



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**APROVEITAMENTO DA BIOMASSA FLUTUANTE DO RIO
MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.**

ATLAS AUGUSTO BACELLAR

TD 55/2010

UFPA/ITEC/PPGEE

Belém – Pará - Brasil

2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**APROVEITAMENTO DA BIOMASSA FLUTUANTE DO RIO
MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.**

ATLAS AUGUSTO BACELLAR

Orientadora:

Prof^a Dr^a Brígida Ramati Pereira da Rocha

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Elétrica, área de Sistemas de Energia Elétrica.

UFPA/ITEC/PPGEE

Belém – Pará - Brasil

2010

B117b Bacellar, Atlas Augusto

Biomassa lenhosa do Rio Madeira : uma opção sustentável para geração de energia elétrica em comunidades isoladas na Amazônia / Atlas Augusto Bacellar; orientadora Brígida Ramati Pereira da Rocha.-Belém, 2010.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Belém, 2010.

1.Energia – fontes alternativas - Rio Madeira (AM).
2.Biocombustíveis 3. Energia elétrica – produção. I. orientador. II. título.

CDD 22. ed. 33379098113

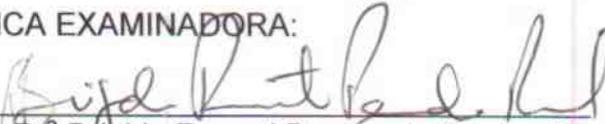


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

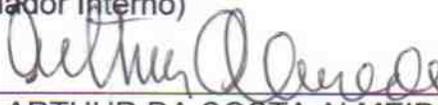
INSTITUTO DE TECNOLOGIA

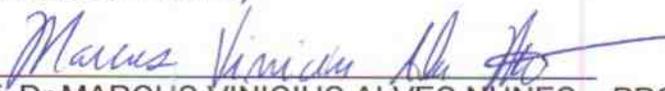
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr^a Brígida Ramati Pereira da Rocha, Doutora (UFPa-PPGEE)
(Orientadora)

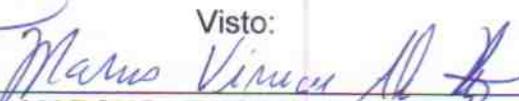

Prof. Dr. JOSÉ AUGUSTO LIMA BARREIROS – PPGEE-FEE-UFPa
(Examinador Interno)


Prof. Dr. ARTHUR DA COSTA ALMEIDA - UFPa
(Examinador Interno)


Prof. Dr MARCUS VINICIUS ALVES NUNES – PPGEE-FEE-UFPa
(Examinador Interno)


Rubem Cesar Rodrigues Souza, Doutor (UFAM)
(Examinador Externo)


Prof. Dr. PAULO LUIZ CONTENTE DE BARROS – UFRA
(Examinador Externo)

Visto:

Prof. Dr MARCUS VINICIUS ALVES NUNES

Coordenador PPGEE-FEE-UFPa

Belém

2010

Ao que de mais importante
tenho na vida: Minha
Família

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará, por meio do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica, pela oportunidade e credibilidade.

À professora Brígida Ramati Pereira da Rocha, pela parceria harmoniosa, confiança depositada e maneira paciente de tratativa, durante todo o tempo de orientação, além das valiosas contribuições.

À Universidade Federal do Amazonas, representada pelos colegas do Departamento de Geotecnia e Transportes da Faculdade de Tecnologia, professores Heloísa Cardoso, Marly Honda, Edson Ferreira, Nilton Campelo, Sérgio Cardoso, Elpídio Gomes e Consuelo Frota pelo apoio à política de incentivo à formação de doutores, em especial aos professores Elpídio, Campelo e Edson pela disposição de dados técnicos e científicos, orientações e suporte acadêmico durante minhas ausências em sala de aula.

Ao professor e amigo Rubem Cesar Rodrigues Souza pelos incentivos, por acreditar em minha pessoa, pelas incontáveis horas de orientações, pelas críticas construtivas e ensinamentos.

Aos amigos professores e pesquisadores Sandro Bitar, Sheila Mota, Patrícia Sá, Omar Seye e João Caldas pelas importantes ajudas no desenvolvimento do trabalho, sobretudo durante a fase de publicação de artigo científico.

Ao colega engenheiro Sílvio Romano pela disponibilidade de valiosas informações relativas às atividades de desobstrução do rio Madeira junto à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental – AHIMOC.

Ao colega engenheiro Jonas Almeida pelo apoio na busca de informações relativas à tese.

Aos colegas do Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico – CDEAM, da Universidade Federal do Amazonas, Fernando Souza e Márcia Sardinha, pela ajuda nas atividades junto à UFAM, permitindo mais tempo de dedicação a este trabalho.

À pesquisadora do CDEAM Cristiane Daliasse e ao bolsista Manoel Jeffreys pela ajuda nos ensaios relativos às amostras de biomassa coletadas no rio Madeira.

Ao professor Francisco Tarcísio do Laboratório de Propriedades Físicas da Madeira da UFAM pelos ensaios de identificação das amostras de biomassa lenhosa coletadas no rio Madeira.

Aos amigos Francisco Cruz, Luis Carlos Ferreira e Raul Menezes pelo apoio logístico durante trabalhos de campo no rio Madeira.

Ao amigo Willamy Frota pelo exemplo de perseverança e incentivo pessoal.

À minha esposa Marina pela tolerância, dedicação, paciência e companheirismo.

Aos meus filhos Andréa, Felipe e Atlas Neto, e ao meu neto Lucas, pela tolerância e compreensão com as minhas ausências.

Às minhas irmãs Ghislaine, Aldiva e Adília pelos incentivos e credibilidade.

À minha mãe, Waldiva, pela formação que me foi dada, pelas palavras sempre otimistas e de esperança, por acreditar no sucesso do trabalho e por entender as muitas horas ausentes do convívio com a família.

Ao meu pai Atlas (*in memoriam*), que sempre esteve presente em minha vida, mesmo distante, orientando o melhor caminho.

Por fim, à Deus, por ter-me dado a oportunidade de chegar ao estágio de vida em que estou e poder contribuir de algum modo com a sociedade em que vivemos.

