



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Criada pela Lei nº10.435, de 24 de abril de 2002

Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia

**SUPRIMENTO REGIONAL DE ENERGIA ATRAVÉS
DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM RECURSOS
RENOVÁVEIS**

RONALDO PEREIRA DE ALMEIDA

Itajubá, Maio de 2010



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei nº10.435, de 24 de abril de 2002

Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia

**SUPRIMENTO REGIONAL DE ENERGIA ATRAVÉS
DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA COM RECURSOS
RENOVÁVEIS**

RONALDO PEREIRA DE ALMEIDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Engenharia de Energia.

Área de concentração: Exploração do Uso Racional de Recursos Naturais e Energia

Orientador: Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni

Co-orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Itajubá, Maio de 2010

**Dedico esse trabalho à
meus queridos pais Sílvia Pereira de Almeida e Maria Aparecida de Almeida
que sempre foram exemplo de dedicação, perseverança e retidão de caráter**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à DEUS pelo dom da vida.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni e Prof.Dr. Jamil Haddad, pela competência, dedicação, paciência, amizade e confiança na realização deste trabalho.

À equipe da GMS que com grande competência e dedicação norteou o levantamento de dados e desenvolvimento das pesquisas, especialmente ao amigo Vantuil.

Aos colaboradores da UNIFEI que na grandeza de seu trabalho possibilitam que o nosso aconteça.

As professores da UNIFEI pelos conhecimentos transmitidos ao longo de todos estes anos de estudos.

Aos familiares, em especial meus pais Sílvio Pereira de Almeida e Maria Aparecida de Almeida pela enorme contribuição na minha formação, serei eternamente grato a vocês por tudo, meus mais sinceros agradecimentos.

A todos os amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram na elaboração deste trabalho.

"Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende."

Leonardo da Vinci

RESUMO

Os recursos renováveis têm ganhado destaque cada vez maior entre as fontes de geração de energia elétrica, especialmente no Brasil que possui grande potencial dos mesmos. No presente trabalho estudou-se o suprimento regional de energia elétrica através de geração distribuída utilizando recursos renováveis para o atendimento de cargas de demanda. Os conceitos de geração distribuída são múltiplos, portanto, fez-se necessário identificar alguns, convergindo para o arcabouço legal existente no Brasil acerca de tal assunto. Selecionou-se um conjunto de fontes renováveis de energia, identificando-se suas principais características e tecnologias de conversão energética aplicáveis, sendo as fontes as seguintes: biomassa de resíduos agrícolas e florestais, biogás de resíduos sólidos urbanos, eólica, solar fotovoltaica, biodiesel e centrais geradoras mini-hidráulicas. O presente trabalho culmina em um estudo de caso aplicado ao estado de Goiás, onde se identificou a disponibilidade e distribuição dos recursos renováveis estudados, sendo calculada a capacidade de geração de energia elétrica a partir dos mesmos. Para a biomassa de resíduos agrícolas e florestais calculou-se os custos para a instalação de empreendimentos de geração a partir dos mesmos, e consultando-se diversos estudos e projetos obteve-se os custos de instalação de empreendimentos para os demais recursos estudados, estabelecendo, assim, um ranking comparativo entre os mesmos.

Palavras-Chave: Geração Distribuída, recursos renováveis, energia, custos

ABSTRACT

The renewable resources have becoming more and more important within the power generation sources, specially because Brazil has a great potential. In the present work it was studied the electricity regional supply by employing distributed generation using renewable resources to meet the load demand.

Several are the definitions of distributed generation, therefore, there was a need of identifying some of them, converging to the Brazilian existent legal framework on this subject. It was selected set of renewable sources, identifying their main characteristics and applicable energy conversion technologies, which are: agricultural biomass residues and forests, biogas from urban solid waste, solar photovoltaic, biodiesel, and very small hydro plants. The work ends in a case study for Goiás state, where the availability and distribution of the renewable resources were identified and studied, finding the generation capacity and costs of each one. Costs were calculated for the installation and operation of generating units using the several resources, in order to establish a comparative rank.

Keywords: Distributed generation, renewable resources, energy supply and costs.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – Sistemas geração de energia elétrica com recursos renováveis	27
FIGURA 02 – Rede Elétrica Convencional Centralizada.....	31
FIGURA 03 – Sistema Elétrico com Geradores Distribuídos.....	32
FIGURA 04 – Poder calorífico superior e inferior	44
FIGURA 05 – Processos de Conversão Energética da Biomassa	49
FIGURA 06 – Rotas tecnológicas de conversão da biomassa em energia elétrica...50	
FIGURA 07 – Corte esquemático de um aterro sanitário	53
FIGURA 08 – Evolução típica da produção de biogás no aterro sanitário	54
FIGURA 09 – Potencial Eólico do Brasil por região	60
FIGURA 10 – Componentes de aerogerador utilizando gerador multipolos.....	62
FIGURA 11 – Evolução do diâmetro do rotor dos aerogeradores de três pás	64
FIGURA 12 – Curva de potência de um aerogerador	65
FIGURA 13 – Radiação Solar Global Diária Média Anual no Brasil (MJ/m ² .dia).....	69
FIGURA 14 – Grupo gerador Cummins movido a óleo de mamona in natura	77
FIGURA 15 - Pré-seleção de turbinas hidráulicas.....	81
FIGURA 16 – Diagrama de custos de instalação para geração de energia a partir da biomassa de resíduos agrícolas e florestais.....	83
FIGURA 17 – Fardo de biomassa de resíduos agrícolas	84
FIGURA 18 – Custos de coleta da biomassa para diferentes distâncias de transporte	85
FIGURA 19 – Custo específico de investimento em gaseificador e microturbina a gás	86

FIGURA 20 – Custo específico de investimento em gaseificador e motor de combustão interna.....	86
FIGURA 21 – Custo específico de investimento em caldeira e turbina a vapor	87
FIGURA 22 – Curva de investimento em geradores diesel.....	95
FIGURA 23 – Curva de consumo de diesel de grupos gerador diesel	97
FIGURA 24 – Regiões de planejamento do estado de Goiás	112
FIGURA 25 – Mapa de velocidades dos ventos no estado de Goiás.....	120
FIGURA 26 – Mapa do potencial eólico dos municípios do Nordeste Goiano	121
FIGURA 27 – Mapa do potencial eólico dos municípios do Norte Goiano	122
FIGURA 28 – Radiação Solar Global Diária Média Anual no estado de Goiás.....	123
FIGURA 29 – Bacias Hidrográficas do estado de Goiás	128
FIGURA 30 – Curva de custos de sistema de geração com biomassa de resíduos agrícolas.....	137
FIGURA 31 – Curva de custos de sistema de geração com biomassa de resíduos florestais	138
FIGURA 32 – Municípios da região de planejamento Nordeste Goiano	147

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Poder Calorífico Inferior de biomassas	45
TABELA 02 – Coeficiente de Produção de Resíduos (C_R).....	47
TABELA 03 – Tecnologias de conversão energética do biogás.....	55
TABELA 04 – Rendimentos obtidos nas células, módulos e centrais fotovoltaicas ..	73
TABELA 05 – Fatores de Capacidade máximos	74
TABELA 06 – Oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel	75
TABELA 07 – Classificação das pequenas centrais geradoras.....	79
TABELA 08 – Investimentos nas alternativas geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos	89
TABELA 09 – Custos do sistema fotovoltaico	94
TABELA 10 – Período de safra das culturas estudadas no estado de Goiás	114
TABELA 11 – Produção de silvicultura no estado de Goiás.....	117
TABELA 12 – Municípios com potencial de GD a partir de resíduos sólidos urbanos	118
TABELA 13 – Municípios com potencial eólico em Goiás	122
TABELA 14 – Estações Meteorológicas Convencionais do INMET em Goiás	124
TABELA 15 – Dados de Insolação Total das estações do INMET em Goiás.....	125
TABELA 16 – Usinas de Biodiesel autorizadas em Goiás	127
TABELA 17 – Equipamentos para recolhimento da biomassa no campo	131
TABELA 18 – Custos dos equipamentos para coletar e transportar a biomassa	132
TABELA 19 – Características operacionais e de custos dos equipamentos	132
TABELA 20 – Custos dos matérias e equipamentos.....	134
TABELA 21 – Custos de equipamentos para geração	135

TABELA 22 – Custos de instalação para cada alternativa estudada	144
TABELA 23 – Ranking de ordenação econômica entre as alternativas	145
TABELA 24 – Ranking de preço mínimo da energia entre as alternativas	146
TABELA 25 – Capacidade considerada para ser instalada com os recursos existentes em Cavalcante	148
TABELA 26 – Custos das alternativas de geração em Cavalcante	148

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abreviaturas Latinas

A	Ampere
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Gás Sulfídrico
N ₂	Nitrogênio
TWh	Terawatt-hora
W	Watt
Wp	Watt-pico
kJ	Quilojoule
kVA	Quilovoltampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
MPa	Megapascal
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
Wh	Watt-hora

Abreviaturas Gregas

η	eficiência
ρ	massa específica

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARCON	Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CELG	Companhia Energética de Goiás
CELPA	Centrais Elétricas do Pará
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CIGRE	International Council on Large Electric Systems
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
FC	Fator de Capacidade
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUPAI	Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria
GC	Geração Centralizada
GEE	Grupo de Estudos Energética

GD	Geração Distribuída
GEDAE	Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará
GDL	Gás de Lixo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar
MACI	Motor Alternativo de Combustão Interna
MME	Ministério de Minas e Energia
mCH	Mini Central Hidrelétrica
NEST	Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída
NMOCs	Non methane organic compounds
O&M	Operação e Manutenção
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PURPA	Public Utilities Regulatory Policies Act
RP	Região de Planejamento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEPLAN	Secretaria de Planejamento

SEPIN	Superintendência de Estatística
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
μCH	Micro Central Hidrelétrica
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

LISTA DE SÍMBOLOS

bar	pressão
C_R	coeficiente de produção de resíduos
cv	cavalo-vapor
c_p	coeficiente de potência
fck	Resistência característica do concreto à compressão
g	aceleração da gravidade
ha	hectare
H_B	perda de carga
H_d	queda de projeto
H_L	queda líquida
kcal	quilocaloria
kg	quilograma
m^2	metro quadrado
m^3	metro cúbico
km	quilômetro
km^2	quilômetro quadrado
n	rotação
n_{qa}	rotação específica
P_g	potência gerada
Q	vazão
V_i	velocidade instantânea
V_n	velocidade nominal
V_c	velocidade de corte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. OBJETIVOS	21
1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.2. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	22
1.3. HIPÓTESES	23
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA.....	25
2.1. PEQUENO HISTÓRICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA	25
2.2. FONTES RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	26
2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO RECURSOS RENOVÁVEIS.....	28
2.3.1. DEFINIÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	28
2.3.1.1. Vantagens da Geração Distribuída	33
2.3.1.2. Desvantagens da Geração Distribuída	35
2.4. ASPECTOS REGULATÓRIOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	36
3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DE RECURSOS RENOVÁVEIS.....	40
3.1. RECURSOS RENOVÁVEIS E SUAS TECNOLOGIAS.....	40
3.1.1. BIOMASSA.....	40
3.1.1.1. Biomassa de Resíduos Agrícolas	42
3.1.1.2. Biomassa de Resíduos Florestais.....	42
3.1.2. Poder Calorífico.....	44
3.1.3. Coeficiente de Produção de Resíduos	46
3.1.4. Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa de Resíduos Agrícolas e Florestais.....	48

3.1.5.	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	52
3.1.5.1.	Tecnologias de Conversão Energética Resíduos Sólidos Urbanos	55
3.1.6.	ENERGIA EÓLICA	58
3.1.6.1.	Tecnologias de Conversão da Energia Eólica.....	61
3.1.7.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	67
3.1.7.1.	Tecnologia de conversão Solar Fotovoltaica.....	69
3.1.8.	BIODIESEL.....	74
3.1.8.1.	Tecnologias de conversão do biodiesel	76
3.1.9.	MINI E PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	78
3.1.9.1.	Tecnologias de conversão da energia hidráulica	79
3.2.	CUSTOS DAS ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO RECURSOS RENOVÁVEIS	82
3.2.1.	CUSTOS DA BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS 82	
3.2.2.	CUSTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	88
3.2.3.	CUSTOS DA GERAÇÃO EÓLICA.....	90
3.2.4.	CUSTOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA	92
3.2.5.	CUSTOS DA GERAÇÃO COM BIODIESEL.....	95
3.2.6.	CUSTOS DA GERAÇÃO MINI-HIDRÁULICA.....	97
3.3.	ORDENAÇÃO ECONÔMICA.....	98
4.	METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS CUSTOS DAS ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO COM RECURSOS RENOVÁVEIS.....	100
5.	ESTUDO DE CASO	110
5.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	110
5.2.	DISPONIBILIDADE DE RECURSOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ...	113

5.2.1.	RECURSOS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS	113
5.2.2.	RECURSOS DE RESÍDUOS FLORESTAIS	116
5.2.3.	RECURSOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	117
5.2.4.	RECURSO EÓLICO	119
5.2.5.	RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO.....	123
5.2.6.	RECURSO BIODIESEL.....	126
5.2.7.	RECURSO HÍDRICO.....	127
5.3.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO DAS ALTERNATIVAS	130
5.3.1.	CONSIDERAÇÕES PARA O LEVANTAMENTO DOS CUSTOS	130
5.3.2.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO COM BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS	130
5.3.3.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO COM RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	139
5.3.4.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO EÓLICA	140
5.3.5.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA	141
5.3.6.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO COM BIODIESEL	141
5.3.7.	CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO MINI HIDRÁULICA ...	143
5.3.8.	ORDENAÇÃO ECONÔMICA.....	143
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	150
6.1.	SUGESTÕES E ESTUDOS FUTUROS.....	152
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
	ANEXO I.....	161
	ANEXO II.....	173

1. INTRODUÇÃO

A energia sempre foi um fator de fundamental importância na vida das pessoas ao longo do desenvolvimento da humanidade, sendo a mesma um ingrediente essencial para o desenvolvimento dos países, estando no centro das atenções dos governos, os quais buscam garantir a expansão da oferta para promover o crescimento econômico frente ao mercado globalizado, devendo simultaneamente enfrentar os problemas ambientais como o aquecimento global e promover o crescimento de forma sustentável, o que acaba favorecendo as fontes renováveis para geração de energia.

A busca por fontes renováveis de energia vem se intensificando cada vez mais no mundo inteiro, como decorrência das preocupações relacionadas às formas atuais predominantes de geração de energia, as quais trazem diversos impactos negativos para o meio ambiente e para as populações envolvidas e tem apresentado custos crescentes de geração.

O atendimento da demanda em localidades isoladas ou afastadas das redes convencionais torna os custos de fornecimento de energia elétrica elevados, pois, na maioria das vezes os custos com transmissão e distribuição acabam se tornando mais dispendiosos do que a própria geração.

Deve-se considerar alternativas para o suprimento regional da demanda, como a geração descentralizada, utilizando recursos energéticos renováveis e com disponibilidade próxima aos centros de consumo.

A utilização de fontes alternativas é uma questão que deve ser considerada pelas concessionárias de energia quando da elaboração dos planos e programas de atendimento das demandas de carga, principalmente em áreas rurais ou em

comunidades isoladas, pois, além de ser uma alternativa de ajuste dos contratos de suprimento.

O fornecimento de energia elétrica considerando o uso de novas tecnologias exige planejamento e racionalidade, devendo-se pensar não somente em quantidade de energia e disponibilidade de grandes potenciais, mas também na dispersão dos locais onde estão situadas as demandas, os tipos de aplicações demandantes, as implicações ambientais e sociais, a disponibilidade de recursos locais e o intervalo de tempo a ser suprido com as novas tecnologias.

O presente trabalho pretende discorrer acerca das alternativas de atendimento regional da demanda de energia elétrica via geração distribuída utilizando um conjunto de recursos renováveis, apresentando suas principais características, as tecnologias de conversão energética aplicáveis a cada recurso e os aspectos econômicos em termos de custos, estabelecendo um ranking entre as alternativas estudadas para o atendimento da demanda.

Com o presente trabalho pretende-se contribuir para um maior conhecimento acerca da geração distribuída utilizando recursos renováveis, visando servir como instrumento de planejamento, auxiliando a tomada de decisão quanto às alternativas de suprimento da demanda de energia elétrica e que possam ser implementadas em prol do desenvolvimento sustentável. As análises realizadas são aplicadas ao Estado de Goiás, na área de concessão da empresa Companhia Energética de Goiás (CELG).

A metodologia desenvolvida no presente trabalho pode ser aplicada para qualquer localidade do País, considerando-se as disponibilidades de recursos renováveis em cada localidade com possibilidades de serem utilizados para geração de energia elétrica.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho consiste no estudo do suprimento regional de energia elétrica através de geração distribuída utilizando recursos renováveis para o atendimento de cargas de demanda. Além do desenvolvimento teórico, realiza-se um estudo de caso com a metodologia desenvolvida, mostrando que a mesma pode ser aplicada a diferentes localidades para o planejamento das alternativas de suprimento energético utilizando recursos renováveis.

Buscou-se, também, ao longo do desenvolvimento do presente estudo, analisar a disponibilidade de recursos renováveis, as tecnologias de conversão energética para cada um deles e os custos associados à utilização dos mesmos para o atendimento da demanda de energia elétrica na região do estudo de caso.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos do presente estudo:

- apresentar, através de uma revisão bibliográfica, os principais conceitos da geração distribuída de energia elétrica utilizando recursos renováveis;
- apresentar o arcabouço legal existente no Brasil acerca da geração distribuída;
- identificar as tecnologias de conversão energética disponíveis comercialmente, para a conversão dos recursos naturais disponíveis em energia elétrica para o atendimento da demanda;
- apresentar, através de diversos estudos, uma estimativa preliminar de custos de instalação de empreendimentos utilizando os recursos estudados, exceto para a biomassa de resíduos agrícolas e florestais, os quais foram calculados em um

estudo de caso, buscando assim estabelecer um ranking que permita selecionar as alternativas mais econômicas para o fornecimento de energia elétrica;

1.2. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação de mestrado foi inspirada no trabalho de pesquisa e desenvolvimento (P&D) intitulado “Desenvolvimento de metodologia para seleção técnica, ambiental e econômica entre as opções convencionais e a utilização de geração distribuída a partir dos recursos renováveis existentes para atender o mercado consumidor da CELG”, desenvolvido para a empresa Companhia Energética de Goiás (CELG).

O projeto de P&D foi desenvolvido pelo Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída (NEST) e pelo Grupo de Estudos Energéticos (GEE), da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), juntamente com as empresas GMS Energética Ltda e GREEN – Grupo de Energia e Meio Ambiente, sob os auspícios da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI), no período de Setembro de 2006 a Dezembro de 2009.

O referido projeto originou-se da necessidade da Companhia Energética de Goiás (CELG) de melhorar o atendimento da demanda nos trechos finais de rede, sendo uma das possibilidades a geração distribuída utilizando recursos renováveis locais. Desta forma, buscou-se identificar e quantificar a disponibilidade de recursos, as tecnologias de conversão energética e os custos de instalação de empreendimentos de geração a partir dos mesmos, estabelecendo um ranking comparativo de custos para auxiliar na tomada de decisão frente às alternativas existentes.

1.3. HIPÓTESES

Para verificar a possibilidade de fornecimento de energia elétrica via geração distribuída, utilizando recursos renováveis, faz-se necessário estabelecer um conjunto de hipóteses, as quais deverão ser analisadas e testadas.

Para realizar o atendimento da demanda via geração distribuída utilizando recursos renováveis deve-se verificar se existe um arcabouço legal existente acerca desta forma de suprimento de energia elétrica.

Deve-se verificar se existem recursos renováveis na região de interesse com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica.

Conhecidos e selecionados os recursos, busca-se verificar se existem tecnologias em estágio de desenvolvimento suficientemente testado, comprovado e em escala comercial aplicáveis para conversão energética dos mesmos.

Identificados os recursos e conhecidas as tecnologias de conversão energética aplicáveis a cada um deles deve-se analisar se é possível utilizar os mesmos para o suprimento regional de energia elétrica via geração distribuída.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Para o desenvolvimento do presente estudo dividiu-se o mesmo em seis capítulos que buscam, individualmente, a consecução dos objetivos específicos, mas que, no conjunto, permitem que se atinja o objetivo apresentado anteriormente.

Este capítulo faz a introdução do trabalho, apresentando a motivação que o originou, o objetivo geral que norteou o desenvolvimento do mesmo, as hipóteses a serem verificadas e a estruturação para ele definida.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica acerca da geração distribuída de energia, apresentando as principais definições, vantagens e desvantagens e a legislação brasileira acerca do assunto. Apresenta-se, também, as fontes alternativas e a geração distribuída utilizando recursos renováveis.

O terceiro capítulo apresenta a geração distribuída a partir de um conjunto de recursos renováveis selecionados, sendo estes: biomassa de resíduos agrícolas e florestais, resíduos sólidos urbanos, eólica, solar fotovoltaica, biodiesel e centrais geradoras mini-hidráulicas. Para cada recurso estudado apresenta-se suas principais características e tecnologias de conversão energética aplicáveis. Faz-se, também, um estudo acerca dos custos de instalação de empreendimentos para geração de energia a partir dos recursos estudados.

A metodologia desenvolvida e aplicada no presente trabalho encontra-se descrita no quarto capítulo, onde são listadas as fontes de informações acerca dos recursos estudados, as tecnologias de conversão energética aplicáveis a cada um deles, as fontes de informações de custos e uma ordenação econômica entre estas tecnologias.

No quinto capítulo faz-se um estudo de caso de utilização do conjunto de recursos renováveis selecionados para o suprimento regional de energia no estado de Goiás, identificando-se e quantificando-se os recursos, as tecnologias de conversão energética, os custos de instalação de empreendimentos utilizando os mesmos, estabelecendo um ranking comparativo em termos de custos entre as alternativas estudadas.

O sexto capítulo apresenta as conclusões do estudo e recomendações para estudos futuros.

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA

Apresenta-se, neste capítulo, uma visão geral acerca da geração distribuída de energia utilizando recursos renováveis e os aspectos regulatórios da mesma.

2.1. PEQUENO HISTÓRICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

A concepção e instalação do primeiro sistema elétrico de potência data do ano de 1880, quando Thomas Alva Edison projetou e construiu a estação de Pearl Street Power na cidade de Nova Iorque. O sistema era muito pequeno, fornecendo energia elétrica a, aproximadamente, 400 lâmpadas incandescentes de 83 W de potência cada uma. A idéia teve logo enorme aceitação, sendo instalados sistemas similares nas maiores cidades dos continentes. No entanto, essas pequenas centrais possuíam uma característica em comum: sua disposição era próxima das cargas. Isto é, em essência, o que hoje em dia chama-se geração distribuída ou descentralizada de energia elétrica (ACKERMANN, 1999; GAS RESEARCH INSTITUTE, 1999).

Com o desenvolvimento tecnológico, a pequena distância entre o centro gerador e o centro consumidor deixou de ser uma necessidade. Assim, deu-se início ao período de grandes obras, aproveitando potenciais de grande porte, longe dos centros consumidores. As razões para tal maneira de organização são identificadas, segundo Walter et al. (2000): (i) na contínua busca de economias de escala e conseqüente redução dos custos unitários de capital; (ii) na conveniente minimização dos impactos e dos riscos ambientais nos centros mais densamente

povoados; (iii) no poder que tinham os empreendedores de grandes obras, fossem eles empresas ou governos e dando suporte às soluções então propostas, e (iv) na alta confiabilidade dos sistemas de transporte de eletricidade em alta tensão.

Atualmente, com a liberação dos mercados, com maior competitividade, especialmente na geração, trouxe-se ao cenário de fornecimento de energia elétrica a aparição de novos agentes (os produtores independentes e os autoprodutores, vendendo ou não excedentes de energia para a rede, concorrendo livremente) bem como as inovações tecnológicas no setor elétrico, que se constituem as principais forças impulsionadoras para a disseminação da geração distribuída (GD), aliado ao fato de que, cada vez, é mais difícil o financiamento das grandes centrais de geração e lidar com os impactos ambientais decorrentes da sua implantação.

2.2. FONTES RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Inicialmente deve-se buscar compreender corretamente o conceito de fontes renováveis de energia para que se evite mal entendidos.

Fontes renováveis de energia são aquelas que empregam como matéria-prima elementos que podem ser recompostos pela natureza em um processo inesgotável, ou em processos cujas reposições são realizadas em curto prazo. Compreendem as energias primárias baseadas na radiação solar incidente sobre a Terra, sendo elas a energia hidráulica, eólica, solar, bioenergias, das ondas e também outras energias “não solares”, como a geotérmica e a das marés.

Apresenta-se, na figura 01, exemplos de sistemas de geração de energia elétrica utilizando recursos renováveis.

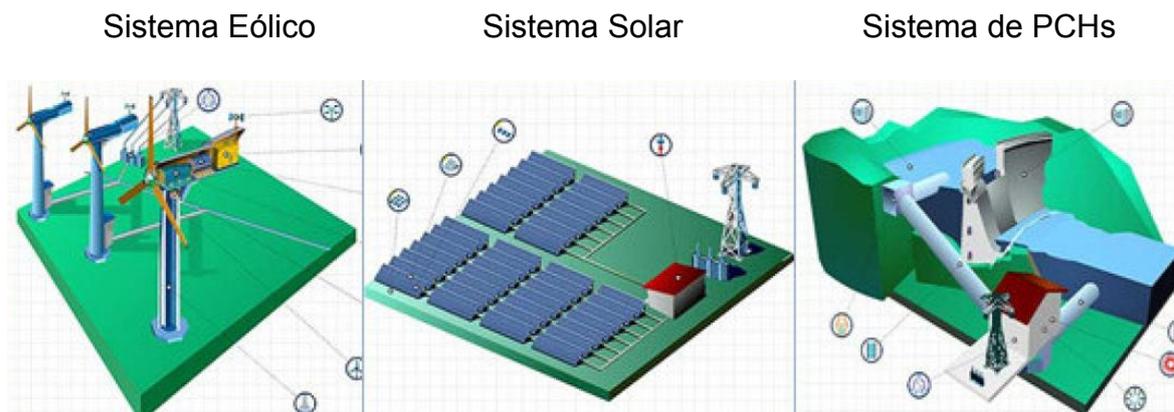


FIGURA 01 – Sistemas geração de energia elétrica com recursos renováveis

Fonte: ENEL (2006)

Ampliar o emprego de tecnologias para energias renováveis é uma das melhores opções de política para melhorar o acesso à eletricidade das camadas mais pobres da população brasileira. A promoção de tais tecnologias pode ser estimulada ou viabilizada através de recursos locais para comunidades isoladas, garantindo a provisão de energia necessária com baixos índices de impactos ambientais, em relação àquela energia que precisa ser transportada por longas distâncias, como no caso do diesel, por exemplo. Outra importante vantagem se refere à independência energética alcançada (GOLDEMBERG et al., 2004).

As fontes de energia renováveis ocupam um lugar de grande importância na geração de energia, pois possuem baixas emissões de carbono e de outros poluentes. De acordo com Oliveira (2000), conclui-se que os problemas ambientais aparecem como sinalizador, que influenciam as tomadas de decisões referentes à implantação de empreendimentos energéticos.

No desenvolvimento do presente trabalho selecionou-se um conjunto de recursos renováveis para serem estudados quanto à sua utilização para o suprimento regional de energia elétrica via geração distribuída. Os recursos selecionados foram considerados quanto à sua distribuição, disponibilidade e

tecnologias de conversão.

Dentre os diversos recursos renováveis existentes selecionou-se os seguintes: biomassa de resíduos agrícolas e florestais, biogás oriundo de aterro sanitário, eólica, solar fotovoltaica, biodiesel e centrais geradoras mini-hidráulicas.

2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA UTILIZANDO RECURSOS RENOVÁVEIS

2.3.1. DEFINIÇÕES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída (GD) é um conceito muito amplo, sobre o qual ainda não se chegou a uma definição exata, o que se pode afirmar com certa segurança é que os geradores distribuídos se encontram em geral conectados a rede de distribuição.

Na literatura já se pensou em defini-la em função de parâmetros técnicos tais como: níveis de tensão, capacidade de geração, suprimento de serviços ancilares, tecnologia empregada, modo de operação (despacho centralizado e programado ou não, etc.), área de atendimento dos consumidores, propriedade dos equipamentos, etc.

No entanto, fatores limitadores como dificuldades operativas, de planejamento, regulatórias e outros empecilhos acabaram impedindo que se adotasse uma definição mais simplista e restritiva, valendo a pena destacar alguns conceitos encontrados na literatura:

- “GD é uma planta de 20 MW ou menos, situada no centro de carga ou próxima a ele, ou situada ao lado do consumidor, e que produz eletricidade no

nível de voltagem do sistema de distribuição. São quatro as tecnologias apropriadas para a GD: turbinas de combustão, motores recíprocos, células a combustível e módulos fotovoltaicos” (California Energy Commission - CEC, 1996, 2000 apud TURKSON & WOHLGEMUTH, 2001).

- “GD indica um sistema isolado ou um sistema integrado de geração de eletricidade em plantas modulares pequenas – na faixa de poucos kW até os 100 MW – seja de concessionárias, consumidores ou terceiros” (PRESTON & RASTLER, 1996 apud ACKERMANN et al., 1999).

- “Geração Distribuída é o termo que se usa para a geração elétrica junto ou próxima do(s) consumidor(es), com potências normalmente iguais ou inferiores a 30 MW. A GD inclui: cogeneradores, geradores de emergência, geradores para operação no horário de ponta, módulos fotovoltaicos e Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's” (Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE, 2001).

Outras definições, independentes da capacidade instalada, têm sido adotadas. Segundo o *International Council on Large Electric Systems* (CIGRE), geração distribuída é a geração que não é planejada de modo centralizado, nem despachada de forma centralizada, não havendo portanto um órgão que comande as ações das unidades de geração descentralizada (MALFA, 2002).

Segundo Bajay et al. (2006), a geração distribuída de eletricidade consiste na produção deste energético no local de seu consumo, ou próximo a ele. Eventuais excedentes desta geração podem ser vendidos à rede local, ou a instalações vizinhas.

No Brasil, a geração distribuída foi definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004, conforme apresentado a seguir:

" 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 (...), 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, (...).

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."

Conforme apresentado, existem diversos conceitos acerca da geração distribuída, portanto, conclui-se ser necessário adotar-se uma definição que seja referência para as análises e considerações ao longo do desenvolvimento deste estudo. A definição aqui adotada é aquela estabelecida pela legislação brasileira, consubstanciada no Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004 e na Resolução Normativa nº 167 de 10 de Outubro de 2005, sendo que esta estabelece as condições para comercialização de energia elétrica proveniente de geração distribuída.

As principais tecnologias de geração distribuída atualmente em uso no País são as pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), pequenas centrais termelétricas, em geral utilizando motores de combustão interna e consumindo óleo diesel, unidades

de co-geração consumindo gás natural, óleo combustível, resíduos da biomassa, ou resíduos urbanos, geradores eólicos e painéis fotovoltaicos. Das tecnologias ainda em estágio de desenvolvimento, ou ocupando nichos de mercado, pode-se mencionar as células de combustíveis e as microturbinas a gás como as mais promissoras a longo prazo (Bajay et al., 2006).

De modo a salientar as possibilidades e amplitudes inerentes ao conceito de GD, apresenta-se duas ilustrações que representam modelos simplificados de sistemas baseados em geração centralizada (GC), e em sistemas mistos com geração distribuída (GD).

Na figura 02 apresenta-se um sistema convencional baseado em geradores centralizados e de grande porte que atendem a grandes conjuntos de carga e se ligam a estas por linhas de transmissão e linhas de distribuição que, posteriormente, distribuem a energia em níveis de tensão menores para residências, consumidores industriais e comerciais.

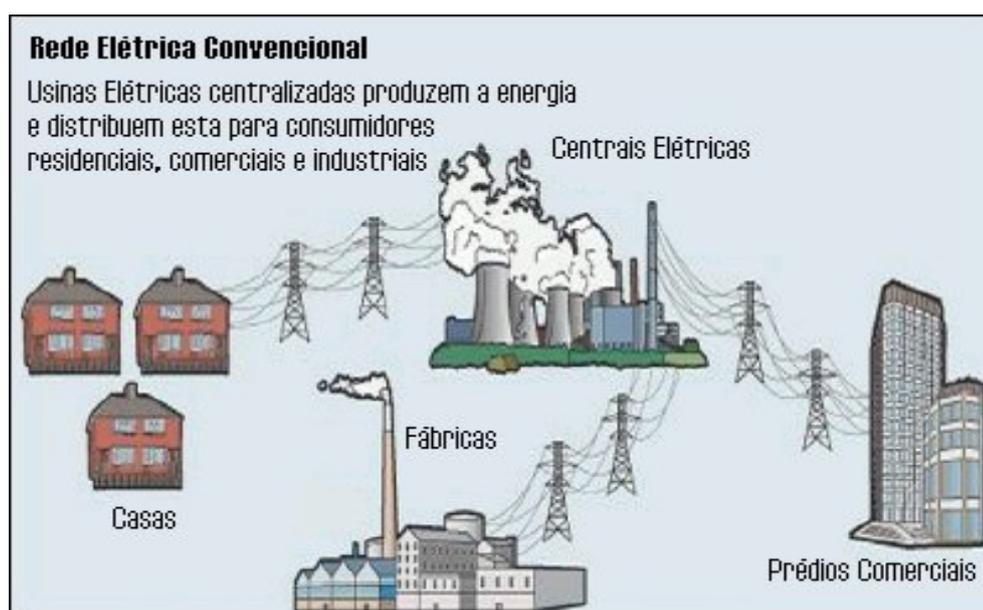


FIGURA 02 – Rede Elétrica Convencional Centralizada

(fonte: THE ECONOMIST, 2004)

Na figura 03 apresenta-se um sistema de produção de energia, com geradores de menor porte, que contribuem localmente para o suprimento da demanda de energia elétrica. No caso de geradores baseados em co-geração, eles também suprem as necessidades locais de energia térmica.

