decisores modelem problemas complexos em uma estrutura hierárquica que representa as relações entre as metas, os critérios que exprimem os objetivos e sub-objetivos e as alternativas que envolvem a decisão. A estrutura hierárquica forma uma árvore invertida, onde a estrutura vai descendo da meta da decisão para os critérios, sub-critérios, em sucessivos níveis. Após a hierarquização do problema, se inicia a fase de avaliação com a comparação paritária, ou seja, par a par, entre os critérios e sub-critérios. Por meio desta comparação, são determinadas as importâncias relativas ou pesos de cada um dos critérios e sub-critérios.

Logo, o AHP possui a capacidade de analisar o problema de tomada de decisão através da construção de níveis hierárquicos e a comparação par-a-par dos níveis da hierarquia. (Saaty, 2001). Assim serão comparados em pares os diversos critérios, buscando-se determinar a prevalência de um critério sobre o outro. Estas prevalências devem seguir a escala contida na tabela proposta por Saaty, mostrada na tabela 4.2, página 39.

Realizado todos os julgamentos possíveis, por meio da comparação paritária, os números obtidos são alocados numa matriz  $A$  quadrada  $n \times n$ , onde  $n$  é o número de critérios envolvidos no processo:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{21}} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Os elementos  $a_{ij}$  são definidos pelas seguintes condições:

$$a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva}$$

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \Rightarrow \text{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \Rightarrow \text{consistência}$$

A resolução da matriz  $A$  resulta no autovetor de prioridades  $w$ , o qual expressa as importâncias relativas (pesos) de cada um dos critérios. A forma mais recomendada de resolução é elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz (Saaty, 2001). De posse das importâncias relativas dos critérios é testada a integridade dos julgamentos, que é calculada por um índice de inconsistência.

Para se calcular o índice de inconsistência, devemos multiplicar a matriz de julgamentos  $A$  pelo autovetor de prioridades  $w$ . O resultado deste produto será uma matriz que gerará um autovetor. O somatório desse autovetor (coluna) é o autovalor  $\lambda_{\max}$ . A partir do autovalor  $\lambda_{\max}$  é calculado o índice de consistência  $IC$ , que mede os desvios dos julgamentos, por meio da equação:

$$I.C. = \text{Índice de Consistência} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5.2)$$

onde  $n$  é o número de critérios da matriz.

O cálculo final do grau de inconsistência  $RC$  da matriz é dado por:

$$\text{Razão de Consistência} = \frac{IC}{\text{Índice Randômico (IR) para } n} \quad (5.3)$$

Onde  $IR$  é um índice randômico médio de inconsistência, calculado a partir de uma amostra de 500 matrizes. A tabela abaixo apresenta os índices randômicos de 1 a 15 critério.

Tabela 5.5 *Índice Randômico do AHP*

Número de critérios	Índice Randômico médio
1	0,00
2	0,00
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49
11	1,51
12	1,48
13	1,56
14	1,57
15	1,59

**Fonte:** SAATY, Thomas L. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991. (modificado)

Segundo, Saaty (2001), caso o grau de inconsistência seja maior que 0,10 (10%), os responsáveis pelas decisões deverão rever os seus julgamentos, buscando torná-los consistentes. Essa consistência será atingida com um grau menor ou igual a 0,10.

## 5.6 APLICATIVO MULTICRITÉRIO

### 5.6.1 Considerações iniciais

Nestes próximos itens será discutida a maneira como será desenvolvido o aplicativo multicritério, suas características de construção, estrutura e forma de utilização pelos especialistas/decisores.

O aplicativo será desenvolvido em programação *Visual Basic for Applications (VBA)* no Excel® 2007. Por meio da avaliação dos diversos critérios, resultado da análise dos quatro grandes tipos de critérios - técnico, econômico, ambiental e social - o aplicativo será capaz de indicar qual o melhor projeto de geração de energia elétrica.

Os passos a serem seguidos obedecerão toda uma seqüência, arquitetada de maneira que torne fácil a utilização por parte daqueles que serão os especialistas/decisores. Assim, a primeira parte do aplicativo está destinada a selecionar a comunidade isolada e excluir do certame os projetos de geração inviáveis de serem implementados, em um segundo momento, as modalidades escolhidas serão classificadas por meio de questionamentos, onde os diversos critérios serão avaliados e agrupados, resultando em uma nota final capaz de indicar o melhor projeto.

### **5.6.2 Estrutura geral**

O aplicativo multicritério será dividido em duas etapas, a saber:

#### **a) 1ª Etapa: Critérios Eliminatórios**

Nesta etapa o aplicativo selecionará a comunidade isolada que será atendida e as modalidades de GD que irão concorrer. Definidos estes parâmetros, o próximo passo será a classificação das modalidades de geração, com a avaliação dos diversos critérios.

#### **b) 2ª Etapa: Critérios Classificatórios**

Selecionadas as modalidades concorrentes na primeira etapa, serão agora avaliadas as opções restantes. Para escolha do melhor projeto, serão atribuídas notas que variam de 0 a 10, onde aquela melhor classificada será apontada como melhor opção. Para esta escolha poderão ser considerados todos os critérios discutidos anteriormente, avaliando tanto aqueles que são objetivos quanto aqueles subjetivos, por meio de ferramentas multicritérios. Os critérios objetivos são aqueles valorados com dados concretos. Diferentemente, os critérios subjetivos, serão avaliados por meio da equipe de especialistas/decisores, de acordo com conhecimentos de cada um sobre o assunto. Após a avaliação de cada critério, seja ele objetivo ou subjetivo, será dado um peso proporcional a sua importância, segundo a perspectiva de cada avaliador, onde a soma das prioridades resultantes dos critérios é igual a 100%. Dois métodos serão

utilizados como formas de eleger as prioridades, são os métodos Swing (pesos) e o método AHP (matriz de comparação).

### **c) 3ª Etapa: Avaliação dos projetos de geração e nota final**

Selecionadas as comunidades e os projetos concorrentes, a 3ª etapa do aplicativo é avaliar cada projeto de geração, até a obter a nota final desta modalidade.

## **5.7 ETAPAS A SEREM SEGUIDAS: INSTITUIÇÃO AVALIADORA**

A instituição interessada em investir no projeto de geração de energia, deverá ser capaz de promover a seleção do melhor projeto e o aplicativo busca trazer as ferramentas necessárias para esta escolha. Diante disso, cabe a instituição responsável, seja ela pública ou privada, obedecer algumas regras, a saber:

### **a) Definir os critérios de escolha da comunidade isolada beneficiada**

Antes de iniciar a seleção da escolha do projeto é imprescindível que a instituição responsável pelo investimento defina os critérios de escolha da comunidade isolada que será atendida pelos benefícios da energia elétrica.