RESUMO

A universalização do fornecimento de energia elétrica é uma meta ainda distante de ser alcançada na Amazônia brasileira, em face dos obstáculos geográficos, da dispersão de seus habitantes, da indefinição de tecnologias adequadas, além dos aspectos econômicos, em que pese ações governamentais, traduzidas no Programa Luz para Todos - PLpT, criado em 2003, cuja meta é atender a totalidade dos consumidores rurais até 2010, e a determinação da Agência Nacional de Energia Elétrica –ANEEL, responsável no Brasil pela regulação do setor elétrico, da obrigatoriedade da universalização até 2015. Este trabalho descreve pesquisa realizada no rio Madeira, na Amazônia brasileira, em que a geração de energia elétrica para atendimento de comunidades e pequenas cidades ao longo do rio, contribuindo para a universalização, pode ser viabilizada usando como fonte renovável inédita a biomassa lenhosa depositada no fundo do rio, decorrente de processos naturais, cuja retirada faz parte da rotina do Ministério dos Transportes, por obrigação legal, para viabilizar segurança na navegação. Como etapa inicial foram realizadas revisões bibliográficas para dar suporte à fundamentação teórica acerca de sistema elétrico brasileiro, universalização de acesso à energia elétrica, fontes renováveis na Amazônia, tecnologias para geração de eletricidade usando biomassa como fonte, subsídios no setor elétrico do Brasil, o rio Madeira, suas características e importância, além de ferramentas de análise de investimento. Em seguida, foram coletadas informações junto à AHIMOC, órgão responsável pela hidrovia do Madeira, quanto aos dados quantitativos e qualitativos da retirada de biomassa lenhosa do leito desse rio, bem como trabalhos de coleta *in locu* de amostras dessa biomassa para posterior análise de suas características físico-químicas em laboratório da UFAM. De posse dessas informações procedeu-se a avaliação de potencial de geração de energia elétrica da biomassa, assim como de rotas tecnológicas para tal. Os resultados obtidos das biomassas coletadas serviram como balizadores para

confirmação de valores constantes na literatura e foram usados posteriormente na avaliação de potencial de geração de energia elétrica com identificação de rotas tecnológicas para tal. Etapa posterior contemplou a obtenção junto à concessionária de identificação e caracterização de potenciais mercados consumidores localizados na calha do Rio Madeira. Uma vez caracterizada a biomassa disponível, as possíveis rotas tecnológicas e os potenciais mercados consumidores, foram avaliados os aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais, sociais e legais envolvidos. O estudo conclui pela competitividade do sistema de gaseificação, podendo contribuir para a universalização do acesso a eletricidade, cuja viabilização depende de adoção de política pública neste sentido, a partir de ações entre os Ministérios dos Transportes, de Minas e Energia e do Meio Ambiente. Conclui, também, pelo potencial de atração de capital privado, o que contribuiria para a redução de gastos públicos. Trabalhos futuros quanto à replicabilidade do estudo em áreas com fenômeno semelhante, bem como de oportunidades de uso de outras biomassas apresentam-se viáveis.

Palavras-chave: Biomassa; energia renovável; Amazônia;

ABSTRACT

The universal provision of electricity remains far from achieved in the Brazilian Amazon, given the geographical obstacles, the dispersion of its inhabitants, the indistinctness of appropriate technologies, and the economic obstacles. Governmental action was taken in 2003 with the creation of the Light for All Program (PLpT), with the goal of bringing electricity to all rural consumers by 2010. In addition, the National Electric Power Agency, ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), which is responsible in Brazil for the electrical sector regulation, has issued a determination of compulsory access to electricity by 2015. This study describes research conducted on the Madeira River, in the Brazilian Amazon, where the electric needs of the communities and small towns along the river can be satisfied through the gasification system, using as a renewable feedstock the wood-fuel biomass deposited on the riverbed, derived from natural processes, which the Ministry of Transport is already legally obligated to remove in order to provide safe navigation along the river. The first part of the study was dedicated to review Brazilian power system, Universal access to electricity in Brazil, renewable sources of energy in the Amazon region, technologies to produce electricity using biomass as source, Brazilian power sector subsidies, the Madeira River, its characteristics and economic importance and investment analysis tools. Next, quality and quantity information of the biomass collected from the river along the years was taken from AHIMOC, the Federal Organization responsible for the Madeira River navigability. Then a physical-chemical analysis was made at the UFAM's laboratories, using biomass collected in a field trip. The biomass power potential and the technological power production routes using biomass were evaluated with these data after comparing the results with available literature. Subsequently information about householders and communities located at the Madeira River was obtained with the State Utility. Once the available biomass, the technology routes and the possible consumers were characterized, the study evaluated technology, economy, environment, social and legal aspects. The study results show the competitiveness of

gasification comparing to diesel thermoelectric plants, along with its advantages in helping Brazilian universal electrification program, which implementation depends on public policies with the obligatory participation of the Ministry of Mines and Energy, Ministry of Transports and The Ministry of Environment, and also the attractiveness potential private capital participation which could contribute to reduce public investment. The results should help future studies in others areas with similar phenomena and the opportunity to use another types of local biomass in Gasifier systems.

Keywords: biomass, renewable energy, Amazon Region.

SUMÁRIO

Lista de Figura	Iv
Lista de Tabelas	Vi
Lista de Nomenclaturas	Vii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	
1.1 Contextualização	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo geral	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Procedimento Metodológico	8
1.5 Delimitação do Estudo	10
1.6 Estrutura do trabalho	10
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	
2.1 Introdução	13
2.2 Sustentabilidade;	13
2.3 Sistemas Isolados;	18
2.4 Universalização dos Serviços Públicos de Energia Elétrica no Brasil;	20
2.5 Subsídios no Sistema Elétrico Brasileiro;	31
2.6 Fontes Renováveis na Amazônia;	33
2.7 Conversão de biomassa em energia	36
2.8 Ferramentas de Análise de Investimento.	43
CAPÍTULO 3 - TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA USO DE BIOMASSA NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE	
3.1 Introdução	46
3.2 Ciclo a vapor	46
3.3 Gaseificação	49