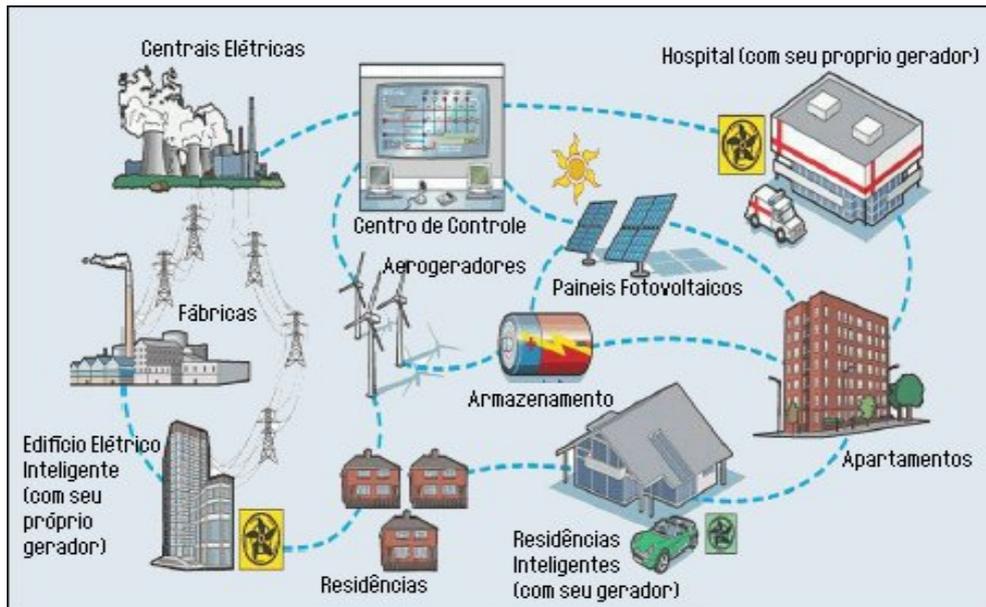


FIGURA 03 – Sistema Elétrico com Geradores Distribuídos

(fonte: THE ECONOMIST, 2004)

No sistema baseado em geradores distribuídos, diversas tecnologias em diversas faixas de potência contribuem para o atendimento da demanda, algumas com maior maturidade tecnológica, como alguns tipos de termelétricas, hidrelétricas, motores a combustão e co-geração a gás natural, e outras mais recentes como aerogeradores, células combustível, veículos movidos a hidrogênio, painéis solares fotovoltaicos, etc.

Nos sistemas com tecnologias mais recentes, seja pela sua baixa disponibilidade, eficiência ou ausência momentânea dos recursos naturais, faz-se necessário o uso combinado com sistemas de armazenamento. No caso desses geradores estarem conectados a rede, faz-se necessário a instalação de centros de

controle para o monitoramento da energia gerada e garantia de que a mesma esteja em conformidade com os requisitos característicos da rede.

Diversos motivos têm induzido o interesse em geração distribuída. Particularmente no Brasil, onde cerca de 81% da oferta total de energia elétrica são assegurados por grandes centrais hidrelétricas distantes dos grandes centros de consumo, a necessária implementação de novas alternativas de geração de eletricidade deve considerar questões tão diversas como a distribuição geográfica da produção, confiabilidade e flexibilidade da operação, disponibilidade e preços de combustíveis, prazo de instalação, etc. (LORA e HADDAD et al., 2006).

Em um quadro mais amplo, nos últimos anos e em todo o mundo, a desregulamentação da indústria de energia elétrica tem levado a mudanças profundas na indústria e em seu mercado. Neste sentido o alvo principal tem sido buscar um mercado competitivo, inovador e voltado para os consumidores, onde os negócios apenas têm êxito se focados nos interesses destes consumidores. Tal contexto enfatiza, portanto, a confiabilidade, o aumento na eficiência energética, do desempenho ambiental e a prestação de serviços que atendam a outras necessidades da comunidade em geral. Associando-se a estas transformações, em parte como causa, em parte como efeito, os avanços tecnológicos têm posicionado favoravelmente a geração distribuída frente aos grandes sistemas centralizados. (LORA e HADDAD et al., 2006).

2.3.1.1. Vantagens da Geração Distribuída

Segundo o INEE (2001), a geração distribuída oferece uma série de vantagens, sendo algumas decorrentes de sua usual proximidade do local de

consumo (como ocorre na cogeração e no uso de geradores de emergência), citando-se as seguintes:

- a. atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (ou à demanda reprimida) por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimos à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição;
- b. aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local, por adicionar fonte não sujeita a falhas na transmissão e distribuição;
- c. aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuída;
- d. redução das perdas na transmissão e dos respectivos custos, e adiamento no investimento para reforçar o sistema de transmissão;
- e. redução dos riscos de planejamento;
- f. Possível colocação de excedentes no mercado de energia elétrica.

Para o País, resultam benefícios ambientais e econômicos (INEE, 2001) :

- g. redução de impactos ambientais da geração, pelo uso de combustíveis menos poluentes, pela melhor utilização dos combustíveis tradicionais e, em certos tipos de cogeração, com a eliminação de resíduos industriais poluidores;
- h. benefícios gerais decorrentes da maior eficiência energética obtida pela conjugação da geração distribuída com a geração centralizada, e das economias resultantes;

- i. maiores oportunidades de comercialização e de ação da concorrência no mercado de energia elétrica, na diretriz das leis que reestruturaram o setor elétrico.

2.3.1.2. Desvantagens da Geração Distribuída

A geração distribuída apresenta alguns inconvenientes que devem ser considerados quando do planejamento e desenvolvimento de sistemas de geração distribuída, devendo-se atentar principalmente para aqueles ligados aos aspectos de conexão com a rede da concessionária e aqueles relativo à segurança.

Como exemplo de desvantagens cita-se as deseconomias de escala, como no caso de algumas tecnologias, tais como plantas termelétricas, centrais eólicas, entre outras.

Segundo o INEE (2001), a geração distribuída acarreta também desvantagens, que não devem ser esquecidas, devidas ao aumento do número de empresas e entidades envolvidas e à desvinculação entre interconexão física e intercâmbio comercial (a concessionária a que vai se conectar um produtor independente pode ser apenas transportadora e não compradora da energia que lhe é entregue por aquele produtor para um cliente remoto) :

- a. maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico, inclusive na garantia do "*back-up*";
- b. maior complexidade nos procedimentos e na realização de manutenções, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas;
- c. maior complexidade administrativa, contratual e comercial;

- d. maiores dificuldades de coordenação das atividades;
- e. em certos casos, diminuição do fator de utilização das instalações das concessionárias de distribuição, o que tende a aumentar o preço médio de fornecimento das mesmas.

2.4. ASPECTOS REGULATÓRIOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O incentivo inicial à geração distribuída surgiu nos Estados Unidos da América (EUA) com as mudanças na legislação iniciadas pelo *Public Utilities Regulatory Policies Act* (PURPA), em 1978, e ampliadas em 1992 pelo *Energy Policy Act*, com a desregulamentação da geração de energia. Outros países também começaram a alterar sua legislação referente ao setor elétrico, e a difusão da geração distribuída foi facilitada pelo progresso tecnológico mundial no campo da computação, resultando em controle e processamento de dados mais rápido e mais barato, e no campo das telecomunicações, oferecendo maior rapidez e menor custo na transmissão de maior volume de informação (INEE, 2001).

A geração distribuída foi introduzida oficialmente no Brasil a partir da promulgação da Lei 10.848 de 15 de Março de 2004, a qual dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, considerada como novo marco regulatório do setor elétrico.

No artigo segundo da Lei 10.848 estabelece-se que as concessionárias, as permissionárias e as autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) deverão garantir o atendimento à totalidade de seu mercado, mediante contratação regulada, por meio de licitação, conforme regulamento, sendo que a energia a ser contratada poderá ser

proveniente, entre outras fontes, de geração distribuída, observados os limites de contratação e de repasse às tarifas, baseados no valor de referência do mercado regulado e nas respectivas condições técnicas.

A definição oficial de geração distribuída no Brasil, conforme citado anteriormente, ocorreu com a promulgação do Decreto nº 5.163, de 30 de Julho de 2004.

O artigo 15 do Decreto 5.163 de 30 de Julho de 2004 estabelece a forma de contratação da energia elétrica proveniente de empreendimento de geração distribuída, o montante máximo que poderá ser contratado e dá outras providências, sendo que, para a contratação de energia, o mesmo estabelece que:

Art. 15. A contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída será precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente de distribuição, de forma a garantir publicidade, transparência e igualdade de acesso aos interessados.

§ 1º O montante total da energia elétrica contratada proveniente de empreendimentos de geração distribuída não poderá exceder a dez por cento da carga do agente de distribuição.

§ 2º Não será incluído no limite de que trata o § 1º deste artigo o montante de energia elétrica decorrente dos empreendimentos próprios de geração distribuída de que trata o § 2º do art. 70.

O Decreto 5.163 representou um marco regulatório de grande importância para uma maior participação da geração distribuída no suprimento de energia, pois, registrou o termo na legislação nacional, definiu a localização da GD no sistema

elétrico, reconheceu a participação da GD no conjunto das fontes de energia das concessionárias e permitiu a vinculação do conceito de GD a todos os tipos de fontes de geração distribuída.

Posteriormente ao Decreto 5.163/2004 foi promulgada a Resolução Normativa ANEEL 167, de 10 de Outubro de 2005, a qual estabelece as condições para comercialização de energia proveniente de geração distribuída, definindo-se o seguinte para a contratação:

Art. 2º - Na contratação de energia elétrica proveniente de geração distribuída o agente de distribuição deverá optar por uma das seguintes formas:

I – processo de chamada pública, de forma a garantir a publicidade, transparência e igualdade aos interessados; ou

II – compra de energia elétrica produzida pela empresa de geração decorrente da desverticalização, cujos contratos de compra e venda deverão ser registrados na ANEEL e na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

Parágrafo único. A contratação a que alude o caput será feita, exclusivamente, pelo agente em cuja rede de distribuição o respectivo empreendimento esteja conectado.

A análise da legislação existente acerca da geração distribuída mostra que os empreendimentos de GD deixam de ser vistos como concorrentes das distribuidoras de energia, podendo se constituir em ferramentas de planejamento e alternativa de suprimento para o atendimento da demanda, evitando a exposição aos preços do

mercado spot, os quais podem ser muito elevados.

Desta forma os empreendimentos de GD mostram-se como uma alternativa de planejamento das distribuidoras, permitindo diversificar as fontes de suprimento energético, corrigir desvios de demanda e exigirem prazos menores de implantação.

Uma das principais novidades introduzidas pelo novo marco regulatório do setor elétrico é o reconhecimento formal da GD e de sua participação efetiva no suprimento de energia às concessionárias, estabelecendo-se as condições para a criação de um mercado promissor para a GD.

3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DE RECURSOS RENOVÁVEIS

Apresenta-se, neste capítulo, os recursos renováveis considerados no presente trabalho para geração de energia elétrica em empreendimentos de geração distribuída, as tecnologias de conversão energética e a forma de cálculo da capacidade possível de ser gerada a partir de cada recurso estudado.

3.1. RECURSOS RENOVÁVEIS E SUAS TECNOLOGIAS

3.1.1. BIOMASSA

A biomassa é definida como toda matéria orgânica de origem vegetal (vegetação terrestre ou aquática), formada pelo processo de fotossíntese, o qual ocorre na presença da luz solar. Pode-se dizer que a biomassa é uma forma de armazenamento de uma pequena fração da energia solar que incide na superfície da Terra, na forma de ligações moleculares orgânicas (energia química). Esta energia é liberada por processos biológicos (digestão) e termoquímicos (MCKENDRY, 2002).

Existem duas categorias de biomassa: a tradicional, da qual fazem parte a lenha, o carvão vegetal, a palha e a casca de arroz, resíduos vegetais e animais; a biomassa moderna, na qual estão inseridos os resíduos da utilização industrial da madeira, bagaço de cana, culturas energéticas e resíduos urbanos (LORA, 1997).

A biomassa é uma fonte renovável de matéria-prima para geração de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas de fornecimento de energia, apresentando baixa interferência ambiental quando comparada com sistemas de fornecimento de energia baseados em

combustíveis fósseis.

O inevitável nexo entre a energia da biomassa e as atividades agrícolas, ao mesmo tempo em que impõe maior complexidade a estes sistemas energéticos, pode também traduzir-se em novas sinergias e externalidades positivas importantes. Tais aspectos são vistos cada vez mais com maior atenção e vêm constituir novos argumentos favoráveis, permitindo à biomassa mostrar na atualidade um acervo de realizações bastante interessantes em diferentes países, o que indica para ela novas oportunidades (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Quando se busca determinada disponibilidade de biomassa energética em um país ou região, é importante considerar as restrições de ordem ecológica, econômica (incluindo a social e a política) e tecnológica. Somente assim toda a biomassa potencialmente disponível (recurso) pode assumir o conceito de reserva, a partir do qual se determina o potencial anual de produção. As restrições ecológicas estão associadas à preservação do meio ambiente e à qualidade de vida. As limitações econômicas são analisadas em dois níveis. Em primeiro lugar, é necessário saber se a biomassa a ser explorada energeticamente não tem outros usos mais econômicos (industrial ou alimentício). Em segundo lugar, se todos os custos da biomassa explorada são compatíveis com os benefícios energéticos e comparáveis com os demais combustíveis. Finalmente, as restrições tecnológicas se devem à existência ou não de processos confiáveis e operações para conversão da biomassa em combustíveis de uso mais geral (NOGUEIRA et al., 2000).

Na maioria dos casos, o aproveitamento da biomassa se faz pela utilização de resíduos agrícolas e florestais, resíduos gerados na indústria florestal (licor negro, serragem, maravalhas, ponteiros, etc.) e do lixo urbano. Entretanto, considerando um cenário de expansão da geração de eletricidade a partir da biomassa, o

suprimento de matéria-prima estaria condicionado à expansão da atividade agrícola e florestal, bem como da indústria (MULLER, 2005).

3.1.1.1. Biomassa de Resíduos Agrícolas

Os resíduos agrícolas são constituídos por todo aquele material que é deixado no campo quando do processo de colheita das culturas, sendo formados por palhas, caules e folhas em geral, existindo também os resíduos agroindustriais, resultantes do processo de beneficiamento de algumas culturas, tendo-se como exemplos a casca de arroz e o caroço do algodão.

A viabilidade do aproveitamento de resíduos agrícolas está diretamente relacionada à implementação de um sistema logístico que seja capaz de integrar de forma racional as operações de colheita, transporte e armazenagem destes subprodutos. Cada tipo de biomassa apresenta características próprias como tamanho, forma e densidade e é com base nestas características que serão definidas as opções tecnológicas a serem utilizadas na estrutura da cadeia logística. (JÚNIOR e VIEIRA, 2002).

3.1.1.2. Biomassa de Resíduos Florestais

Os resíduos florestais são constituídos por todo aquele material que é deixado para trás na coleta da madeira, tanto em florestas e bosques naturais como em reflorestamento, e pela serragem e aparas produzidas no processamento da madeira. Esses resíduos deixados no local de coleta são as folhas, os galhos e o material resultante da destoca (CORTEZ et al., 2008).

Os resíduos florestais constituem parte importante na disponibilidade da

biomassa em alguns países pelas grandes quantidades geradas na colheita e na ação industrial. Essa fonte energética está encontrando mercado, em consequência do desenvolvimento tecnológico e dos baixos custos que representa sua utilização eficiente.

Evidencia-se, assim, a importância da biomassa florestal como insumo energético, seja na dimensão temporal, seja na dimensão espacial (em nível nacional e/ou estadual/regional). Portanto, a biomassa florestal deve ser incluída no rol de fontes energéticas consideradas quando da definição de políticas e diretrizes para o planejamento energético regional e, principalmente, não ser esquecida ou colocada entre as últimas prioridades quando da execução dos planejamentos elaborados (LIMA e BAJAY, 1998).

Em termos sócio-ambientais, as vantagens da biomassa florestal são inúmeras. Se cultivada de forma sustentável, seu manejo e utilização não acarretam acréscimo de CO₂ à atmosfera, já que o CO₂ liberado pela combustão é extraído da atmosfera durante o processo de fotossíntese. Além disso, sua utilização em larga escala para fins energéticos pode promover desenvolvimento sustentável de áreas rurais e regiões pouco desenvolvidas, reduzindo o êxodo para as áreas densamente urbanizadas (SOARES et al., 2006).

Atualmente o processo de extração e beneficiamento da madeira tem buscado alcançar maiores eficiências; desta forma, os resíduos não podem ser mais vistos como um problema, resultante tanto do processo de extração da madeira quanto de seu processamento industrial e sim como uma fonte de matéria-prima com possibilidade de aplicação em diversas finalidades, entre elas a geração de energia elétrica.

3.1.2. Poder Calorífico

Para o aproveitamento energético da biomassa faz-se necessário conhecer a quantidade de energia térmica liberada pela mesma quando dos processos de conversão energética. A medida dessa energia térmica é dada pelo Poder Calorífico da biomassa.

O Poder Calorífico corresponde à quantidade de calor (energia térmica) que se libera durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume do combustível (kJ/kg, kcal/kg ou kJ/m³). Quando não se considera o calor latente de condensação da umidade presente nos produtos da combustão têm-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) e quando esse calor latente é considerado, tem-se o Poder Calorífico Superior (PCS). Essa importante observação é mostrada na figura 04. (NOGUEIRA e LORA, 2003).

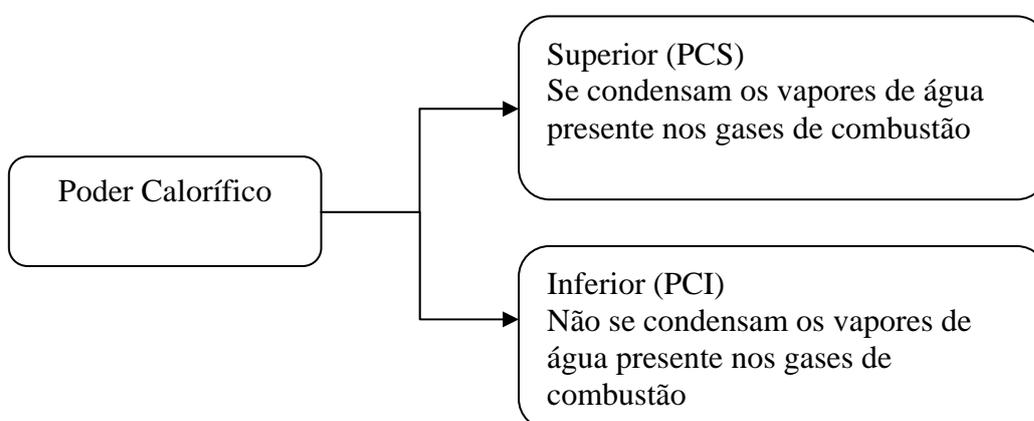


FIGURA 04 – Poder calorífico superior e inferior

(fonte: HORTA e LORA, 2003)

De maneira simplificada pode-se dizer que o PCI refere-se ao calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis, enquanto o PCS é em torno de 10 a 20% mais elevado, resultado de sua avaliação em laboratório.

Nos cálculos de rendimento de sistemas de combustão se podem adotar

ambos os tipos de poder calorífico, lembrando que a eficiência referente ao PCI é superior ao valor determinado segundo o PCS. Por isto, é sempre importante deixar claro o poder calorífico que se tem empregado ao apresentar os resultados de cálculos de eficiência e perdas de calor em fornos e caldeiras. Como o calor de condensação da umidade dos gases é tecnicamente irrecuperável, parece ser preferível o uso do PCI (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Consultando-se diversas publicações que tratam do Poder Calorífico de biomassas, percebe-se algumas variações de um autor para outro, mas de forma geral os valores são semelhantes. No presente estudo, para as biomassas estudadas considerou-se os valores de Poder Calorífico apresentados na tabela 01, os quais foram tomados como valores médios das diversas bibliografias consultadas.

TABELA 01 – Poder Calorífico Inferior de biomassas

Cultura	Produto Principal	Resíduo	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
Milho	Grão	Palha	3.570
Soja	Grão	Palha	3.300
Sorgo	Grão	Palha	3.750
Feijão	Grão	Palha	3.700
Trigo	Grão	Palha	3.750
Algodão	Pluma	Parte aérea	4.300
	Pluma	Cascas	3.300
Arroz	Grão	Palha	3.300
	Grão	Cascas	3.300
Madeira	madeira	galhos e folhas	4.600

3.1.3. Coeficiente de Produção de Resíduos

Para realizar o aproveitamento energético da biomassa de resíduos agrícolas e florestais faz-se necessário conhecer a quantidade de resíduos produzida.

Para obter uma estimativa da quantidade de resíduos produzida por determinada cultura quando da sua colheita, pode-se empregar o Coeficiente de Produção de Resíduos (C_R).

O C_R relaciona a quantidade de resíduos, em base seca, e a massa total colhida do produto. Desta forma, conhecendo-se o volume de produção de determinada cultura calcula-se o volume de resíduos produzidos.

A produção de resíduos por determinada cultura pode ter sua taxa de produtividade alterada de um ano para outro em função de diversos fatores, tais como: variações climáticas, área cultivada, rendimento anual da produção de resíduos, fração recuperável, usos competitivos e perdas.

Algumas culturas, além dos resíduos agrícolas, resultantes das atividades de colheita, produzem também resíduos agroindustriais, resultantes das atividades de beneficiamento das mesmas. Estes, na maioria das vezes, são tratados como empecilho, dada a demanda de mão-de-obra e custos envolvidos na sua disposição final, além da possibilidade de ocorrência de interferências ambientais quando da disposição dos mesmos.

Os resíduos agroindustriais também podem ser utilizados como matéria-prima para a geração de energia, sendo o seu aproveitamento comparativamente mais fácil do que dos resíduos agrícolas, pois os mesmos estão concentrados em pontos específicos e com baixo teor de umidade.

No presente estudo pesquisou-se diversas publicações referentes ao assunto, para obter valores de Coeficientes de Produção de Resíduos significativamente

representativos e consistentes, para serem utilizados para determinar a produção de resíduos de cada uma das culturas analisadas. Existe variação entre as diversas publicações que tratam do assunto, assim a partir do estudo das mesmas considerou-se os valores apresentados na tabela 02.

TABELA 02 – Coeficiente de Produção de Resíduos (C_R)

Cultura	Produto Principal	Resíduo	C_R
Milho	Grão	Palha	1,00
Soja	Grão	Palha	1,40
Sorgo	Grão	Palha	1,70
Feijão	Grão	Palha	2,10
Trigo	Grão	Palha	1,30
Algodão	Pluma	Parte aérea	2,45
	Pluma	Cascas	0,18
Arroz	Grão	Palha	1,43 – 1,60
	Grão	Cascas	0,18
Madeira	madeira	galhos e folhas	0,3

Segundo Haq (2002), os resíduos agrícolas deixados no campo não podem ser completamente aproveitados para a geração de energia. Isso se deve à necessidade de manter parte deles no local de cultivo com a finalidade de manutenção da qualidade do solo, isto é, evitar problemas de erosão, redução do teor de carbono e perda de produtividade. Geralmente, apenas 30% a 40% dos resíduos podem ser aproveitados em outro tipo de atividade.

Dentre as culturas estudadas, tais percentuais de aproveitamento não se aplicam apenas à cultura do algodão, cujos resíduos devem ser totalmente removidos do campo antes de se iniciar o preparo do solo para a safra seguinte; desta forma todo o resíduo gerado estará disponível para aplicação em outra finalidade.

3.1.4. Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa de Resíduos Agrícolas e Florestais

A classificação das tecnologias de produção de eletricidade a partir da biomassa está associada à necessidade, ou não, de conversão da biomassa antes de sua combustão. Assim, um primeiro grupo de tecnologias de produção de energia se baseia na combustão direta da biomassa, enquanto o segundo grupo de tecnologias se baseia na queima de combustíveis líquidos ou gasosos derivados da biomassa (WALTER et al., 2000).

No grupo das tecnologias baseadas na combustão direta da biomassa estão as tecnologias que se baseiam nos ciclos a vapor, aí incluídos os sistemas exclusivamente à biomassa e aqueles em que a biomassa é queimada em conjunto com um combustível fóssil (os chamados sistemas de queima conjunta ou combinada, ou *co-firing*).

No grupo das tecnologias baseadas na queima de combustíveis líquidos, ou gasosos derivados da biomassa estão as tecnologias que se baseiam na gaseificação, na biodigestão e na pirólise da biomassa. A conversão da biomassa em combustíveis líquidos ou gasosos permite a aplicação do mesmo em motores alternativos e em turbinas a gás.

Os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados em três grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos.

Os processos físicos são densificação e secagem, redução granulométrica e prensagem mecânica, que tipicamente não afetam a composição química original da matéria-prima.

A conversão termoquímica pode ser dividida em combustão, gaseificação,

pirólise e liquefação, enquanto que a conversão biológica é dividida em digestão (produção de biogás) e fermentação (produção de etanol).

A figura 05 apresenta um diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa, indicando os reagentes e produtos principais, que podem ser combustíveis intermediários ou energia para uso final.

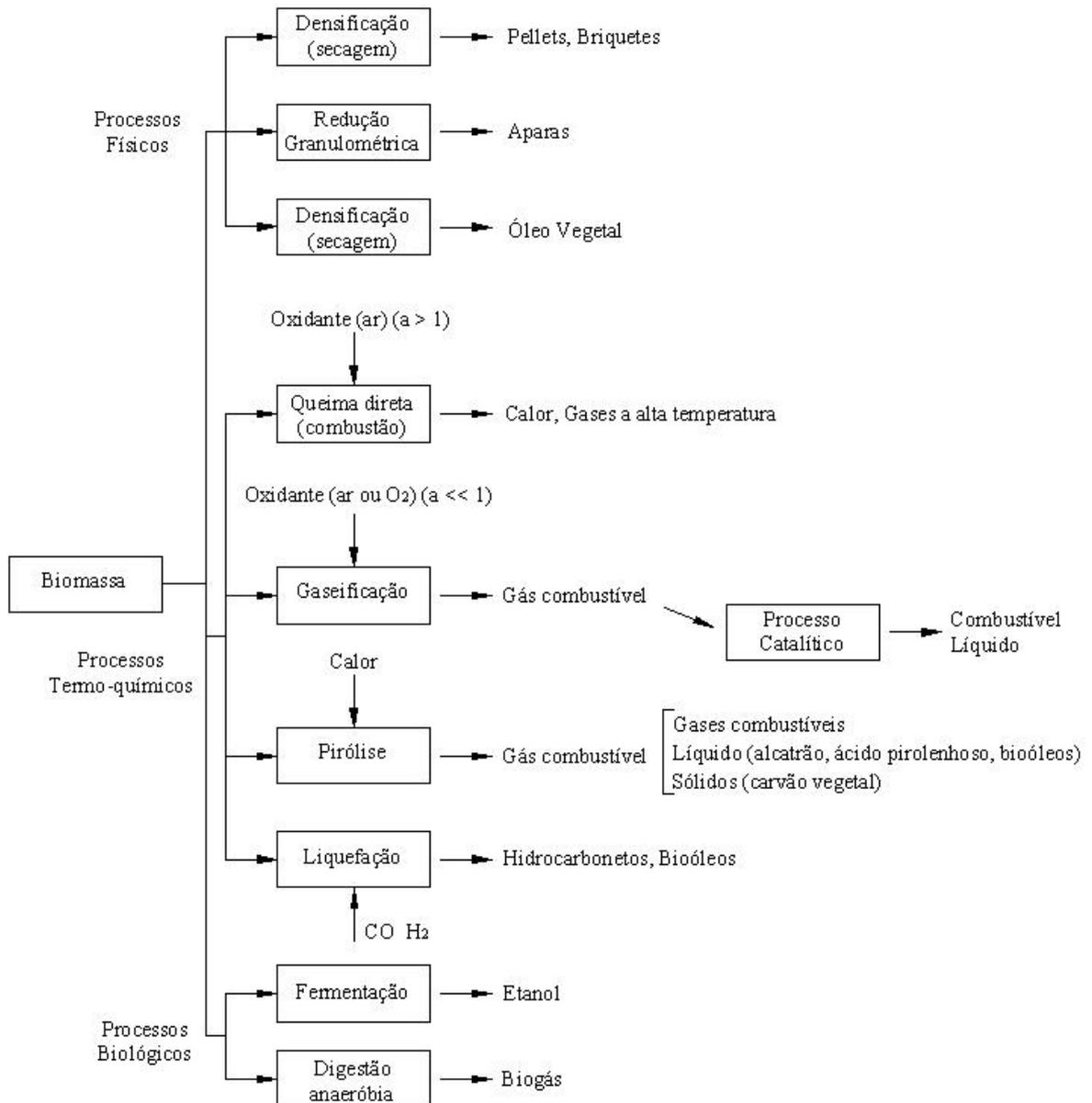


FIGURA 05 – Processos de Conversão Energética da Biomassa

(fonte: NOGUEIRA e LORA, 2003)

As tecnologias de conversão da biomassa para geração de energia são

potencialmente menos poluentes do que tecnologias de geração de energia baseadas em combustíveis fósseis, pois utilizam resíduos como de casca de arroz, palha, bagaço e madeira plantada, que são renováveis e absorvem carbono ao longo do ciclo de vida.

A figura 06 apresenta as rotas tecnológicas de conversão da biomassa, onde é possível observar o processo de conversão, o produto intermediário e a tecnologia empregada, com o objetivo de converter a biomassa em energia elétrica.

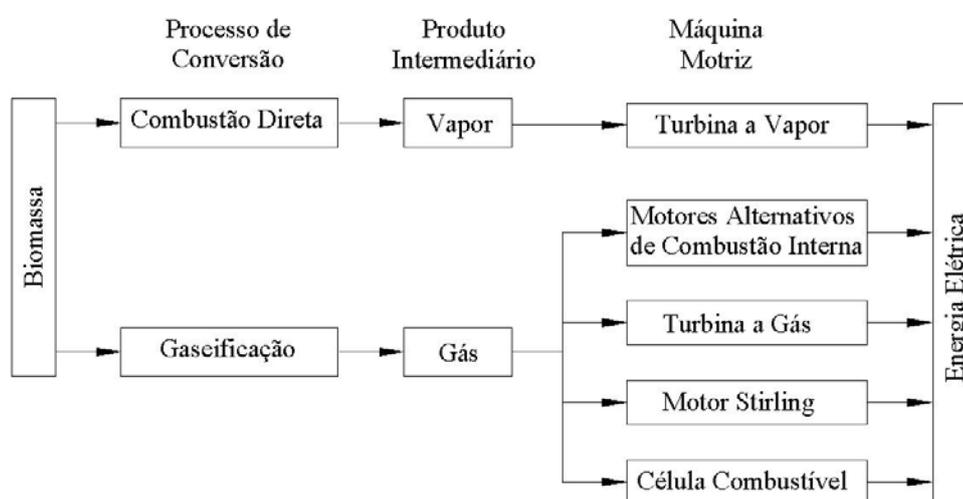


FIGURA 06 – Rotas tecnológicas de conversão da biomassa em energia elétrica

(fonte: NOGUEIRA e LORA, 2003).

Utilizando-se o processo de combustão direta da biomassa, a mesma é queimada em caldeiras com o objetivo de produzir vapor, o qual será utilizado como fonte térmica para produção de potência mecânica, ou elétrica mediante o emprego de turbinas a vapor, podendo existir concomitantemente também a produção de vapor para o atendimento das demandas de calor.

Segundo Ciferno (2002), a gaseificação é a conversão térmica da biomassa numa mistura gasosa (combustível) na presença de um agente oxidante em condições abaixo da estequiométrica. Os principais compostos formados nesse processo são monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogênio (H₂),

metano (CH₄) e nitrogênio (N₂). A conversão é realizada através da oxidação parcial da biomassa à alta temperatura, geralmente entre 500 - 1.100°C e uma pressão de até 33 bar. O agente oxidante utilizado pode ser o ar, oxigênio puro ou vapor.

Segundo Nogueira e Lora (2003) a biomassa bruta, ou seja, nas condições em que é produzida nas atividades florestais, agrícolas, ou ainda como resíduo, pode estar apresentada de muitas maneiras diferentes, seja em termos de granulometria, seja em termos de umidade, porém não completamente adequada à sua utilização nos processos de conversão.

Nas etapas de pré-processamento pode-se empregar a redução de tamanho, a densificação ou a secagem, ajustando as características e melhorando o rendimento nos processos de conversão subsequentes.

Para realizar o aproveitamento energético da biomassa, seja ela resultante de resíduos florestais, ou de atividades de colheita e beneficiamento de produtos agrícolas, a determinação do montante de energia possível de ser gerada mediante o emprego destas matérias-primas pode ser calculado utilizando-se a equação apresentada a seguir, onde a eficiência de conversão eletromecânica (rendimento) varia conforme o tipo de tecnologia empregada, enquanto o Poder Calorífico Inferior (PCI) varia conforme o tipo de biomassa que esteja sendo utilizada.

$$G = \frac{Q_{\text{Biomassa Útil}} \cdot PCI \cdot \eta}{860} \quad (1)$$

onde:

G capacidade de geração mensal (MWh mês)

*Q*_{Biomassa Útil} quantidade de biomassa disponível (t/mês)

PCI poder calorífico inferior (kcal/kg)

η eficiência do equipamento de conversão

Os fatores que influenciam a escolha do tipo de processo de conversão são: o tipo e a qualidade da biomassa, a forma de energia requerida, o uso final, padrões ambientais, aspectos econômicos e as especificações de projeto.