### **b) Definir os critérios eliminatórios das modalidades de GD**

Como próxima etapa deverá ser definidos os critérios eliminatórios, retirando do certame as opções de geração de energia inviáveis de atender a comunidade isolada, estes critérios já foram definidos e sugeridos, sendo o custo do projeto, a energia anual produzida compatível com a demanda e a viabilidade da alternativa de geração. Vale salientar que o aplicativo não é engessado e outros critérios eliminatórios podem ser utilizados.

### **c) Definir os critérios classificatórios**

A empresa investidora deverá definir os critérios classificatórios. O aplicativo fornece 24 tipos diferentes de critérios, no entanto, é facultada a utilização de algumas opções, se assim desejar.

#### **d) Definir a banca dos avaliadores/decisores**

A instituição deverá definir os responsáveis pela avaliação e que obrigatoriamente terão que ser especialistas no assunto. Esta banca de avaliação poderá ser composta por funcionários da própria empresa ou por alguma empresa de consultoria contratada para a seleção.

#### **e) Submeter os critérios eliminatórios e classificatórios a avaliação dos especialistas**

Nesta etapa a empresa responsável deverá submeter aos especialistas os critérios eliminatórios e classificatórios. É importante que a banca examinadora seja competente no assunto e com conhecimentos diversificados.

#### **f) Reunir as avaliações e submetê-las ao aplicativo**

De posse de todas as avaliações a instituição responsável deverá submeter os dados ao aplicativo e obter a classificação final. No entanto, é necessário agrupar as menções dos critérios subjetivos e os dados objetivos. A sugestão para agrupá-los leva em consideração os seguintes passos: (Ferraz, 2008).

- Deverá ser considerada a média de todos os pesos dos critérios coletados;
- Para os critérios subjetivos serão atribuídas menções que terão notas de 0 a 10, sendo que antes de ser inserido no aplicativo, deverá obter-se a média de cada critério;
- Nos dados objetivos dificilmente haverá discrepâncias, mas caso ocorra, deverá ser considerado aquele valor que mais aparecer nos questionários;
- A nota final de cada projeto será calculada pela multiplicação dos valores obtidos nos critérios subjetivos e objetivos, pela média dos pesos de cada critério calculado no primeiro passo.

#### **g) Divulgar os resultados**

Nesta última etapa a instituição deverá divulgar a classificação final com a conseqüente divulgação da modalidade de geração escolhida e a comunidade isolada selecionada.

## **5.8 ETAPAS A SEREM SEGUIDAS: ESPECIALISTAS/DECISORES**

Os passos apresentados para os especialistas/decisores são apenas sugestões e podem ser diferentes dos apresentados abaixo:

### **a) Entender o funcionamento do aplicativo**

Apesar da função dos especialistas/decisores ser basicamente de avaliar os diversos critérios, cabe como sugestão, que esses profissionais entendam a maneira como funciona o aplicativo e acompanhem todo o processo.

### **b) Entender os critérios eliminatórios**

Nesta etapa, de posse dos critérios eliminatórios definidos pela empresa, cabe a estes profissionais excluir da concorrência os projetos inviáveis e selecionar a comunidade que será atendida.

### **c) Entender os critérios classificatórios**

Nessa etapa os especialistas/decisores deverão entender e compreender os diversos critérios classificatórios.

### **d) Avaliar os diversos critérios**

Aqui os profissionais responsáveis pela seleção deverão avaliar os diversos critérios, utilizando-se de todos os conhecimentos.

### **e) Auxiliar na avaliação final**

Nesta última etapa, os especialistas/decisores deverão auxiliar a instituição investidora com a seleção dos dados e a inserção no aplicativo até obter a classificação final.

### **f) Revisão**

Após a escolha, o resultado obtido deve ser revisto, com a revisão de todas as etapas iniciais, intermediárias e finais do processo.

## **5.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo mostrou a metodologia que será utilizada na construção do aplicativo. Dessa maneira, primeiro foram mostrados os passos que iriam ser seguidos, com a descrição resumida das atividades. Em um segundo momento, foram apresentados os quatro grandes tipos de critérios e os aspectos que deverão ser avaliados em cada um. Já definidos, os critérios foram classificados e agrupados. Diante da necessidade de atribuir pesos, foram apresentados os métodos SWING e AHP, utilizados para definir a importância relativa de cada critério.

Em seguida foi apresentada a metodologia básica de construção do aplicativo, tendo em vista que a apresentação completa será contemplada no próximo capítulo.

Por fim foram definidas as funções da empresa responsável pela seleção e as funções dos avaliadores/decisores.

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Este capítulo tem como objetivo apresentar o resultado da pesquisa desenvolvida, ou seja, o aplicativo propriamente dito. No início do capítulo será mostrado os aspectos construtivos e forma de funcionamento do aplicativo. Em seguida, devido à necessidade de nortear os avaliadores/decisores, será apresentado um “passo-a-passo”, definido como tutorial. Finalmente o capítulo será encerrado com um exemplo prático e as considerações finais.

### **6.2 APLICATIVO MULTICRITÉRIO**

#### **6.2.1 Aspectos construtivos**

O aplicativo multicritério foi desenvolvido com o objetivo de ser uma ferramenta de fácil utilização. Com uma boa interface usuário/máquina o programa é capaz de selecionar a comunidade isolada, eliminar os projetos inviáveis de serem implantados e apresentar a classificação final dentre as opções de geração que concorrerem.

O aplicativo foi desenvolvido na plataforma Excel ® 2007 com o auxílio da programação *Visual Basic for Applications* (VBA). A escolha do Excel ® 2007 deve-se ao fato das excelentes interfaces gráficas e a facilidade de se trabalhar neste ambiente. O usuário poderá manusear o aplicativo no Excel ® 2007 e não é necessária instalação, pois todo o aplicativo está dentro de arquivos com extensão xls ou xlsx.

O aplicativo é composto por:

- Cinco planilhas expostas (não-ocultas);
- Formulário para inserção de dados iniciais;
- Duas planilhas ocultas, sendo uma planilha base de dados e uma planilha modelo.

A partir da planilha principal o usuário é orientado sobre os passos que deverá seguir até obter a classificação final. Com o objetivo de garantir que todos os passos da avaliação sejam seguidos, o programa permite criar ou excluir planilhas automaticamente. Os cálculos

necessários no aplicativo são realizados na própria planilha, utilizando as ferramentas e as facilidades disponíveis no ambiente Excel®.

Os dados coletados serão inseridos nas planilhas "dados dos projetos", sendo uma planilha para cada projeto concorrente. Na hipótese de mais de um avaliador/especialista os dados serão agrupados, considerando os passos seguidos na seção 5.7, item f).

A nota final de cada projeto será obtida somando-se as notas ponderadas de cada critério considerado, sendo que esta é dada pela multiplicação das notas atribuída a cada critério subjetivo e objetivo, pelos seus respectivos pesos, calculados pelos métodos SWING e/ou AHP.