3.3.1 Breve Histórico	49
3.3.2 Tipos de gaseificadores	50
3.3.2.1 Gaseificador com leito em movimento contracorrente	51
3.3.2.2 Gaseificador com leito em movimento concorrente	52
3.3.2.3 Gaseificador com leito em movimento de fluxo cruzado	53
3.3.2.4 Gaseificador com leito em movimento fluidizado	54
3.4 Sistemas para produção de energia a partir da biomassa	56
3.4.1 Motores de combustão interna	57
3.4.1.1 Motor ciclo Otto	58
3.4.1.2 Motor ciclo Diesel	60
3.4.1.3 Outros ciclos	62
3.4.2 Motor de combustão externa	63
3.4.3 Turbinas a gás	64
3.4.4 Micro-turbinas a gás	67
3.4.5 Células a combustível (FC)	69
CAPÍTULO 4 - APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA LENHOSA DO RIO MADEIRA	
4.1 O rio Madeira	72
4.1.1 Introdução	72
4.1.2 Informações gerais	73
4.1.3 Regime hídrico	76
4.1.4 Clima	78
4.1.5 Geologia	78
4.1.6 Descarga sólida	79
4.1.7 Dificuldades na navegação	80
4.1.8 Importância econômica	85
4.2 A biomassa lenhosa disponível no rio Madeira	86
4.3 Potenciais consumidores de energia elétrica	90
4.4 Potencial de geração usando biomassa lenhosa do rio Madeira	92

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
5.1 Introdução	96
5.2 Conclusões	101
5.3 Sugestões para trabalhos futuros	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
LISTA DE ENDEREÇOS CONSULTADOS NA INTERNET	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	<i>Operação de retirada de troncos flutuantes no rio Madeira</i>	6
Figura 2.1	Sistema elétrico brasileiro	18
Figura 2.2	Percentual de pessoas em domicílio com energia elétrica por município em 2000.	24
Figura 2.3	Metas do Luz no Campo por estado	28
Figura 2.4	Potencial eólico da região norte	35
Figura 2.5	Esquema de uso da biomassa para fins energéticos	36
Figura 2.6	Reação de transesterificação de um triacilglicerídeo	39
Figura 3.1	Esquema de um gaseificador de leito em movimento contracorrente	51
Figura 3.2	Esquema de um gaseificador de leito em movimento concorrente	53
Figura 3.3	Esquema de um gaseificador de leito em movimento de fluxo cruzado	54
Figura 3.4	Esquema de um gaseificador de leito fluidizado	55
Figura 3.5	Veículo movido à gás pobre usado durante a Segunda Guerra.	57
Figura 3.6	Partes componentes de um motor ciclo Otto com 1 cilindro	59
Figura 3.7	Fases do motor ciclo Diesel	61
Figura 3.8	Esquema simplificado de uma turbina a gás	65
Figura 3.9	Esquema de uma micro-turbina a gás	68
Figura 3.10	Esquema de uma célula a combustível	70
Figura 4.1	Localização do rio Madeira	72
Figura 4.2	Confluência dos rios Beni e Mamoré, formando o rio Madeira	73
Figura 4.3	Hidrograma do rio Madeira em Porto Velho e próximo à foz em Vista Alegre	77
Figura 4.4	Afloramento de ilhas de areia durante a vazante do rio Madeira	81
Figura 4.5	Pedral no rio Madeira	82
Figura 4.6	Vista do rio Madeira com sua notável quantidade de troncos flutuantes	82
Figura 4.7	“Paliteiros”no rio Madeira	83
Figura 4.8	Um dos Locais de descarte da operação de retirada de paliteiros	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	<i>Prazo máximo para a universalização no município</i>	23
Tabela 2.2	<i>Índice de atendimento dos estados do norte do Brasil</i>	25
Tabela 2.3	<i>Prazo máximo para a universalização para as concessionárias</i>	25
Tabela 2.4	<i>Situação dos equipamentos do Prodeem amostrados pelo TCU em 2001.</i>	27
Tabela 2.5	<i>Ligações efetivadas pelo Luz no Campo por região</i>	29
Tabela 2.6	<i>Cronologia das ligações previstas pelo PLpT</i>	30
Tabela 2.7	Características do biodiesel para as rotas metílica e etílica	40
Tabela 3.1	Empreendimentos com ciclos a vapor, usando biomassa	47/48
Tabela 4.1	Locais identificados, posicionamentos e dificuldades à navegação no rio Madeira	83/84
Tabela 4.2	Volumes de biomassa lenhosa retirada dos paliteiros do rio Madeira	87
Tabela 4.3	Número de acidentes no rio Madeira provocados por colisão com objeto submerso	89
Tabela 4.4	Comunidades próximas aos locais de retirada de paliteiros ocorridas	90/91
Tabela 4.5	Potencial de geração de energia elétrica e do número de unidades consumidoras a serem atendidas utilizando a biomassa retirada de paliteiros do rio Madeira.	94/95
Tabela 5.1	Custos de geração com sistema de gaseificação e termelétrica a diesel	99
Tabela 5.2	<i>Pay back, VLP e TIR, considerando o fluxo de caixa incremental, considerando-se as opções de geração a diesel e gaseificação.</i>	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
BIG – Banco de Informações de Geração (da Aneel)
CCC – Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis
CDE – Conta de Desenvolvimento Energético
Ceam – Companhia Energética do Amazonas
CGH – central geradora hidrelétrica
Cresesb – Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
GEE – gases de efeito estufa
Hz - Hertz
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA – *International Energy Agency* (da OECD)
km - quilômetro
kVA – Quilovolt ampere
kW – quilowatt
kWe – quilowatt de energia elétrica
MJ/Nm³ – Megajoules por normal metro cúbico
MME – Ministério de Minas e Energia
MT – Ministério dos Transportes
MPa – mega pascal
MW – mega watt
MWe – mega watt elétrico
m³/s – metros cúbicos por segundo
m/s – metros por segundo
PCH – pequena central hidrelétrica
Prodeem – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
Proinfa – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RGR – Reserva Global de Reversão
RPM – rotações por minuto
SIN – Sistema [elétrico] Interligado Nacional
TCU – Tribunal de Contas da União
UFAM – Universidade Federal do Amazonas
UFPa – Universidade Federal do Pará
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UHE – usina hidrelétrica
Unicamp – Universidade Estadual de Campinas
USP – Universidade de São Paulo
UTE – usina termelétrica
VR – Valor de Referência
Wp – watt pico
°C – graus Celsius

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O modelo de desenvolvimento econômico que tem experimentado a humanidade ao longo dos séculos trouxe como desafio o abastecimento energético em bases sustentáveis. A superação ou não desse desafio implicará em profundas mudanças no progresso da humanidade.