3.1.5. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR – 10.004, define resíduos sólidos como resíduos nos estados sólidos ou semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Os resíduos sólidos incluem os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos, instalações de controle de poluição e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto, ou exijam soluções técnicas economicamente inviáveis.

O aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode acontecer através da utilização do seu poder calorífico por meio da incineração, da gaseificação, do aproveitamento calorífico do biogás produzido a partir do lixo ou da produção de combustível sólido a partir de restos de alimentos.

A tecnologia de aproveitamento do gás de lixo (GDL), ou biogás produzido nos aterros (*landfill gas*), é o uso energético mais simples dos Resíduos Sólidos Urbanos. É uma alternativa que pode ser aplicada a curto e médio prazos para os gases produzidos na maioria dos aterros já existentes, como ocorre em centenas de aterros de diversos países. Consiste na recuperação do biogás oriundo da decomposição anaeróbica da fração orgânica de RSU, por ação de microorganismos que transformam os resíduos em substâncias mais estáveis, como dióxido de carbono (CO₂), água, metano (CH₄), gás sulfídrico (H₂S), mercaptanas e outros

componentes (NMOCs - *non methane organic compounds*) (EPE, 2008).

O aterro sanitário é uma das formas mais adequadas de se dispor os resíduos sólidos produzidos pela atividade humana, devendo a disposição dos mesmos ser feita da melhor forma possível para não degradar o meio ambiente. O metano é o principal gás produzido pela decomposição do lixo em aterros e lixões.

No Brasil, o tratamento dos gases em aterros sanitários é praticamente todo feito com a queima do metano e liberação do dióxido de carbono na atmosfera. A figura 07 apresenta o corte esquemático de um aterro sanitário com aproveitamento energético do biogás produzido no mesmo.

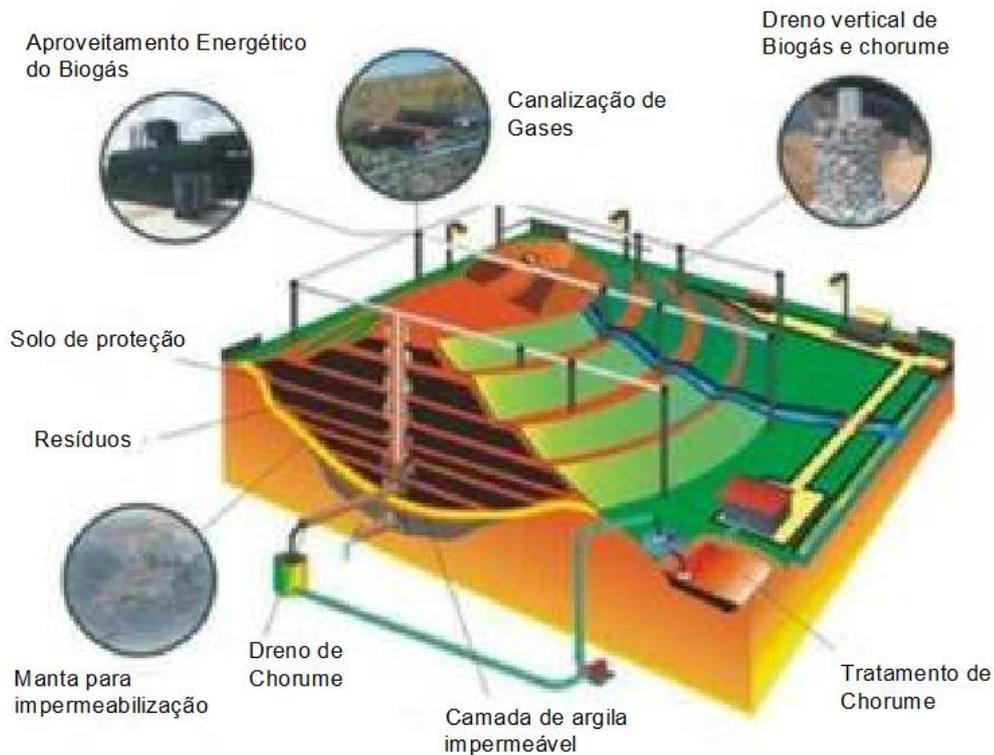


FIGURA 07 – Corte esquemático de um aterro sanitário

(fonte: RECICLOTECA, 2007)

Os Resíduos Sólidos Urbanos, cuja disposição final constitui-se um problema, especialmente nos grandes centros urbanos, podem ser utilizados como fonte de suprimento de energia, quando dispostos em aterros sanitários, onde o biogás

produzido durante a decomposição dos materiais é coletado para posterior queima e geração de eletricidade. Outra alternativa seria a triagem e encaminhamento dos resíduos para incineradores.

A produção de biogás é crescente ao longo do período de acumulação dos resíduos no aterro sanitário, porém, ao ser encerrada a deposição de resíduos, a produção de biogás entra em declínio acentuado conforme a composição dos resíduos depositados, este comportamento da redução da oferta de biogás pode ser visualizada na figura 08, onde se observa que a máxima disponibilidade de biogás ocorre no esgotamento do aterro, ou seja, quando o mesmo não tem mais capacidade de receber resíduos.

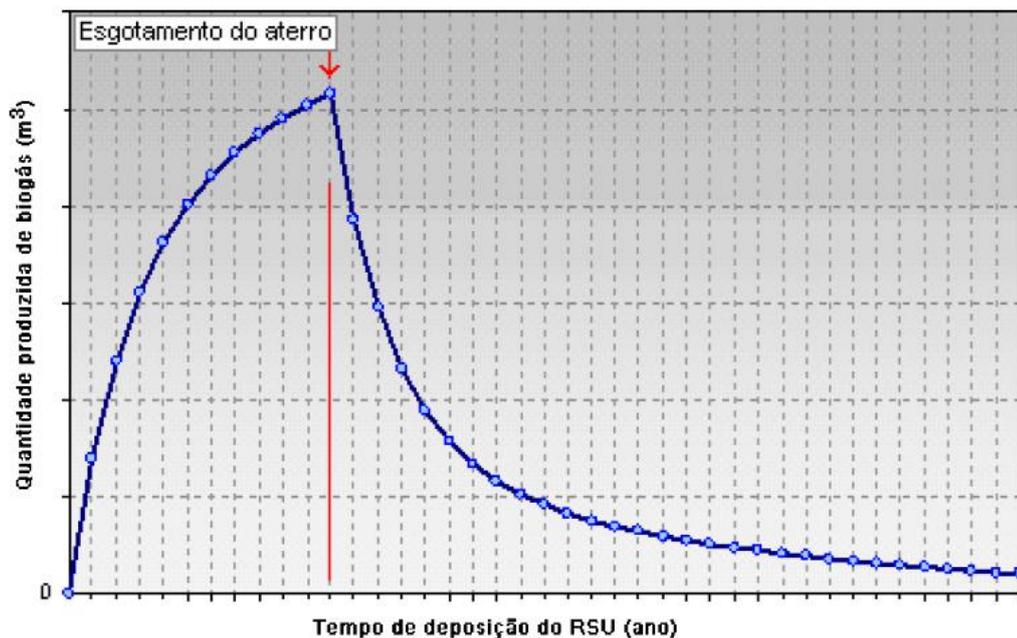


FIGURA 08 – Evolução típica da produção de biogás no aterro sanitário

(fonte:EPE, 2008)

O aproveitamento do biogás para geração de energia em um aterro sanitário fica limitado a um determinado valor de tempo, enquanto durarem as emissões, não podendo ser totalmente aproveitado para geração de energia elétrica em

decorrência das limitações dos sistema de coleta e geração.

O dimensionamento de usinas para o aproveitamento do gás coletado em aterro sanitário para geração de energia elétrica não é trivial e, mais do que outras fontes, encerra forte compromisso técnico-econômico em razão da curva declinante de oferta da energia primária (EPE, 2008).

3.1.5.1. Tecnologias de Conversão Energética Resíduos Sólidos Urbanos

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás e os motores de combustão interna. As células combustível são tecnologias que estão em fase de desenvolvimento, mas que apresentam perspectivas promissoras, para futuramente serem também empregadas na transformação energética do biogás.

Estudos realizados por Coelho et al. (2001) mostraram as potências e eficiência de conversão de algumas tecnologias de aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica disponíveis comercialmente, as quais encontram-se apresentadas na tabela 03.

TABELA 03 – Tecnologias de conversão energética do biogás

Tecnologia de conversão	Potência Instalada	Rendimento Elétrico
Motores a Gás (Ciclo Otto)	30kW – 20MW	30% – 40%
Turbina a Gás (pequeno porte)	30kW – 100kW	24% – 28%
Turbina a Gás (médio porte)	500kW – 150MW	20% – 30%

Fonte: CENBIO (2005)

Para que o biogás possa ser utilizado para geração de energia o mesmo deve passar por uma fase de tratamento, onde são removidos particulados, impurezas e o

condensado presente. Após o tratamento o biogás é direcionado para sistemas de geração de vapor (fornos ou caldeiras) ou sistemas de geração de energia elétrica (motores estacionários), existindo também a possibilidade de aproveitamento do calor rejeitado para aquecimento de água.

O cálculo do potencial de geração do biogás pode ser realizado utilizando-se a metodologia sugerida pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* (1996), a qual encontra-se apresentada a seguir.

$$L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (2)$$

onde:

L_0 potencial de geração de metano do resíduo (m^3 biogás/ kg_{RSD})

MCF fator de correção do metano

DOC fração de carbono biodegradável (kg_C/ kg_{RSD})

DOC_F fração de DOC dissolvida (kg_C/ kg_{RSD})

F fração de metano no biogás

RSD resíduo sólido domiciliar

MCF 1 (aterro bem gerenciado)

$\frac{16}{12}$ conversão de carbono (C) para metano (CH_4)

Sendo:

$$DOC = 0,40 \cdot A + 0,17 \cdot B + 0,15 \cdot C + 0,30 \cdot D \quad (3)$$

onde:

A percentual de papelão e tecidos

B alimentos

C outros resíduos orgânicos

D resíduos de madeira

Quando há grande deposição de restos de alimentos e resíduos orgânicos, a equação 3 pode ser modificada para a equação a seguir.

$$DOC = 0,40 \cdot A + 0,17 \cdot (B + C) + 0,30 \cdot D \quad (4)$$

A fração de carbono biodegradável dissolvida pode ser determinada através da equação a seguir.

$$DOC_F = 0,014 \cdot T + 0,28 \quad (5)$$

onde:

T temperatura estimada na zona anaeróbia dos resíduos (°C)

A vazão de metano (CH₄) pode ser calculada empregando-se a equação a seguir.

$$LFG = K \cdot R_x \cdot L_0 \cdot e^{-k(x-T)} \quad (6)$$

$$k = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}}$$

onde:

LFG vazão anual de metano (m³ CH₄/ano)

R_x fluxo de resíduo no ano (t/ano)

X ano atual

T ano de deposição do resíduo no aterro

$t_{\frac{1}{2}}$ tempo médio para 50% de decomposição

K constante de decaimento (1/ano) = 0,077

A partir do volume de lixo disposto no aterro sanitário determina-se a produção de biogás, que poderá ser utilizado para geração de energia. O cálculo do potencial possível de ser gerado a partir do uso do biogás gerado no aterro sanitário pode ser feito empregando-se a equação a seguir.

$$P = \left(\frac{Q_x \cdot \eta_{col} \cdot PCI \cdot \eta_{conv}}{35536000} \right) \cdot 4,18 \quad (7)$$

onde:

P potência (kW)

Q_x vazão anual de metano ($m^3 CH_4/ano$)

η_{col} eficiência de coleta dos gases

PCI poder calorífico inferior do metano ($kcal/m^3 CH_4$)

η_{conv} eficiência do equipamento de geração

Segundo Figueiredo (2007), o metano apresenta Poder Calorífico Inferior de $8.500 kcal/m^3$.

A utilização dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica deve ser considerada no planejamento dos sistemas de suprimento de energia, pois tem potencial para atender parte da demanda, diversificando a matriz energética, e ajudando a reduzir os impactos ambientais decorrentes da disposição dos resíduos sólidos, especialmente quanto à emissão de gases poluentes.

3.1.6. ENERGIA EÓLICA

A história do uso energético dos ventos, ou da energia eólica, mostra uma evolução desde o uso de dispositivos simples e leves acionados por forças de

arrasto aerodinâmico até os mais complexos e pesados sistemas. O uso básico da teoria da asa de sustentação não é um conhecimento recente, muito embora os conceitos físicos em que este fenômeno de baseia não tivessem sido bem explorados (LORA e HADDAD et al., 2006).

Entre as fontes novas e renováveis de energia para geração de eletricidade, a energia eólica é a que mais tem crescido no mundo na última década. Diferentemente da energia solar ou da biomassa, por exemplo, seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação.

A energia eólica provém da radiação solar, uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre, sendo a energia eólica o resultado da conversão da energia do vento em energia elétrica ou mecânica, através de uma turbina eólica, ou um catavento.

Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s.

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos e análises de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Geralmente, uma avaliação rigorosa requer levantamentos específicos.

Dados de velocidades do vento coletados em aeroportos, estações meteorológicas e outras aplicações similares podem fornecer uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica; no entanto, estes dados são pouco representativos da energia contida no vento e não podem ser utilizados para a determinação da energia gerada por uma turbina eólica, que é o objetivo principal do mapeamento eólico de uma região.

No Brasil, o uso da energia eólica ainda é em pequena escala, especialmente considerando o seu grande potencial. Em 2001, o Ministério de Minas e Energia (MME) através do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), publicou o Atlas Eólico do Brasil, com informações sobre o comportamento do vento em todo o País. Este Atlas estima que o potencial eólico é de 143,5 GW para ventos com velocidade média anual de 7 m/s, criando uma disponibilidade de 272,2 TWh/ano, ocupando uma área de 71.736 km², sendo necessário 0,8% do território nacional. Esta projeção tem como base uma densidade média de ocupação de 2 MW/km² para turbinas com 50 metros de altura. O Atlas privilegia em especial algumas áreas, incluindo regiões montanhosas, a costa nordeste, algumas áreas no sul e outras partes do País com médias de velocidades do vento razoáveis (ARAÚJO e FREITAS, 2006).

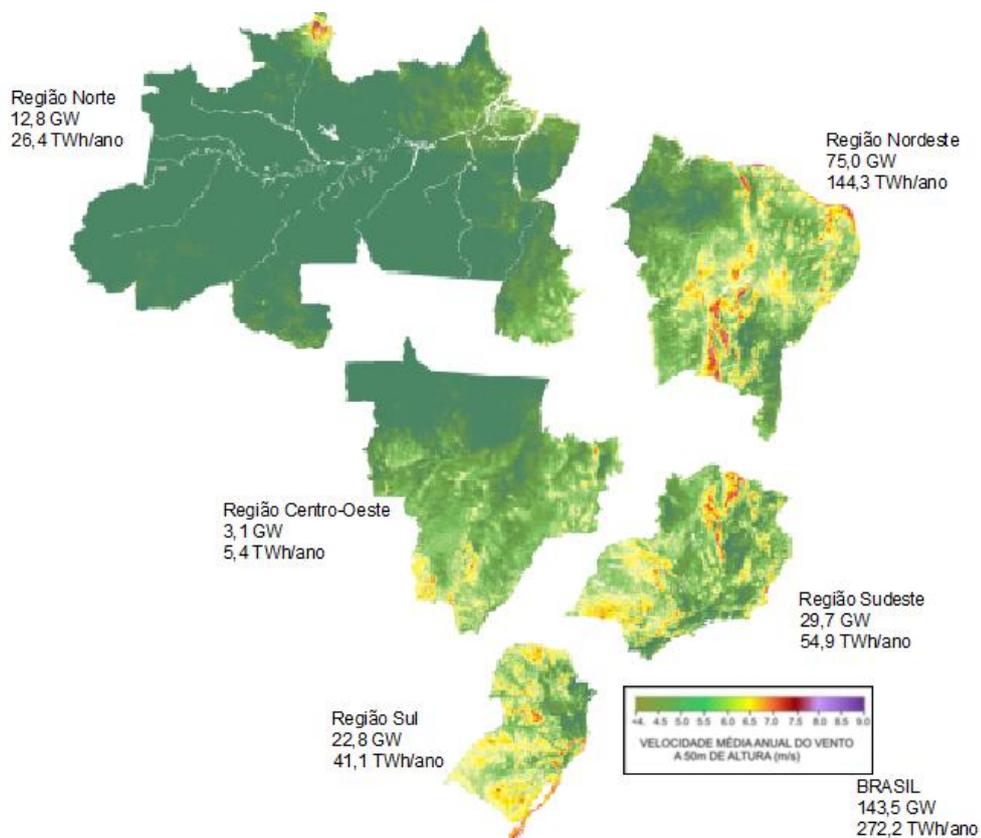


FIGURA 09 – Potencial Eólico do Brasil por região

(fonte: CRESESB, 2009)

Outro aspecto interessante da utilização de energia eólica refere-se à possibilidade de atender as necessidades energéticas de sistemas isolados, com baixa necessidade de carga ou que apresentam difíceis condições de acesso, onde os custos de eletrificação são elevados. Nestas localidades pode-se empregar os sistemas híbridos de energia (*Hybrid Power Systems*), que são sistemas autônomos de geração elétrica, combinando fontes de energia renovável e geradores convencionais. O objetivo deles é produzir o máximo de energia possível das fontes renováveis (sol e vento), mantidas a qualidade da energia e a confiabilidade especificada para cada projeto.

3.1.6.1. Tecnologias de Conversão da Energia Eólica

A transformação da energia cinética contida nas massas de ar em movimento em energia elétrica ocorre através dos aerogeradores. Atualmente a maioria dos aerogeradores são construídos com turbinas de eixo horizontal e possuem três pás.

De acordo com Albadó (2002), a quantidade de pás utilizada é inversamente proporcional à velocidade no eixo do rotor; quanto menor o número de pás mais rápido o eixo gira. O uso de três pás representa um melhor desempenho aerodinâmico e menores impactos de ruído e visual.

De acordo com Albadó (2002) o conjunto aerogerador é constituído por: torre (estrutura tubular que sustenta a nacelle e o rotor acima do solo), nacelle (envolve e protege a caixa de engrenagens, controlador de freio e o gerador), rotor (tem como função captar a energia cinética dos ventos e convertê-la em energia mecânica no eixo), pás do rotor (são responsáveis pela captação do vento e conversão da potência ao centro do rotor), transmissão (tem com função transmitir a energia

mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador), anemômetro (mede a intensidade e velocidade dos ventos) e gerador elétrico (responsável por converter a energia mecânica em energia elétrica). A figura 10 mostra os componentes de um aerogerador.

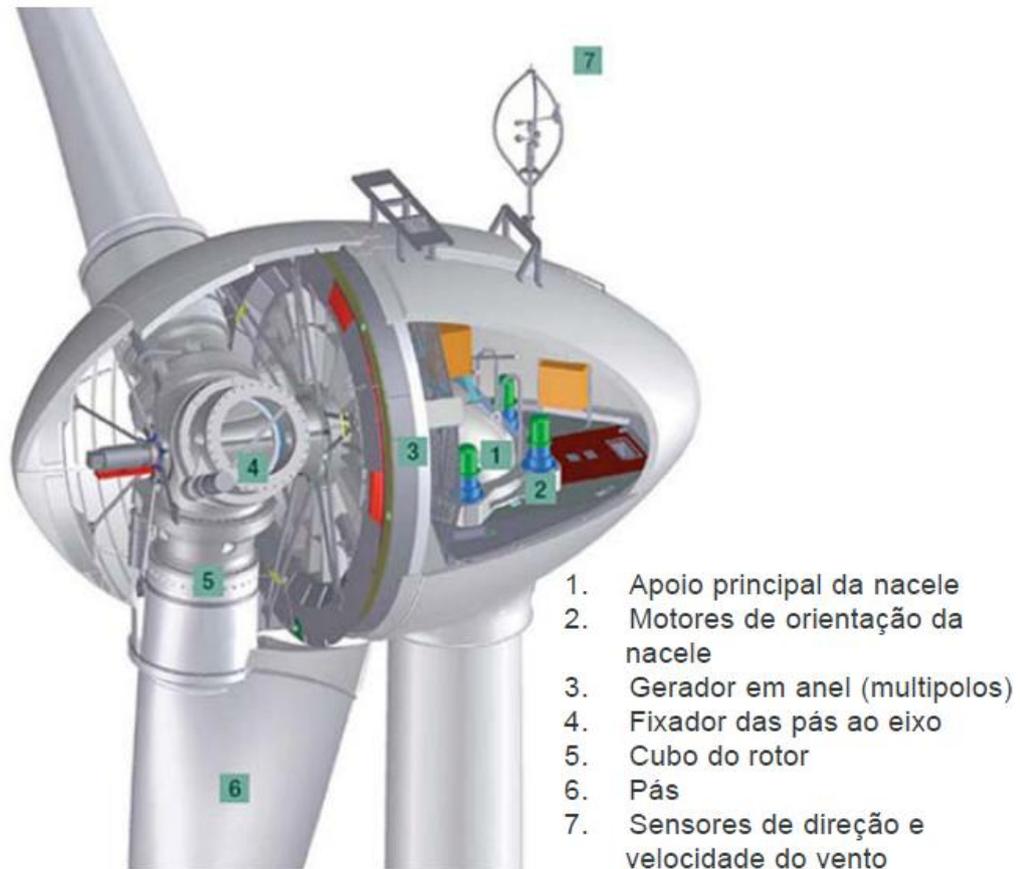


FIGURA 10 – Componentes de aerogerador utilizando gerador multipolos

(fonte: ENERCON, 2008)

O gerador, ou conversor, é que converte a energia mecânica em energia elétrica. Podem ser usados: o gerador de corrente contínua, gerador síncrono e o gerador de indução. Para aplicações isoladas, costuma-se usar um gerador síncrono associado a um retificador, obtendo-se tensão em corrente contínua (REIS, 2003).

Segundo DEWI (1998), a potência teoricamente possível de ser extraída pela turbina eólica, pode ser determinada através da equação 8.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \eta \cdot A \cdot V_i^3 \quad (8)$$

onde:

P potência elétrica (W)

ρ massa específica do ar (kg/m³)

c_p coeficiente de potência (relação entre a potência mecânica no eixo do rotor e a potência disponível)

η eficiência de conversão eletromecânica

A área do rotor da turbina eólica (m²)

v_i velocidade instantânea do vento (m/s)

Em condições ideais, o valor máximo teórico de C_p é de 0,593 (Coeficiente de Betz), ou seja, 59,3% da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Sob condições reais é preciso também considerar as perdas aerodinâmicas do gerador (DEWI, 1998).

Analisando-se a equação 8 observa-se que o potencial eólico de determinada localidade será tanto melhor quanto maior a velocidade do vento e maior a massa específica do ar, a qual está relacionada com a temperatura e a pressão. Outro parâmetro que influencia significativamente no aproveitamento do potencial de determinada localidade refere-se ao diâmetro do aerogerador.

O desenvolvimento da tecnologia de geração eólica evoluiu para aerogeradores com três pás, os quais possuem movimentos giratórios mais lentos, contribuindo para redução tanto dos impactos visuais quanto sonoros. Os avanços obtidos tem levado a aerogeradores com diâmetros cada vez maiores, conforme apresentado na figura 11.

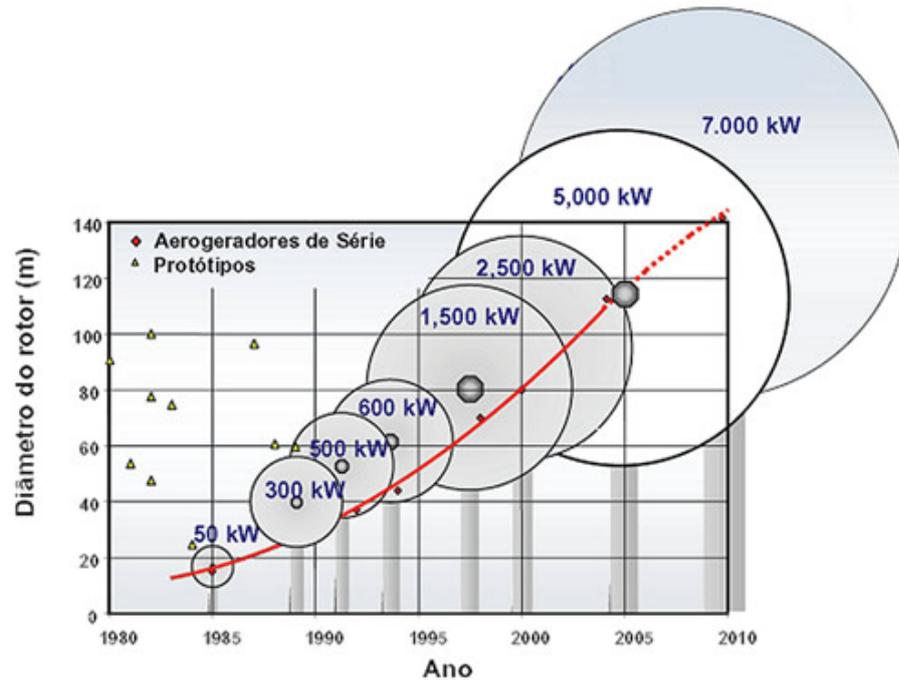


FIGURA 11 – Evolução do diâmetro do rotor dos aerogeradores de três pás

(fonte: ENERCON, 2008)

A capacidade de geração de um parque eólico pode ser avaliada mediante a análise do Fator de Capacidade (FC), sendo o mesmo a relação entre a energia produzida em determinado intervalo de tempo e a máxima quantidade de energia possível de ser produzida no mesmo intervalo de tempo, para os aerogeradores operando com velocidades de vento sempre acima da velocidade nominal. O Fator de Capacidade pode ser determinado através da equação 9.

$$FC = \frac{E_a}{P_n \cdot T} \quad (9)$$

onde:

FC fator de capacidade

E_a quantidade de energia produzida no intervalo de tempo T (kWh)

P_n potência nominal do aerogerador (kW)

T intervalo de tempo considerado na análise (h)

Fatores de capacidade considerados bons para empreendimentos de geração eólica são aqueles situados acima de 0,3, ou seja, quando se está aproveitando 30% do potencial instalado.

A análise da curva de potência de um aerogerador mostra que a energia gerada aumenta gradativamente com o aumento da velocidade do vento, podendo atingir a potência nominal do sistema, quando se alcança a velocidade nominal (V_n). A partir desta, os sistemas eólicos com controle de potência através de pitch permanecem com potência constante até que se alcance a velocidade de corte (V_c). A figura 12 apresenta a Curva de Potência de um aerogerador de 800 kW.

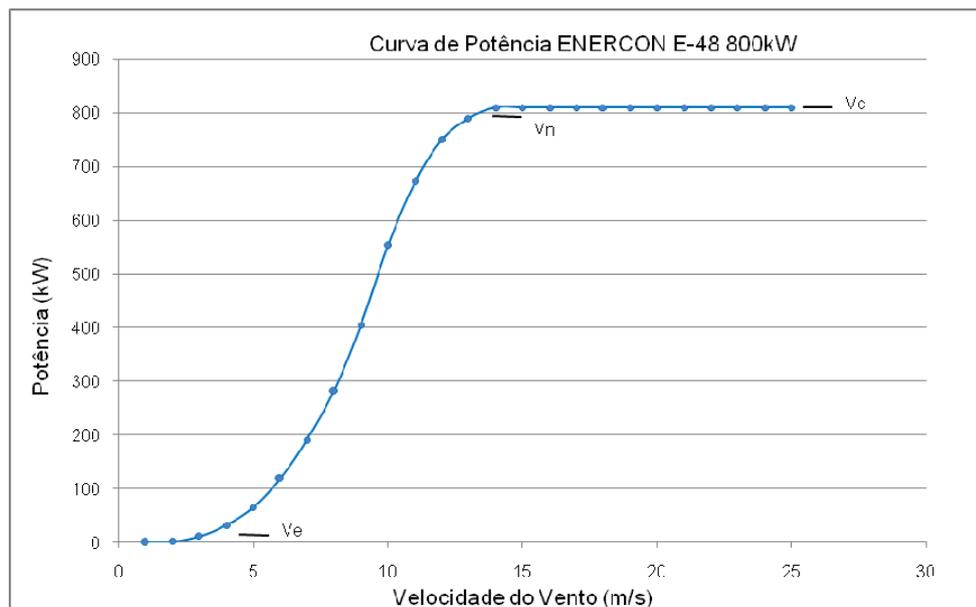


FIGURA 12 – Curva de potência de um aerogerador

(fonte: Adaptado de ENERCON, 2008)

Pode-se estimar a energia gerada por um sistema eólico utilizando-se os dados do histograma, o qual fornece o número de horas em que o vento permanece com determinado valor de velocidade, e da curva de potência, que fornece o correspondente valor de potência. A energia total gerada corresponderá ao somatório dos produtos entre a potência e a quantidade de horas que o sistema

fornece aquela potência, conforme apresentado na equação 10.

$$E_G = \sum_i^T P \cdot \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot \eta \cdot A \cdot V_i^3 \quad (10)$$

onde:

E_G energia elétrica gerada (Wh)

P potência elétrica (W)

c_p coeficiente de potência (relação entre a potência mecânica no eixo do rotor e a potência disponível)

η eficiência de conversão eletromecânica

A área do rotor da turbina eólica (m²)

v_i velocidade instantânea do vento (m/s)

A geração eólica de energia é considerada “limpa” uma vez que não emite gases ou qualquer outro tipo de poluente ao meio ambiente; entretanto, as grandes “fazendas eólicas”, como são chamadas as grandes instalações que recebem vários aerogeradores, um ao lado do outro, causam alguns tipos de impacto ambiental, sendo os principais: ruídos, poluição visual, interferência magnética, reflexos e morte de aves.

Um impacto ambiental positivo, proveniente da energia eólica, pode ser melhor avaliado pela quantidade de dióxido de carbono não emitido na atmosfera. Por exemplo, uma turbina de 600 kW, dependendo do regime de vento e do fator de capacidade, pode evitar a emissão de 20.000 a 36.000 toneladas de CO₂, durante sua vida útil, estimada em 20 em anos (TOLMASQUIM, 2004).

3.1.7. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O tema energia solar remete ao aproveitamento da radiação solar para uso direto como fonte de energia térmica (aquecimento de fluidos e ambientes) ou elétrica. Entretanto, quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar.

A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares.

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados a rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento (CRESESB, 2009).

O Brasil, por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial de energia solar durante todo ano. A utilização da energia solar poderia trazer benefícios em longo prazo para o País viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento, regulando a oferta de energia em situações de estiagem, diminuindo a dependência do mercado de petróleo e reduzindo as emissões de gases poluentes à atmosfera, como estabelece a Conferência de Kyoto (PEREIRA e COLLE, 1997).

No Brasil, entre os esforços mais recentes e efetivos da avaliação da disponibilidade de radiação solar destacam-se os seguintes:

- a) Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB);
- b) Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

O Atlas Solarimétrico do Brasil (UFPE, 2000), figura 13, apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. Devido, porém, ao número relativamente reduzido de estações experimentais e às variações climáticas locais e regionais, o Atlas de Irradiação Solar no Brasil faz estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites.

A partir das informações contidas no Atlas Solarimétrico pode-se obter uma estimativa do quanto de energia elétrica pode-se gerar em determinada localidade, para um determinado valor de área de painéis fotovoltaicos, atendo à demanda existente ou reprimida.

A análise das informações contidas no Atlas Solarimétrico mostra que os maiores níveis de radiação no Brasil encontram-se concentrados na região Nordeste, conforme se observa na figura 13.

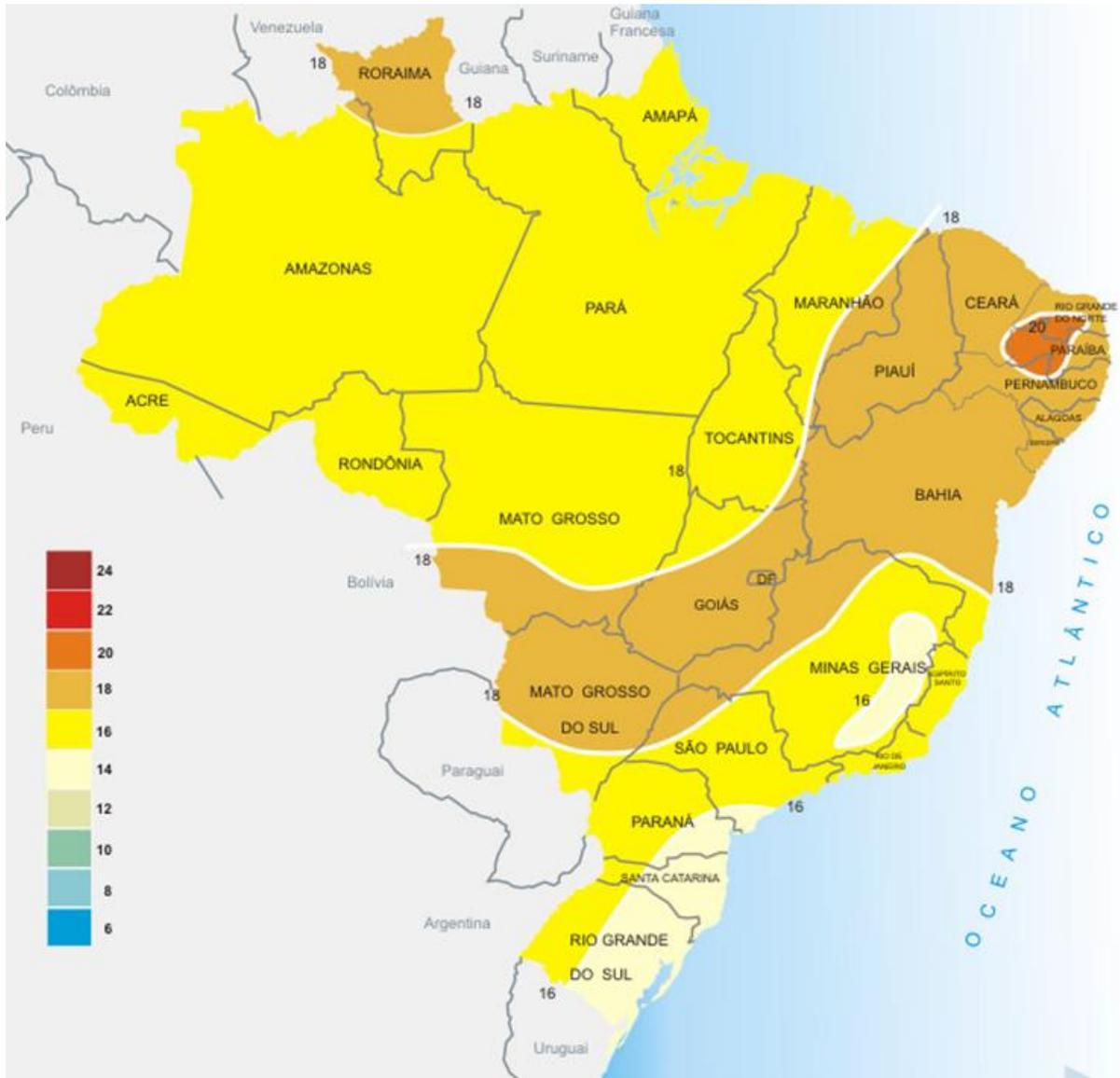


FIGURA 13 – Radiação Solar Global Diária Média Anual no Brasil (MJ/m².dia)

(fonte: CRESESB, 2009)

3.1.7.1. Tecnologia de conversão Solar Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico ocorre devido ao aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão direta da luz em eletricidade.