### **6.2.2 Tutorial**

Para utilizar o aplicativo, deve-se abrir o programa no Excel ®. Será mostrada a planilha principal, conforme figura abaixo, onde aparecem os passos que deverão ser seguidos pelos avaliadores:

## Passos a serem seguidos pelos avaliadores

- 1º Passo: Ler o Objetivo do Questionário

### Objetivo do Questionário

O propósito deste questionário é oferecer um método multicritérios para a tomada de decisão quanto a projetos de geração em comunidades isoladas. Os critérios foram especialmente selecionados e julgados importantes para a escolha das alternativas de geração em comunidades isoladas. Os critérios adotados englobam questões econômicas, ambientais, sociais e técnicas dos projetos. Este questionário deve ser respondido por especialistas ou tomadores de decisões que têm conhecimento técnico e sensibilidade sobre as questões referentes ao atendimento energético das comunidades isoladas no Brasil, assim como os impactos causados pela geração de energia elétrica (exemplo: impactos ambientais).

- 2º Passo: Ler os **Critérios Eliminatórios** para os projetos de geração



- 3º Passo: Ler os **Critérios Classificatórios** para os projetos de geração



- 4º Passo: Analisar os projetos ou alternativas de geração de energia elétrica disponíveis

Nesta etapa devem ser analisados os projetos concorrentes para geração em comunidades isoladas que serão avaliados por este programa. O objetivo nesta etapa é que o avaliador conheça os projetos que serão avaliados, sem a necessidade de um grande detalhamento. Deverão ser analisados alguns pontos essenciais como: a tecnologia empregada, a compatibilidade do empreendimento com o local, aspectos técnicos do funcionamento do sistema de geração, a existência dos dados objetivos requeridos para a análise (para os critérios objetivos), entre outros aspectos relevantes do projeto. É importante que aspectos que possam eliminar o projeto sejam levantados nesta fase.

LINKS PARA O DOCUMENTO QUE CONTEM OS PROJETOS DISPONÍVEIS

- 5º Passo: Inserir dados iniciais para a Avaliação multicritério, clicando no botão abaixo

Abrir formulário

- 6º Passo: Inserir dados referentes aos critérios eliminatórios (se existirem)

- 7º Passo: Completar cada planilha de projeto com os dados referentes aos projetos

Ir para os projetos

- 8º Passo: Classificar os critérios classificatórios, elegendo o peso de cada critério, na planilha 'Classificação dos Critérios'

Ir para Classificação dos critérios

- 9º Passo: Gerar a classificação final dos projetos e rever a avaliação se necessário

Mostrar Resultados

Figura 6.1 Planilha principal com os passos a serem seguidos

**1º Passo:** O passo inicial é a leitura do objetivo do questionário;

**2º Passo:** Ler os critérios eliminatórios para os projetos de geração. Este passo tem por objetivo instruir os avaliadores sobre os critérios eliminatórios dos projetos, ao clicar no link do documento será apresentada a descrição destes critérios;

**3º Passo:** Ler os critérios classificatórios para os projetos de geração. Este passo visa instruir os avaliadores sobre os critérios classificatórios dos projetos, ao clicar no link do documento será apresentada a descrição destes critérios;

**4º Passo:** Analisar os projetos ou alternativas de geração de energia elétrica disponíveis. O objetivo é que o avaliador conheça os projetos que serão avaliados. Este tópico é importante, pois deverá conter informações sobre os critérios eliminatórios e outros dados objetivos;

**5º Passo:** Inserir dados iniciais para a avaliação multicritério. Ao clicar no botão <abrir formulário> será exibida a tela abaixo:

Dados iniciais do programa Multicritério

Quantos projetos de geração existem? 3

Existem critérios eliminatórios? Sim

Serão utilizados critérios econômico? Sim

Serão utilizados critérios sociais? Sim

Serão utilizados critérios ambientais? Sim

Serão utilizados critérios técnicos? Sim

Classificação do critério POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA. Se existirem dados objetivos (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub>) o critério é objetivo. Objetivo

Classificação do critério AQUECIMENTO GLOBAL. Se existirem dados objetivos (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub>) o critério é objetivo. Objetivo

Classificação do critério POLUIÇÃO SONORA. Se existirem dados objetivos (dB) o critério é objetivo. Objetivo

Classificação do critério INUNDAÇÕES. Se existirem dados objetivos (km<sup>2</sup>) o critério é objetivo. Objetivo

Classificação do critério DESMATAMENTO. Se existirem dados objetivos (km<sup>2</sup>) o critério é objetivo. Subjetivo

Inserir dados

Figura 6.2 *Formulário para dados iniciais*

Neste formulário serão inseridos os dados referentes ao número de projetos, aos critérios eliminatórios, quais serão os critérios classificatórios utilizados, e dentre estes, aqueles que serão avaliados objetivamente ou subjetivamente. É obrigatória a escolha do número de

projetos e quais os critérios utilizados. Para o caso em que serão considerados os critérios ambientais, torna-se obrigatório o preenchimento das opções objetivo ou subjetivo para a poluição atmosférica, aquecimento global, poluição sonora, inundações e desmatamentos, caso não haja escolha pelos critérios ambientais, não há necessidade de preenchimento desses campos. Após selecionar, deve-se clicar no botão <inserir dados> a fim de confirmar as opções escolhidas e com isso gerar o número de planilha onde serão inseridos os dados dos projetos.

**6º Passo:** Inserir dados referentes aos critérios eliminatórios. Ao clicar no botão <ir para os critérios eliminatórios>, será mostrada uma tela com a planilha “Critérios Eliminatórios”, figura 6.3, onde deverão ser preenchidos os dados com os critérios eliminatórios, caso existam. Caso não exista ou queira desconsiderar algum critério, basta não preencher os campos correspondentes, assim o aplicativo já desconsidera automaticamente. Após o preenchimento retorna-se a planilha principal clicando no botão <Voltar para a principal>.

Critérios Eliminatórios				
Insira os valores críticos referentes aos critérios eliminatórios				
Descrição				
O valor presente do projeto deve se situar numa faixa, $VP_{min} < VP < VP_{max}$			Valor presente mínimo	Valor presente máximo
Complete ao lado				
A quantidade de energia (kWh/ano) deve ser maior que a energia de demanda estimada para a localidade			Energia mínima requerida (kWh/ano)	
Complete ao lado				
O IDH da comunidade deve ser menor que o valor estipulado			IDH máximo	
Complete ao lado				
O número mínimo de habitantes que a comunidade a ser beneficiada deverá possuir tem que ser maior ou igual que o estipulado pela instituição			número de habitantes mínimo	
Complete ao lado				
O PIB da comunidade deve ser menor que o valor estipulado			PIB máximo	
Complete ao lado				
<div>Voltar para principal</div>				

Figura 6.3 Planilha para entrada dos dados referentes aos critérios eliminatórios

**7º Passo:** Completar cada planilha de projeto com os dados referentes aos projetos. Ao clicar no botão <ir para os projetos>, será apresentada uma planilha para entrada dos dados do

primeiro projeto, a figura 6.4 exemplifica. Observa-se que a planilha gerada esta de acordo com as opções escolhidas no passo anterior.