O desafio se reveste de uma enorme complexidade por conta da necessidade premente de viabilizar a geração de energia de maneira sustentável, reduzindo os impactos ambientais que os combustíveis fósseis - principal fonte energética usada ao longo das últimas décadas - têm causado. Dentre esses impactos ambientais, o aumento do efeito estufa provocado pelas emissões de diversos gases, com conseqüentes alterações climáticas, destaca-se como principal preocupação do homem neste início de século XXI.

Neste sentido, segundo a UNEP (2007), mantendo-se os níveis atuais de emissão de CO₂, o Planeta sofrerá, ainda neste século, acréscimos da ordem de 0,2° C por década na temperatura média, o que poderá provocar catástrofes inimagináveis. Neste cenário, existe a possibilidade de ocorrer na Amazônia um fenômeno denominado “savanização”.

Em outras palavras, a floresta tropical deverá desaparecer, dando lugar a uma savana. Se isto de fato vir a ocorrer, certamente trará como conseqüências a extinção de um sem número de espécies animais e o comprometimento do clima da Terra e da sobrevivência da espécie humana.

Assim sendo, é de vital importância a busca por fontes energéticas que substituam as atuais visando a redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, sobretudo o CO₂, haja vista ser este o gás emitido em maior quantidade.

No cenário mundial, o Brasil destaca-se no que concerne a busca por fontes renováveis de energia graças ao sucesso alcançado pelo Programa Brasileiro do Álcool, iniciado em 1975 em resposta à primeira crise mundial de petróleo, que

contempla a produção de álcool etílico como combustível líquido a partir da cana de açúcar.

Em que pese o destaque internacional em fontes renováveis, o Brasil apresenta um número considerável de habitantes excluídos do acesso à energia elétrica, destacando-se os sistemas elétricos isolados¹ do norte do Brasil, onde o suprimento é assegurado em grande parte por unidades geradoras que fazem uso de combustíveis fósseis derivados do petróleo. Nessa região, os consumidores não atendidos procuram assegurar o suprimento de energia elétrica por meio de pequenos grupos geradores a diesel.

Goldemberg apud Coelho (2005), afirma que em torno de 1000 pequenas usinas termelétricas, principalmente a diesel, abastecem pequenas cidades e comunidades isoladas na Amazônia. Aproximadamente 700 dessas unidades têm capacidade instalada inferior a 500 kW, geralmente velhas e ineficientes, com altos índices de emissões de poluentes e custos elevados.

Para Coelho (2005), o uso de energia renovável, principalmente biocombustíveis, em área rural está intrinsecamente ligado à redução da pobreza. Ademais, o acesso a energia elétrica possibilita disponibilidade de água potável, redução de tempo de mulheres e crianças em atividades de sobrevivência (colhendo lenha, carregando água e cozinhando), maior tempo dedicado à educação, redução de poluição doméstica e derrubada de árvores.

Ainda segundo a autora, mais de dois bilhões de pessoas no mundo não tem acesso à eletrificação, afetando de forma intensa as chances de desenvolvimento econômico e qualidade de vida.

Segundo Silva *et al* (2001), apesar do custo de geração com fontes renováveis serem mais elevados do que os sistemas tradicionais, os custos evitados de transportes de combustíveis tornam muitos desses sistemas competitivos. Ainda segundo Silva *et al* (2001), a maior parte desses consumidores estão localizados na chamada Amazônia Legal.

Neste contexto, a região amazônica possui como alternativa para geração de energia elétrica de forma renovável a utilização da biomassa existente em abundância, destacando-se os processos de aproveitamento usando ciclos a vapor e gaseificadores.

1.2 Justificativa

Propiciar desenvolvimento sustentável é uma das mais desafiadoras metas da humanidade, em face das perspectivas que se apresentam, sobretudo, como já destacado anteriormente, no que diz respeito às alterações climáticas do Planeta, onde existe uma quase unânime conclusão de que os níveis atuais de emissão de gases de efeito estufa não podem ser mantidos, sob pena de comprometimento da sobrevivência da espécie humana.

Isso significa uma alteração considerável no processo de desenvolvimento experimentado pelo homem nas últimas décadas, baseado em alto consumo de bens que demandam o uso de combustíveis líquidos, energia elétrica ou energia calorífica, provenientes principalmente de fontes fósseis, intensamente poluentes, prejudicando a qualidade de vida das espécies.

Na prática urge a necessidade de mudança de paradigma energético e tecnológico, incorporando a coexistência de variadas fontes alternativas de energia (FERNANDES, SANCHES, ANGULO, 2002).

Essa mudança ganha mais evidência quando se verifica os impactos econômicos provocados pelos preços praticados na comercialização do principal produto fóssil, o petróleo, que alcançou recentemente valores superiores a \$100 o barril, bem acima dos níveis previstos em cenários feitos pela International Energy Agency - IEA, em 2007, onde supunha a estabilidade dessa oferta para algo em torno de \$35,00/barril.

Diante desse cenário, as energias alternativas ganharam maior importância e interesse, potencializando a possibilidade de implementação do chamado desenvolvimento sustentável, compromisso assumido pela maioria dos Países, nos mais diversos fóruns realizados nos últimos anos, dentre eles a Eco-92, no Rio de Janeiro, Rio + 5, Rio + 10 e o protocolo de Quioto.

Estima-se que em todo o planeta exista um contingente de 2 bilhões de pessoas que não tem acesso a energia elétrica (DE GOUELLO, MAIGNE, 2003). A maioria dessas pessoas habita países sub-desenvolvidos ou em desenvolvimento.

No Brasil as estimativas oficiais do governo, externadas na Portaria nº 38, de 09 de março de 2004, do Ministério de Minas e Energia, giravam em torno de 2,5

milhões de residências sem energia elétrica, onde cerca de 2 milhões encontram-se no meio rural.