A conversão direta da energia solar em eletricidade mediante células

fotovoltaicas é uma tecnologia de geração de energia elétrica altamente modular e com quase total ausência de emissões de poluentes e ruídos durante seu funcionamento, e tem baixa ou nenhuma manutenção. O gerador fotovoltaico é composto por módulos onde se encontram as células fotovoltaicas que produzem energia elétrica na forma de corrente contínua quando sobre elas incide a luz solar. Em função de sua baixa densidade energética, adapta-se melhor à geração distribuída do que à geração centralizada, o qual evidencia um claro espaço a ser ocupado por ela. Porém os seus elevados custos ainda constituem barreiras para sua maior participação na matriz energética mundial (LORA e HADDAD et al., 2006).

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera, interage com a mesma, e parte dessa radiação é espalhada nas outras direções, além daquela de incidência. A parcela da energia radiante que incide no topo da atmosfera, e que chega à superfície da Terra, é chamada de radiação direta, e de irradiância a densidade de fluxo de radiação incidente sobre uma superfície (VIANELLO e ALVES, 2000).

Dentre as diversas expressões empíricas apresentadas na literatura para a estimativa da irradiância solar global no nível do solo, a mais usual é dada pela equação apresentada a seguir:

$$R_g = R_0 \cdot \left(a + b \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (11)$$

onde:

R_g irradiância solar global diária sobre uma superfície horizontal (MJ/m².dia)

R_0 irradiância solar global diária no topo da atmosfera (MJ/m².dia)

a e b coeficientes de ajuste local obtidos pelo método dos mínimos quadrados

n número de horas de brilho solar observado no dia

N número de horas de brilho solar possível de ocorrer no dia

Os valores de “ R_0 ” e “ N ” são encontrados (VIANELLO e ALVES, 2000) em função da latitude local e “ n ” é medido localmente com auxílio de um heliógrafo, aparelho que concentra os raios solares em um ponto específico por meio de uma esfera de vidro. Com a trajetória diária do Sol, a concentração da luz solar queima uma fita especial, permitindo, dessa forma, a identificação do número de horas de brilho solar. O equipamento deve estar posicionado com uma inclinação em relação à trajetória diária do Sol de um ângulo igual ao da latitude local.

Segundo Vianello e Alves (2000), os coeficientes “ a ” e “ b ” podem assumir os seguintes valores: $a = \cos \varphi$ e $b = 0,52$, em que, φ é a latitude.

A potência gerada por um sistema fotovoltaico depende basicamente de três fatores: a radiação solar incidente no arranjo fotovoltaico, a potência instalada do arranjo fotovoltaico e o rendimento de cada um dos componentes do sistema. A potência instalada do arranjo fotovoltaico é a potência captada pelos módulos fotovoltaicos durante o período de máxima insolação (ALDABÓ, 2002; REIS, 2003).

A potência elétrica instantânea gerada em função do tempo por um sistema fotovoltaico pode ser calculada empregando-se a expressão apresentada a seguir.

$$P_g(t) = \eta \cdot A \cdot R_s(t) \quad (12)$$

onde:

$P_g(t)$ potência elétrica instantânea gerada (W)

η eficiência do sistema

A área útil de captação do arranjo fotovoltaico (m^2)

$R_s(t)$ radiação solar incidente no arranjo em função do tempo (W/m^2)

A equação 12 não é de fácil utilização, pois para fornecer o valor da potência

gerada instantânea, que não tem utilidade prática, é necessário que se conheça a radiação solar instantânea, grandeza também bastante difícil de se obter. Desta forma, deve-se encontrar uma expressão mais adequada ao que se deseja, que para fins práticos é a área do arranjo, a qual deve ser calculada considerando-se as condições locais do aproveitamento energético.

A área do arranjo fotovoltaico pode ser calculada, segundo Reis (2003), utilizando-se a equação apresentada a seguir.

$$A = \frac{P_I}{(\eta \cdot R_{SM})} \quad (13)$$

onde:

A área do painel solar (m²)

P_I potência instalada (W)

η eficiência total do sistema

R_{SM} radiação solar máxima no local da instalação (W/m²)

A operação do módulo possui eficiência global inferior à eficiência das células individuais devido: ao fator de empacotamento, à eficiência ótica da cobertura frontal do módulo, à perda nas interconexões elétricas das células e ao descasamento nas características das células (Reis, 2003).

Quanto à radiação máxima, usualmente se utiliza o valor de R_{SM} = 1 kW/m². Em relação ao rendimento das células, o mesmo depende de vários fatores. A tabela 04 mostra valores de rendimentos obtidos atualmente para componentes e sistemas fotovoltaicos. Deve-se sempre utilizar os valores de rendimento fornecidos pelos fabricantes ou verificados em ensaios.

TABELA 04 – Rendimentos obtidos nas células, módulos e centrais fotovoltaicas

Materiais/tecnologias	Células Fotovoltaicas	Módulos Fotovoltaicos
m-Si	12% a 15%	10% a 13%
p-Si	12%	11%
Fitas e placas	11%	10%
Filmes finos	7%	ND
a-Si	9%	9%
centrais	9% a 10%	

Fonte: REIS (2003)

A quantidade de energia gerada anualmente pelo sistema fotovoltaico pode ser calculada pela equação a seguir (ALDABÓ, 2003; REIS, 2003).

$$E_G = 8760 \cdot P_I \cdot FC \quad (14)$$

onde:

E_G energia gerada anualmente (kWh ano)

P_I potência instalada (kW)

FC fator de capacidade

Segundo Reis (2003), o Fator de Capacidade (FC) do sistema depende de: disponibilidade e intensidade da radiação, perdas no sistema e capacidade instalada dos principais componentes (módulos fotovoltaicos, baterias). As informações disponíveis acerca deste parâmetro são poucas, especialmente para períodos longos de observação. Entretanto, existem dados práticos que o situam entre 25 e 30%, como, por exemplo, as instalações da Arco Solar, no estado da Califórnia, nos

EUA, cujo fator de capacidade máximo tem atingido o valor de 30%. A tabela 05 apresenta alguns valores de Fator de Capacidade obtidos segundo diferentes fontes.

TABELA 05 – Fatores de Capacidade máximos

Fonte de informação	Fator de capacidade máximo
DOE	0,27 a 0,30
Arco Solar	0,30
UFPE/CHESF	0,23 a 0,30

Fonte: REIS (2003)

De acordo com Courillon et al. (2003), dentre as limitações dos sistemas fotovoltaicos pode-se citar: o limite do consumo pelos usuários devido à pequena energia disponível e a manutenção contínua (a troca de bateria varia no intervalo de 2 a 6 anos).

As vantagens apresentadas pelo sistema são: a forma modular, que facilita a modificação conforme as necessidades; a segurança dos componentes; e os baixos custos de manutenção. Além disso, apresenta impactos ambientais bastante reduzidos, devido à conservação dos recursos e pelo fato de não gerar gases de efeito estufa, não induzindo, assim, ao aquecimento da superfície terrestre.

3.1.8. BIODIESEL

O que tem sido denominado de BIODIESEL é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel mineral, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia

curta, metanol ou etanol, respectivamente.

O biodiesel pode ser produzido a partir de diversas matérias primas, tais como óleos vegetais, gorduras animais, óleos e gorduras residuais, por meio de diversos processos. Pode, também, ser usado puro, ou em mistura de diversas proporções com o diesel mineral.

Estudos indicam que o óleo diesel pode ser complementado por óleos vegetais modificados sem alteração nos motores. Desta forma, pode-se considerar que não existem grandes obstáculos técnicos ou normativos para o uso de biocombustíveis em conjunto com o óleo diesel (Cadernos NAE, 2005).

A tabela 06 indica, para as espécies mais mencionadas, o potencial para produção de óleo, considerando valores de produtividade e teor de óleo de variedades comuns. As pesquisas agrônômicas têm mostrado que esses valores podem ser considerados conservadores.

TABELA 06 – Oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel

Espécie	Origem do Óleo	Conteúdo de Óleo (%)	Meses de colheita	Rendimento em Óleo (t/ha)
Dendê	Amêndoa	26	12	3,0 – 6,0
Babaçu	Amêndoa	66	12	0,4 – 0,8
Girassol	Grão	38 – 48	3	0,5 – 1,5
Colza	Grão	40 – 48	3	0,5 – 0,9
Mamona	Grão	43 – 45	3	0,5 – 1,0
Amendoim	Grão	40 – 50	3	0,6 – 0,8
Soja	Grão	17	3	0,2 – 0,6

Fonte: Caderno NAE (2005)

A utilização do biodiesel pode ser dividida em dois mercados distintos,

mercado automotivo e usos em estações estacionárias. Cada um destes mercados possui características próprias e podem ser subdivididos em sub-mercados. O mercado de estações estacionárias caracteriza-se basicamente por instalações de geração de energia elétrica, e representam casos específicos e regionalizados.

3.1.8.1. Tecnologias de conversão do biodiesel

A geração de energia a partir do uso do biodiesel pode se dar em substituição ao diesel, o que pode minimizar ou eliminar diversas desvantagens trazidas pelo uso do mesmo, como a poluição e a dificuldade de abastecimento de combustível nas regiões mais afastadas.

A geração de energia elétrica a partir do biodiesel pode ser realizada utilizando-se grupos geradores diesel convencionais, devendo o biodiesel ser devidamente processado para evitar problemas de funcionamento dos equipamentos.

Deve-se analisar adequadamente a qualidade e disponibilidade do biodiesel, para que a geração de energia elétrica a partir do mesmo ocorra de forma contínua, para que não seja necessária a complementação via rede de energia elétrica.

Como exemplo de utilização do biodiesel para geração de energia elétrica tem-se o projeto de pesquisa desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para a produção de biodiesel e geração de energia elétrica a partir de óleo de mamona em Quixeramobim, estado do Ceará.

No estudo desenvolvido pela EMBRAPA utilizou-se grupos geradores Cummins, sendo um deles instalado na comunidade isolada de fazenda Serrinha de Santa Maria e outro grupo na sede da Fazenda Normal, sendo esta conectada à

rede de fornecimento de energia elétrica.

O grupo gerador Cummins instalado na sede da Fazenda Normal foi alimentado com óleo de mamona *in natura*, sendo interligado à rede de distribuição convencional através de uma chave de intertravamento. A figura 14 mostra o grupo gerador instalado na Fazenda Normal.



FIGURA 14 – Grupo gerador Cummins movido a óleo de mamona *in natura*

Fonte: EMBRAPA (2005)

A quantidade de energia possível de ser gerada utilizando biodiesel como matéria-prima pode ser feita empregando-se a equação apresentada a seguir.

$$G = \frac{(Q_{\text{Biodiesel}}) \cdot PCI \cdot \eta}{860} \quad (15)$$

onde:

G	capacidade de geração anual (MWh anual)
$Q_{\text{Biodiesel}}$	quantidade de biodiesel disponível (m ³ /ano)
PCI	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)
η	eficiência do equipamento de conversão

O Poder Calorífico do biodiesel varia em função da matéria-prima utilizada para produção do mesmo, mas, de uma forma geral, pode-se adotar o valor de 9.500 kcal/m³.

3.1.9. MINI E PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

A exploração dos recursos hídricos, para fins de geração de eletricidade no Brasil, se deu a partir do final do século XIX, com base em centrais de pequeno porte, da ordem de algumas centenas de quilowatts, construídas e operadas principalmente por prefeituras e empresas particulares (TOLMASQUIM, 2003).

Este tipo de empreendimento sempre se mostrou como uma alternativa interessante para atendimento de pequenas cargas, especialmente em locais remotos, onde o suprimento via rede de fornecimento de energia elétrica torna-se oneroso ou até mesmo economicamente inviável.

O aproveitamento da energia de origem hidráulica através de aproveitamentos de pequeno porte para atender pequenas demandas mostra-se como alternativa interessante, pois as técnicas de construção e tecnologias empregadas são totalmente dominadas, as interferências ambientais são pequenas e os custos totais são baixos, não necessariamente os custos unitários, sendo uma fonte interessante para atendimento de pequenas cargas, especialmente em regiões remotas e com carência de suprimento de energia.

Segundo as diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas da ELETROBRÁS (2000), as centrais geradoras podem ser classificadas quanto a potência e queda de projeto conforme apresentado na tabela 07.

TABELA 07 – Classificação das pequenas centrais geradoras

Classificação das Centrais	Potência - P (kW)	Queda de Projeto – H_d (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
Mini	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
PCHs	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Fonte: ELETROBRÁS (2000)

As centrais hidrelétricas com potências menores que 1.000 kW ainda não se tornaram atraentes como negócio, como o que ocorre com as PCHs; no entanto, são centrais que podem atender as necessidades de agroindústrias, fazendas e pequenas comunidades isoladas situadas, principalmente, nas regiões Norte e Centro Oeste do País e também comunidades carentes quanto ao suprimento energético.

3.1.9.1. Tecnologias de conversão da energia hidráulica

O aproveitamento da energia hidráulica faz-se por meio da conversão da mesma em energia mecânica, através das turbinas hidráulicas, e, posteriormente, em energia elétrica, nos geradores conectados às turbinas.

Existem basicamente dois tipos de turbinas hidráulicas (TIAGO FILHO, 1990):

- Turbinas de ação: a conversão da energia hidráulica em mecânica ocorre com o escoamento no rotor à pressão constante;
- Turbinas de reação: a pressão no rotor varia durante a conversão hidromecânica de energia.

A seleção da turbina para um aproveitamento hidrelétrico se dá a partir de dois parâmetros: vazão de projeto (Q) e queda líquida (H_L), sendo esta última obtida subtraindo-se as perdas de carga (H_P) no sistema de adução da queda topográfica, ou bruta (H_B). A partir de Q e H_L , obtém-se uma grandeza adimensional, denominada rotação específica¹ (n_{qA}), cujos valores são característicos para cada tipo de turbina. O n_{qA} é expresso pela seguinte equação:

$$n_{qA} = \frac{10^3 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{(H_L \cdot g)^{\frac{3}{4}}} \quad (16)$$

onde:

n_{qA} rotação específica no Sistema Internacional (1)

n rotação (rps)

Q vazão de projeto (m^3/s)

H_L queda líquida (m)

g aceleração da gravidade (m/s^2)

A figura 15 permite a pré-seleção do tipo de turbina, em função da vazão e queda:

¹ Fisicamente, o n_{qA} representa a rotação que a turbina teria sob uma queda de 1 m e escoando uma vazão de 1 m^3/s .

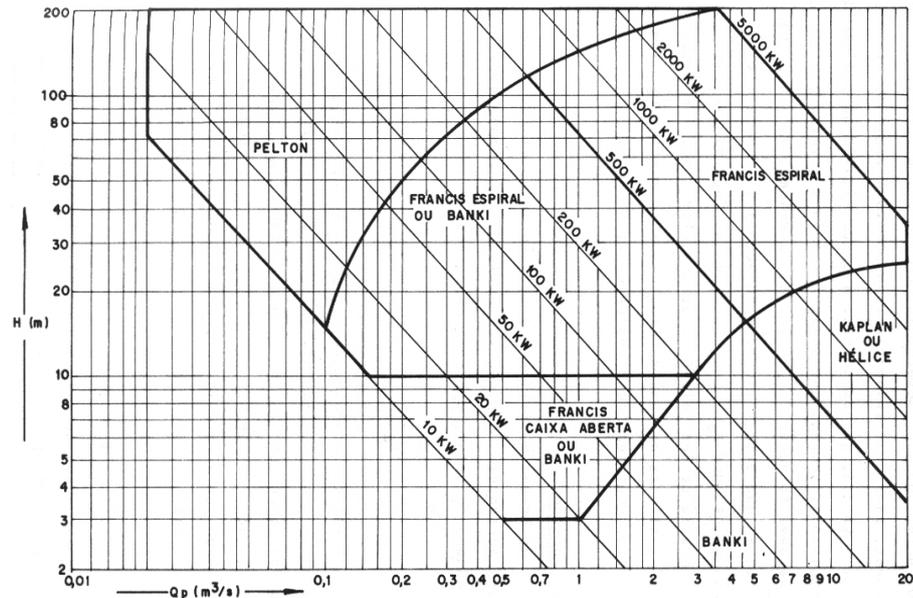


FIGURA 15 - Pré-seleção de turbinas hidráulicas

(fonte: SOUZA, 1992)

Conhecendo-se os valores de vazão e queda disponível em determinada localidade, pode-se calcular a potência possível de ser gerada utilizando-se a seguinte expressão:

$$P_g = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{central}} \quad (17)$$

onde:

P_g potência gerada (kW)

H queda disponível (m)

Q vazão disponível (m^3/s)

g aceleração da gravidade (m/s^2)

η_{central} eficiência da central geradora hidrelétrica (1)

3.2. CUSTOS DAS ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO RECURSOS RENOVÁVEIS

As alternativas de suprimento de energia devem ser analisadas considerando-se os custos de investimento e operação, disponibilidade de tecnologias, benefícios econômicos, ambientais e sociais, de forma a atender a demanda com qualidade, eficiência, segurança e com baixos custos.

As fontes alternativas de suprimento energético tem se tornado cada vez mais competitivas em termos de custos, devido aos avanços tecnológicos e da avaliação mais realista dos custos de outras formas de geração, internalizando os custos ambientais.

Os custos unitários da energia gerada resultam da composição dos custos de instalação, custos de operação e manutenção e custos do combustível.

3.2.1. CUSTOS DA BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS

Para determinar os custos de instalação de empreendimentos de geração distribuída utilizando biomassa de resíduos agrícolas e florestais deve-se identificar quais os principais parâmetros a serem considerados para a determinação de tais custos, tais como custos de coleta, transporte e armazenamento da biomassa, equipamentos de geração e acessórios elétricos.

Informações acerca dos custos de coleta, transporte, armazenamento e manuseio da biomassa são componentes que devem ser devidamente calculados na composição dos custos de instalação de empreendimentos de geração a partir de biomassa.

Os custos dos projetos estão estreitamente relacionados com as opções tecnológicas a serem utilizadas no processo de conversão energética da biomassa, devendo os preços incluir todos os equipamentos e acessórios necessários ao seu funcionamento.

Para os sistemas térmicos os custos dos equipamentos predominantes são aqueles associados à caldeira, turbina a vapor, gerador, redutor, painéis, transformadores e automação, enquanto que para os sistemas de gaseificação, além dos três últimos citados anteriormente tem-se os custos com o gaseificador, sistema de limpeza dos gases e a turbina a gás ou o motor, conforme o tipo de tecnologia que esteja sendo empregada no projeto de aproveitamento energético da biomassa.

De uma forma geral, os custos associados à instalação de um sistema de geração de energia elétrica, desde a coleta da biomassa no campo até a entrega da energia na rede elétrica da concessionária, podem ser divididos conforme indicado na figura 16.

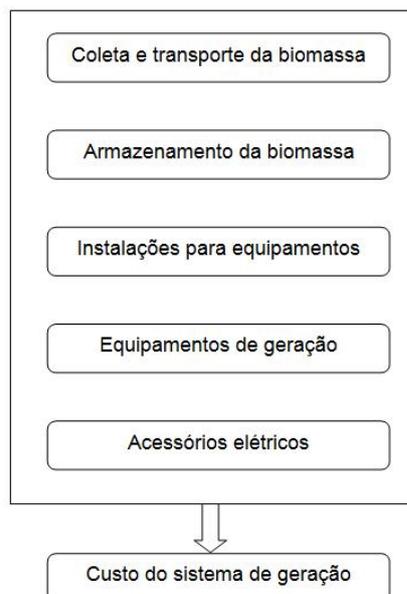


FIGURA 16 – Diagrama de custos de instalação para geração de energia a partir da biomassa de resíduos agrícolas e florestais

Os custos com coleta e transporte da biomassa envolvem equipamentos de enleiramento, enfardamento e transporte da biomassa até o local de armazenamento. A biomassa pode ser coletada na forma de fardos, o que facilita as atividades e reduz o volume para transporte e armazenamento.

Para estudar a coleta e transporte da biomassa pode-se tomar como referência os trabalhos desenvolvidos no sentido de se utilizar a biomassa de cana-de-açúcar para geração de energia elétrica.

Analisando a viabilidade de se recolher palhicho da cana-de-açúcar, diversos pesquisadores tem verificado que o uso de fardos grandes leva aos melhores resultados econômicos no recolhimento da palha. Isso decorre da maior capacidade operacional das enfardadoras e da melhor ocupação do volume no caminhão durante o transporte e menor espaço para armazenamento.



FIGURA 17 – Fardo de biomassa de resíduos agrícolas

(fonte: RIPOLI, 2005)

Michelazzo (2005) realizou um estudo de seis sistemas de recolhimento da biomassa de cana-de-açúcar para diferentes distâncias de transporte, entre os

sistemas utilizou-se fardo cilíndrico, podendo os custos serem considerados os mesmos para fardos retangulares. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na figura 18.

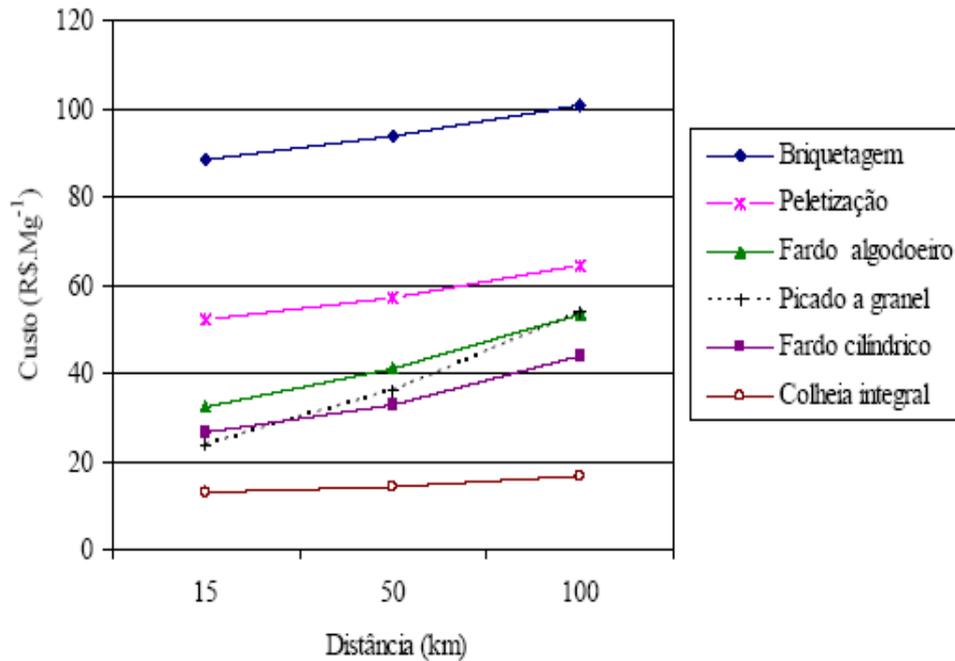


FIGURA 18 – Custos de coleta da biomassa para diferentes distâncias de transporte

(fonte: MICHELAZZO, 2005)

O custos dos equipamentos de geração apresentam variações conforme a capacidade que se pretende instalar; equipamentos de menor potência apresentam custos mais elevados, conforme se observa na figura 19, onde se apresentam custos de instalação em diferentes faixas de potência para sistemas de gaseificação e microturbina a gás.

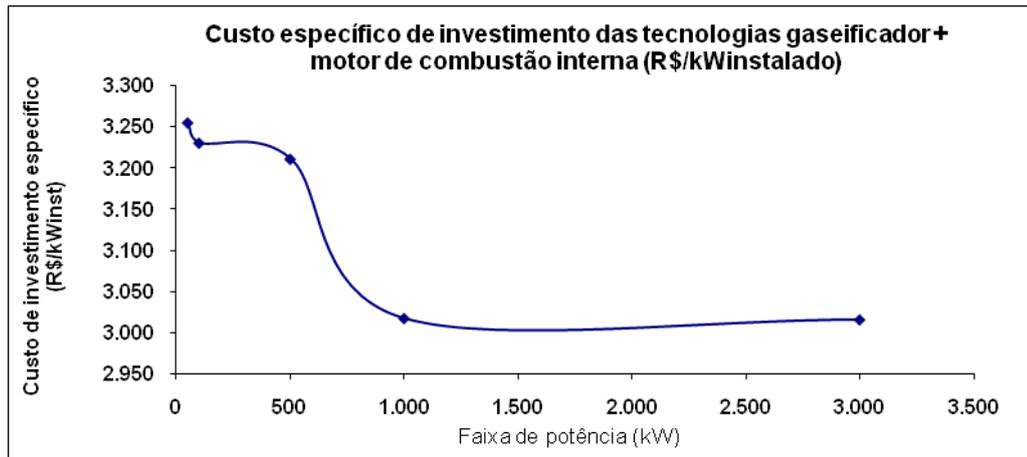


FIGURA 19 – Custo específico de investimento em gaseificador e microturbina a gás
(fonte: NEST, 2007)

Os sistemas de gaseificação com geração utilizando motor de combustão interna também apresentam custos mais elevados para equipamentos de menor potência conforme se observa na figura 20.

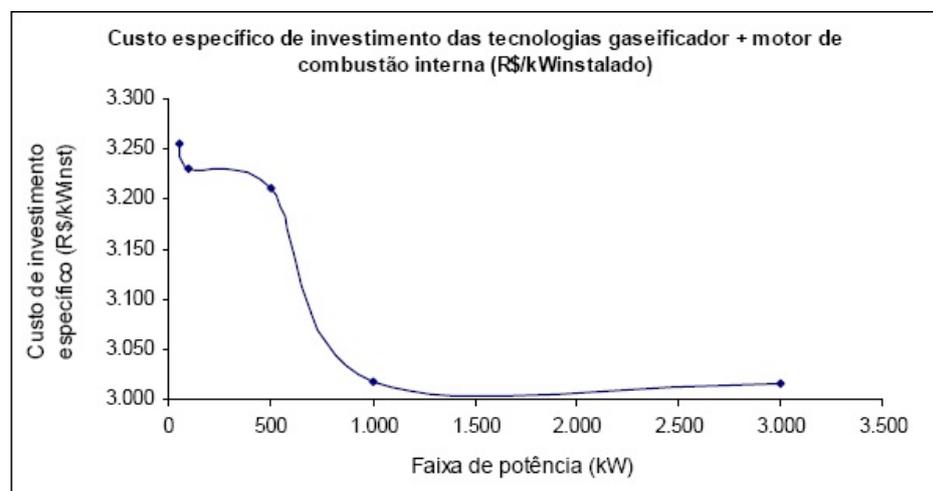


FIGURA 20 – Custo específico de investimento em gaseificador e motor de combustão interna
(fonte: NEST, 2007)

O custo específico da tecnologia do ciclo a vapor para geração de energia elétrica também é influenciado pela faixa de potência, ou seja, quanto maior a capacidade de geração menor é o custo específico, conforme apresentado na figura 21.

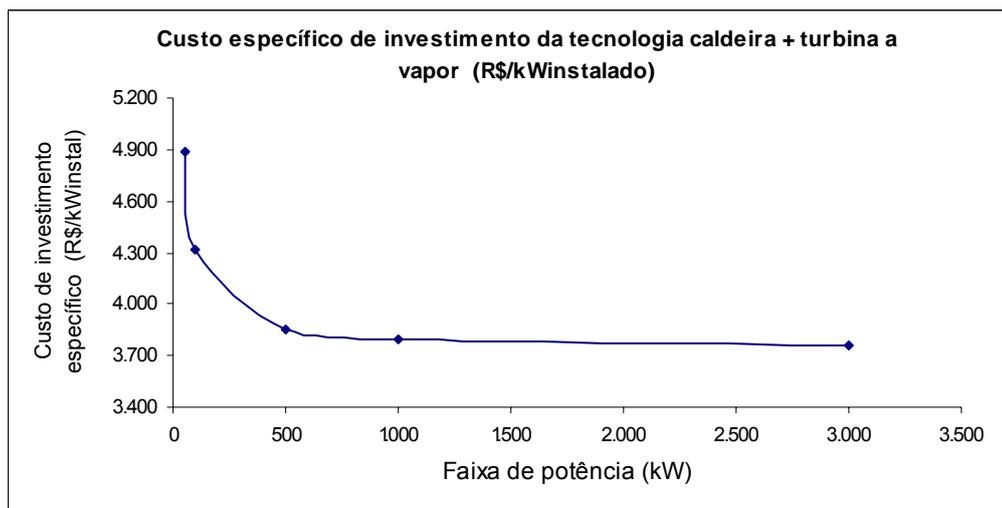


FIGURA 21 – Custo específico de investimento em caldeira e turbina a vapor

(fonte: NEST, 2007)

Os custos para o aproveitamento energético da biomassa incluem, além dos custos de investimento no projeto de geração de energia, os custos de operação e manutenção (O&M) do empreendimento, os quais geralmente correspondem a um percentual do valor do investimento.

Ressalta-se que como não existe disponibilidade de biomassa ao longo de todo ano, tem-se a necessidade de armazená-la para gerar energia nos períodos onde não está ocorrendo produção da mesma, podendo ocorrer também a necessidade complementação via rede de energia elétrica.

Segundo estudos realizados por Pretz (1997), os custos de operação e manutenção de empreendimentos utilizando biomassa para geração de energia elétrica podem ser considerados como sendo de cerca de 1% do valor total do investimento, podendo-se, também, utilizar uma relação entre o custo de operação e manutenção em determinado período e a energia gerada no mesmo período.

O equacionamento para o cálculo dos custos de cada uma das etapas apresentadas na figura 16 encontra-se apresentado no estudo desenvolvido por

Pinto (2008), intitulado *Análise da Viabilidade da Geração de Energia Elétrica Descentralizada a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás e Estudo de Caso do Município de Rio Verde*. O citado estudo também foi inspirado no mesmo projeto de P&D no qual este trabalho também o foi, utilizando a mesma base de dados para o estudo do aproveitamento energético da biomassa de resíduos agrícolas, sendo realizado o estudo de caso para o município de Rio Verde.

3.2.2. CUSTOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos deve-se calcular o limite de investimento nesta alternativa de geração de energia elétrica, além do qual a recuperação econômica demandaria a consideração de subsídios ou outras formas de compensação exógenas ao projeto.

Como os resíduos são produzidos e dispostos nas proximidades dos grandes centros urbanos, principais consumidores de energia, desconsidera-se o custo da transmissão de energia elétrica. Quanto ao custo de combustível, este será nulo, se for obtido a partir da recuperação do gás dos aterros, pois o custo final de disposição já terá sido pago, mas será negativo no caso dos resíduos serem utilizados por usina cujas rotas tecnológicas evitem a disposição final da maior parte dos resíduos sólidos urbanos (TOLMASQUIM, 2003).

Como referência de custos para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, tem-se o estudo realizado, no ano de 2008, pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campo Grande, capital do estado do Mato Grosso do Sul.

Os resíduos produzidos em Campo Grande compreendem o lixo domiciliar

urbano (domicílios, residenciais e comerciais), sendo coletados regularmente e dispostos no aterro controlado de responsabilidade da prefeitura municipal.

O potencial energético dos RSU de Campo Grande foi avaliado segundo duas possibilidades gerais: geração de energia elétrica e reciclagem. No primeiro caso, a avaliação considerou três alternativas: aproveitamento direto do gás de lixo, digestão anaeróbica e incineração (EPE, 2008).

Segundo a EPE (2008), no cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir de um novo aterro que se encontra em fase de implantação, considerou-se que somente 50% do biogás produzido seria recuperado para geração de energia elétrica, com o poder calorífico do mesmo sendo de 5.000 kcal/m³, eficiência de 35% dos equipamentos de conversão energética e vida útil do aterro sanitário de 18 anos.

No estudo realizado calculou-se o limite de investimento em cada alternativa de geração de energia elétrica, além do qual a recuperação econômica demandaria a consideração de subsídios ou outras formas de compensação exógenas ao projeto, os resultados obtidos encontram-se apresentados na tabela 08.