Projeto -							
Nome do projeto		Informações sobre Critérios Eliminatórios -				Quanto a eliminação	
Valor Presente do Projeto (R\$)						NÃO Eliminado	
Energia anual gerada (kWh/ano)						NÃO Eliminado	
Número de habitantes						NÃO Eliminado	
PIB da Região						NÃO Eliminado	
IDH da Região						NÃO Eliminado	
Existem motivos que impossibilitem a aplicação deste projeto de geração na região?		Qual é o motivo?				NÃO Eliminado	
Critérios							
1) Critérios Econômicos							
1.a) R\$/kWh	dado	unidade	R\$/kWh				
1.b) Custo de implantação	dado	unidade	R\$				
1.c) Custo de operação e manutenção	dado	unidade	R\$				
2) Critérios Sociais							
2.a) Capacidade de gerar de emprego		Regular	5				
2.b) Grau de instrução dos moradores		Regular	5				
2.c) Impactos na saúde		Regular	5				
2.d) IDH		Regular	5				
2.e) Qualidade de vida		Muito Ruim	0				
3) Critérios Ambientais							
3.a) Poluição atmosférica		dado	unidade	peso	total	unidade	
	emissão de SO <sub>2</sub>			1			
	emissão de PM <sub>10</sub>			1	0	tEmissão/ano	
	emissão de NO <sub>x</sub>			1			
3.b) Aquecimento global		dado	unidade	Relação CO <sub>2eq</sub>	dado equivalente	total	unidade
	emissão de CO <sub>2</sub>		tCO <sub>2</sub> /ano	1	0		
	emissão de CH <sub>4</sub>		tCH <sub>4</sub> /ano	21	0	0	tCO <sub>2eq</sub> /ano
	emissão de N <sub>2</sub> O		tN <sub>2</sub> O/ano	310	0		
3.c) Poluição sonora	dado	unidade	dB				
3.d) Poluição visual			Regular				
3.e) Inundações	dado	unidade	km²				
3.f) Desmatamentos			Regular				
3.g) Prejuízos ao solo			Regular				
3.h) Efeitos sobre a flora			Regular				
3.i) Efeitos sobre a fauna			Regular				
4) Critérios Técnicos							
4.a) Disponibilidade e confiabilidade do sistema			Regular				
4.b) Manutenção			Regular				
4.c) Operação			Regular				
4.d) Capacidade ofertada de energia			Regular				
4.e) Necessidade de gerenciamento da			Regular				
3.f) Eficiência			Regular				
4.g) Vida útil			Regular				

Figura 6.4 Planilha para entrada dos dados de cada projeto

**8º Passo:** Classificar os critérios classificatórios, elegendo o peso de cada critério, na planilha “Classificação dos Critérios”. Ao clicar no botão <ir para a classificação dos critérios > será apresentada a planilha de “Classificação dos Critérios”, conforme figura 6.5.

## Classificação dos Critérios

Para eleger as preferências em relação aos critérios classificatórios e determinar o pesos julgados justos de cada critério na composição da nota final de cada projeto, são oferecidos dois métodos distintos para calcular a prioridade resultante de cada critério. Pode-se utilizar o método Swing ou o método Analytic Hierarchy Process (AHP).

**Método Swing**

O método swing é uma forma mais rápida e simples de eleger prioridades para os critérios, onde são definidos pesos de 0 a 100 para cada critério seguindo etapas estrategicamente eficazes. Apesar de ser muito simples de eleger prioridades, ele é bem conceituado pela literatura.

**Método AHP**

O método AHP faz comparações aos pares entre cada critério entre si. São necessárias  $n(n-1)/2$  comparações, onde  $n$  é igual ao número de elementos, sendo portanto 55 comparações entre critérios. É um método mais complicado, porém pode ser considerado mais confiável. Este método se adequa muito bem a critérios qualitativos.

Ir para Método AHP

Ir para Método Swing

Tipo do critério	Critério	Prioridade Resultante
Econômico	R\$/kWh	100.00%
	Custo de implantação	0.00%
	Custo de operação e manutenção	0.00%
Social	Capacidade de gerar empregos	0.00%
	Grau de instrução dos moradores	0.00%
	Impactos na saúde	0.00%
	IDH	0.00%
	Qualidade de vida	0.00%
Ambiental	Polluição Atmosférica	0.00%
	Aquecimento Global	0.00%
	Polluição sonora	0.00%
	Polluição visual	0.00%
	Inundações	0.00%
	Desmatamentos	0.00%
	Prejuízos ao solo	0.00%
	Efeitos sobre a flora	0.00%
	Efeitos sobre a fauna	0.00%
	Disponibilidade e confiabilidade do sistema	0.00%
Técnicos	Manutenção	0.00%
	Operação	0.00%
	Capacidade ofertada de energia	0.00%
	Necessidade de gerenciamento da carga	0.00%
	Eficiência	0.00%
	Vida útil	0.00%
<b>Soma</b>		<b>100.00%</b>

Consolidar Dados

Voltar para Principal

Figura 6.5 Planilha Classificação dos Critérios

Nesta planilha o avaliador possui a opção de escolher os pesos dos diversos critérios utilizando-se de dois métodos: o SWING e o AHP. Para essa escolha o usuário deverá clicar no botão correspondente ao método. Caso faça a opção pelo método SWING aparecerá à planilha deste método, conforme figura 6.6.

## Método Swing com critérios objetivos e subjetivos

**1º Passo:** Preencher no campo Cenário, os piores e melhores projetos com relação aos critérios avaliados

**2º Passo:** Observar o potencial ganho entre o Pior e o Melhor Cenário

1) Suponha que o seu ponto de partida é o Pior Cenário e a você é permitido levar apenas uma categoria para o cenário B

2) Suponha que agora que você pode mover também um segundo critério para o 'Melhor' Cenário.

Na linha correspondente da coluna Peso digite o valor considerado adequado para a melhora entre os cenários, numa escala de 0 a 100.