Segundo o Censo 2000, 503.319 domicílios não estavam conectados à rede elétrica na região norte. Ressalta-se que 90% de todas as famílias brasileiras sem acesso a rede elétrica possuía renda mensal inferior a dois salários mínimos.

Neste contexto, o Governo Federal criou vários programas ao longo dos últimos anos visando à minimização da problemática do déficit energético. Podem-se citar como exemplos: Programa Luz no Campo, cujo objetivo era levar energia elétrica, a partir de extensão de redes, para 930 mil domicílios, beneficiando cerca de 4,4 milhões de pessoas; Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios - PRODEEM, criado em 1994 com objetivo de suprir basicamente com sistemas fotovoltaicos comunidades rurais de baixa renda, localizadas distantes da rede elétrica convencional; Programa de Incentivo a Fontes Renováveis - PROINFA, que só se aplica ao Sistema Interligado; Programa Luz para Todos - PLpT, em substituição ao Programa Luz no Campo, cujo objetivo era universalizar o serviço de fornecimento de energia elétrica no meio rural brasileiro até 2008, prorrogado para o final de 2010. Em princípio o Programa Luz para Todos buscou o atendimento de consumidores que pudessem ser atendidos com extensão de rede.

A meta estabelecida pelo PLpT, quando de sua instituição por meio do Decreto 4873/03 de 11 de novembro de 2003, era eletrificar 2 milhões de unidades consumidoras, prioritariamente no meio rural, tomando como referência o número de residências sem acesso à energia elétrica no Brasil, com base no censo 2000 do IBGE. Esta meta deverá ser cumprida em termos numéricos. Entretanto, a universalização não será alcançada, haja vista dois fatores principais: o primeiro diz respeito à meta em si, em valores numéricos, em face do procedimento metodológico do censo que não alcança o meio rural por completo, portanto deixando de levar em conta um sem número de habitantes dessa área desprovidos de eletricidade; o segundo por conta de diferenças naturais esperadas entre as estatísticas apresentadas no ano de 2000 e as atuais, em 2010, uma década depois, visto que há um crescimento populacional normal da sociedade como um todo, mormente o meio rural que apresenta índices maiores que a área urbana.

Naturalmente há outros fatores que se apresentam como barreiras para o cumprimento da universalização, sobretudo nas comunidades da Amazônia, que

certamente estão longe do atingimento dessa meta. Vale ressaltar que o PLpT praticamente usou até o momento extensões de rede para atender as unidades consumidoras. Isto significa que os maiores desafios não foram enfrentados, ou seja, as situações em que esta opção não é viável, por aspectos econômicos ou técnicos, como acontece na Amazônia. Para a grande maioria das pequenas comunidades da região o Programa Luz para Todos está longe, muito longe, e certamente não os alcançará até o prazo de sua existência estabelecido em Lei.

Isso posto, existe a convicção de que a manutenção da meta de universalização do acesso à energia elétrica na Amazônia irá além de 2010. Ademais, a solução para tal não será uma única via tecnológica, e sim um mix de soluções, buscando-se aproveitar ao máximo as oportunidades de uso de fontes locais, sem esquecer os aspectos sociais e ambientais. Desta forma, a biomassa se apresenta como uma opção com grande potencial de uso.

A busca de soluções futuras para a problemática da universalização na Amazônia nos remete a refletir sobre experiências passadas de outros programas governamentais, como foi a experiência de insucesso da fase I do PRODEEM, citado anteriormente, onde 50% dos sistemas instalados em alguns estados não estavam mais operando 3 a 4 anos depois, seja por problemas de ordem técnica ou econômica, no qual gerou um considerável passivo ambiental de painéis fotovoltaicos e baterias, induz à refletir sobre esses modelos e concluir que não se pode pensar na geração de energia de forma isolada e sim associada a programas sociais de geração de renda, buscando a sustentabilidade de uma forma genérica (ROCHA, 2005).

Além da problemática da oferta de energia elétrica o Poder Público se depara com a necessidade de criar condições de logística de transportes na região no intuito de suprir o abastecimento e permitir a exportação. Dentre os modais disponíveis a opção hidroviária se apresenta como a mais promissora, por se tratar do meio de transporte que se confunde com a cultura popular. Os rios da Amazônia fazem parte da vida cotidiana das comunidades ali estabelecidas há décadas.

Neste contexto, a Hidrovia do Madeira exerce papel fundamental. Dados do Grupo Maggi apontam um tráfego de mais de 1.900.000 toneladas de grãos pelo porto da cidade de Itacoatiara, no estado do Amazonas.

Para viabilizar a navegação no rio Madeira ao longo do ano, é necessária a adoção de algumas intervenções por parte do órgão governamental responsável por essas atividades, a Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental – AHIMOC, ligada ao Ministério dos Transportes.

Uma dessas intervenções diz respeito à desobstrução do canal de navegação, retirando as árvores ali se depositam, oriundas de arrasto das suas margens e de seus tributários pelo movimento de subida e descida dos níveis de água que acontece todos os anos, natural dos rios da Amazônia. A presença dessas árvores é responsável por uma indesejável estatística de acidentes com embarcações no Rio Madeira, sobretudo em razão do acúmulo nos trechos em curva do rio. Praticamente todos os anos centenas árvores são retiradas do canal principal desse importante rio pela AHIMOC, cujo procedimento de retirada é mostrado na figura 1.1.



Figura 1.1 – Operação de retirada de troncos flutuantes no rio Madeira Fonte: AHIMOC, 2006.

Em que pese essas operações de retirada, a AHIMOC se depara com problemas para destinação final desse material e tem, ao longo dos últimos anos, depositado na própria margem do rio.

Diante dessa realidade, este trabalho contém resultados da pesquisa de uso dessa biomassa lenhosa com a finalidade de geração descentralizada de energia elétrica em comunidades isoladas ao longo da calha do rio Madeira, demonstrando ter essa opção viabilidade técnica, econômica e ambiental, de forma sustentável.