TABELA 08 – Investimentos nas alternativas geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos

Alternativa	Investimento
Incineração	R\$ 6.780/kW
Digestão anaeróbica	R\$ 6.740/kW
Gás de lixo	R\$ 3.430/kW

Fonte: EPE (2008)

As referências acerca da relação entre os custos operacionais e os custos de investimento em projetos de aproveitamento energético dos Resíduos Sólidos Urbanos são escassas. Uma delas pode ser encontrada em Tolmasquim (2003), o qual apresenta informações a partir das quais pode-se inferir que os custos

operacionais (anuais) correspondem a algo entre 3,5% e 5% do custo do investimento (valor presente), sendo as proporções mais elevadas encontradas no caso da digestão anaeróbica e do gás de lixo e a mais baixa no caso da incineração.

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos não deve ser considerado um projeto convencional de energia, onde se busca maximizar o retorno econômico, o principal benefício está relacionado a questões sócio-ambientais.

3.2.3. CUSTOS DA GERAÇÃO EÓLICA

Os custos de empreendimentos de geração eólica, assim como de outras fontes alternativas de geração de energia, são significativamente influenciados pelo regime intermitente e dificuldade de acumulação dos insumos para geração de energia elétrica, uma vez que essa energia é baseada na conversão energética de um fluxo da natureza.

Conforme Rodrigues (2006), para o Brasil a distribuição de custos de um parque eólico ainda é pouco conhecida, em virtude do reduzido número de projetos implantados.

Um gerador eólico individual tem custo de investimento muito variável em função de cada situação. Projetos de pequeno porte tendem a ter custos de instalação relativamente elevados, pois o porte do projeto influencia os custos. Quanto maior o projeto, maior a economia de escala associada.

Segundo Tolmasquim (2003), o regime aleatório leva a fatores de capacidade anualizados menores do que os obtidos para as fontes convencionais. Os aproveitamentos de biomassa e de pequenos potenciais hidroelétricos estariam menos suscetíveis a esta desvantagem por permitirem um certo nível de

acumulação, porém exigem, naturalmente, uma maior ocupação de terra.

Baixos fatores de capacidade anualizados resultam em custos de geração de energia mais elevados, uma vez que os fluxos financeiros das receitas com as vendas de energia são obtidos em uma base de energia menor, em relação a um sistema tradicional, para uma dada potência instalada.

Determinar valores médios de custos de instalação de empreendimentos de geração eólica não é uma tarefa trivial, dada a dificuldade de se obter informações. Pode-se obter uma estimativa dos custos tomando-se como referência empreendimentos existentes, cuja capacidade instalada e custos são conhecidos e, assim, estabelecer uma equação relacionando ambos os parâmetros, podendo-se utilizar a mesma para se obter uma estimativa dos custos de investimentos em projetos eólicos, considerando cenários econômicos semelhantes àquele no qual a equação foi gerada e potências na mesma faixa das consideradas no desenvolvimento da equação.

No presente estudo os custos de empreendimentos de geração eólica foram determinados tomando-se como referência empreendimentos de pequena e média capacidade.

Como referência de empreendimentos de pequena capacidade tem-se o projeto desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará (GEDAE/UFPA), em parceria com a Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos (ARCON), a REDE/CELPA a Prefeitura Municipal de Maracanã e contando com recursos paritários da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e da PETROBRAS.

O citado projeto é formado por um sistema híbrido eólico-fotovoltaico-diesel de geração de eletricidade implantado na comunidade de São Tomé, no interior do

estado do Pará. Tal sistema fornece energia a cerca de 230 habitantes não atendidos pela concessionária local, a empresa Centrais Elétricas do Pará (CELPA).

No projeto de eletrificação desenvolvido para o atendimento da comunidade de São Tomé, a componente referente à geração eólica é formada por um aerogerador de 10 kW, instalado em uma torre treliçada estaiada de 30 metros de altura. Os custos referentes ao subsistema eólico foram de US\$ 35.000,00, equivalente a cerca de R\$ 6.300,00/kW_{instalado}, utilizando-se a taxa de câmbio de R\$1,80/US\$1,00.

Como referência de custos para empreendimentos de geração eólica de média capacidade tem-se a central geradora eólica denominada Gargaú, localizada no município de São Francisco do Itabapoana, região do litoral norte do estado do Rio de Janeiro. O empreendimento eólico Gargaú encontra-se em fase preliminar de implantação e terá capacidade de 28,5 MW, com aerogeradores de 1.500 kW, tendo custo unitário de cerca de R\$ 4.642,00/kW_{instalado}.

Os custos de operação e manutenção de empreendimentos de geração eólica podem ser estabelecidos considerando-se um percentual do investimento do empreendimento. Normalmente pode-se considerar como sendo algo entre 3,5% e 5% do custo do investimento, podendo-se, também, utilizar uma relação entre o custo de operação e manutenção em determinado período e a energia gerada no mesmo período.

3.2.4. CUSTOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica não necessita ser extraída, refinada e nem transportada até o local da central geradora, a qual pode estar localizada junto, ou

próximo do centro de consumo; desta forma evitam-se os custos com transmissão em tensões elevadas e sua utilização requer basicamente o emprego de células fotovoltaicas, responsáveis pela geração da energia, baterias para o seu armazenamento e um inversor para transformar a tensão e a frequência para os valores nominais dos aparelhos.

Para determinar os custos de empreendimentos de geração solar fotovoltaica buscou-se identificar estudos e projetos para servirem como referência, sendo estes, de uma forma geral, de pequena capacidade.

Pode-se tomar como referência o mesmo estudo do GEDAE/UFPA citado no caso da energia eólica, para o atendimento da comunidade de São Tomé, no interior do estado do Pará.

No projeto de eletrificação desenvolvido para o atendimento da comunidade de São Tomé a componente referente à geração solar fotovoltaica é composta por um arranjo de 40 módulos de 80 Wp cada, totalizando uma capacidade de 3,2 kWp. Os custos referentes ao subsistema solar fotovoltaico foram de US\$ 23.000,00, equivalente a cerca de US\$ 7.187,50/kW_{instalado}, o que resulta em R\$ 12.937,50/kW_{instalado}, considerando-se a taxa de câmbio de R\$1,80/US\$1,00.

Outra referência é o estudo realizado por Bioene et al. (2008) para implantação de centrais de geração solar fotovoltaica para atendimento de comunidades isoladas na região Nordeste do Brasil. No citado estudo utilizou-se um módulo fotovoltaico de 100 Wp, um inversor de frequência de 400 W, um controlador de carga de 30 A, uma bateria de 150 A e um kit de instalação elétrica. Observou-se, neste caso, que o custo final inclui os equipamentos de transformação, controle e armazenamento.

No respectivo estudo o custo de instalação do empreendimento de geração

solar fotovoltaica foi de US\$ 7.000/kW_{instalado}, o que corrobora o valor obtido no projeto da comunidade de São Tomé, no Estado do Pará. Pode-se, portanto, tomar como referência de custos para implantação de empreendimentos de geração solar fotovoltaica o custo unitário de R\$ 12.937,00/kW_{instalado}.

Um recente estudo do custo da implantação de sistemas fotovoltaicos, publicado em 2005, analisou o preço de 47 sistemas isolados de 100 a 6600 W, de 1987 à 2004, indicando que esses sistemas apresentam uma tendência de redução de preços de aproximadamente 1 U\$/W ao ano, com custos variando entre 7 e 10 U\$/W (HEGEDUS e OKUBO, 2005).

O custo do sistema fotovoltaico corresponde ao custo da compra do equipamento e ao custo de instalação. Os sistemas fotovoltaicos que realizam o armazenamento da energia gerada são compostos por módulos fotovoltaicos que geram a energia elétrica em corrente contínua (CC), a qual é armazenada em baterias e, posteriormente, convertida em corrente alternada pelo inversor. Os custos de um sistema deste encontram-se apresentados na tabela 09.

TABELA 09 – Custos do sistema fotovoltaico

Componente	Vida útil (anos)	Capacidade (kW)	Custo de investimento (US\$)	Custo de reposição (US\$)
Painel PV	20	1,0	7.000	6.500
Bateria	4	2,4	220	220
Inversor	10	0,3	200	200

Fonte: RODRIGUES (2006)

Os sistema fotovoltaicos apresentam elevados investimentos iniciais e custos anuais de operação praticamente irrelevantes, estando estes associados basicamente à verificações quanto à operação do inversor.

3.2.5. CUSTOS DA GERAÇÃO COM BIODIESEL

Os investimentos para implantação de um sistema de geração de energia utilizando biodiesel encontram-se concentrados principalmente na fase de implantação e início de operação do sistema, sendo compostos basicamente pelos investimentos individuais de cada componente do sistema.

Segundo estudos realizados pelo CEPEL (2003), nos quais foi feita uma análise comparativa entre os sistemas fotovoltaicos e a opção diesel-elétrica, trazendo um levantamento dos preços praticados no mercado nacional, obteve-se que, de forma geral, os geradores de menor potência são os que possuem os custos de investimento mais elevados, conforme se observa na figura 22. O estudo mensura uma curva de preços de grupos geradores diesel em função da potência máxima.

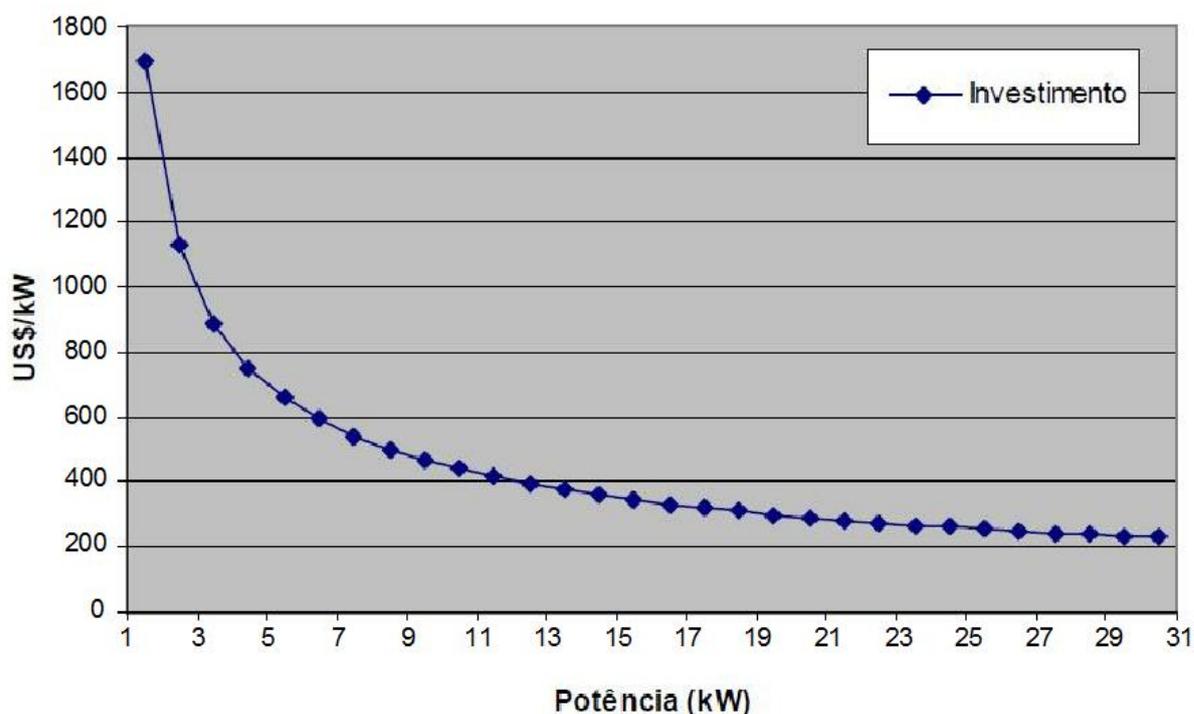


FIGURA 22 – Curva de investimento em geradores diesel

(fonte: CEPEL, 2003)

Os custos de empreendimentos de geração utilizando grupos geradores empregando biodiesel como combustível foram determinados tomando-se como referência empreendimentos de pequena e média capacidade.

Pode-se, novamente, tomar como referência o mesmo estudo do GEDAE/UFGPA citado no caso da energia eólica para o atendimento da comunidade de São Tomé, no interior do Estado do Pará, para se obter o custo do grupo gerador.

No projeto de eletrificação desenvolvido para o atendimento da comunidade de São Tomé, a componente referente à geração diesel é formada por um gerador diesel trifásico de 20kVA. O grupo gerador diesel apresentou custo de cerca de US\$ 281,25/kW_{instalado}, o que equivale a R\$506,25/kW_{instalado}, considerando-se a taxa de câmbio de R\$1,80/US\$1,00.

Para empreendimentos de maior capacidade pode-se obter os custos dos grupos geradores juntos aos fornecedores de equipamentos. Obteve-se, junto à Perfectum Serviços de Engenharia, dados comerciais atualizados para grupos geradores trifásicos na faixa de 400 W a 1.800 kW, apresentado os mesmos valor de cerca de R\$ 672,00/kW_{instalado}.

Uma componente importante de um sistema de geradores utilizando biodiesel refere-se aos custos do combustível. Entretanto, existe dificuldade para se obter informações junto aos fabricantes acerca do consumo dos grupos geradores diesel, os quais, mediante adaptações, podem ser utilizados para geração de energia elétrica tendo como combustível o biodiesel.

No estudo realizado pelo GEDAE/UPA obteve-se um curva de consumo de combustível do grupo gerador, apresentado na figura 23, a partir da qual pode-se ter uma idéia do consumo dos grupos geradores para diferentes faixas de potência.

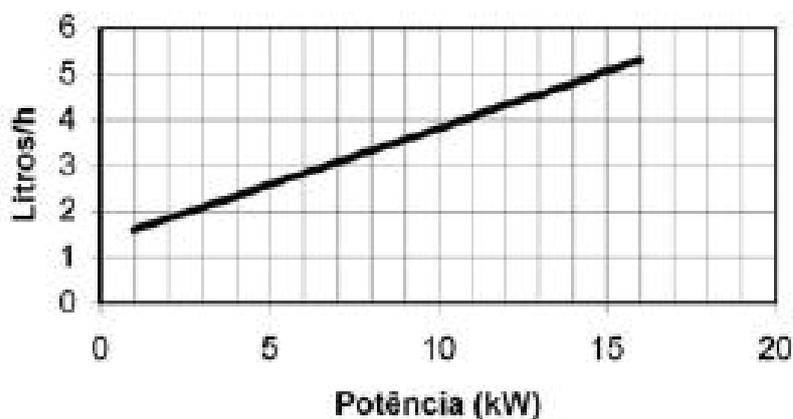


FIGURA 23 – Curva de consumo de diesel de grupos gerador diesel

(fonte: PINHO et al.(GEDAE), 2003)

Diversos estudos vêm sendo realizados visando a utilização dos óleos vegetais em substituição ao óleo diesel. O custo de geração da energia utilizando óleo vegetal obtido localmente, seja por extrativismo ou por cultivo implantado, é de difícil determinação. No entanto, considerando que este custo de geração é praticamente determinado pelo preço do combustível, a obtenção de óleos vegetais com preços inferiores ao óleo diesel (custo de transporte incluído) pode tornar-se economicamente viável (CEPEL, 2005).

Quanto aos custos de operação e manutenção, pode-se considerar um determinado valor em função de energia gerada ao longo de determinado período de operação do sistema, ou um percentual do preço do gerador a cada intervalo de tempo.

3.2.6. CUSTOS DA GERAÇÃO MINI-HIDRÁULICA

Os custos de implantação de empreendimentos de geração hidráulica são altamente dependentes da topografia local, hidrologia e distância do local onde a energia gerada será consumida.

Os preços praticados no mercado atualmente permitem obter valores médios para investimentos em projetos de centrais mini-hidráulicas para geração de energia elétrica.

Empreendimentos de geração mini-hidráulica de baixa queda (1 a 20 metros) com equipamentos de geração baseados na tecnologia Kaplan tem custo médio estimado de cerca de R\$6.000,00/kW_{instalado}.

As mini-hidráulicas de média queda (21 a 100 metros) com equipamentos de geração baseados na tecnologia Francis tem custo médio estimado de cerca de R\$5.000,00/kW_{instalado}.

Centrais geradoras mini-hidráulicas de alta queda (acima de 100 metros) com equipamentos de geração baseados nas tecnologias Francis Rápida ou Pelton tem custo médio estimado de cerca de R\$4.000,00/kW_{instalado}.

Quanto aos custos de operação e manutenção de sistemas de geração de energia utilizando tecnologia mini-hidráulica, os custos praticados no mercado atualmente estão avaliados em cerca de R\$ 0,012/kWh gerado.

3.3. ORDENAÇÃO ECONÔMICA

Selecionados os recursos renováveis que se pretende utilizar para realizar o suprimento regional de energia elétrica via geração distribuída, calculada a capacidade possível de ser instalada e quanto de energia é possível de ser gerada, calcula-se os custos unitários de instalação de cada alternativa para estabelecer um ranking comparativo entre as mesmas.

O ranking apresenta grande valor, ao mostrar uma classificação dos custos de geração de cada alternativa, proporcionando, desta forma, uma visualização

conjunta dos custos das diferentes possibilidades de fornecimento de energia elétrica via geração distribuída utilizando recursos renováveis.

A ordenação econômica, através dos custos de geração, auxilia na tomada de decisão quanto aos investimentos em empreendimentos de geração de energia elétrica utilizando recursos renováveis. Diante de diversas possibilidades naturalmente surge a questão de quanto custa utilizar um ou outro recurso, assim um ranking mostrando os custos de cada alternativa é uma ferramenta de planejamento de significativo valor, orientando os investimentos no sentido de obter o melhor benefício.

4. METODOLOGIA DE CÁLCULO DOS CUSTOS DAS ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO COM RECURSOS RENOVÁVEIS

De forma geral, o presente trabalho segue as seguintes etapas para estudar a seleção técnica e econômica de um conjunto de recursos renováveis para suprimento regional de energia elétrica através de geração distribuída.

1. Seleção dos recursos renováveis

Para utilizar recursos renováveis para geração de energia elétrica via geração distribuída deve-se primeiramente definir quais os recursos serão considerados.

No presente estudo selecionou-se os seguintes recursos: biomassa de resíduos agrícolas, biomassa de resíduos florestais, resíduos sólidos urbanos, eólica, solar fotovoltaica, biodiesel e empreendimentos de geração mini-hidráulica.

2. Quantificação dos recursos

Nesta etapa realiza-se a pesquisa acerca da disponibilidade de cada recurso selecionado na região de interesse do estudo. As fontes de informações são as mais diversas, conforme apresentado a seguir.

- Biomassa de resíduos agrícolas

Nesta etapa busca-se obter informações sobre dados de produção das diversas culturas existentes na região de interesse, podendo-se consultar as seguintes fontes de informações: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Secretaria de Planejamento (SEPLAN), Agência Rural e Sistema de Informações Geográficas (SIEG).

A partir dos dados de produção seleciona-se aquelas culturas com volume mais expressivo, procedendo-se, então, à determinação da produção de resíduos utilizando-se os coeficientes de produção de resíduos encontrados em diversas publicações.

Determinada a quantidade de resíduos estabelece-se o percentual dos mesmos que será utilizada para geração de energia elétrica.

- Biomassa de resíduos florestais

Para o aproveitamento energético da biomassa de resíduos florestais identifica-se quais as localidades onde se desenvolve a atividade da silvicultura, sendo as principais fontes de informações o IBGE e a SEPLAN.

A partir dos dados de produção determina-se a quantidade de resíduos produzida, utilizando-se o coeficiente de produção de resíduos, e qual o percentual dos mesmos que será utilizada para geração de energia elétrica.

- Resíduos sólidos urbanos

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos é realizado em localidades onde a produção dos mesmos é significativa, ou seja, nos municípios com número mais elevado de habitantes. Os dados de censo populacional são obtidos junto ao IBGE.

As informações sobre a produção de resíduos podem ser obtidas junto às prefeituras ou empresas de limpeza pública. Pode-se, também, obter estimativas da produção de resíduos utilizando-se coeficientes de produção per capita existentes na literatura.

- Eólica

Para o aproveitamento da energia eólica deve-se obter informações de velocidades do vento. A fonte de informações utilizada no presente trabalho é o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Ressalta-se que nas localidades onde houver disponibilidade, pode-se, também, utilizar informações de estações climáticas, ou, na melhor das hipóteses, dados de medições locais onde se pretende implantar algum projeto de geração eólica, sendo estes os melhores quanto à confiabilidade das informações.

- Solar Fotovoltaica

O aproveitamento da energia solar fotovoltaica requer que se disponha

de dados de insolação, os quais podem ser obtidos do Atlas Solarimétrico do Brasil e das estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

- Biodiesel

Para o aproveitamento energético do biodiesel considerou-se a implantação de centrais geradoras utilizando grupos geradores junto, ou próximo, das unidades de produção de biodiesel.

Os dados de usinas de produção de biodiesel foram obtidos junto à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), onde se tem informações sobre a localização e capacidade de produção das mesmas.

- Mini-Hidráulicas

As centrais geradoras mini-hidráulicas são empreendimentos de pequeno porte, onde a vazão para geração é pequena e a queda varia conforme a disponibilidade local. De uma forma geral, considera-se que todos os municípios possuem algum potencial; entretanto, a determinação exata do valor do mesmo requer trabalhos de campo, com serviços de topografia e hidrologia.

3. Tecnologias de conversão energética

Nesta etapa buscou-se identificar as tecnologias de conversão energética utilizando os recursos renováveis selecionados. Identificou-se, também, a forma de cálculo da quantidade de energia possível de ser gerada a partir de cada recurso.

- Biomassa de resíduos agrícolas e florestais

Para a biomassa de resíduos agrícolas e florestais existem diversas tecnologias indicadas na literatura. No presente estudo considerou-se duas alternativas, a primeira delas seria a queima da biomassa em caldeira para produção de vapor utilizado no acionamento de uma turbina a vapor acoplada ao gerador para geração de energia elétrica. Outra rota tecnológica é a gaseificação da biomassa para produção de gás e acionamento de uma turbina a gás acoplada a um gerador para produção de energia elétrica, tendo-se, também, a possibilidade de se utilizar motor alternativo de combustão interna.

- Resíduos sólidos urbanos

Para os resíduos sólidos urbanos existem diversas formas de aproveitamento energético do mesmo, conforme apresentado na literatura. Considerou-se, no presente estudo, o aproveitamento do biogás produzido em aterro sanitário. Existem diferentes tecnologias

aplicáveis, sendo mais difundidas as microturbinas a gás e os motores alternativos de combustão interna. No presente estudo considerou-se a utilização de motores para o aproveitamento energético do biogás.

- Eólico

O aproveitamento do recurso eólico ocorre por meio do emprego de aerogeradores instalados em torres que podem ser de concreto ou aço. O diâmetro das pás do equipamento depende das condições locais de vento e do quanto de energia se pretende gerar.

- Solar Fotovoltaica

O aproveitamento da energia solar para geração de energia elétrica ocorre por meio do emprego de painéis fotovoltaicos, cuja área depende da quantidade de energia que se pretende gerar, dada a disponibilidade local de radiação solar.

- Biodiesel

Para gerar energia elétrica a partir do biodiesel emprega-se grupos geradores convencionais instalados preferencialmente junto ou próximo às unidades produtoras de biodiesel, para que os custos com transporte e armazenamento do biodiesel sejam os menores possíveis.

- Centrais geradoras mini-hidráulicas

As centrais geradoras mini-hidráulicas podem utilizar diversos tipos de turbinas conforme, a disponibilidade de queda e vazões. No presente estudo considerou-se a utilização de três tipos de equipamentos: para localidades com baixas quedas a turbina Kaplan, para médias quedas a turbina Francis e para as altas quedas a turbina Pelton.

4. Custos das alternativas de geração

Nesta etapa buscou-se determinar os custos de instalação de empreendimentos de geração de energia elétrica utilizando os recursos renováveis selecionados. Para a biomassa de resíduos agrícolas e florestais os custos foram calculados conforme metodologia apresentada por Pinto (2008), enquanto para os demais tomou-se como referência empreendimentos existentes, devido à dificuldade de obter este tipo de informação.

- Biomassa de resíduos agrícolas e florestais

Para utilizar a biomassa de resíduos agrícolas e florestais para geração de energia elétrica calculou-se as principais componentes de custos.

De uma forma geral, a utilização da biomassa envolve custos de coleta da mesma no campo, o transporte até o local onde a mesma será utilizada, armazenamento, principalmente para os períodos de entre-

safra, onde não estará ocorrendo produção de resíduos, instalações de armazenamento e geração e custos dos equipamentos de conversão energética.

- Resíduos sólidos urbanos

Para o aproveitamento energético do biogás produzido no aterro sanitário, a partir da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos urbanos, tomou-se como referência os custos obtidos no estudo desenvolvido, no ano de 2008, pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o planejamento do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campo Grande.

- Eólica

Para determinar os custos do aproveitamento da energia eólica tomou-se como referência os custos obtidos no projeto desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará (GEDAE/UFGA), em parceria com outras instituições e empresas, para o fornecimento de eletricidade através de um sistema eólico-fotovoltaico-diesel à comunidade de São Tomé no interior do estado do Pará.

Utilizou-se, também, dados de custos de implantação da usina eólica de Gargaú, no município de São Francisco do Itabapoana.

- Solar Fotovoltaica

Quanto aos custos do aproveitamento da energia solar, tomou-se , também, como referência os custos obtidos no projeto desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará (GEDAE/UFGPA), em parceria com outras instituições e empresas para o fornecimento de eletricidade através de um sistema eólico-fotovoltaico-diesel à comunidade de São Tomé, no interior do estado do Pará.

Utilizou-se, também, dados de custos do estudo realizado por Bioene et al. (2008) para implantação de centrais de geração solar fotovoltaica para atendimento de comunidades isoladas na região Nordeste do Brasil.

- Biodiesel

Para o aproveitamento do biodiesel para geração de energia elétrica tomou-se como referência, também, os custos obtidos no projeto desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas da Universidade Federal do Pará (GEDAE/UFGPA), em parceria com outras instituições e empresas para o fornecimento de eletricidade através de um sistema eólico-fotovoltaico-diesel à comunidade de São Tomé no interior do estado do Pará.

Outra fonte de informação de custos utilizada foram os dados

comerciais atualizados de grupos geradores da empresa Perfectum Serviços de Engenharia.

- Centrais geradoras mini-hidráulicas

Para implantação de centrais geradoras mini-hidráulicas utilizou-se custos praticados no mercado atualmente, obtidos junto à empresas de engenharia e projetistas que atuam no setor.

5. Ordenação econômica e seleção das alternativas

Entre os recursos selecionados calculou-se os custos para o aproveitamento energético da biomassa de resíduos agrícolas e florestais, conforme metodologia apresentada por Pinto (2008).

Para os demais recursos selecionados, tomou-se como referência de custos os valores obtidos nos estudos e projetos apresentados anteriormente.

A partir dos valores de custos dos diversos recursos renováveis estudados para implantação de empreendimentos de geração de energia elétrica, estabelece-se um ranking comparativo para indicar quais as alternativas apresentam os menores valores e quais são as mais onerosas.

O ranking de custos fornece informações que contribuem para a tomada de decisão quanto à seleção de alternativas de geração de energia elétrica utilizando recursos renováveis, frente as diversas possibilidades que podem existir em determinada localidade.

5. ESTUDO DE CASO

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao se planejar o fornecimento de energia elétrica, inicialmente busca-se realizá-lo via extensão de redes; entretanto, os resultados podem se mostrar economicamente inviáveis, especialmente para regiões com pequenas demandas de carga, estando as mesmas dispersas, ou afastadas das redes existentes, existindo também, a questão dos impactos ambientais causados quando da construção das redes de fornecimento de energia elétrica.

Os planejadores devem buscar identificar potencialidades locais, ou seja os recursos existentes nas próprias localidades, ou próximas a elas, e que apresentem potencial para serem utilizados como fonte de suprimento de energia elétrica, verificar as tecnologias possíveis de serem empregadas e os custos para cada uma das alternativas, reunindo assim um conjunto de informações que forneça subsídios para a tomada de decisão.

Em determinadas localidades a disponibilidade de recursos pode se mostrar de tal forma significativa que, mesmo não havendo carência quanto ao fornecimento de energia elétrica, a implantação de empreendimentos de geração de energia elétrica para o aproveitamento dos recursos existentes pode se mostrar atrativa.

O aproveitamento dos recursos renováveis disponíveis para geração de energia elétrica pode apresentar baixos impactos ambientais quando comparado a outras fontes de geração de energia, diversificar as fontes de suprimento energético e utilizar recursos renováveis, contribuindo desta forma para o desenvolvimento sustentável e ampliando a disponibilidade de energia elétrica, essencial para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida.

O presente trabalho, conforme citado inicialmente, foi inspirado no projeto de P&D desenvolvido para a Companhia Energética de Goiás; portanto, o estudo de caso orienta-se no sentido de analisar a utilização dos recursos renováveis selecionados no estado de Goiás para geração de energia elétrica em empreendimentos de geração distribuída para o suprimento regional de energia.

Localizado na região Centro-Oeste do Brasil, Goiás é um dos estados de maior produção agrícola do País, destacando-se, principalmente, os cultivos de soja e milho, além de diversas outras culturas, as quais geram grande quantidade de resíduos que podem ser aproveitados para geração de energia elétrica. Existem, também, as culturas de oleaginosas, que podem ser aproveitadas para produção de biodiesel, para acionamento de grupos geradores para geração de energia elétrica.

O estado de Goiás apresenta grandes dimensões, conseqüentemente, as redes de transmissão e distribuição de energia elétrica são extensas, surgindo, então, dificuldades de fornecimento de energia com qualidade, especialmente nos trechos finais de rede. Desta forma, empreendimentos de geração localizados nestes trechos, ou próximos a eles, apresentam significativo valor ao melhorar a qualidade da energia e diversificar as fontes de geração ao utilizarem recursos renováveis regionais.

O estado de Goiás, segundo a Secretaria de Planejamento (SEPLAN) encontra-se dividido em dez Regiões de Planejamento (RP), conforme apresentado na figura 24. No presente estudo considerou-se esta divisão também, sendo realizado o estudo quanto ao potencial de aproveitamento dos recursos renováveis de cada um dos municípios que compõem cada uma destas regiões.



FIGURA 24 – Regiões de planejamento do estado de Goiás

(fonte: Adaptado de SEPLAN, 2009)

Alguns municípios do estado de Goiás possuem cultivos florestais para produção de madeira para diversas finalidades, gerando também resíduos com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica, enquanto algumas localidades na região Nordeste do estado possuem ventos com velocidades favoráveis à implantação de empreendimentos de geração eólica.

Os grandes centros urbanos do estado de Goiás, como Goiânia e Aparecida de Goiânia, geram grande quantidade de resíduos sólidos, os quais, ao serem depositados em aterros sanitários, produzem biogás, que pode ser aproveitado para geração de energia elétrica.

Deve-se ressaltar, também, que, devido à sua localização geográfica, o estado recebe um nível significativo de insolação com potencial de ser aproveitado

em empreendimentos de geração solar fotovoltaica, e também por sua localização geográfica, o estado é banhado por três bacias hidrográficas, sendo elas as dos Rios São Francisco, Paraná e Tocantins, apresentado significativa densidade drenagem, a qual corresponde à relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem da bacia hidrográfica, o que enseja o aproveitamento dos recursos hídricos para geração de energia elétrica.

5.2. DISPONIBILIDADE DE RECURSOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

5.2.1. RECURSOS DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

O estado de Goiás possui uma grande dinâmica agrícola, sendo um dos maiores produtores de diversas culturas, as quais tem se expandido ao longo dos últimos anos tanto em termos de área cultivada quanto de ganhos de produtividade.

Os resíduos agrícolas resultantes principalmente do processo de colheita das culturas são deixados no campo, não sendo aproveitados para alguma finalidade específica; entretanto, deve-se ressaltar que os mesmos tem a função de manter a qualidade do solo, evitando problemas de erosão e perda de produtividade, devendo, portanto, o seu uso para alguma outra finalidade ser feito de forma racional para evitar que os problemas citados anteriormente venham a ocorrer.

Através de pesquisas realizadas junto à Secretaria de Planejamento (SEPLAN) e Superintendência de Estatística (SEPIN) do estado de Goiás, analisou-se as séries históricas de dados de produção para identificar aquelas culturas que apresentam maiores volumes de produção.

Selecionou-se, então, um conjunto de culturas para analisar a possibilidade de se utilizar parte dos resíduos resultantes quando do processo de colheita das

mesmas para geração de energia elétrica; dentre as diversas culturas analisadas, selecionou-se as seguintes: milho, soja, sorgo, arroz, feijão, algodão e trigo, identificando-se os volumes de produção de cada uma destas culturas para cada município do Estado.

Uma cultura que tem apresentado volumes de produção cada vez mais elevados e com grande produção de resíduos, especialmente devido à expansão das fronteiras agrícolas do estado de Goiás, mas que não foi considerada no presente estudo é a cana-de-açúcar, pois o aproveitamento dos resíduos gerados pela mesma para geração de energia elétrica tem ocorrido naturalmente, especialmente em sistemas de cogeração.

Quanto à disponibilidade de resíduos agrícolas ao longo do ano, estes variam conforme o período de safra de cada uma das culturas estudadas, conforme se observa no calendário agrícola da região Centro-Oeste (tabela 10), onde se tem indicado o período de safra de cada uma das culturas estudadas. Considerou-se, no desenvolvimento do presente estudo, a coleta, transporte e armazenamento da biomassa de resíduos agrícolas para sua utilização ao longo do ano todo para geração de energia elétrica.

TABELA 10 – Período de safra das culturas estudadas no estado de Goiás

Cultura	Mês											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Milho												
Algodão												
Arroz												
Feijão												
Sorgo												
Soja												
Trigo												

(fonte: Adaptado de CONAB, 2008)

Para as culturas selecionadas, citadas anteriormente, tem-se que alguns municípios do estado possuem volumes de produção elevados, tais como: Cristalina e Luziânia na região de planejamento do Entorno do Distrito Federal, Caiapônia na região de planejamento Oeste Goiano, Campo Alegre de Goiás, Catalão, Ipameri e Silvânia na região de planejamento Sudeste Goiano.