3) Continue este procedimento para os critérios restantes, um após o outro

4) Para os critérios que não serão utilizados basta deixar o valor padrão "0"

**3º Passo:** Observe as prioridades resultantes calculadas pelo Excel

**4º Passo:** Pare e revise suas preferências

Se você acha que as prioridades relativas aos critérios não refletem corretamente as suas preferências, volte para o 2º passo e revise ordem de classificação e os pesos atribuídos

Critério	Unidade ( Objetivo)	Cenário		Peso	Prioridade Resultante
		Pior	Melhor		
Critérios econômicos					
R\$/kWh	R\$/kWh			0	Peso?
Custo de implantação	R\$			0	Peso?
Custo de Operação e Manutenção (O&M)	R\$			0	Peso?
Critérios sociais					
Capacidade de geração de empregos	s/ unidade			0	Peso?
Grau de instrução dos moradores	s/ unidade			0	Peso?
Impactos na Saúde	s/ unidade			0	Peso?
IDH	s/ unidade			0	Peso?
Qualidade de vida	s/ unidade			0	Peso?
Critérios Ambientais					
Poluição Atmosférica	tEmissão/ano			0	Peso?
Aquecimento Global	tCO <sub>2eq</sub> /ano			0	Peso?
Poluição Sonora	dB			0	Peso?
Poluição visual	s/ unidade			0	Peso?
Inundações	km²			0	Peso?
Desmatamentos	km²			0	Peso?
Prejuízos ao solo	s/ unidade			0	Peso?
Efeitos sobre a flora	s/ unidade			0	Peso?

Figura 6.6 Planilha Método SWING

Aqui haverá instruções para o preenchimento em forma de passos a serem seguidos. Para os critérios objetivos, deverá ser atribuído o valor diretamente no campo. Para os critérios subjetivos os campos deverão ser preenchidos com as alternativas de geração correspondente, a fim de possibilitar o prosseguimento dos passos subsequentes. Por fim, clica-se no botão <Voltar Classificação Critérios> para retornar a planilha “Classificação dos Critérios” e consolidar dados.

Se a opção for pelo método AHP, será apresentada a planilha correspondente ao método. A própria planilha já mostra as instruções de preenchimento, com detalhamentos sobre a escolha das prioridades que irá formar a matriz de comparação entre os critérios. A primeira providência é selecionar na legenda de escolha dos critérios, figura 6.7, aqueles que serão avaliados, de maneira que, na matriz de comparação, figura 6.8, suas respectivas células aparecerão na cor amarela, o que significa que deverão ser preenchidas. Para aqueles critérios que não serão utilizados a cor resultante será vermelha, portanto células dessa cor não deverão ser preenchidas.

Para comparar os critérios e preencher a matriz de comparação deverá ser observada a escala de Saaty, em seguida, o programa gera automaticamente uma análise da consistência da matriz de comparação, testando a coerência. Por fim, clica-se no botão <Voltar Classificação Critérios> para retornar a planilha “Classificação dos Critérios” e consolidar dados.

S/N	Incluir critério	Legenda - Critérios Classificatórios		
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C1	Critérios econômicos	R\$/kWh
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C2		Custo de implantação
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C3		Custo de operação e manutenção
<input type="checkbox"/>	Não	C4	Critérios sociais	Capacidade de geração de empregos
<input type="checkbox"/>	Não	C5		Grau de Instrução dos moradores
<input type="checkbox"/>	Não	C6		Impactos na saúde
<input type="checkbox"/>	Não	C7		IDH
<input type="checkbox"/>	Não	C8		Qualidade de vida
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C9	Critérios ambientais	Poluição atmosférica
<input type="checkbox"/>	Não	C10		Aquecimento global
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C11		Poluição sonora
<input type="checkbox"/>	Não	C12		Poluição visual
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C13		Inundações
<input type="checkbox"/>	Não	C14		desmatamentos
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C15		Prejuízos ao solo
<input type="checkbox"/>	Não	C16		Efeitos sobre a flora
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C17	Critérios técnicos	Efeitos sobre a fauna
<input type="checkbox"/>	Não	C18		Disponibilidade e confiabilidade do sistema
<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	C19		Manutenção
<input type="checkbox"/>	Não	C20		Operação
<input type="checkbox"/>	Não	C21		Capacidade ofertada de energia
<input type="checkbox"/>	Não	C22		Necessidade de gerenciamento da carga
<input type="checkbox"/>	Não	C23		Eficiência
<input type="checkbox"/>	Não	C24		Vida útil

Figura 6.7 Legenda de escolha dos critérios

Matriz normalizada transposta (T)																									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	
	31.43%	30.44%	17.86%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	9.70%	0.00%	5.33%	0.00%	2.80%	0.00%	1.41%	0.00%	0.69%	0.00%	0.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
	Critérios econômicos			Critérios sociais						Critérios ambientais									Critérios técnicos						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	
Critérios econômicos	C1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C2	1/2	1	9	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C3	1/3	1/9	1	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Critérios sociais	C4					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C5						6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C6							7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C7								8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C8									9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Critérios ambientais	C9	1/9	1/9	1/9						1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	C10										11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	C11	1/11	1/11	1/11					1/11		1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	C12												13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	C13	1/13	1/13	1/13					1/13		1/13	1	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	C14														15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	C15	1/15	1/15	1/15					1/15		1/15		1/15		1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	C16																17	18	19	20	21	22	23	24	
Critérios técnicos	C17	1/17	1/17	1/17					1/17		1/17		1/17		1/17		1	18	19	20	21	22	23	24	
	C18																		19	20	21	22	23	24	
	C19	1/19	1/19	1/19					1/19		1/19		1/19		1/19		1/19		1	20	21	22	23	24	
	C20																				21	22	23	24	
	C21																					22	23	24	
	C22																						23	24	
	C23																							24	
	C24																								
W	2.29	3.57	13.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.35	0.00	45.26	0.00	66.18	0.00	91.11	0.00	120.05	0.00	153.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Consistência da Matriz de Comparações																									
MATRIZ CONSISTENTE																									
Autovetor máximo (Amax = T x W)																									
4.09415735																									
Índice de consistência = (Amax - n) / (n - 1)																									
-0.5606014																									
Índice de consistência aleatória (n=24)																									
1.58																									
Razão de consistência																									
-0.344977637																									
RC < 0.1																									
Verdadeiro																									

Figura 6.8 Matriz de comparações dos critérios

Ao retornar a planilha “Classificação dos Critérios”, independente do método selecionado para eleger os pesos, deverá ser clicado o botão <Consolidar Dados> para que seja concluído este passo.

**9º Passo:** Gerar a classificação final dos projetos e rever a avaliação se necessário. Ao clicar no botão <Mostrar Resultados> será gerada a tabela dinâmica com a classificação final obtida.