1.3 Objetivos geral e específicos

1.3.1 Objetivo geral

Proposição de aproveitamento energético da biomassa lenhosa do rio Madeira, consequência dos movimentos naturais desse manancial de água, para suprimento elétrico de Comunidades Isoladas, por meio de sistemas descentralizados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Abordar as especificidades do sistema interligado nacional e sistemas isolados do sistema elétrico brasileiro;
- Descrever os programas nacionais que visavam à universalização do acesso aos serviços de energia elétrica;
- Descrever tecnologias de transformação de biomassa em energia elétrica;
- Avaliar o potencial energético da biomassa lenhosa, oriunda de operações de retirada do canal principal, disponível na calha do Rio Madeira;
- Identificar os potenciais mercados consumidores de energia elétrica na calha do Rio Madeira;
- Propor estratégias para aproveitamento energético da biomassa disponível na hidrovia do Rio Madeira;
- Identificar barreiras e oportunidades sob a ótica sócio-ambiental, econômica, política e tecnológica referente às estratégias propostas;
- Fazer estudo comparativo das diferentes estratégias sob a ótica técnica-econômica e sócio-ambiental.

1.4 Procedimentos metodológicos

A tese foi desenvolvida tendo como etapa inicial a pesquisa bibliográfica buscando dar suporte à construção de uma fundamentação teórica abordando os seguintes temas: sistema elétrico brasileiro, com ênfase nas características inerentes às comunidades isoladas na Amazônia; programas governamentais desenvolvidos ao longo dos anos, visando a universalização dos serviços de acesso à energia elétrica, suas características e resultados alcançados; subsídios existentes no sistema elétrico brasileiro, descrevendo suas peculiaridades e evoluções ao longo do tempo; fontes renováveis na Amazônia, com abordagem sucinta do potencial da região para geração de energia elétrica a partir dessas fontes; tecnologias disponíveis para geração de energia elétrica usando biomassa como fonte, observando as mais adequadas para atendimento ao nível de geração previsto; o rio Madeira, suas características hidromorfológicas e geomorfológicas, sua importância para o transporte regional e organização responsável por sua gestão enquanto hidrovia; ferramentas de análise de investimentos, para dar suporte a um processo decisório na escolha do tipo de geração a ser adotado.

Esta etapa de revisão bibliográfica foi efetivada usando-se todos os meios possíveis e disponíveis, tais como livros, revistas, anais de congressos e periódicos, tanto em nível nacional como internacional, além da rede mundial de computadores, restritos aos sítios com credibilidade, sobretudo os de órgão oficiais de Governo e Instituições oficiais, além de organizações de credibilidade reconhecida nacional e internacionalmente. A revisão se deu de forma intensa e de caráter permanente ao longo do trabalho para garantir o ineditismo ao final do mesmo.

Após a revisão bibliográfica foram obtidas informações, para dar continuidade à pesquisa, junto ao órgão governamental responsável pela hidrovia do rio Madeira, no caso em questão a Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental – AHIMOC, para conhecimento das dificuldades encontradas quanto à navegabilidade da hidrovia, e das ações obrigatórias, de cunho legal, que visassem à viabilidade de uso ininterrupto da hidrovia ao longo do ano, além das empresas parceiras contratadas para esse fim.

Durante esta fase foram focadas informações específicas quanto às operações de retirada de árvores do canal principal do rio Madeira, denominada de

“retirada de paliteiros”, no que concerne à época em que foram realizadas, seus volumes e locais de realização, assim como a destinação final desse material. Também nesta etapa foram identificadas as comunidades próximas aos locais de retirada.

Etapa posterior constou de viagem a campo para identificação de algumas localidades onde a retirada de biomassa havia sido realizada, especificamente as mais representativas, com a coleta de amostras de biomassa lenhosa para sua caracterização em laboratório. A viagem foi iniciada na cidade de Manaus até a cidade de Porto Velho, de onde se seguiu rio abaixo, passando pelas localidades de Mutum, Capitari e Curicaca, onde a expedição foi encerrada, retornando-se à cidade de Porto Velho e posteriormente a Manaus.

Amostras de biomassa lenhosa disponíveis nessas localidades foram coletadas, a partir de árvores que se encontravam no canal principal, quase que totalmente submersas, formando o denominado “paliteiro”.

De posse das amostras, as mesmas foram enviadas para laboratórios da Universidade Federal do Amazonas, onde foram identificadas, com a obtenção de dados necessários para suas análises, visando aproveitamento na geração de energia elétrica.

Os resultados obtidos das biomassas coletadas serviram como balizadores para confirmação de valores constantes na literatura, usados posteriormente na avaliação de potencial de geração de energia elétrica da biomassa lenhosa do rio Madeira com identificação de rotas tecnológicas para tal.

Etapa posterior contemplou a identificação e caracterização de potenciais mercados consumidores localizados na calha do Rio Madeira. Informações foram obtidas junto às concessionárias de energia elétrica.

Uma vez caracterizada a biomassa disponível, as possíveis rotas tecnológicas, os potenciais mercados consumidores, foram avaliados os aspectos ambientais envolvidos, quando, então, desenvolveu-se proposta de estratégias para aproveitamento energético, ocasião em que foram identificadas barreiras e oportunidades, no que tange aos aspectos técnicos, econômico, político, social e ambiental.

1.5 Delimitação do trabalho

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados obtidos entre os anos de 2000 a 2005 em região específica da Amazônia, mais precisamente o rio Madeira, usando a biomassa lenhosa disponível nessa hidrovia. Como anteriormente exposto, a disponibilidade dessa fonte energética é resultado da ação do Estado, que tem a obrigação de manter a navegabilidade dessa importante via fluvial, cujo papel na economia regional é crucial. Determinando, desta forma, o limite geográfico da pesquisa.

1.6 Estrutura do trabalho

Para melhor entendimento do trabalho foi adotada sua organização em 5 capítulos que, muito embora guardem relação entre si, podem ser lidas e compreendidas de forma independente, sem prejuízo do entendimento global.

A primeira parte, que corresponde a esta em que se encontra o leitor, chamada de capítulo 1, dedicada a aspectos que visam o conhecimento do contexto da tese, bem como dos objetivos, procedimentos metodológicos usados e a sua estruturação.