Os municípios que mais se destacam quanto ao volume de produção são Chapadão do Céu, Jataí e Rio Verde, localizados na região de planejamento Sudoeste Goiano, onde os volumes de produção são extremamente significativos, havendo, portanto, grande quantidade de resíduos com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica, permitindo a instalação de empreendimentos de maior capacidade de geração.

Para obter uma estimativa da potência possível de ser instalada e quanto de energia poderia ser gerada a partir do aproveitamento de parte dos resíduos resultantes principalmente do processo de colheita das culturas selecionadas, utilizou-se os dados de produção da safra 2007/2008.

No caso da cultura do arroz existem também os resíduos agroindustriais, resultantes do processo de beneficiamento do mesmo. Para a cultura do algodão todos os resíduos podem ser aproveitados para geração de energia elétrica, pois os mesmos são totalmente removidos do campo após a colheita e queimados para evitar a propagação de doenças para a safra seguinte, devendo-se no entanto, considerar um índice de perdas entre a coleta e transporte dos resíduos até os locais onde os mesmos serão utilizados para geração de energia elétrica.

5.2.2. RECURSOS DE RESÍDUOS FLORESTAIS

No estado de Goiás, a atividade da silvicultura é praticada apenas em alguns municípios; portanto, somente nestes há disponibilidade de resíduos com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica.

Os resíduos resultantes da atividade de extração da madeira são deixados no campo não sendo aproveitados para nenhuma outra finalidade, enquanto os resíduos resultantes da atividade de beneficiamento da madeira acabam por criar um problema quanto à sua destinação ou disposição.

A disponibilidade de resíduos florestais para geração de energia elétrica ocorre ao longo do ano todo, pois não se tem um período específico de safras, assim como ocorre com a biomassa de resíduos agrícolas, pois a atividade da silvicultura é praticada com as plantas em diferentes estágios de desenvolvimento para que haja disponibilidade de produtos ao longo do ano todo.

Deve-se considerar a variação da disponibilidade de resíduos ao longo do ano, tanto os resultantes da atividade de colheita quanto de beneficiamento da madeira, para identificar os períodos de maior disponibilidade e realizar o planejamento da coleta, transporte e armazenamento dos resíduos para posterior utilização para geração de energia elétrica.

Através de pesquisas realizadas juntos aos órgãos oficiais (IBGE, SEPLAN, prefeituras) em relação à atividade da silvicultura nos municípios do estado de Goiás, para identificar aqueles com produção significativa de resíduos florestais, com possibilidade de serem utilizados como matéria-prima para geração de energia, indicaram que a maior parte da produção de produtos da silvicultura concentra-se em quatro municípios, conforme apresentado na tabela 11.

TABELA 11 – Produção de silvicultura no estado de Goiás

Município	Região de Planejamento	Produção silvicultura (t)*
Niquelândia	Norte Goiano	199.100
Ipameri	Sudeste Goiano	184.950
Rio Verde	Sudoeste Goiano	150.000
Catalão	Sudeste Goiano	110.750

* Produção total (Lenha+Carvão Vegetal+Madeira em tora)

Fonte: IBGE (2007)

Os quatro municípios apresentados na tabela 11, respondem por cerca de 84% dos produtos da silvicultura no estado de Goiás; portanto, nestes está concentrada a produção de resíduos com potencial de serem utilizados como matéria-prima para geração de energia. O restante da produção do Estado está dispersa em outros municípios, onde a quantidade de resíduos é pequena.

5.2.3. RECURSOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os grandes centros urbanos produzem diariamente uma grande quantidade de resíduos, os quais, quando dispostos em aterros sanitários, produzem o biogás resultante da decomposição anaeróbia dos mesmos.

Segundo Amaecing e Ferreira (2008), a geração de resíduos sólidos tem sido crescente, principalmente nos centros urbanos, que contam com empresas, lojas, comércios e residências que geram, diariamente, uma grande quantidade de lixo. A cidade de Goiânia não foge dessa realidade, com 1.244.645 de habitantes (IBGE - CENSO 2007); a cidade gera, em média, 1.200 toneladas/dia de resíduos sólidos urbanos (AMAECING e FERREIRA, 2008).

Outro grande centro urbano do estado de Goiás é a cidade de Aparecida de

Goiânia, com 475.303 habitantes, segundo IBGE (Censo, 2007), entretanto, não há disponibilidade de dados quanto à produção diária de resíduos sólidos urbanos. Considerou-se a mesma produção *per capita* de lixo verificada em Goiânia, estimando-se que a cidade produza cerca de 458 toneladas de resíduos sólidos diariamente.

No desenvolvimento do presente estudo considerou-se apenas cidades com população superior a 300.000 habitantes, pois nestas os volumes de resíduos sólidos produzidos são mais significativos, os quais, quando dispostos em aterros sanitários, produzirão um volume de biogás atrativo à implantação de empreendimento de geração de energia a partir do mesmo.

Na tabela 12 encontram-se apresentados os municípios com população superior a 300.000 habitantes no estado de Goiás, segundo dados do IBGE (Censo, 2007), onde a produção diária de resíduos é expressiva, havendo a possibilidade de se implantar sistemas de geração distribuída utilizando o biogás produzido nos respectivos aterros sanitários.

TABELA 12 – Municípios com potencial de GD a partir de resíduos sólidos urbanos

Município	Região de Planejamento	População (hab.) (Censo, 2007)	Produção diária de lixo (t/dia)
Goiânia	Metropolitana de Goiânia	1.244.645	1.200
Aparecida de Goiânia	Metropolitana de Goiânia	475.303	458*
Anápolis	Centro Goiano	325.544	313*

* Estimado a partir da produção diária *per capita* do município de Goiânia

5.2.4. RECURSO EÓLICO

A exploração dos recursos eólicos no Brasil para geração de energia elétrica encontra-se concentrada principalmente na região litorânea, especialmente na região Nordeste, onde a disponibilidade de ventos com velocidades favoráveis à implantação de empreendimentos eólicos é mais adequada e ampla.

De uma forma geral, a busca de potenciais eólicos tem se concentrado na região litorânea; entretanto, avaliações preliminares tem mostrado que muitas regiões do interior do país possuem boas condições de vento que favorecem a exploração deste tipo de energia, sem as pressões ambientais e econômicas que ocorrem nas regiões costeiras.

No Atlas Eólico do Brasil, desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia (MME) através do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), estimou-se para o Brasil um potencial eólico de 143,7 GW para ventos com velocidade média anual de 7 m/s. Para a região Centro-Oeste, estimou-se um potencial de 3,1 GW, concentrado principalmente no estado do Mato Grosso do Sul. No estado de Goiás, o maior potencial encontra-se concentrado na região de planejamento Nordeste Goiano, conforme se observa na figura 25.

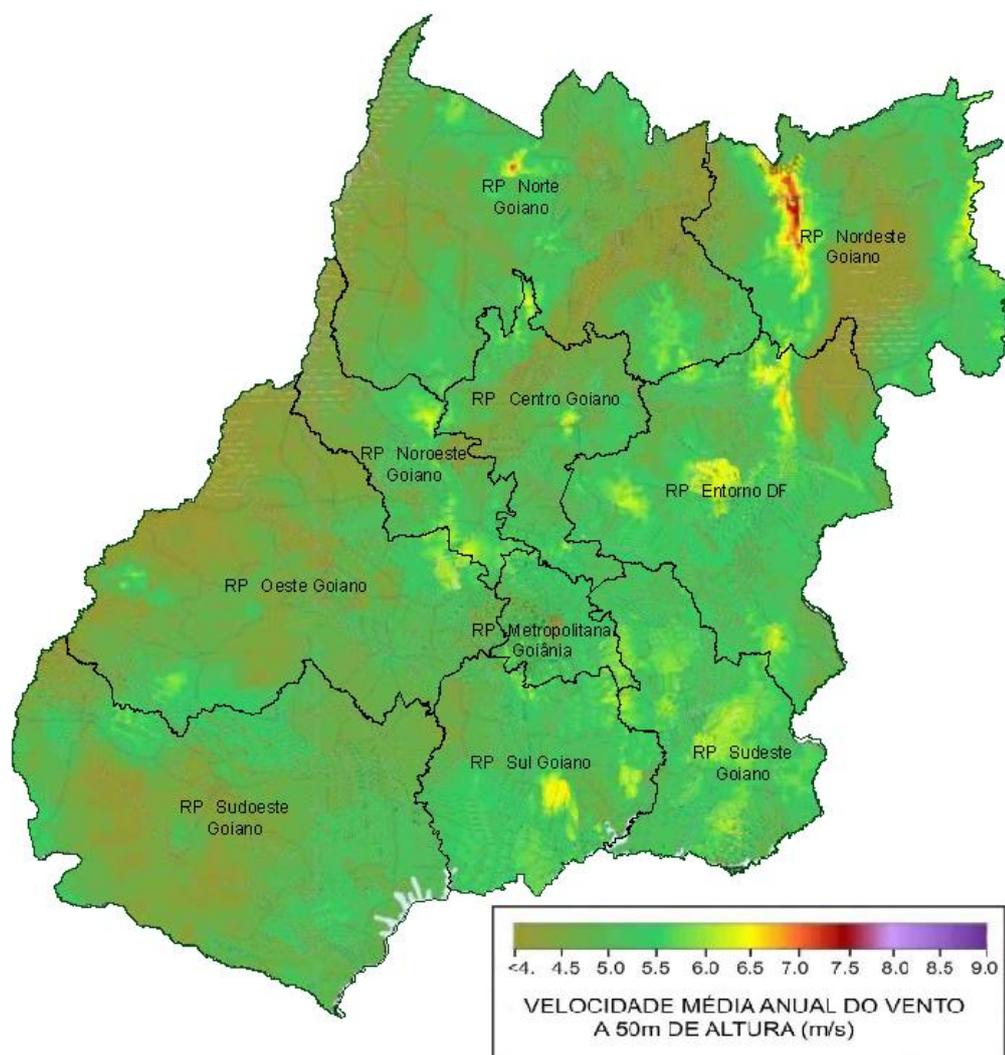


FIGURA 25 – Mapa de velocidades dos ventos no estado de Goiás

(fonte: Adaptado de CRESESB, 2001)

A região de planejamento Nordeste Goiano apresenta algumas localidades com condições adequadas de velocidade dos ventos para implantação de empreendimentos de geração eólica, conforme se observa na figura 26, onde se percebe que o município de Cavalcante é o que apresenta ventos com velocidades mais favoráveis à implantação de empreendimentos de geração eólica.

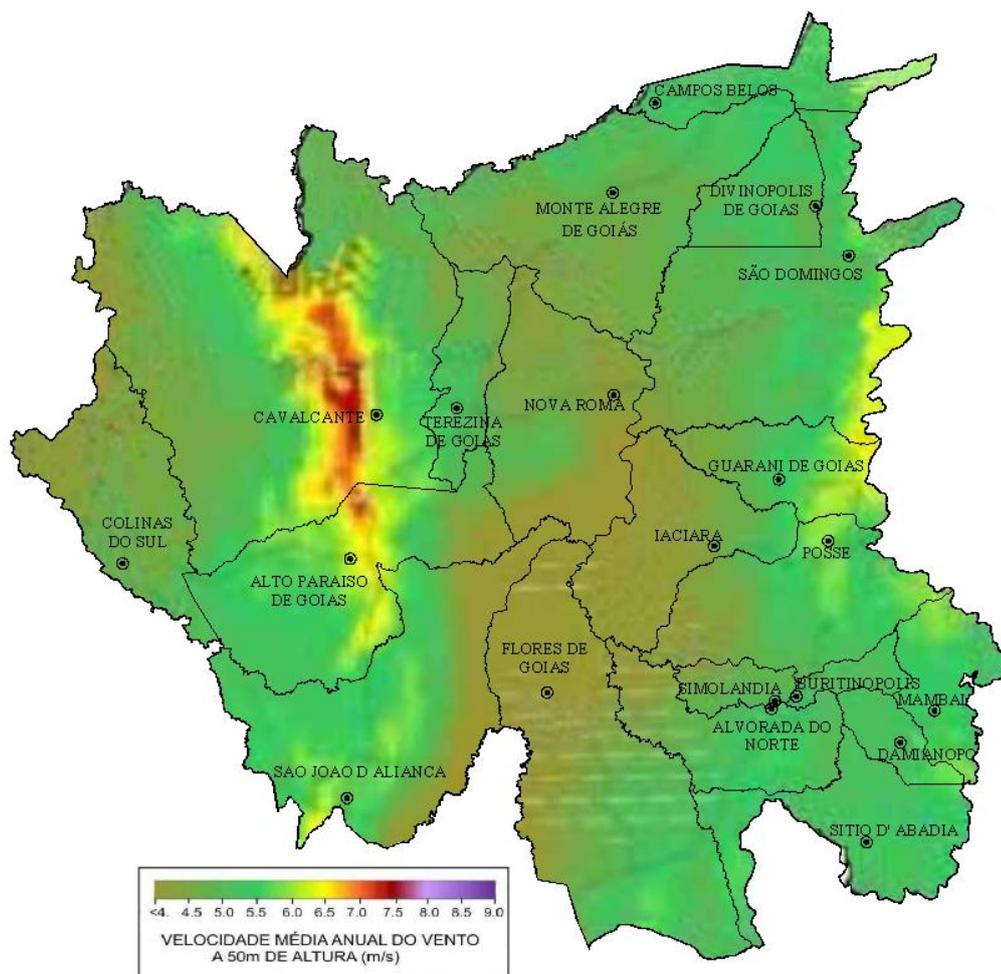


FIGURA 26 – Mapa do potencial eólico dos municípios do Nordeste Goiano

(fonte: Adaptado de CRESESB, 2001)

Na região de planejamento Norte Goiano, entre os municípios de Porangatu e Bonópolis, existe uma pequena área, que segundo dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, apresenta ventos com velocidades favoráveis à implantação de empreendimento eólico para geração de energia elétrica, conforme se observa na figura 27.

Observa-se, na figura 25, que, para as demais regiões do estado de Goiás, os ventos não possuem velocidades favoráveis à implantação de empreendimentos de geração eólica.

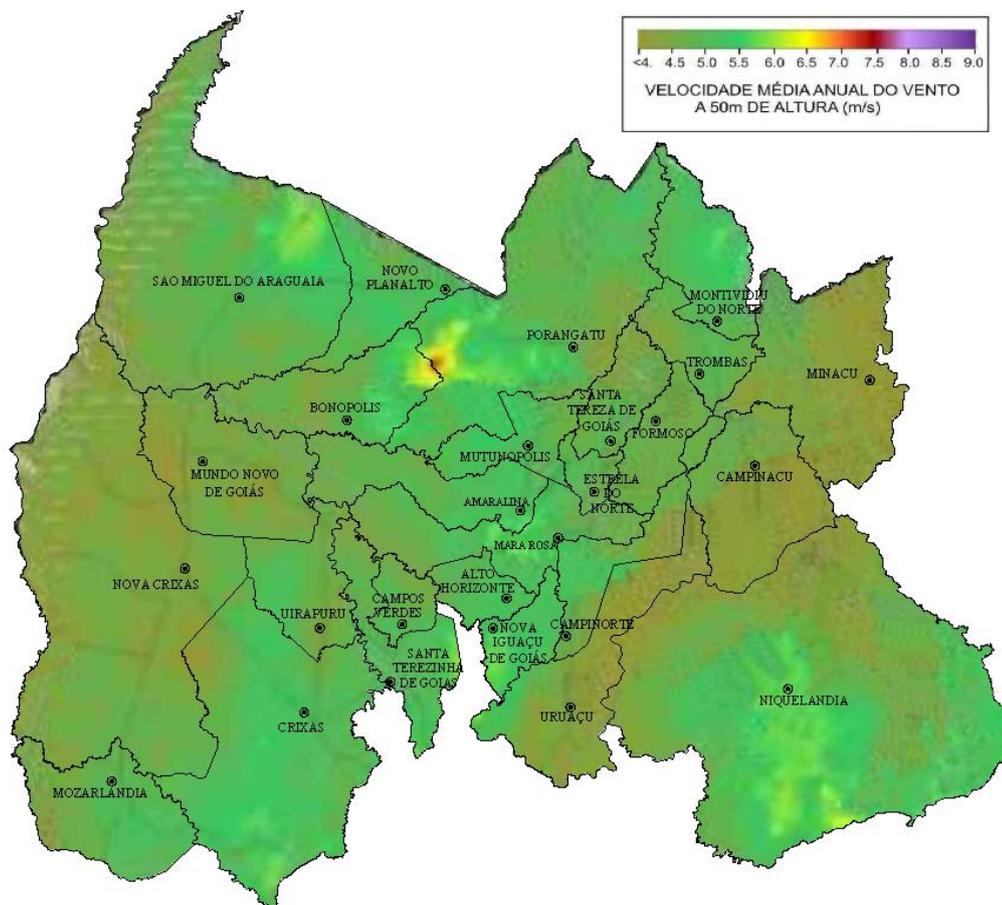


FIGURA 27 – Mapa do potencial eólico dos municípios do Norte Goiano

(fonte: Adaptado de CRESESB, 2001)

No desenvolvimento do presente estudo, considerou-se que apenas os municípios apresentados na tabela 13 possuem condições de ventos favoráveis ao seu aproveitamento para geração de energia, para os demais municípios esta alternativa de geração de energia não foi considerada.

TABELA 13 – Municípios com potencial eólico em Goiás

Município	Região de Planejamento
Cavalcante	Nordeste Goiano
Alto Paraíso de Goiás	Nordeste Goiano
Porangatu	Norte Goiano
Bonópolis	Norte Goiano

5.2.5. RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO

O estado de Goiás recebe um intensidade de radiação solar significativa ao longo do ano, estando a mesma entre 16 MJ/m².dia e 18 MJ/m².dia, conforme apresentado na figura 28, onde se observa que a maior parte do estado apresenta uma média de radiações solares, na faixa de 18 MJ/m².dia, que equivale a 5 kWh/m².dia, valor considerado uma boa média de radiação, justificando a importância da opção fotovoltaica como alternativa para a eletrificação, especialmente nas áreas rurais isoladas ou afastadas das redes convencionais de fornecimento de energia elétrica.

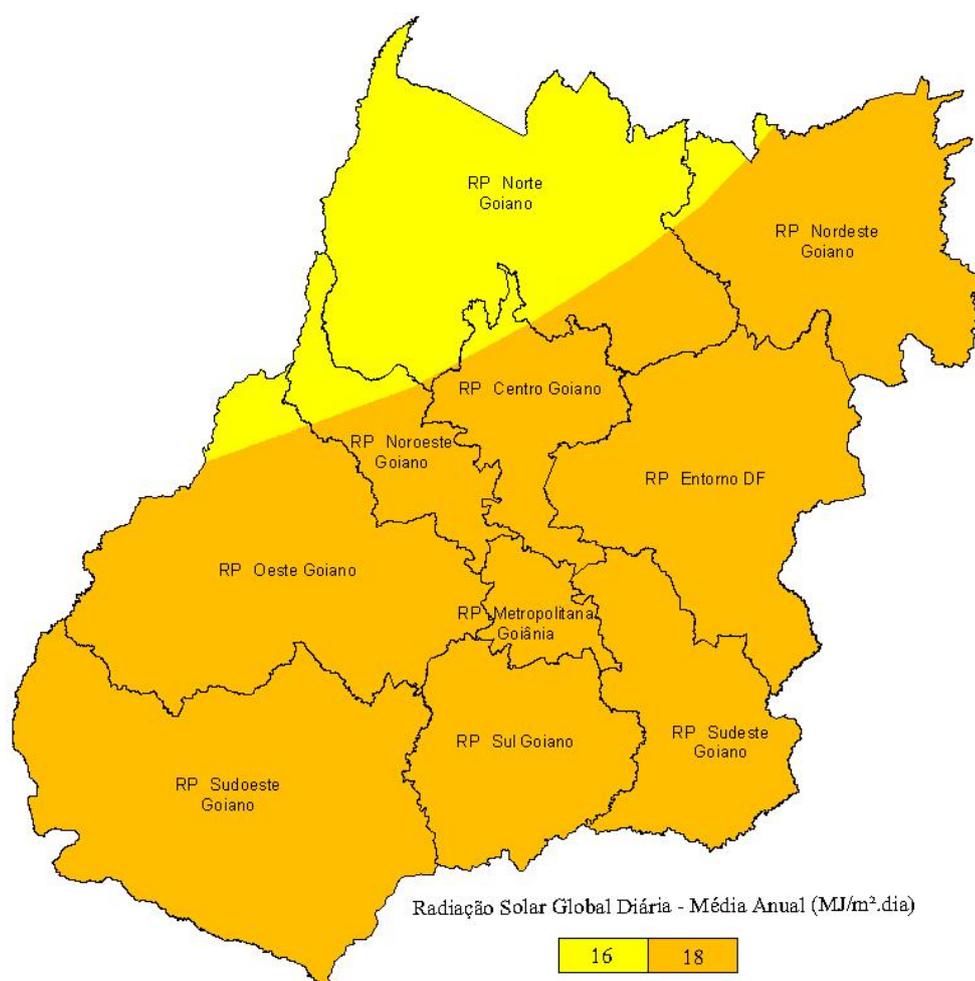


FIGURA 28 – Radiação Solar Global Diária Média Anual no estado de Goiás

(fonte: Adaptado de CRESESB, 2001)

No estado de Goiás, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), existem 10 (dez) estações meteorológicas convencionais, as quais encontram-se apresentadas na tabela 14.

A estação convencional, segundo o INMET, é composta de vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que são lidos e anotados por um observador a cada intervalo e este os envia a um centro coletor por um meio de comunicação qualquer.

TABELA 14 – Estações Meteorológicas Convencionais do INMET em Goiás

Dados da Estação		Coordenadas Geográficas	
Número	Estação	Latitude (S)	Longitude (W)
83368	Aragarças	15,54	52,14
83526	Catalão	18,11	47,57
83379	Formosa	15,32	47,20
83423	Goiânia	17,43	48,10
83374	Goiás	16,40	49,15
83522	Ipameri	15,55	50,08
83332	Posse	15,51	48,58
83376	Pirenópolis	14,06	46,22
83470	Rio Verde	17,48	50,55
83377	Brasília	15,47	47,56

Fonte: INMET (2010)

Os dados obtidos das estações referem-se à Insolação Total (número de horas de sol), discretizados mensalmente, ou seja, o número de horas ao longo do mês para cada um dos doze meses do ano. A partir de tais dados pode-se determinar o potencial energético solar na região onde cada estação encontra-se instalada. A tabela 15 apresenta os dados de insolação das estações do INMET que também foram utilizadas no desenvolvimento do presente estudo

TABELA 15 – Dados de Insolação Total das estações do INMET em Goiás

Mês	ESTAÇÃO CONVENCIONAL INMET (Horas e décimos)									
	Aragarças	Catalão	Formosa	Goiânia	Goiás	Ipameri	Posse	Pirenópolis	Rio Verde	Brasília
JAN	148,00	174,70	156,80	176,10	136,00	173,30	152,20	133,20	159,70	157,40
FEV	153,80	171,10	163,00	156,40	151,50	158,70	161,60	148,20	172,00	157,50
MAR	181,00	200,00	187,20	203,60	173,20	196,10	182,10	176,30	180,30	180,90
ABR	217,30	222,40	216,00	230,80	201,10	214,70	209,60	211,00	211,70	201,10
MAI	250,60	246,60	243,10	253,90	231,70	236,70	247,60	241,70	236,90	234,30
JUN	256,50	247,50	245,90	270,20	246,60	237,10	259,60	244,80	260,40	253,40
JUL	257,50	265,10	260,60	283,10	258,50	255,90	261,30	271,90	282,00	265,30
AGO	228,50	262,00	267,10	269,20	238,60	246,90	276,00	258,10	244,20	262,90
SET	153,20	196,00	213,40	214,90	156,30	200,90	214,70	179,00	172,00	203,20
OUT	193,50	193,00	181,50	184,60	190,50	209,60	180,90	190,60	189,20	168,20
NOV	159,40	181,40	253,20	173,30	154,30	175,50	137,40	150,80	156,90	142,50
DEZ	140,50	154,30	119,90	172,00	143,60	152,40	140,80	122,40	149,40	138,10

Fonte: INMET (2010)

A partir dos dados de insolação pode-se calcular a irradiância solar global diária sobre uma superfície horizontal e, assim, determinar o quanto de energia poderá ser efetivamente gerada para uma determinada área de painéis fotovoltaicos.

5.2.6. RECURSO BIODIESEL

A produção de biodiesel a partir de oleaginosas em determinada localidade depende da disponibilidade de matérias-primas, a qual pode variar de uma região para outra em função das aptidões regionais de cultivos.

Segundo estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para determinar as aptidões e cultivos regionais, tem-se: a soja para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a mamona para o Nordeste e o dendê para a região Amazônica. Girassol, amendoim e outros também têm sido considerados. Igualmente, as palmáceas tropicais são sempre mencionadas como viáveis e potenciais produtores de biodiesel.

A matriz agroindustrial do estado de Goiás encontra-se em estágio avançado de modernização e com grandes possibilidades de articulação e sustentabilidade a partir das atividades de tecnologia e das ações de inovação. As cadeias de oleaginosas tem encontrado no estado condições ambientais favoráveis à dinamização da produção de biocombustíveis.

Goiás como grande estado produtor agrícola e ainda com recursos naturais disponíveis pode vir a tornar-se um grande produtor de biodiesel, pois dispõe de condições de extrair ou mesmo produzir as oleaginosas requeridas para a produção do óleo. Hoje o Estado é grande produtor de soja e algodão e com condições para a produção de dendê, côco da Bahia, mamona, amendoim, girassol, semente de maracujá, polpa de abacate, semente de tomate e até mesmo nabo forrageiro. Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), no estado de Goiás existem 4 usinas autorizadas para produzir biodiesel, conforme apresentado na tabela 16.

TABELA 16 – Usinas de Biodiesel autorizadas em Goiás

Usina	Município	Capacidade anual estimada (m ³ /ano)
BINATURAL Indústria e Comércio de Óleos Vegetais Ltda.	Formosa	30.240
BIONORTE Indústria e Comércio de Biodiesel Ltda	São Miguel do Araguaia	29.411,8
CARAMURU Alimentos S.A	São Simão	187.500
GRANOL Indústria, Comércio e Exportação S.A	Anápolis	220.680

Fonte: ANP (2009)

Um aspecto que deve ser considerado refere-se à distância do local de produção do Biodiesel e o local onde o mesmo será utilizado para geração de energia elétrica, quanto mais próximos um do outro ambos se encontrarem menores serão os custos de transporte. Preferencialmente deve-se buscar a possibilidade de realizar a geração junto às instalações de produção do Biodiesel.

5.2.7. RECURSO HÍDRICO

O aproveitamento dos recursos hídricos para geração de energia elétrica requer que sejam realizados trabalhos de campo para identificar e determinar adequadamente as quedas naturais existentes ao longo de determinado curso d'água, assim como de estudos hidrológicos para determinar a vazão disponível para a implantação do empreendimento de geração hidráulica.

No caso de empreendimentos de baixa potência, como as mini centrais hidrelétricas (mCH) e micro centrais hidrelétricas (μ CH), as necessidades de quedas e vazões são menores, portanto, o número de localidades onde há possibilidade de se implantar este tipo de empreendimento é maior, comparado a empreendimentos

de maior capacidade como as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).

O estado de Goiás apresenta extensa malha hidrográfica, sendo banhado por três bacias hidrográficas: a Bacia do Rio Paraná, a Bacia Araguaia-Tocantins e a Bacia do São Francisco. Os principais rios são: Paranaíba, Araguaia, Paranã, Maranhão e Almas. A figura 29 mostra a localização dessas bacias, bem como dos principais corpos d'água do estado.

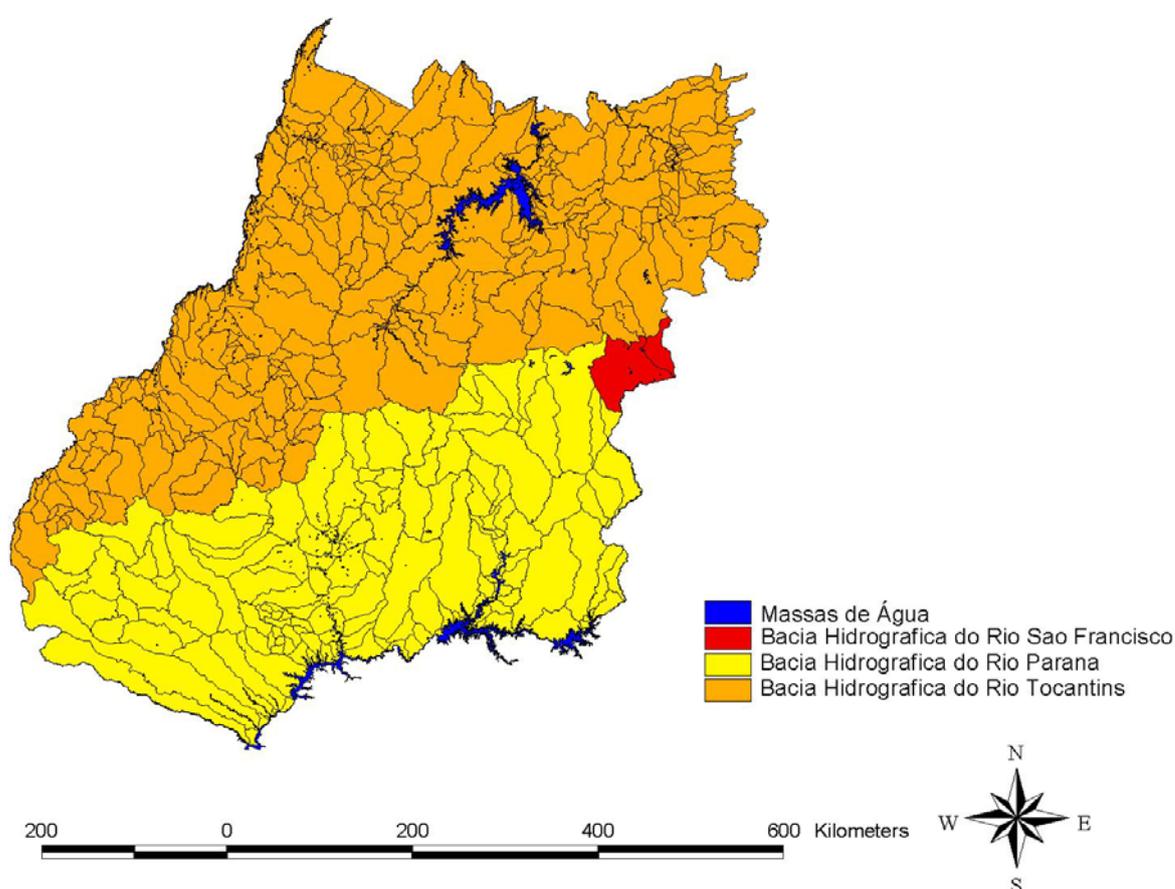


FIGURA 29 – Bacias Hidrográficas do estado de Goiás

(fonte: SEPLAN, 2009)

Por apresentar extensa malha hidrográfica, naturalmente devem existir diversos locais onde existe potencial de se aproveitar os recursos hídricos para gerar energia elétrica e atender a demanda; entretanto, a quantificação do valor possível de ser gerado requer trabalhos de campo para levantamento de desníveis

existentes em cada local, assim como da vazão afluente disponível para ser aproveitada para geração de energia elétrica.

Segundo Courillon (2003), se a região onde se pretende instalar o empreendimento de geração hidráulica possuir estrutura adequada, as limitações das instalações são mínimas, pois as turbinas de baixa potência são simples de usar e sua manutenção limita-se à reposição dos componentes, procedimento acessível a uma pessoa local devidamente treinada.

No desenvolvimento do presente estudo, quanto ao aproveitamento de recursos hídricos para geração de energia elétrica, considerou-se aproveitamentos com potência entre 100 kW e 1.000 kW, pelas facilidades anteriormente descritas, bem como pelas facilidades de projetos, menores interferências ambientais, porte de obras civis, fornecimento de equipamentos e disponibilidade de possíveis potenciais nas diversas localidades do estado de Goiás. Portanto, este é o valor de potência máxima, utilizando recursos hídricos, que está sendo considerada no presente estudo.

O aproveitamento de potenciais hidráulicos com capacidade inferior a 1.000 kW, segundo o artigo oitavo da Lei número 9.074 de 7 de Julho de 1995, estão dispensados de concessão, permissão ou autorização, devendo apenas ser comunicado ao poder concedente. Desta forma, este tipo de empreendimento apresenta também esta facilidade, tornando-o ainda mais atrativo para atendimento de pequenas cargas em empreendimentos de geração distribuída para o suprimento regional de energia.

5.3. CUSTOS DE INSTALAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

5.3.1. CONSIDERAÇÕES PARA O LEVANTAMENTO DOS CUSTOS

Para determinar os custos de instalação de empreendimentos de geração de energia elétrica utilizando recursos renováveis no estado de Goiás procurou-se identificar os custos associados a cada tecnologia de geração que poderia ser empregada a cada um dos recursos com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica.

Para as alternativas de recursos renováveis onde é possível aplicar mais de uma tecnologia para geração de energia elétrica buscou-se considerar aquelas com custos mais competitivos, em estágio de desenvolvimento e aplicabilidade comercial mais avançada e com as maiores eficiências de conversão energética.

5.3.2. CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO COM BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS

Para determinar os custos de instalação de empreendimentos de geração distribuída utilizando biomassa de resíduos agrícolas, buscou-se identificar quais os principais parâmetros a serem considerados para a determinação dos mesmos, tais como custos de coleta, transporte e armazenamento da biomassa, equipamentos de geração e acessórios elétricos.