### 6.3 EXEMPLO PRÁTICO

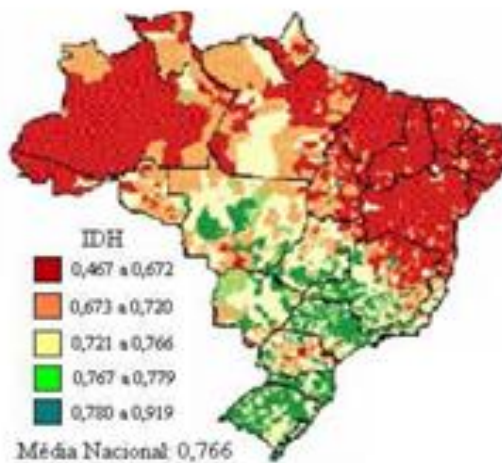
Esta seção tem como objetivo apresentar um exemplo prático que possa mostrar a versatilidade e funcionalidade do aplicativo, bem como, validar sua utilização. Para o exemplo, vamos considerar que no edital de divulgação da instituição, esteja previsto as seguintes informações:

- **IDH:** O IDH da comunidade escolhida deverá ser abaixo de 0,650.
- **PIB:** O produto Interno Bruto da comunidade deverá ser abaixo de R\$ 15.000,00 per capita.
- **Número de Habitantes:** O número de habitantes deverá ser maior ou igual a 100 habitantes.
- **Custo do projeto:** O valor investido deverá ser da ordem de R\$ 1.000.000,00.

Definidos os critérios eliminatórios, vamos trabalhar para este exemplo, com três comunidades isoladas e três projetos diferentes de geração de energia. As comunidades são:

- **Comunidade isolada Vila Porto Alegre do Curumu/PA:** IDH = 0,534 ; PIB = 2333,79; número de habitantes = 400 habitantes.
- **Complexo de Pesquisa Canguçu/TO:** IDH = 0,597; PIB = 11.662,97; número de habitantes = 100 habitantes.
- **Comunidade de Jesus/RO:** IDH = 0,467 ; PIB = 4744,95; número de habitantes = 70 habitantes.

Os valores do IDH foram estimados da figura abaixo:



**Fonte:** PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Disponível em <[www.pnud.org.br](http://www.pnud.org.br)>. Acesso em: 06 de julho de 2009/2002.

Figura 6.9 IDH por região

Os valores do PIB foram obtidos no banco de dados do IBGE e representam o PIB per capita das cidades onde estão localizadas as comunidades isoladas.

Os dados referentes ao número de habitantes foram extraídos do banco de dados do IBGE, com exceção da população do Complexo de Pesquisa Canguçu, que foi estimada em virtude da carga instalada no local.

Os projetos de geração considerados serão:

- SHGD<sup>6</sup> - Sistema Híbrido de Geração Distribuída;
- Biomassa - Gás do lixo;
- Gerador a diesel.

De posse das informações, o passo inicial foi preencher o formulário com as opções escolhidas, figura 6.10.

<sup>6</sup> O Sistema Híbrido de Geração Distribuída considerado neste exemplo é o mesmo apresentado na seção 2.5.

Dados iniciais do programa Multicritério

Quantos projetos de geração existem?

Existem critérios eliminatórios?

Serão utilizados critérios econômico?

Serão utilizados critérios sociais?

Serão utilizados critérios ambientais?

Serão utilizados critérios técnicos?

Classificação do critério POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA. Se existirem dados objetivos (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub>) o critério é objetivo.

Classificação do critério AQUECIMENTO GLOBAL. Se existirem dados objetivos (SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e NO<sub>x</sub>) o critério é objetivo.

Classificação do critério POLUIÇÃO SONORA. Se existirem dados objetivos (dB) o critério é objetivo.

Classificação do critério INUNDAÇÕES. Se existirem dados objetivos (km<sup>2</sup>) o critério é objetivo.

Classificação do critério DESMATAMENTO. Se existirem dados objetivos (km<sup>2</sup>) o critério é objetivo.

Figura 6.10 *Formulário*

O primeiro campo foi preenchido com nove projetos, pois o exemplo constitui-se de 3 comunidades isoladas, sendo que para cada uma foram avaliadas três diferentes formas de se gerar energia. As opções restantes foram preenchidas considerando os critérios eliminatórios e todos os classificatórios.

O segundo passo foi preencher os critérios eliminatórios, figura 6.11. Observa-se que o campo “quantidade de energia” não foi preenchido, pois não foi fornecido dado, assim, de acordo com o tutorial, o aplicativo não vai levar em consideração na hora da eliminação.

Critérios Eliminatórios		
Insira os valores críticos referentes aos critérios eliminatórios		
Descrição		
O valor presente do projeto deve se situar numa faixa, $VP_{\min} < VP < VP_{\max}$	Valor presente mínimo	Valor presente máximo
Complete ao lado	0	1000000
A quantidade de energia (kWh/ano) deve ser maior que a energia de demanda estimada para a localidade	Energia mínima requerida (kWh/ano)	
Complete ao lado		
O IDH da comunidade deve ser menor que o valor estipulado	IDH máximo	
Complete ao lado	0,65	
O número mínimo de habitantes que a comunidade a ser beneficiada deverá possuir tem que ser maior ou igual que o estipulado pela instituição	número de habitantes mínimo	
Complete ao lado	100	
O PIB da comunidade deve ser menor que o valor estipulado	PIB máximo	
Complete ao lado	15000	

Figura 6.11 *Critérios eliminatórios*

Avaliados os critérios eliminatórios, foi realizado o preenchimento das planilhas referentes aos projetos de geração. A figura 6.12, apresenta a planilha do projeto SHGD para a comunidade Vila Porto Alegre de Curumu.

Projeto - SHGD - Vila Porto Alegre de Curumu							
Nome do projeto	SHGD - Vila Porto Alegre de Curumu						
	Informações sobre Critérios Eliminatórios - SHGD - Vila Porto Alegre de Curumu						Quanto a eliminação
Valor Presente do Projeto (R\$)	970000						NÃO Eliminado
Energia anual gerada (kWh/ano)							NÃO Eliminado
Número de habitantes	400						NÃO Eliminado
PIB da Região	2333,79						NÃO Eliminado
IDH da Região	0,597						NÃO Eliminado
Existem motivos que impossibilitem a aplicação deste projeto de geração na região?		Não	Qual é o motivo?			NÃO Eliminado	
Critérios							
1) Critérios Econômicos							
1.a) R\$/kWh	dado	unidade					
	3,64	R\$/kWh					
1.b) Custo de implantação	dado	unidade					
	970000	R\$					
1.c) Custo de operação e manutenção	dado	unidade					
	60	R\$					
2) Critérios Sociais							
2.a) Capacidade de gerar de emprego						Regular	5
2.b) Grau de instrução dos moradores						Ruim	3
2.c) Impactos na saúde						Muito Bom	10
2.d) IDH						Bom	7
2.e) Qualidade de vida						Muito Bom	10
3) Critérios Ambientais							
3.a) Poluição atmosférica						Muito Bom	10
		dado	unidade	Relação CO <sub>2eq</sub>	dado equivalente	total	unidade
	emissão de CO <sub>2</sub>	0	tCO <sub>2</sub> /ano	1	0	0	tCO <sub>2eq</sub> /ano
	emissão de CH <sub>4</sub>	0	tCH <sub>4</sub> /ano	21	0		
	emissão de N <sub>2</sub> O	0	tN <sub>2</sub> O/ano	310	0		
3.c) Poluição sonora						Muito Bom	10
3.d) Poluição visual						Muito Bom	10
3.e) Inundações						Muito Bom	10
3.f) Desmatamentos						Muito Bom	10
3.g) Prejuízos ao solo						Bom	7
3.h) Efeitos sobre a flora						Muito Bom	10
3.i) Efeitos sobre a fauna						Muito Bom	10
4) Critérios Técnicos							
4.a) Disponibilidade e confiabilidade do sistema						Regular	5
4.b) Manutenção						Ruim	3
4.c) Operação						Ruim	3
4.d) Capacidade ofertada de energia						Bom	7
4.e) Necessidade de gerenciamento da						Regular	5
3.f) Eficiência						Bom	7
4.g) Vida útil						Ruim	3