As três partes seguintes foram denominadas de capítulos 2, 3, 4 e 5. O capítulo 2 trata da fundamentação teórica, onde é abordada revisão bibliográfica dos seguintes tópicos:

- Sustentabilidade - com um breve histórico do uso do termo desenvolvimento sustentável, os conceitos mais aceitos sobre o tema, a complexidade de seu atendimento a importância de sua busca no contexto atual da humanidade;
- Sistema Elétrico Brasileiro – sua divisão, compreendendo o sistema interligado nacional e o sistema isolado, com ênfase na Amazônia;
- Universalização dos Serviços Públicos de Energia Elétrica no Brasil – onde é relatado o processo histórico de tomada de decisão para a implementação desse tema como política pública no Brasil, os principais programas adotados em nível federal,

seus resultados, Programa Luz para Todos e as perspectivas desse processo em comunidades isoladas na Amazônia;

- Subsídios no Sistema Elétrico Brasileiro – mostrando o arcabouço legal que deu origem a Conta de Consumo de Combustível – CCC, suas alterações ao longo do tempo e situação atual;
- Fontes renováveis na Amazônia – englobando as fontes possíveis de serem usadas na região, mais especificamente hídrica, eólica, solar e biomassa, analisando de forma condensada seus potenciais regionais;
- Conversão de biomassa em energia – ocasião em que os processos físico-químicos, biológicos e termo-químicos são descritos;
- Ferramentas de análise de investimento – são descritos os métodos denominados *payback*, valor líquido presente e a taxa interna de retorno, ditos métodos determinísticos da engenharia econômica para avaliar riscos e incertezas de determinado investimento.

O capítulo 3 é dedicado a discussão de tecnologias disponíveis para uso de biomassa visando à geração de energia, dentre as quais o ciclo a vapor e a gaseificação, com ênfase nos tipos de gaseificadores, além de sistemas para produção de energia elétrica a partir da biomassa.

O aproveitamento energético da biomassa lenhosa do rio Madeira é discutido no capítulo 4, descrevendo-se basicamente quatro aspectos:

- O rio Madeira - abordando informações gerais a respeito de sua formação, regime hídrico, clima, geologia, descarga sólida, dificuldades na navegação e importância econômica;
- A biomassa lenhosa disponível – sua origem, disponibilidade, volumes retirados nos últimos anos e localização;
- Os potenciais consumidores no rio Madeira – as comunidades e sedes municipais ao longo do rio, nas proximidades dos locais de retirada da biomassa;

- O potencial de geração de energia elétrica – onde é avaliado o potencial usando a biomassa lenhosa disponível, a partir dos resultados das análises das amostras, obtidos em laboratório, e os dados disponíveis em literatura sobre madeiras da Amazônia.

A etapa final é denominada de capítulo 5 constando de considerações finais, momento em que são definidas as estratégias mais adequadas para aproveitamento da biomassa lenhosa do rio Madeira para geração de energia elétrica, a partir dos resultados obtidos no capítulo 4, além de potenciais para futuros trabalhos.

Capítulo 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo 2 trata de temas da fundamentação teórica, por meio de revisão bibliográfica de sustentabilidade, sistema elétrico brasileiro, universalização dos serviços públicos de energia elétrica no Brasil, subsídios no sistema elétrico brasileiro, fontes renováveis na Amazônia, conversão de biomassa em energia e ferramentas de análise de investimento.

2.2 SUSTENTABILIDADE

O século XX foi marcado pelas dúvidas suscitadas pela raça humana quanto à sua relação com o meio ambiente. Durante os anos finais desse século um impressionante aumento da preocupação com a consequência à natureza das atividades antrópicas aconteceu na Europa e nos Estados Unidos. Sucessivos acidentes que vitimaram um considerável número de seres humanos contribuíram para essa conscientização, dentre eles: o desastre de derramamento de mercúrio na Baía de Minamata, no Japão, entre 1932 e 1968, pela companhia química Chisso, responsável pelo nascimento de mais de 3000 pessoas com deformações; o vazamento de gases tóxicos em Bhopal, na Índia, proveniente das indústrias de pesticidas da Union Carbide, em dezembro de 1984, matando mais de 27 mil pessoas; vazamento radioativo da Usina Nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, em abril de 1986, totalizou mais de 5 milhões de vítimas, segundo OMS, 2006; derramamento de cerca de 41 milhões de litros de petróleo, em março de 1989, em uma área de vida selvagem no Alasca, provocando o aparecimento do que denominou de mar negro naquela região, com consequências danosas à natureza, propagando-se até os dias de hoje.

A denominação do termo desenvolvimento sustentável inicia quando o modelo de desenvolvimento adotado pelas nações do mundo, baseado predominantemente em crescimento, começa a ser questionado em debates

internacionais. Segundo Bellen, 2007, o primeiro impacto relacionado a essa questão foi suscitado pelo chamado Clube de Roma, formado por pessoas ilustres do mundo inteiro, em seu relatório de 1972, denominado Meadows, que preconizava crescimento zero. Esse relatório utilizou modelos, desenvolvidos pelo Massachusetts Institut of Technology – MIT, e chegou a conclusão que o Planeta Terra não suportaria mais o crescimento populacional devido à pressão sobre os recursos naturais e energéticos e o aumento da poluição, mesmo considerando o avanço das tecnologias.

No mesmo ano da publicação do relatório do Clube de Roma, em 1972, aconteceu a conferência de Estocolmo sobre o meio ambiente humano, promovida pelas Organizações das Nações Unidas - ONU. Naquela ocasião foi ressaltado que a maioria dos problemas ambientais tinha dimensões globais, não respeitando limites geográficos, além de aceleração exponencial. Além disso, a principal preocupação estava ligada ao crescimento populacional e ao processo tecnológico na industrialização.

Em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, foi realizada uma nova conferência da ONU sobre meio ambiente e desenvolvimento. Surge então, por parte da maioria dos países do mundo, em seus discursos oficiais, a admissibilidade de relacionamento entre processo de desenvolvimento e as transformações do meio ambiente. Nessa conferência foi produzido um documento onde se conceituou desenvolvimento sustentável intitulado Agenda 21, um plano composto por 40 capítulos.

O conceito de desenvolvimento sustentável é resultado de um longo processo histórico de reavaliação entre a sociedade civil e seu meio natural (BELLEN, 2007). Existe uma série considerável de diversas abordagens sobre esse conceito. Apesar disso não se tem uma definição exata. O mais conhecido conceito é o que estabelece como sendo o desenvolvimento que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer as gerações futuras, oriunda do Relatório Brundtland (WECD, 1987). Nele dois conceitos principais estão contidos: a necessidade, sobretudo à dos países subdesenvolvidos, e a limitação, intrinsecamente ligada ao estado da tecnologia e à organização social.