Para calcular os custos do aproveitamento energético da biomassa referentes a cada uma das etapas citadas anteriormente adotou-se as seguintes premissas:

- (i) A biomassa poderá ser coletada e compactada na forma de fardos

retangulares. Isso decorre do fato de que coletando-se a biomassa desta forma os gastos com armazenamento serão menores pois exige-se espaços menores em termos de área e existe maior facilidade de transporte e manejo da biomassa;

- (ii) Não há custos de aquisição desta biomassa, ou seja, o produtor não irá cobrar pelo percentual de biomassa que será retirada do campo. Podem ocorrer situações em que este custo não necessariamente será nulo;
- (iii) Os equipamentos a serem utilizados para coletar, enfardar e transportar o material são aqueles descritos na tabela 17, onde se tem a indicação dos equipamentos e suas funções;

TABELA 17 – Equipamentos para recolhimento da biomassa no campo

Equipamento	Função
Trator	Acionamento da Enleiradora, Enfardadora e Transbordo
Enleiradora	Concentração da biomassa espalhada, em forma de leiras
Enfardadora	Recolhimento e Enfardamento da Biomassa
Carregadora	Carregamento e descarregamento dos fardos
Transbordo	Carretas de trator para transporte interno dos fardos
Caminhão	Transporte externo dos fardos

- (iv) Na Tabela 18 apresentam-se os custos de aquisição dos equipamentos para recolhimento, transporte e enfardamento da biomassa, assim como suas características como potência e vida útil;

TABELA 18 – Custos dos equipamentos para coletar e transportar a biomassa

Máquina	Marca/Modelo	Potência (cv)	Valor (R\$)	Vida útil (h)
Enleiradora	STABRA Rotomax 400/2	-	16.000,00	10.000
Enfardadora	STSABRA ERVS 3545	-	135.000,00	10.000
Carregadora/ Descarregadora	CBT Santal	112	45.000,00	15.000
Trator	VALMET BM 110	110	96.000,00	12.000
Caminhão	VOLVO FM 12 Romeu e Julieta	340	180.000,00	1.000.000
Transbordo	SANTAL VT8 SC	-	68.000,00	20.000

(fonte: pesquisas de mercado diversas, 2009)

(v) Para confecção dos fardos, são utilizadas as cordas de amarração. Em média, utiliza-se cerca de 250 gramas de corda de sizal para amarrar cada fardo; assim tem-se um custo, com cordas, aproximado de cerca de 10 R\$/tonelada de material enfardado;

(vi) Os equipamentos envolvem fundamentalmente máquinas para o enleiramento, recolhimento, adensamento, carregamento, transporte e redução de tamanho do material antes do mesmo ser utilizado na geração de energia. Na tabela 19 tem-se a descrição dos equipamentos, em termos de capacidade diária de produção, preço de cada equipamento e investimento específico;

TABELA 19 – Características operacionais e de custos dos equipamentos

Equipamento	Capacidade diária (t/dia)	Investimento (R\$/t.dia)
Enleiradora	389	41,13
Enfardadora	259	166,02

Carregadora	350	128,57
Transbordo	110	1.236,34
Picadora de fardos	486	41,15

(fonte: pesquisas de mercado diversas, 2009)

(vii) Em todos os casos considerou-se que a distância de recolhimento e transporte da biomassa até o local de armazenamento e/ou uso apresente uma média de 50 quilômetros;

(viii) O enfardamento é a prática mais comum para facilitar e minimizar os custos com transporte e/ou reduzir a área das instalações de armazenamento da biomassa. Considerando-se que no armazenamento das biomassas, para utilização energética, o mesmo seja feito na forma de fardos retangulares empilhados (por exemplo, pilhas de cinco fardos), os gastos com armazenamento referem-se basicamente à construção do galpão de armazenamento.

(ix) O custo de aquisição da empilhadeira para acomodar os fardos é o mesmo para todas as biomassas. No entanto o custo para construção do galpão de armazenamento apresenta variações de um município produtor para outro, em decorrência das diferentes quantidades de biomassa a serem armazenadas; conseqüentemente, a demanda por espaço será diferente. A tabela 20 apresenta o custo de aquisição de uma empilhadeira e os valores do metro cúbico de concreto a ser utilizado para a construção do pátio de armazenamento;

TABELA 20 – Custos dos matérias e equipamentos

Equipamento/Material	Resistência (fck-Mpa)	Custo (R\$)	Custo (R\$/m³)
Empilhadeira	-	50.000,00	-
Concreto*	15	-	170,00
	30	-	235,00

*Concreteira Polimix (Itajubá, 2009)

- (x) A geração de energia a partir de biomassa requer que se disponha de determinado espaço físico onde possa ser feita a instalação dos equipamentos de geração. Essas dimensões variam em função da capacidade de geração do empreendimento; assim, empreendimentos de maior envergadura requerem espaços maiores para acomodar os equipamentos, que obviamente são mais robustos;
- (xi) As tecnologias disponíveis e aplicáveis para a conversão energética da biomassa em centrais de pequeno porte, são basicamente as seguintes: caldeira + turbina a vapor, gaseificador + motores alternativos de combustão interna (MACI) ou turbina a gás.
- (xii) Além dos equipamentos de geração, um outro equipamento que se faz necessário é o triturador estacionário, utilizado para triturar a biomassa dos fardos de modo a deixá-la com dimensões adequadas para o uso nos equipamentos de geração. A tabela 21 apresenta os custos dos diversos equipamentos, sendo que, para a caldeira e turbina a vapor tomou-se um valor médio do gráfico apresentado na figura 21. Para o gaseificador considerou-se o uso de motor alternativo de combustão interna, onde tomou-se um custo médio a partir do gráfico da figura 20.

TABELA 21 – Custos de equipamentos para geração

Equipamento	Marca	Custo (R\$)	Custo (R\$/kWinstalado)
Empilhadeira**	Mitsubish Cat	35.0000,00	-
Triturador estacionário	Protótipo*	20.000,00	-
Caldeira + turbina a Vapor	-	-	3800,00
Gaseificador + MACI/BIG-GT	-	-	3020,00

*Protótipo desenvolvido pela FEAGRI/UNICAMP

**Utilizado no pátio de armazenamento e instalação de geração

(xiii) Os acessórios elétricos referem-se aos equipamentos destinados à operação da central de geração, tais como chaves, painéis de comando, sistemas de proteção entre outros. Para se proceder à estimativa dos custos associados a estes equipamentos, tomou-se os valores dos mesmos como sendo um percentual de 15% do custo de instalação do kW das tecnologias a serem utilizadas.

A partir dos dados de produção das culturas selecionadas, calculou-se a produção de resíduos utilizando os coeficientes de produção de resíduos de cada cultura. Considerou-se o aproveitamento de somente 30% dos resíduos para geração de energia elétrica.

Utilizando-se a metodologia de cálculo apresentada por Pinto (2008) para o cálculo dos custos do aproveitamento energético da biomassa de resíduos agrícolas do município de Rio Verde, no estado de Goiás, calculou-se os custos de cada uma das etapas apresentadas na figura 16, obtendo-se, ao final, o custo unitário de

instalação de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir da biomassa de resíduos agrícolas e florestais utilizando-se as tecnologias de gaseificador e turbina a vapor, selecionando-se aquela que apresentou os menores custos unitários.

Utilizando-se a metodologia apresentada ao longo deste trabalho, calculou-se para todos os municípios do estado de Goiás, considerando-se a disponibilidade de biomassa de resíduos agrícolas existente em cada município e o percentual que poderia ser utilizado na geração de energia sem comprometer a qualidade do solo, os custos de implantação de sistemas de geração de energia a partir de caldeira e turbina a vapor e também de gaseificador e motor alternativo de combustão interna.

No estudo realizado para biomassa de resíduos retirou-se da amostra os valores de capacidade instalada inferiores a 100 kW e superiores a 1.000 kW, devido ao fato de que em ambas as faixas os custos apresentaram distorções, uma vez que as soluções de transporte e armazenamento aqui propostas apresentaram valores elevados. Desta forma, para potências situadas fora do intervalo citado deve-se realizar estudo específico para o aproveitamento da biomassa de resíduos agrícolas para geração de energia elétrica.

Selecionada a amostra de capacidades instaladas variando de 100kW a 1.000kW obteve-se uma distribuição de custos de instalação para diferentes potências, conforme se observa na figura 30, onde se apresenta os custos para a tecnologia de gaseificadores, o qual apresentou valores menores do que a utilização de caldeiras e turbina a vapor, sendo, portanto, a tecnologia selecionada.

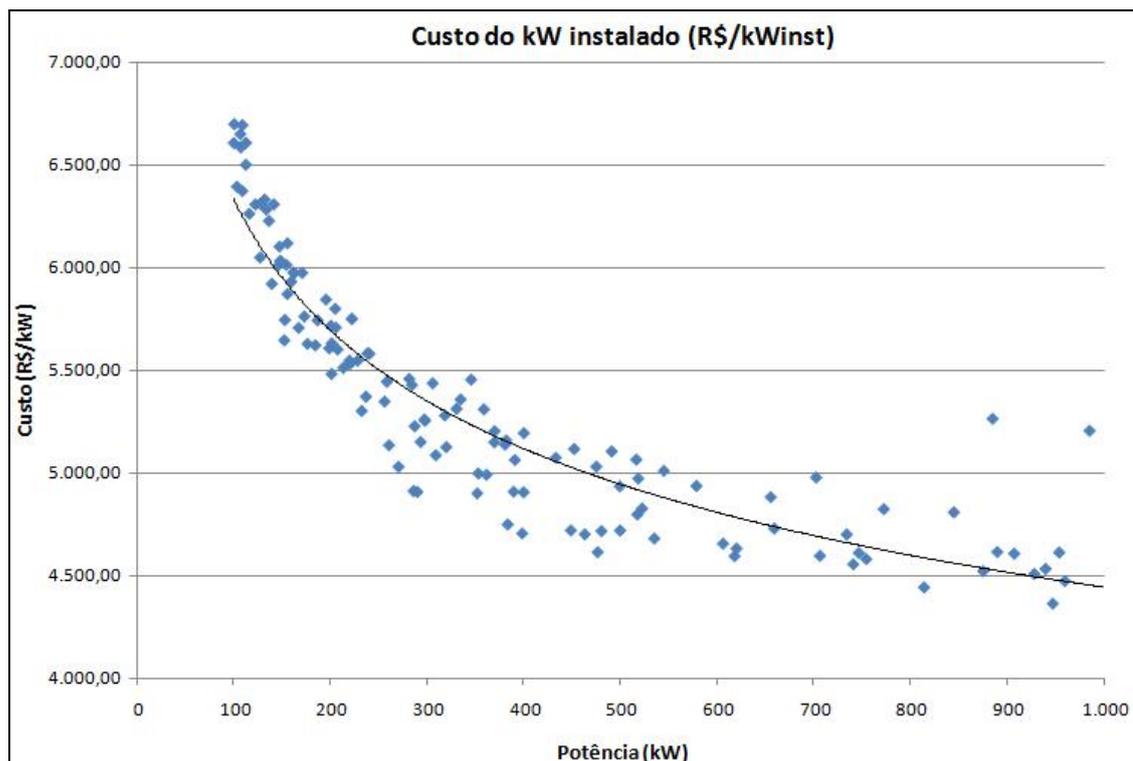


FIGURA 30 – Curva de custos de sistema de geração com biomassa de resíduos agrícolas

A partir da distribuição dos pontos de custos para instalação de empreendimentos de geração distribuída utilizando biomassa de resíduos agrícolas obteve-se uma equação, a qual encontra-se apresentada a seguir.

$$C = 12.898.(P)^{-0,154} \quad (18)$$

onde:

C Custo do kW instalado (R\$/kW_{instalado})

P Potência instalada (kW)

Utilizando-se a metodologia apresentada, calculou-se, para todos os municípios do estado de Goiás, onde existe disponibilidade de biomassa de resíduos florestais, os custos de implantação de sistemas de geração de energia a partir de caldeira e turbina a vapor e gaseificador com motor alternativo de combustão interna.

No estado de Goiás, apenas quatro municípios possuem produção significativa de madeira. Portanto, somente nestes haverá disponibilidade de biomassa de resíduos florestais com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica. Para estes, calculou-se os custos unitários de sistemas de geração utilizando biomassa de resíduos florestais, obtendo-se uma distribuição de custos para diferentes potências conforme apresentado na figura 31, onde considerou-se a tecnologia de gaseificadores, devido aos menores custos finais.

A partir dos dados de produção de madeira, calculou-se a produção de resíduos utilizando o coeficiente de produção de resíduos de madeira, o qual encontra-se apresentados na tabela 02. Para o caso da silvicultura considerou-se o aproveitamento de 50% dos resíduos para geração de energia elétrica.

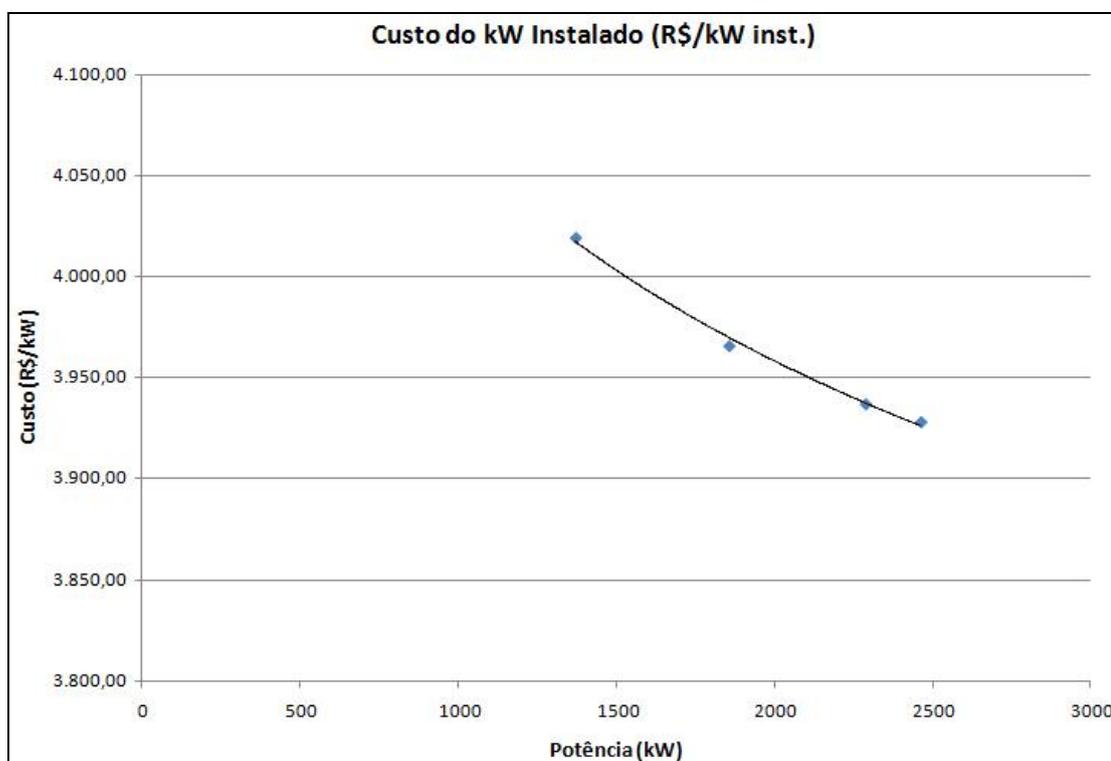


FIGURA 31 – Curva de custos de sistema de geração com biomassa de resíduos florestais

A partir da distribuição dos pontos de custos para instalação de empreendimentos de geração distribuída utilizando biomassa de resíduos florestais obteve-se uma equação, a qual encontra-se apresentada a seguir.

$$C := 5.331,4.(P)^{-0,039} \text{ com } R^2: 0,9951 \quad (19)$$

onde:

C Custo do kW instalado (R\$/kW_{instalado})

P Potência instalada (kW)

Para a operação e manutenção de sistemas de geração a partir de biomassa de resíduos agrícolas e florestais, o custo estimado com a operação e manutenção foi considerado de R\$0,05/kWh_{gerado}.

5.3.3. CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO COM RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Para determinar os custos de implantação de um sistema de geração de energia elétrica utilizando o biogás produzido em aterros sanitários, tomou-se como referência o estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano de 2008.

No estudo realizado pela EPE obteve-se que o investimento para aproveitamento energético do biogás produzido no aterro sanitário para geração de energia elétrica deverá ser de R\$ 3.430/ kW_{instalado}, data base Novembro de 2008, que corrigido pelo IPCA/IBGE para Outubro de 2009 chega a R\$3.567,20/ kW_{instalado}, sendo, portanto, este o valor tomado como referência para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.

Quanto aos custos de operação e manutenção das instalações e dos equipamentos de geração, considerou-se um percentual de 5% ao ano sobre o valor do investimento total.

5.3.4. CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO EÓLICA

Como referência de custos de empreendimentos de geração eólica utilizou-se os dados do estudo desenvolvido pelo GEDAE/UFPA para o fornecimento de energia elétrica através de um sistema eólico-fotovoltaico-diesel para a comunidade de São Tomé no interior do estado do Pará, onde obteve-se o valor de R\$6.300/kW_{instalado}, para capacidade de 10 kW. Utilizou-se. Também. dados valores de investimento do projeto da usina eólica de Gargaú, região norte do estado do Rio de Janeiro, onde obteve-se valor de R\$4.642/kW_{instalado}, para capacidade instalada de 28,5 MW.

Tomando-se os dois custos unitários apresentados anteriormente, pode-se, de forma simplificada, ajustar uma equação de custos em função da potência, servindo esta como referência preliminar de custos de empreendimentos com capacidades na faixa das utilizadas para determinar a equação. A equação obtida encontra-se apresentada a seguir.

$$C = -1,1128.(P) + 6.311,1 \quad (20)$$

onde:

C Custo do kW instalado (R\$/kW_{instalado})

P Potência instalada (kW)

A equação apresentada anteriormente foi utilizada no desenvolvimento do presente estudo para se determinar os custos de implantação de um empreendimento eólico de baixa capacidade, para compará-lo com outras fontes de suprimento energético.

Os custos de operação e manutenção do sistema de geração eólica foram estimados em cerca de R\$ 0,005/kWh_{gerado}.

5.3.5. CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

Como referência de custos de empreendimentos de geração solar fotovoltaica utilizou-se os dados do estudo desenvolvido pelo GEDAE/UFPA para o fornecimento de energia elétrica através de um sistema eólico-fotovoltaico-diesel para a comunidade de São Tomé no interior do estado do Pará, onde obteve-se o valor de R\$12.937/kW_{instalado}, o qual corrobora com os estudos desenvolvidos por Bioene et al. (2008) para implantação de centrais de geração fotovoltaica para atendimento de comunidades isoladas na região Nordeste do Brasil

Para os custos de operação e manutenção do sistema de geração solar fotovoltaica considerou-se o valor de R\$ 0,005/kWh_{gerado}.

5.3.6. CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO COM BIODIESEL

Como referência de custos de empreendimentos de geração a partir do biodiesel, utilizou-se os dados do estudo desenvolvido pelo GEDAE/UFPA para o fornecimento de energia elétrica através de um sistema eólico-fotovoltaico-diesel para a comunidade de São Tomé no interior do estado do Pará, onde obteve-se o

valor de R\$506,25/kW_{instalado}, para capacidade instalada de 16 kW. Outra referência de custos utilizada foram os dados comerciais da empresa Perfectum Serviços de Engenharia de grupos geradores na faixa de potência de 400 a 1.800 kW, onde obteve-se custos de instalação de R\$672/kW_{instalado}.

Utilizando-se os dois custos unitários apresentados anteriormente, pode-se, de forma simplificada ajustar uma equação de custos, para diferentes capacidades instaladas, servindo a mesma como referência preliminar de custos de empreendimentos com capacidades inseridas na faixa de capacidades estudada para o ajuste da equação, a qual encontra-se apresentada a seguir.

$$C = -0,4316.(P) + 499,34 \quad (21)$$

onde:

C Custo do kW instalado (R\$/kW_{instalado})

P Potência instalada (kW)

A equação apresentada anteriormente foi utilizada no desenvolvimento do presente estudo para se determinar os custos de implantação de um empreendimento de geração a partir do biodiesel, para compará-lo com outras fontes de suprimento energético, tanto em termos de custos quanto pelos aspectos técnicos.

Os custos de operação e manutenção do sistema de geração utilizando biodiesel foram estimados em cerca de R\$ 0,035/kWh_{gerado}. Deve-se considerar também o custo do combustível. No presente estudo, utilizou-se informações da ANP do 18º leilão de Biodiesel, realizado em 31 de Maio de 2010, onde foram comercializados 600 milhões de litros de biodiesel ao preço médio de R\$2,10/litro.

5.3.7. CUSTOS DE INSTALAÇÃO PARA GERAÇÃO MINI HIDRÁULICA

Os custos unitários de instalação de empreendimentos de geração mini-hidráulica foram determinados tomando-se como referência custos praticados no mercado atualmente, segundo informações de empresas e profissionais que atuam no setor.

As mini-hidráulicas de baixa queda (1 a 20 metros) com equipamentos de geração baseados na tecnologia Kaplan, tem custo médio esperado de cerca de R\$6.000,00/kW_{instalado}. As mini-hidráulicas de média queda (21 a 100 metros) com equipamentos de geração baseados na tecnologia Francis tem custo médio esperado de cerca de R\$5.000,00/kW_{instalado}, enquanto que as mini-hidráulicas de alta queda (acima de 100 metros) com equipamentos de geração baseados nas tecnologias Francis Rápida ou Pelton tem custo médio esperado de cerca de R\$4.000,00/kW_{instalado}.

Os custos de operação e manutenção para empreendimentos de geração mini-hidráulica considerados no desenvolvimento do presente estudo são de R\$ 0,012/kWhgerado.

5.3.8. ORDENAÇÃO ECONÔMICA

Calculados os custos de instalação de empreendimentos de geração a partir de biomassa de resíduos agrícolas e florestais e tomando-se como referência valores de custos de instalação de empreendimentos de energia eólica, solar fotovoltaica, biodiesel, resíduos sólidos urbanos de outros estudos, além dos valores praticados no mercado atualmente para a implantação de empreendimentos hidráulicos, procedeu-se à ordenação econômica entre os mesmos.

Na tabela 22 encontram-se apresentados os custos para a instalação de empreendimentos de geração de energia a partir dos recursos renováveis estudados no estado de Goiás, sendo que para a biomassa de resíduos agrícolas, biomassa de resíduos florestais, biodiesel e energia eólica, os custos por kW instalado são obtidos em função da potência, aplicando-se as respectivas equações apresentadas. Para as demais fontes os custos por kW instalado são apresentados diretamente, conforme se observa na mesma tabela. Os custos de operação são apresentados concomitantemente.

TABELA 22 – Custos de instalação para cada alternativa estudada

Alternativa	Custo de Instalação	Custo O&M
Biomassa Agrícola	$\text{Custo} = 12.898 (\text{kW})^{-0,154}$ (R\$/kW instalado)	R\$0,05/kWh gerado
Biomassa Florestal	$\text{Custo} = 5.331,4 (\text{kW})^{-0,039}$ (R\$/kW instalado)	R\$0,05/kWh gerado
Resíduos Sólidos	R\$3.567,20/ kW instalado	Investimento x 5% a.a.
Eólica	$\text{Custo} = -1,128 (\text{kW}) + 6.311,1$ (R\$/kW instalado)	R\$0,005/kWh gerado
Solar Fotovoltaica	R\$12.937,00/kW instalado	R\$0,005/kWh gerado
Biodiesel	$\text{Custo} = 0,4316 (\text{kW}) + 499,34$ (R\$/kW instalado)	R\$0,035 por kWh gerado
Hidráulica Baixa Queda	R\$6.000,00/kW instalado	R\$0,012/kWh gerado

Hidráulica Média Queda	R\$5.000,00/kWinstalado	R\$0,012/kWhgerado
Hidráulica Alta Queda	R\$4.000,00/kWinstalado	R\$0,012/kWhgerado

Considerando, por exemplo, que determinada localidade disponha de todos os recursos estudados e utilizando-se as equações e valores unitários de custos obtidos pode-se estabelecer um ranking comparativo de custos entre as alternativas. Para o atendimento de uma carga, por exemplo, de 500 kW durante o período de 10 anos, calculou-se os custos para o aproveitamento dos recursos renováveis, estabelecendo um ranking para seleção entre as alternativas, conforme apresentado na tabela 23.

TABELA 23 – Ranking de ordenação econômica entre as alternativas

Alternativa	Custos	Grau de Economia
Resíduos Urbanos / Biogás	R\$ 2.675.250,00	Maior
Mini-Hidráulica Alta Queda	R\$ 3.858.933,33	
Biomassa de Resíduos Florestais	R\$ 4.281.950,68	
Biomassa de Resíduos Agrícolas	R\$ 4.666.572,22	
Mini-Hidráulica Média Queda	R\$ 4.692.266,67	
Mini-Hidráulica Baixa Queda	R\$ 5.525.600,00	
Eólica	R\$ 9.810.166,67	
Biodiesel	R\$ 24.448.037,93	
Solar Fotovoltaica	R\$ 26.093.000,00	Menor

Pode-se também, obter uma estimativa do preço mínimo de venda da energia elétrica gerada, considerando-se a taxa de impostos incidentes como sendo de 15%, para Pay-back Simples. Os valores de preço mínimo de venda da energia elétrica encontram-se apresentados na tabela 24.

TABELA 24 – Ranking de preço mínimo da energia entre as alternativas

Alternativa	Preço Energia (R\$/kWh)	Grau de Economia
Resíduos Urbanos / Biogás	0,070	Maior
Mini-Hidráulica Alta Queda	0,101	
Biomassa de Resíduos Florestais	0,112	
Mini-Hidráulica Média Queda	0,123	
Biomassa de Resíduos Agrícolas	0,123	
Mini-Hidráulica Baixa Queda	0,145	
Eólica	0,258	
Biodiesel	0,303	
Solar Fotovoltaica	0,685	Menor

Apresenta-se, a seguir, um exemplo de cálculo para o município de Cavalcante, onde identificou-se os recursos renováveis estudados existentes no mesmo com potencial de serem aproveitados para o suprimento regional de energia elétrica via empreendimentos de geração distribuída.

- Cavalcante

O Município de Cavalcante localiza-se na Região de Planejamento Nordeste Goiano, conforme apresentado na figura 32. Segundo dados do IBGE a área territorial do município é de 6.954 km² e a população do município em 2007 era de 9.875 habitantes (IBGE, 2009). No estudo realizado identificou-se os recursos disponíveis no mesmo e considerando o atendimento de uma carga de 200 kW durante 10 anos estabelecendo-se um ranking de custos entre as diferentes possibilidades.



FIGURA 32 – Municípios da região de planejamento Nordeste Goiano

Na tabela 25 encontra-se apresentada a capacidade considerada para ser instalada, considerando-se as diferentes fontes de recursos estudadas existentes no município de Cavalcante e com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica.

Para a energia solar fotovoltaica necessita-se de uma área de painéis de 267 m² para atender a carga de 200 kW. Para a energia eólica a capacidade possível de ser instalada apresentada refere-se à utilização de um único aerogerador com 50 metros de diâmetro, em torre a 50 metros de altura. Para a central geradora mini-hidráulica, considerou-se que existe a disponibilidade de tal recurso na área abrangida pelo município, considerando-se um empreendimento de média queda.

TABELA 25 – Capacidade considerada para ser instalada com os recursos existentes em Cavalcante

Município	Capacidade considerada para instalação (kW)			
	Biomassa Agrícola	Eólica	Solar Fotovoltaica	Hídrica
Cavalcante	228,4	236	18,75	≤ 1.000

A partir dos dados de disponibilidade de recursos renováveis calculou-se os custos para o aproveitamento dos mesmos para atender a citada carga, estabelecendo-se um ranking entre as alternativas existentes, conforme apresentado na tabela 26.

TABELA 26 – Custos das alternativas de geração em Cavalcante

Parâmetro	Eólica	Solar Fotovoltaica	Mini-Hídrica Média Queda
Carga	200 kW	200 kW	200 kW

Tempo de Operação	10 anos	10 anos	10 anos
Fator de Capacidade	0,30	0,25	0,60
Custo Total de Instalação	R\$ 4.059.026,67	R\$ 10.439.600,00	R\$ 1.666.666,67
Custo Total de O & M	R\$ 87.600,00	R\$ 87.600,00	R\$ 210.240,00
Custo Total	R\$ 4.146.626,67	R\$ 10.437.200,00	R\$ 1.876.906,67

Conforme apresentado na tabela 26, entre as alternativas disponíveis com potencial de serem aproveitadas para geração de energia elétrica no município de Cavalcante, observa-se que para a implantação de uma central geradora de 200 kW, os menores custos obtidos foram para utilização da Mini-hidráulica de média queda, seguida pela eólica, ficando os custos mais elevados com a geração solar fotovoltaica.

A mesma avaliação realizada para o município de Cavalcante pode ser realizada para os demais municípios do estado de Goiás para identificar os recursos renováveis e estabelecer um ranking comparativo de custos para implantação de empreendimentos para o aproveitamento dos mesmos para realizar o suprimento regional de energia elétrica.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os sistemas energéticos convencionais, caracterizados pela centralização da produção e distribuição nem sempre se apresentam como a melhor opção para o fornecimento de energia elétrica, especialmente em localidades carentes e afastadas das redes convencionais de fornecimento de energia elétrica, devido ao nível de dispersão destas áreas e a baixa demanda energética.

O suprimento regional de energia através de recursos renováveis em empreendimentos de geração distribuída é uma alternativa que deve ser devidamente analisada e considerada no planejamento do atendimento da demanda.

Para que os empreendimentos de geração distribuída tenham maior participação no suprimento de energia elétrica, é imperativo que exista um arcabouço legal que garanta segurança e transparência aos investidores e às concessionárias de energia elétrica.

No Brasil, os instrumentos legais que tratam da geração distribuída são a lei 10.848, o decreto 5.163 e a Resolução Normativa 167, os quais definem claramente geração distribuída, a participação das mesmas no fornecimento de energia das concessionárias e a comercialização de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída.

O suprimento energético descentralizado, através do uso de fontes de energia renováveis locais é uma alternativa para promover a universalização do acesso a energia elétrica. Para tanto deve-se identificar os recursos disponíveis em cada localidade e com potencial de serem aproveitados para geração de energia elétrica.

Atualmente existem diversas tecnologias suficientemente desenvolvidas para

o aproveitamento energético dos recursos renováveis para geração de energia elétrica, existindo pesquisas e estudos para aumentar a eficiência e reduzir os custos das mesmas.

No presente estudo selecionou-se um conjunto de recursos renováveis, identificando-se suas principais características, fontes de informações quantitativas dos mesmos, as tecnologias para conversão energética aplicáveis a cada recurso e a forma de se calcular a energia possível de ser gerada.

A determinação dos custos de instalação de empreendimentos utilizando os recursos renováveis estudados não é uma tarefa fácil, desta forma, utilizou-se dados de custos de diversos estudos e projetos como referência, à exceção da biomassa de resíduos agrícolas e florestais, cujos custos foram calculados.

Realizou-se um estudo de caso aplicado ao estado de Goiás, onde identificou-se a disponibilidade dos recursos estudados, calculou-se a capacidade possível de ser gerada e a partir dos custos de instalação estabeleceu-se um ranking comparativo entre os recursos estudados.

Os resultados obtidos mostram que os biogás de resíduos sólidos urbanos, as centrais geradoras mini-hidráulicas e os sistemas de geração a partir de biomassa de resíduos agrícolas são os que apresentam os menores custos de instalação, enquanto a energia solar fotovoltaica apresenta os custos mais elevados.

Estudos do uso dos recursos renováveis para geração de energia elétrica normalmente restringem-se, normalmente, somente aos custos de um único recurso. Entretanto, determinada localidade pode dispor de diversos recursos. No presente estudo mostrou-se os custos para instalação de empreendimentos a partir de um conjunto de recursos previamente selecionados, estabelecendo um ranking comparativo, o qual se mostra como um ferramenta de planejamento de grande

valor, pois ao se analisar a possibilidade de se fornecer energia para uma determinada localidade ou região utilizando os recursos renováveis existente na mesma, naturalmente surge o questionamento de qual apresenta os menores custos de instalação.

No presente trabalho verificou-se que o suprimento regional de energia pode ser feito utilizando-se recursos renováveis, pois existem tecnologias comercialmente aplicáveis a cada recurso estudado e o ranking de custos de instalação auxilia na tomada de decisão quanto à seleção das alternativas para o atendimento da demanda.

6.1. SUGESTÕES E ESTUDOS FUTUROS

Como recomendações para estudos futuros acerca do suprimento regional de energia elétrica através de empreendimentos de geração distribuída citam-se os seguintes: aprofundar os estudos dos custos de instalação de empreendimentos de geração eólica, solar fotovoltaica, biogás, biodiesel e centrais geradoras mini-hidráulicas, para que quando da comparação destes com os custos calculados para a biomassa de resíduos agrícolas e florestais os resultados sejam os melhores possíveis.

As informações e dados obtidos no presente estudo podem futuramente serem utilizados no desenvolvimento de um modelo matemático para obter uma estimativa preliminar de custos de empreendimentos utilizando recursos renováveis para geração de energia elétrica.

Os dados e informações obtidos podem também serem empregados em um sistema de informações geográficas, sendo ferramenta de importância significativa par o planejamento do atendimento da demanda

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, T. **Distribution Power Generation in a Deregulated Market Environment**. Part : Electricity Market Regulations and their Impact on Distributed Power Regulation A: Background – Definition – Economics. Working Paper (Junho, 1999).

Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acessado em Setembro de 2009.

ALDABÓ, R. **Energia Eólica**. São Paulo: Artlibler, 2002.