Figura 6.12 Projeto do SHGD preenchido

Depois de inseridos os dados nas planilhas de cada projeto, foram eleitas as preferências dos avaliadores, utilizando os métodos SWING e AHP. Os resultados obtidos foram:

## - Método SWING

Tipo do critério	Critério	Prioridade Resultante
Econômico	R\$/kWh	7,12%
	Custo de implantação	1,78%
	Custo de operação e manutenção	6,55%
Social	Capacidade de gerar empregos	3,21%
	Grau de instrução dos moradores	3,56%
	Impactos na saúde	4,99%
	IDH	6,41%
	Qualidade de vida	6,41%
Ambiental	Poluição Atmosférica	6,05%
	Aquecimento Global	6,05%
	Poluição sonora	2,49%
	Poluição visual	0,71%
	Inundações	5,34%
	Desmatamentos	5,34%
	Prejuízos ao solo	4,63%
	Efeitos sobre a flora	1,42%
	Efeitos sobre a fauna	1,42%
Técnicos	Disponibilidade e confiabilidade do sistema	5,70%
	Manutenção	5,70%
	Operação	3,56%
	Capacidade ofertada de energia	6,77%
	Necessidade de gerenciamento da carga	1,57%
	Eficiência	1,07%
	Vida útil	2,14%
Soma		100,00%

Figura 6.13 Prioridade resultante pelo método SWING

## - Método AHP

Tipo do critério	Critério	Prioridade Resultante
Econômico	R\$/kWh	11,48%
	Custo de implantação	0,91%
	Custo de operação e manutenção	8,73%
Social	Capacidade de gerar empregos	1,34%
	Grau de instrução dos moradores	1,78%
	Impactos na saúde	3,20%
	IDH	8,78%
	Qualidade de vida	8,78%
Ambiental	Poluição Atmosférica	6,42%
	Aquecimento Global	6,42%
	Poluição sonora	1,24%
	Poluição visual	0,56%
	Inundações	4,17%
	Desmatamentos	4,13%
	Prejuízos ao solo	2,69%
	Efeitos sobre a flora	0,75%
	Efeitos sobre a fauna	0,75%
Técnicos	Disponibilidade e confiabilidade do sistema	5,16%
	Manutenção	5,16%
	Operação	1,90%
	Capacidade ofertada de energia	11,47%
	Necessidade de gerenciamento da carga	2,48%
	Eficiência	0,60%
	Vida útil	1,06%
Soma		100,00%

Figura 6.14 Prioridade resultante pelo método AHP

Eleitas as prioridades, retornou-se a planilha “principal” e clicou-se no botão <Mostrar Resultados>, obtendo-se a classificação final. Foram encontrados dois resultados, conforme a escolha do método de eleger pesos. Assim:

#### - Método SWING

Rótulos de Linha
Biomassa GDL - Complexo de pesquisa Canguçu
Nota final 7,744274052
Biomassa GDL - Comunidade de Jesus
Nota final 0
Biomassa GDL - Vila Porto Alegre de Curumu
Nota final 7,850576672
Gerador a diesel - Complexo de pesquisa Canguçu
Nota final 6,200469842
Gerador a diesel - Comunidade de Jesus
Nota final 0
Gerador a diesel - Vila Porto Alegre de Curumu
Nota final 6,251571401
SHGD - Complexo de pesquisa Canguçu
Nota final 6,911552431
SHGD - Comunidade de Jesus
Nota final 0
SHGD - Vila Porto Alegre de Curumu
Nota final 6,877307367

#### - Método AHP

Rótulos de Linha
Biomassa GDL - Complexo de pesquisa Canguçu
Nota final 7,279364667
Biomassa GDL - Comunidade de Jesus
Nota final 0
Biomassa GDL - Vila Porto Alegre de Curumu
Nota final 7,323180751
Gerador a diesel - Complexo de pesquisa Canguçu
Nota final 6,374690387
Gerador a diesel - Comunidade de Jesus
Nota final 0
Gerador a diesel - Vila Porto Alegre de Curumu
Nota final 6,59363156
SHGD - Complexo de pesquisa Canguçu
Nota final 7,013845571
SHGD - Comunidade de Jesus
Nota final 0
SHGD - Vila Porto Alegre de Curumu
Nota final 6,946543324

Figura 6.15 Tabela mostrando os resultados, conforme o método seja SWING ou AHP

Vale observar nos resultados que a Comunidade de Jesus ficou com nota final igual a zero, para qualquer projeto de geração escolhido, isso se deve ao fato dessa comunidade ter sido eliminada no critério número de habitantes. Das outras duas comunidades as classificações obtidas, independente do método de eleger pesos, foram:

**- Comunidade de Complexo de Pesquisa Canguçu**

1º biomassa GDL

2º SHGD

3º gerador a diesel

**- Comunidade Vila Porto Alegre de Curumu**

1º biomassa GDL

2º SHGD

3º gerador a diesel

Observa-se que como foi seguida uma coerência na hora de eleger quais critérios eram mais importantes que outros, a classificação das formas de geração foi a mesma para determinada comunidade, tanto para o método SWING quanto para o AHP.

Outra observação é que o mesmo projeto recebeu notas diferentes para cada comunidade, isso se deve ao fato que a avaliação dos critérios, principalmente os sociais, são diferentes, conforme as particularidades de cada uma.

Este exemplo mostra a versatilidade do programa, pois ele é capaz de selecionar, além da alternativa de geração, a comunidade que será assistida.