AMAECING, M.A.P.; FERREIRA, O.M. **Serviços de Coleta do Lixo Urbano na Região Central de Goiânia: Estudo de Caso**. Universidade Católica de Goiás - Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental – Goiânia – GO (2008).

ARAÚJO, M.S.M.; FREITAS, M.A.V. **Acceptance of renewable energy innovation in Brazil – case study of wind energy**. Renewable & sustainable energy reviews, 2006.

BAJAY, S.V.; FURTADO, A.A.; CARVALHO, C.B.; DORILEO, I.L. Perspectivas da geração distribuída de eletricidade nos estados de São Paulo, Bahia e Mato Grosso. Anais do 6º Encontro de Energia no Meio Rural. 2006.

Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Nº.

2. **Biocombustíveis**. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS, Ministério de Minas e Energia. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Diretoria de Engenharia, Janeiro de 2000.

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. **Seleção de 20 Comunidades para Instalação de Sistemas PV Residenciais e Análise Comparativa com a Opção Deselelétrica**. In: Relatório no. 54686. Rio de Janeiro, 2003.

CEPEL/ELETROBRAS. Base de Dados do Programa de Eletrificação Rural Luz no Campo, 2005.

Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO). **Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENERBIOG**. Relatório Técnico Final. São Paulo, 2005.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. MME – Brasília; ELETROBRÁS (Rio de Janeiro); 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>, acessado em Julho de 2009.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito –

CRESESB. **Energia Solar – Princípios e Aplicações**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>, acessado em Julho de 2009.

CIFERNO, J. P.; MARANO, J. J. **Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production**. Departamento de Energia dos Estados Unidos e National Energy Technology Laboratory. Junho 2002.

COELHO, S. T.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. Jr.; AVELLAR, L. H. N.; FERLING, F. **F. Estado da arte do biogás**. Relatório de acompanhamento. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2001.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.E. (Organizadores). **Biomassa para energia**. Campinas – SP, Editora da UNICAMP, 2008.

COURILLON, M.; JORIGNÉ, E.; MAIGNE, Y. **Configurações Tecnológicas para Suprimento de Energia Elétrica Descentralizada**. In: CRESESB-CEPEL. **Eletrificação Rural Descentralizada: Uma Oportunidade para a Humanidade, Técnicas para o Planeta**. Parte II, Cap. 2, p.105 – 127. Rio de Janeiro, 2003.

ECONOMIST, The. 2004. Building the Energy Internet. The Economist – <http://www.economist.com>, 11 mar. 2004. Disponível em < http://www.economist.com/displaystory.cfm?story_id=2476988>, Acesso em: 30 maio 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Produção de Biodiesel e Geração de Energia Elétrica a partir de óleo de Mamona em Quixeramobim, CE**. Campina Grande, PB, 2005.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Nota Técnica DEN 06/08 **Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro. Novembro de 2008.

FIGUEIREDO, N.J.V. **Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia e Iluminação a Gás – Estudo de Caso**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2007.

GOLDEMBERG, J.; LA ROVERE, E.; COELHO, S. **Expanding Access to Electricity in Brazil**. Energy for Sustainable Development. Vol 3, n° 4. Dezembro, 2004.

Gas Research Institute. **The Rule of Distributed Generation in Competitive Energy Markets**. Distributed Generation Forum. Março (1999).

HAQ, Z. **Biomass for Electricity Generation**. (2002). Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass/>. Acessado em Julho de 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Dados do Censo 2007**. Disponível: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em Outubro de 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – INEE. **Nota sobre Geração Distribuída – Introdução**. Julho 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Guia para inventários**

nacionais de gases de efeito estufa. Módulo 6: Lixo. Volume 2: Livro de trabalho de 1996.

JÚNIOR, A.L.V. e VIEIRA, L.S.R. **Aproveitamento de Resíduos Agrícolas e Agroindustriais em Sistemas Termelétricos e de Cogeração.** Relatório Técnico DPP/PER 957/02, Projeto 1464, CEPEL, 2002.

LIMA, C.R. e BAJAY, S.V. **Políticas e diretrizes para a biomassa florestal no Estado da Paraíba: "Aspectos da reposição florestal obrigatória".** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 3. São Paulo, 1998. Anais... São Paulo: SBPE, 1998.

DEUTSCHES WINDENERGIE INSTITUT - DEWI. **Energia Eólica.** Wilhelmshavenm, 1998. 86 p. (Documento traduzido pela ELETROBRÁS).

LORA, E.E.S. e HADDAD, J. **Geração Distribuída: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais.** Editora Interciência, Livro P.240. Rio de Janeiro (RJ), 2006.

LORA, E. S. **Tecnologia e Aplicação Racional de Energia Elétrica e de Fontes Renováveis na Agricultura.** In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, p.97-128, Campina Grande, 1997.

MALFA, E. **ABB on Sustainable Energy Markets.** Università di Brescia, 2002

MCKENDRY, P. **Energy Production from Biomass (Part 1): Overview for biomass.** In: Bioresource Technology, N°.83, p.37-46, 2002.

MICHELAZZO, M.B.. Dissertação de Mestrado – **Análise de Sensibilidade de Seis Sistemas de Recolhimento do Palhão de Cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*)**.

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas 2005.

MULLER, M. **Produção de Madeira para Geração de Energia Elétrica numa Plantação Clonal de Eucalipto em Itamarandiba, MG**. Tese de Doutorado.

Universidade Federal de Viçosa – UFV, Minas Gerais, Brasil, 2005.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**.

Editora Interciência. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2003.

NOGUEIRA, L. U. H.; SILVA LORA, E. E.; TROSSERO, M. A. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000, pp. 31-54.

Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída – NEST. **Desenvolvimento de metodologia para seleção técnica, ambiental e econômica entre as opções convencionais e a utilização de geração distribuída a partir dos recursos renováveis existentes para atender o mercado consumidor da CELG**. Segundo Relatório. Itajubá. Novembro de 2007.

OLIVEIRA, L.B. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases do Efeito Estufa**. Programa de Planejamento Energético – COPPE, Rio de Janeiro (2000).

PEREIRA, E.B., COLLE, S. **A energia que vem do sol**. Ciência Hoje. 22(130): 24-35. 1997.

PRETZ, R. (elab.). **Geração termoelétrica à biomassa, caminhos para o desenvolvimento** – RS Emprego. Perfis de Oportunidades de Investimentos (POI), Governo do Estado do Rio Grande do Sul e UFRGS, Porto Alegre, 95 p., 1997.

REIS, L.B. **Geração de energia elétrica: Tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. Editora Manole. São Paulo, 2003.

RECICLOTECA. **Sistema de Tratamento de Resíduos**. Disponível em <http://www.recicloteca.org.br>. Acesso em 02/04/2007.

RIPOLI, M.L.C.. **Ensaio de dois Sistemas de Obtenção de Biomassa de Cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) para fins Energéticos**. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu. Botucatu, 2004.

RODRIGUES, A. **Análise da Viabilidade de Alternativas de Suprimento Descentralizado de Energia Elétrica a Comunidades Rurais de Baixa Renda com Base em seu Perfil de Demanda**. Dissertação de Mestrado apresentada Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 146 p., (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2006).

Secretaria de Planejamento do Estado de Goiás – SEPLAN. Disponível em: <http://www.seplan.go.gov.br/>. Acessado em Abril de 2009

SOARES, T.S.; CARNEIRO, A.C.O; GONÇALVES, E.O.; LELLES, J.G. **Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia**. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal – ISSN 1678-3867. Ano IV, Número 08, Agosto de 2006.

SOUZA, Z. **Centrais hidrelétricas: Dimensionamento de componentes**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1992. 196 p.

TIAGO FILHO, G. L. **Critérios para escolha do grupo gerador de centrais hidrelétricas**. Itajubá: FUPAI, ca. 1990. 39 p.

TOLMASQUIM, M.T.(organizador). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Interciência: CENERGIA. Rio de Janeiro (2003).

TURKSON, J.; WOHLGEMUTH, N. Power Sector Reform and Distributed Generation in Sub-Saharan Africa. Energy Policy Vol. 29. P. 135-145. 2001.

VIANELLO, R.L., ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora da UFV. 2000. 448 p.

WALTER, A. C.S.; BAJAY, S.V.; FERREIRA, A.L. Relatório Técnico da Fase 6: Proposição de eliminação de barreiras e formulação de políticas de fomento, com os instrumentos regulatórios associados, à geração distribuída de energia elétrica no Brasil, sobretudo com fontes renováveis e plantas de cogeração. Projeto de Pesquisa sobre “Integração entre as Regulações Técnico-Econômica e Ambiental no Setor Elétrico Brasileiro” (Meta 1). Convênio ANEEL/FUCAMP sobre “Regulação de Mercados de Energia Elétrica”. Núcleo de Pesquisa Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE. UNICAMP. Outubro 2000.

ANEXO I

CUSTOS DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS NOS MUNICÍPIOS GOIANOS

CUSTO TOTAL DO SISTEMA DE GERAÇÃO

RP	Município	Capacidade (kW)	Custo Total Opção Gaseificador (R\$)	Custo do kW instalado Gaseificador (R\$/kWinst)	Custo Total Opção Caldeira (R\$)	Custo do kW instalado Caldeira (R\$/kWinst)
CENTRO GOIANO	Anápolis	400,05	1.963.630,53	4.908,51	2.322.471,97	5.805,51
	Barro Alto	928,21	4.187.345,19	4.511,18	5.019.953,98	5.408,18
	Campo Limpo de Goiás	82,59	542.141,61	6.564,34	616.223,89	7.461,34
	Carmo do Rio Verde	127,94	807.622,18	6.312,26	922.388,79	7.209,26
	Ceres	170,94	1.021.630,85	5.976,70	1.174.960,03	6.873,70
	Damolândia	452,36	2.315.590,12	5.118,94	2.721.354,86	6.015,94
	Goianésia	659,49	3.120.725,36	4.732,06	3.712.283,86	5.629,06
	Guarinos	52,15	419.851,16	8.051,40	466.626,47	8.948,40
	Hidrolina	139,73	827.589,48	5.922,83	952.926,09	6.819,83
	Ipiranga de Goiás	81,31	557.960,06	6.862,04	630.896,08	7.759,04
	Itapaci	154,77	930.946,40	6.014,94	1.069.777,30	6.911,94
	Jaraguá	702,67	3.499.478,47	4.980,26	4.129.773,85	5.877,26
	Jesúpolis	97,51	641.966,98	6.583,79	729.430,91	7.480,79
	Morro Agudo de Goiás	64,98	482.651,15	7.427,77	540.937,58	8.324,77
	Nova América	54,20	430.026,17	7.933,89	478.644,62	8.830,89
	Nova Glória	90,74	606.479,77	6.684,01	687.869,88	7.581,01
	Ouro Verde de Goiás	107,64	708.982,57	6.586,83	805.532,42	7.483,83
	Petrolina de Goiás	516,62	2.617.857,87	5.067,28	3.081.265,60	5.964,28
	Pilar de Goiás	94,02	620.779,60	6.602,72	705.114,46	7.499,72
Rialma	109,13	730.610,14	6.694,85	828.499,90	7.591,85	
Rianópolis	50,75	410.480,08	8.088,94	455.999,09	8.985,94	

	Rubiataba	147,52	900.518,23	6.104,19	1.032.847,88	7.001,19
	Santa Isabel	91,05	593.211,16	6.515,55	674.878,93	7.412,55
	Santa Rita do Novo Destino	293,64	1.513.219,24	5.153,24	1.776.618,33	6.050,24
	Santa Rosa de Goiás	100,86	675.743,12	6.699,70	766.216,10	7.596,70
	São Francisco de Goiás	52,96	421.215,01	7.953,29	468.721,14	8.850,29
	São Luiz do Norte	286,30	1.406.957,20	4.914,35	1.663.764,65	5.811,35
	São Patrício	73,38	521.007,52	7.100,12	586.829,43	7.997,12
	Taquaral de Goiás	238,54	1.332.244,72	5.584,98	1.546.215,80	6.481,98
	Uruana	1.144,88	6.306.369,08	5.508,33	7.333.325,49	6.405,33
	Vila Propício	1.734,62	8.647.555,36	4.985,28	10.203.507,92	5.882,28
ENTORNO DO DISTRITO FEDERAL	Abadiânia	535,26	2.506.919,51	4.683,52	2.987.051,69	5.580,52
	Água Fria de Goiás	6.482,54	34.555.184,34	5.330,50	40.370.018,52	6.227,50
	Alexânia	499,90	2.360.746,80	4.722,41	2.809.159,88	5.619,41
	Cabeceiras	6.925,94	37.040.487,91	5.348,08	43.253.052,33	6.245,08
	Cidade Ocidental	448,98	2.120.592,42	4.723,16	2.523.325,35	5.620,16
	Cocalzinho de Goiás	706,57	3.249.793,78	4.599,38	3.883.588,76	5.496,38
	Corumbá de Goiás	237,06	1.273.893,63	5.373,62	1.486.540,36	6.270,62
	Cristalina	37.766,01	213.151.682,98	5.644,01	247.027.791,13	6.541,01
	Formosa	2.369,86	11.887.031,20	5.015,92	14.012.794,76	5.912,92
	Luziânia	19.904,11	109.714.086,33	5.512,13	127.568.069,95	6.409,13
	Mimoso de Goiás	618,19	2.842.182,58	4.597,56	3.396.702,75	5.494,56
	Novo Gama	24,54	274.932,20	11.203,11	296.945,21	12.100,11
	Padre Bernardo	1.868,74	9.245.882,71	4.947,67	10.922.138,67	5.844,67
Pirenópolis	475,31	2.392.307,80	5.033,11	2.818.664,75	5.930,11	

	Planaltina	2.250,26	11.441.262,05	5.084,41	13.459.747,09	5.981,41
	Santo Antônio do Descoberto	620,31	2.874.875,75	4.634,56	3.431.296,51	5.531,56
	Valparaíso de Goiás	0,00	155.000,00		155.000,00	
	Vila Boa	200,75	1.147.962,14	5.718,34	1.328.035,82	6.615,34
METROPOLITANA DE GOIÂNIA	Abadia de Goiás	90,29	568.996,71	6.301,78	649.988,18	7.198,78
	Aparecida de Goiânia	6,40	192.895,79	30.152,50	198.634,20	31.049,50
	Aragoiânia	41,24	365.036,69	8.852,59	402.024,49	9.749,59
	Bela Vista de Goiás	772,63	3.728.970,77	4.826,33	4.422.021,15	5.723,33
	Bonfinópolis	50,07	406.604,70	8.120,88	451.516,62	9.017,88
	Brazabrantes	369,90	1.905.671,22	5.151,86	2.237.470,97	6.048,86
	Caldazinha	79,88	548.680,19	6.868,62	620.334,46	7.765,62
	Caturai	545,16	2.732.754,14	5.012,80	3.221.758,44	5.909,80
	Goianápolis	152,56	861.683,31	5.648,04	998.532,49	6.545,04
	Goiânia	25,83	274.936,50	10.643,99	298.106,19	11.540,99
	Goianira	370,00	1.926.202,19	5.205,89	2.258.096,38	6.102,89
	Guapó	173,19	998.268,32	5.763,99	1.153.620,20	6.660,99
	Hidrolândia	46,07	388.140,53	8.424,36	429.468,54	9.321,36
	Inhumas	655,75	3.203.124,33	4.884,66	3.791.333,72	5.781,66
	Nerópolis	34,16	322.137,77	9.430,80	352.777,53	10.327,80
	Nova Veneza	146,36	879.955,40	6.012,29	1.011.239,73	6.909,29
	Santo Antônio de Goiás	297,46	1.565.248,01	5.262,05	1.832.069,45	6.159,05
	Senador Canedo	122,65	773.810,84	6.308,92	883.830,98	7.205,92
	Terezópolis de Goiás	33,34	323.194,26	9.694,35	353.098,81	10.591,35
	Trindade	578,82	2.858.835,74	4.939,06	3.378.038,65	5.836,06

NORDESTE GOIANO	Alto Paraíso de Goiás	939,99	4.263.982,62	4.536,18	5.107.156,91	5.433,18
	Alvorada do Norte	184,65	1.038.363,13	5.623,40	1.203.994,51	6.520,40
	Buritópolis	51,62	412.631,56	7.994,41	458.930,24	8.891,41
	Campos Belos	162,22	969.913,76	5.979,02	1.115.424,60	6.876,02
	Cavalcante	228,42	1.267.496,06	5.549,09	1.472.384,41	6.446,09
	Colinas do Sul	94,95	625.090,10	6.583,57	710.257,59	7.480,57
	Damianópolis	141,58	893.262,07	6.309,42	1.020.255,74	7.206,42
	Divinópolis de Goiás	90,32	597.140,77	6.611,60	678.155,22	7.508,60
	Flores de Goiás	6.114,82	42.030.938,43	6.873,62	47.515.933,29	7.770,62
	Guarani de Goiás	92,74	614.269,25	6.623,29	697.460,47	7.520,29
	Iaciara	220,67	1.221.105,93	5.533,64	1.419.046,38	6.430,64
	Mambai	66,86	491.502,92	7.351,09	551.477,48	8.248,09
	Monte Alegre de Goiás	205,78	1.174.958,98	5.709,71	1.359.546,09	6.606,71
	Nova Roma	162,53	970.880,36	5.973,57	1.116.669,06	6.870,57
	Posse	284,60	1.545.533,81	5.430,51	1.800.821,61	6.327,51
	São Domingos	318,70	1.683.411,07	5.282,06	1.969.288,17	6.179,06
	São João d'Aliança	4.806,32	25.555.248,32	5.317,01	29.866.517,79	6.214,01
	Simolândia	35,52	336.734,09	9.480,62	368.593,88	10.377,62
	Sítio d'Abadia	606,41	2.824.905,20	4.658,39	3.368.857,05	5.555,39
	Teresina de Goiás	12,90	224.710,43	17.422,72	236.279,53	18.319,72
NOROESTE GOIANO	Araçu	518,63	2.580.534,10	4.975,63	3.045.749,10	5.872,63
	Araguapaz	93,43	616.657,69	6.600,29	700.463,41	7.497,29
	Aruanã	176,49	993.832,64	5.630,95	1.152.148,33	6.527,95
	Faina	195,66	1.143.819,82	5.846,04	1.319.324,32	6.743,04

	Goiás	885,21	4.661.544,05	5.266,05	5.455.575,27	6.163,05
	Guaraíta	56,41	439.933,10	7.798,67	490.534,02	8.695,67
	Heitorai	380,89	1.957.923,91	5.140,36	2.299.584,06	6.037,36
	Itaberaí	3.084,26	16.194.543,28	5.250,70	18.961.126,75	6.147,70
	Itaguari	433,36	2.199.961,41	5.076,57	2.588.681,74	5.973,57
	Itaguaru	258,70	1.408.997,28	5.446,44	1.641.051,74	6.343,44
	Itapuranga	491,20	2.508.645,02	5.107,14	2.949.254,72	6.004,14
	Itauçu	186,96	1.074.199,74	5.745,53	1.241.905,38	6.642,53
	Matrinhã	153,11	879.910,93	5.747,09	1.017.246,62	6.644,09
NORTE GOIANO	Alto Horizonte	112,82	745.662,67	6.609,16	846.864,50	7.506,16
	Amaralina	875,44	3.961.000,64	4.524,59	4.746.268,80	5.421,59
	Bonópolis	480,59	2.268.230,60	4.719,65	2.699.322,12	5.616,65
	Campinaçu	959,98	4.297.223,37	4.476,37	5.158.324,79	5.373,37
	Campinorte	890,03	4.110.082,30	4.617,92	4.908.438,02	5.514,92
	Campos Verdes	22,00	272.453,29	12.381,79	292.191,20	13.278,79
	Crixás	330,76	1.757.935,08	5.314,81	2.054.628,33	6.211,81
	Estrela do Norte	207,68	1.163.627,27	5.602,96	1.349.916,94	6.499,96
	Formoso	201,42	1.104.635,52	5.484,35	1.285.305,73	6.381,35
	Mara Rosa	205,22	1.190.614,27	5.801,52	1.374.700,73	6.698,52
	Minaçu	222,41	1.279.337,72	5.752,12	1.478.840,92	6.649,12
	Montividiu do Norte	222,41	1.279.337,72	5.752,12	1.478.840,92	6.649,12
	Mozarlândia	33,45	326.600,16	9.763,60	356.605,54	10.660,60
	Mundo Novo	281,81	1.538.702,96	5.460,06	1.791.487,26	6.357,06
Mutunópolis	361,73	1.806.512,98	4.994,09	2.130.984,66	5.891,09	

	Niquelândia	6.415,54	32.173.860,72	5.014,99	37.928.601,87	5.911,99
	Nova Crixás	148,37	895.497,04	6.035,48	1.028.586,80	6.932,48
	Nova Iguaçu de Goiás	54,71	431.904,72	7.895,11	480.975,39	8.792,11
	Novo Planalto	389,78	1.914.160,57	4.910,93	2.263.789,11	5.807,93
	Porangatu	746,93	3.445.607,84	4.613,05	4.115.600,25	5.510,05
	Santa Tereza de Goiás	320,15	1.641.767,59	5.128,15	1.928.940,47	6.025,15
	Santa Terezinha de Goiás	133,95	841.824,04	6.284,65	961.976,51	7.181,65
	São Miguel do Araguaia	985,51	5.132.415,98	5.207,85	6.016.422,48	6.104,85
	Trombas	199,02	1.116.300,09	5.608,88	1.294.824,23	6.505,88
	Uirapuru	155,86	953.918,00	6.120,47	1.093.721,81	7.017,47
	Uruaçu	2.084,93	9.875.141,09	4.736,45	11.745.319,88	5.633,45
OESTE GOIANO	Adelândia	201,63	1.135.766,35	5.633,01	1.316.625,75	6.530,01
	Americano do Brasil	256,22	1.370.731,75	5.349,78	1.600.563,02	6.246,78
	Amorinópolis	49,06	396.657,72	8.085,82	440.660,92	8.982,82
	Anicuns	845,07	4.065.577,32	4.810,92	4.823.607,45	5.707,92
	Aragarças	4,85	184.689,56	38.109,48	189.036,68	39.006,48
	Arenópolis	167,40	955.620,62	5.708,68	1.105.776,53	6.605,68
	Aurilândia	54,29	417.654,01	7.693,00	466.352,24	8.590,00
	Avelinópolis	382,00	1.971.492,77	5.160,95	2.314.148,18	6.057,95
	Baliza	260,83	1.339.981,24	5.137,38	1.573.945,41	6.034,38
	Bom Jardim de Goiás	309,29	1.573.890,78	5.088,67	1.851.326,72	5.985,67
	Britânia	53,56	426.254,20	7.957,88	474.300,90	8.854,88
	Buriti de Goiás	38,88	354.076,05	9.107,25	388.950,06	10.004,25
	Cachoeira de Goiás	16,24	243.418,60	14.984,38	257.990,21	15.881,38

Caiapônia	15.655,88	93.700.027,03	5.984,97	107.743.353,59	6.881,97
Campestre de Goiás	400,43	2.080.738,50	5.196,27	2.439.923,54	6.093,27
Córrego do Ouro	358,93	1.906.597,63	5.311,88	2.228.558,43	6.208,88
Diorama	100,49	664.052,41	6.608,00	754.193,91	7.505,00
Doverlândia	2.276,58	12.570.610,30	5.521,70	14.612.705,52	6.418,70
Fazenda Nova	37,88	349.349,05	9.221,70	383.330,41	10.118,70
Firminópolis	159,69	947.459,98	5.933,08	1.090.702,79	6.830,08
Iporá	353,18	1.765.800,46	4.999,73	2.082.602,35	5.896,73
Israelândia	29,62	308.854,42	10.426,91	335.424,36	11.323,91
Itapirapuã	132,18	837.054,28	6.332,58	955.621,73	7.229,58
Ivolândia	398,60	1.876.677,03	4.708,14	2.234.223,98	5.605,14
Jandaia	734,28	3.453.414,52	4.703,11	4.112.067,03	5.600,11
Jaupaci	94,02	620.779,60	6.602,72	705.114,46	7.499,72
Jussara	1.009,68	5.652.811,31	5.598,62	6.558.493,64	6.495,62
Moiporá	20,50	263.731,10	12.862,83	282.122,60	13.759,83
Montes Claros de Goiás	2.522,25	11.358.122,10	4.503,17	13.620.583,16	5.400,17
Mossâmedes	240,55	1.342.857,70	5.582,54	1.558.627,54	6.479,54
Nazário	298,11	1.567.086,45	5.256,83	1.834.486,66	6.153,83
Novo Brasil	352,10	1.726.354,19	4.903,05	2.042.186,27	5.800,05
Palestina de Goiás	1.503,85	7.618.758,53	5.066,16	8.967.714,66	5.963,16
Palmeiras de Goiás	2.156,08	13.532.997,71	6.276,67	15.466.999,76	7.173,67
Palminópolis	6.211,81	34.746.498,60	5.593,62	40.318.493,15	6.490,62
Paraúna	4.025,17	25.059.842,73	6.225,78	28.670.424,14	7.122,78
Piranhas	219,90	1.220.243,20	5.548,99	1.417.496,69	6.445,99

	Sanclerlândia	306,05	1.664.485,27	5.438,68	1.939.008,51	6.335,68
	Santa Bárbara de Goiás	391,10	1.981.124,49	5.065,56	2.331.938,08	5.962,56
	Santa Fé de Goiás	345,81	1.886.961,17	5.456,71	2.197.148,78	6.353,71
	São João da Paraúna	517,69	2.485.164,06	4.800,52	2.949.528,49	5.697,52
	São Luis de Montes Belos	136,56	850.660,85	6.229,14	973.156,55	7.126,14
	Turvânia	522,70	2.524.472,62	4.829,68	2.993.334,43	5.726,68
SUDESTE GOIANO	Anhanguera	9,23	207.223,62	22.457,27	215.500,66	23.354,27
	Campo Alegre de Goiás	12.024,86	66.714.413,20	5.548,04	77.500.711,66	6.445,04
	Catalão	13.486,23	75.461.429,98	5.595,44	87.558.574,58	6.492,44
	Corumbaba	463,36	2.179.734,76	4.704,19	2.595.368,81	5.601,19
	Cristianópolis	290,15	1.424.778,69	4.910,45	1.685.045,38	5.807,45
	Cumari	91,78	578.594,00	6.303,91	660.923,68	7.200,91
	Davinópolis	99,30	606.527,08	6.108,14	695.597,55	7.005,14
	Gameleira de Goiás	5.580,18	27.349.612,60	4.901,20	32.355.036,84	5.798,20
	Goiandira	127,52	771.626,94	6.051,18	886.009,46	6.948,18
	Ipameri	18.047,36	102.292.573,21	5.668,01	118.481.050,95	6.565,01
	Leopoldo de Bulhões	947,48	4.137.287,16	4.366,63	4.987.175,13	5.263,63
	Nova Aurora	37,27	344.041,23	9.230,64	377.473,89	10.127,64
	Orizona	4.592,48	23.787.110,85	5.179,58	27.906.560,94	6.076,58
	Ouvidor	103,60	662.569,51	6.395,32	755.500,74	7.292,32
	Palmelo	68,74	464.860,72	6.762,32	526.523,04	7.659,32
	Pires do Rio	814,27	3.619.806,28	4.445,46	4.350.207,13	5.342,46
Santa Cruz de Goiás	1.466,40	6.706.081,37	4.573,17	8.021.438,95	5.470,17	
São Miguel do Passa Quatro	2.669,26	12.777.342,35	4.786,85	15.171.665,67	5.683,85	

	Silvânia	13.872,99	71.071.533,16	5.123,01	83.515.606,58	6.020,01
	Três Ranchos	109,20	696.103,25	6.374,38	794.058,57	7.271,38
	Urutaí	476,67	2.200.742,41	4.616,93	2.628.313,84	5.513,93
	Vianópolis	4.960,67	26.148.074,55	5.271,08	30.597.795,20	6.168,08
SUDESTE GOIANO	Acreúna	7.817,69	42.262.989,50	5.406,07	49.275.461,75	6.303,07
	Aparecida do Rio Doce	155,81	915.089,61	5.873,26	1.054.847,59	6.770,26
	Aporé	383,76	1.823.520,04	4.751,75	2.167.750,87	5.648,75
	Cachoeira Alta	77,67	537.765,84	6.923,55	607.437,65	7.820,55
	Caçu	232,62	1.233.841,06	5.304,19	1.442.497,72	6.201,19
	Castelândia	2.575,12	11.488.967,37	4.461,53	13.798.849,53	5.358,53
	Chapadão do Céu	57.785,73	334.169.636,42	5.782,91	386.003.438,65	6.679,91
	Gouvelândia	1.042,61	5.171.976,19	4.960,60	6.107.198,54	5.857,60
	Itajá	82,68	551.944,50	6.676,02	626.104,60	7.573,02
	Itarumã	499,65	2.467.003,17	4.937,47	2.915.188,83	5.834,47
	Jataí	71.405,71	370.852.606,01	5.193,60	434.903.526,06	6.090,60
	Lagoa Santa	58,38	447.965,00	7.672,94	500.334,06	8.569,94
	Maurilândia	741,08	3.377.979,20	4.558,18	4.042.727,92	5.455,18
	Mineiros	31.847,46	183.153.956,66	5.750,98	211.721.126,65	6.647,98
	Montividiu	34.734,15	198.947.645,92	5.727,72	230.104.176,99	6.624,72
	Paranaiguara	116,37	728.918,07	6.263,75	833.302,79	7.160,75
	Perolândia	19.137,51	110.631.990,75	5.780,90	127.798.340,58	6.677,90
	Portelândia	6.686,69	35.957.005,99	5.377,40	41.954.970,81	6.274,40
	Quirinópolis	5.308,67	26.245.831,08	4.943,95	31.007.710,65	5.840,95
	Rio Verde	63.472,14	342.371.760,16	5.394,05	399.306.269,27	6.291,05

	Santa Helena de Goiás	18.338,62	89.867.180,39	4.900,43	106.316.925,91	5.797,43
	Santa Rita do Araguaia	1.066,21	4.773.505,36	4.477,07	5.729.896,96	5.374,07
	Santo Antônio da Barra	4.179,79	20.288.695,66	4.853,99	24.037.971,24	5.750,99
	São Simão	107,03	711.888,08	6.651,30	807.893,85	7.548,30
	Serranópolis	13.693,54	67.607.824,54	4.937,21	79.890.925,76	5.834,21
	Turvelândia	5.184,63	25.011.750,78	4.824,21	29.662.367,63	5.721,21
SUL GOIANO	Água Limpa	66,58	487.197,42	7.317,20	546.921,93	8.214,20
	Aloândia	270,71	1.362.346,75	5.032,50	1.605.173,52	5.929,50
	Bom Jesus de Goiás	7.040,32	38.372.474,69	5.450,39	44.687.643,95	6.347,39
	Buriti Alegre	907,51	4.183.391,92	4.609,73	4.997.431,21	5.506,73
	Cachoeira Dourada	1.748,04	9.113.306,23	5.213,43	10.681.300,49	6.110,43
	Caldas Novas	3.462,16	17.642.782,84	5.095,89	20.748.340,29	5.992,89
	Cezarina	334,99	1.795.588,18	5.360,17	2.096.071,56	6.257,17
	Cromínia	287,32	1.502.642,80	5.229,79	1.760.372,06	6.126,79
	Edealina	2.641,52	13.305.896,43	5.037,22	15.675.337,12	5.934,22
	Edéia	4.302,58	23.624.432,37	5.490,76	27.483.844,64	6.387,76
	Goiatuba	10.411,32	55.958.230,26	5.374,75	65.297.182,55	6.271,75
	Inaciolândia	3.043,38	15.416.361,00	5.065,54	18.146.270,77	5.962,54
	Indiara	1.064,83	4.918.044,49	4.618,61	5.873.198,99	5.515,61
	Itumbiara	7.234,21	38.912.177,18	5.378,91	45.401.262,29	6.275,91
	Joviânia	3.470,21	17.730.833,60	5.109,44	20.843.610,58	6.006,44
	Mairipotaba	754,47	3.458.045,18	4.583,42	4.134.802,96	5.480,42
	Marzagão	954,06	4.403.183,97	4.615,23	5.258.972,27	5.512,23
Morrinhos	4.600,12	26.017.842,41	5.655,90	30.144.151,69	6.552,90	

Panamá	4.101,77	20.545.960,02	5.009,04	24.225.249,84	5.906,04
Piracanjuba	9.974,57	55.402.913,21	5.554,42	64.350.099,62	6.451,42
Pontalina	3.543,12	17.627.478,87	4.975,12	20.805.660,65	5.872,12
Porteirão	1.511,48	7.466.094,41	4.939,58	8.821.896,05	5.836,58
Professor Jamil	213,52	1.177.291,47	5.513,62	1.368.822,88	6.410,62
Rio Quente	25,05	285.547,72	11.398,91	308.017,97	12.295,91
Varjão	112,73	733.027,95	6.502,37	834.148,96	7.399,37
Vicentinópolis	4.939,18	25.578.415,58	5.178,67	30.008.864,46	6.075,67

ANEXO II

CUSTOS DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE RESÍDUOS FLORESTAIS NOS MUNICÍPIOS GOIANOS

CUSTO TOTAL DO SISTEMA DE GERAÇÃO

Município	Capacidade (kW)	Custo Total Opção Gaseificador (R\$)	Custo do kW instalado Gaseificador (R\$/kWinst)	Custo Total Opção Caldeira (R\$)	Custo do kW instalado Caldeira (R\$/kWinst)
Niquelândia	1234,13	4.988.121,28	4.041,80	6.095.138,36	4.938,80
Ipameri	1671,51	6.657.111,88	3.982,69	8.156.457,81	4.879,69
Rio Verde	2060,97	8.142.650,87	3.950,88	9.991.344,40	4.847,88
Catalão	2218,65	8.743.970,00	3.941,12	10.734.101,83	4.838,12