## **6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este capítulo apresentou o aplicativo multicritério, mostrando aspectos construtivos e funcionamento do programa. Foi construído um passo-a-passo denominado tutorial, com o objetivo de nortear os usuários. Por fim, o capítulo foi encerrado com um exemplo prático, demonstrando a validade do programa.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a problemática dos “excluídos energéticos”, que segundo Correia (2005) são mais de 10 milhões de pessoas, principalmente na região norte do país. Durante a revisão bibliográfica foi possível verificar que mesmo nos locais onde ocorre o fornecimento de energia, este é insuficiente e a principal forma de geração é o gerador a diesel. A falta de uma metodologia sistematizada e objetiva acaba contribuindo para que os projetos de investimento de geração considerem apenas os aspectos técnico-econômicos, sem levar em consideração outros impactos sentidos pelas comunidades, como o ambiental e social.

A metodologia apresentada no trabalho buscou contribuir com a quebra deste paradigma, fornecendo uma maneira racional e simples de se abordar os diversos critérios. A primeira grande avaliação foi considerar os custos quantitativos, para tanto, foram utilizados métodos de quantificação dos impactos e valoração. A segunda forma de se contabilizar os impactos foi a abordagem multicritério, onde os diversos aspectos foram comparados por meio de valores ou menções. Dentre os métodos multicritérios revisados, o SWING mostrou-se o mais indicado para o trabalho, devido sua simplicidade, transparência e por ser aplicável a praticamente qualquer número de critérios.

Dessa maneira, concluiu-se que a abordagem multicritério é a mais indicada quando se quer considerar aspectos quantitativo e/ou qualitativos da geração de energia elétrica, e por essa razão, foi a base teórica para a construção da metodologia utilizada na implementação do aplicativo multicritério, objeto deste trabalho.

Buscando validar o programa desenvolvido, foi apresentado um exemplo com 3 comunidades isoladas e 3 modalidades diferentes de se produzir energia elétrica. Este exemplo, apesar de parecer simples, mostrou a versatilidade do aplicativo. Ficou claro também que o referido programa deve ser utilizado por profissionais de bons conhecimentos na área de geração, mais importante ainda, seria que dentre os avaliadores estivessem presentes profissionais de conhecimentos diversificados, pois os critérios avaliados, principalmente os subjetivos, requerem conhecimento e discernimento na hora da escolha. Outra observação é que o número de avaliadores deverá ser uma quantidade razoável, pois apenas um especialista, ou mesmo um grupo pequeno, pode tornar a avaliação dos critérios tendenciosa e pouco confiável.

Para melhor coerência e comparação, foram utilizados dois métodos para eleger os pesos dos diversos critérios, o SWING e o AHP, no entanto, o último demonstrou-se mais complexo e

trabalhoso, pois quando se tem um elevado número de critério, o preenchimento da matriz de comparação é bastante oneroso.

Para trabalhos futuros, sugere-se que o aplicativo seja capaz de selecionar, além de comunidades isoladas, comunidades que sejam parcialmente isoladas ou até mesmo que já sejam atendidas com o fornecimento de energia elétrica, sendo que neste último caso, a GD seria apenas complementar. Outra sugestão é que sejam pesquisados mais critérios, principalmente aqueles que estejam relacionados diretamente com a comunidade, buscando premiar os projetos de geração que possibilitam uma maior integração com as atividades desenvolvidas na região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3 ed. Brasília: ANELL, 2005, 243 p.

\_\_\_\_\_. Biblioteca virtual. Disponível em:< [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 10 janeiro 2009.

BOAS, Cíntia de Lima Vilas. *Modelo Multicritério de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: Estudo da Barragem João Leite*. 2006. 158f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

BIBLIOTECA DIGITAL WWI-UMA. *Energia: a era da microgeração*. [ S.1.]: Worldwatch Insstitute; Universidade Livre da Mata Atlântica, 2001. Disponível em: < [www.wwiuma.org.br/alertas.html](http://www.wwiuma.org.br/alertas.html)>. Acesso em: 20 de dezembro 2008.

BOLOGNINI, M. F. *Externalidades na Produção de Álcool Combustível no Estado de São Paulo*. (Dissertação de Mestrado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CACHAPUZ, Paulo Brandi de Barros (Org.). *História da operação do sistema interligado nacional*. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2003. 416 p.

COELHO, S. T. *Mecanismos para implementação da Cogeração de Eletricidade a partir de Biomassa – Um modelo para o Estado de São Paulo*. (Tese de Doutorado) Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/1999/teses>>. Acesso em: 15 de maio de 2009.

CORREIA, José de Castro. *Atendimento Energético a Pequenas Comunidades Isoladas: Barreiras e Possibilidades*. T&C Amazônia, Ano III, Número 6, janeiro de 2005.

DI LASCIO, M. A. *Eletricidade e desenvolvimento para as populações da Amazônia: A geração Descentralizada da Energia Elétrica*. Primeiro Seminário Atendimento Energético de Comunidades Extrativistas – SAECSX 2004. Brasília, 3 e 4 de junho de 2004.

EXTERNE, Externalities of Energy. Pagina oficial na internet. Disponível em: <<http://www.externe.info/expolwp4.pdf>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2009.

\_\_\_\_\_, Externalities of Energy. *Methodology 2005 Update*. Stuttgart, 2005. Methodology Update 2005.

EXTERNE-POL. *Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications. Multicriteria Analysis*. Atenas, 2004. Multicritéria Analysis.: Editora, volume, Disponível em: < <http://www.externe.info/expolwp4.pdf>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2009.

FERRAZ, Pedro George Prescott. *Aplicativo para a avaliação multicritério de projetos de geração para atendimento a comunidades isoladas*. 2008. 102f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)> . Acesso em: 06 julho de 2009.

MANKIW, Gregory N. *Introdução à Economia*. 1. ed., 3. reimpr. Thomson Learning: São Paulo, 2007.

MARQUES, Antônio de Oliveira. *Externalidades*, 2008. Disponível em:<  
[http://www.ufrr.br/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=2672](http://www.ufrr.br/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=2672)>. Acesso em: 03  
fevereiro de 2009.

MME – Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME, 2008. Disponível em: <  
[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 15 de janeiro de 2009.

NETO, José Ribeiro Machado. *A questão paraguaia: de novos paradigmas externos a uma diplomacia de resultados para vizinhos turbulentos*, 2008. Disponível em: <  
[www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)>. Acesso em: 03 de janeiro de 2009.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Disponível em  
<[www.pnud.org.br](http://www.pnud.org.br)> . Acesso em: 06 de julho de 2009.

PRADO, Thiago G. Ferreira. *Externalidades do ciclo produtivo de cana de açúcar com ênfase na produção de energia elétrica*. 2007. 236 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ROCHA, B.R.P., Silva, I.M.O. Energia para o Desenvolvimento Sustentável da Amazônia, 2002. Disponível em: < <http://www2.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2009.

SAATY, Thomas L. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

SEVERINO, Mauro Moura. *Avaliação técnico-econômica de um sistema híbrido de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas da Amazônia*. 2008. 335f. Tese (Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008).

SHAYAYNI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. *Externalidades da Geração de Energia com Fontes Convencionais e Renováveis*. VI Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Salvador: maio de 2008.