Os cinco pilares do desenvolvimento sustentável segundo Sachs (2004), apud Rosa (2007), são:

- Social: essencial por razões intrínsecas e instrumentais, diante da possibilidade de disrupção social que ameaça muitos locais problemáticos do planeta;
- Ambiental: com duas dimensões – os sistemas de sustentação da vida como provedores de recursos e como recipientes, para a disposição de resíduos;
- Territorial: no que diz respeito à distribuição espacial dos recursos, das populações e das atividades;
- Econômico: com a viabilidade econômica como condição *sine qua non* para que as coisas se realizem; e
- Político: com a governança democrática como valor fundador e instrumento necessário para fazer com que as coisas se realizem, sendo a liberdade democrática parte das demandas centrais do desenvolvimento sustentável.

Segundo esse relatório, a indústria deveria produzir mais com menos recursos, adotando tecnologias limpas e difundindo o conhecimento destas tecnologias.

De acordo com Maimon (1996), citado por Casagrande (2003), as variáveis do desenvolvimento sustentável são econômica, ambiental e social.

A variável econômica busca estratégias que visem a sustentabilidade do sistema econômico e produtivo, mantendo sua produtividade mesmo exposta a perturbações e choques.

A variável Ambiental é composta de recursos naturais de um ecossistema que depende de um equilíbrio entre ritmos de extração, que assegurem um mínimo de renovabilidade.

A variável social cria condições socioeconômicas para o atendimento das necessidades básicas, melhoria do nível de instrução e minimização da exclusão social e do sistema produtivo.

Casagrande (2003), cita que o desenvolvimento sustentável pode ser subdividido em quatro dimensões: econômica; social; ambiental; e cultural. Suas fronteiras não possuem delimitações perfeitas. São interrelacionadas intimamente,

formando áreas comuns. É o caso da dimensão cultural, que apresenta traços da dimensão social, econômica e ambiental juntas.

A dimensão econômica é a que incorpora a maior parte dos interesses das organizações empresariais e produtivas. Os avanços nessa dimensão visando resultados econômicos positivos, gerando mais lucro e maximizando a riqueza, são consideráveis, tanto no meio empresarial quanto acadêmico.

A análise da sustentabilidade econômica identifica em primeiro plano a liquidez, ou seja, a capacidade da organização de gerar seus recursos financeiros para saldar seus compromissos de forma continuada, além da rentabilidade, que é a capacidade de remunerar de forma satisfatória seus acionistas.

Alcançar essa sustentabilidade depende de vários atores, dentre eles os clientes que estão cada vez mais exigentes quanto à qualidade e ao preço, exigindo responsabilidades sociais e ambientais. Ressalta-se que essas responsabilidades nem sempre fazem parte do leque de obrigações da empresa e sim do governo.

A dimensão social está focada nas desigualdades das condições de sobrevivência humana, que coloca em risco a sustentabilidade do sistema social, consequência de concentração de riqueza, colocando em risco, também, a sustentabilidade da empresa. Essa dimensão está evidenciada em índices de criminalidade, na insegurança e na pobreza.

As organizações, via de regra, consideram cumpridas suas obrigações sociais quando melhoram diretamente as condições de seus trabalhadores e indiretamente de seus dependentes, além do pagamento de tributos, imputando a responsabilidade dessa dimensão social aos órgãos governamentais.

Entretanto essa visão tem sofrido alterações para um compartilhamento de responsabilidades entre todos, empresa, governo e sociedade em geral. Isso se torna latente ao observar a preocupação coletiva das nações em reduzir a pobreza, o analfabetismo, as doenças e os sem-teto.

A dimensão ambiental desenvolveu-se ao longo das últimas três décadas, em decorrência da consciência ecológica. As organizações passaram de uma situação reativa, ou seja, de poluir para depois despoluir, para uma preocupação por uma ação mais proativa com a qualidade do meio ambiente físico, ainda que focadas nos objetivos econômicos. Deste modo, a sustentabilidade econômica passa a ter uma relação mais direta com a sustentabilidade ambiental.

Entretanto surge um questionamento fundamental quanto à consolidação da sustentabilidade econômica com a ambiental, uma vez que culturalmente custos adicionais podem ser agregados para o atingimento de novos padrões de qualidade na produção e comercialização. Esses novos padrões referem-se, dentre outros, a maior eficiência no uso de insumos, incluindo eletricidade, introdução de tecnologias mais limpas e responsabilidade com o pós-uso. Demais custos estão relacionados à preservação do ecossistema onde a organização está inserida.

A dimensão cultural está relacionada com princípios e valores que possam criar um clima organizacional saudável, satisfazendo os anseios dos atores internos e externos da organização. A criação e divulgação da cultura organizacional, de princípios e valores de prevenção de riscos ambientais, saúde ocupacional, controle da saúde e prevenção de acidentes são exemplos de ações visando à sustentabilidade cultural.

No entanto a práxis dessas ações encontra barreiras vinculadas à dificuldade de incorporação por parte dos indivíduos que compõem as organizações, haja vista as resistências às mudanças inerentes ao ser humano, além da diferença entre a cultura da organização e aquela vivenciada pela comunidade onde a mesma se insere.

Segundo Casagrande (2003), é importante salientar que a sociedade contemporânea tem sua organização fortemente embasada em racionalidades econômicas, consequência do modelo capitalista implantado, onde a lógica do crescimento econômico e a acumulação de riquezas é o que vale, tendo como resultado uma maior valoração aos aspectos econômicos do que aos ambientais e sociais. As organizações buscam freneticamente maior produtividade, mais eficiência e melhor qualidade, visando ao atendimento às leis de mercado que, muitas vezes, não focam os ideais do desenvolvimento sustentável.

O entendimento de que é possível proteger e conservar o meio ambiente, distribuir riquezas e gerar melhores condições de vida sem efetiva geração de recursos econômicos não é perceptível pelas pessoas em geral. As organizações crêem na impossibilidade de gastar ou distribuir sem antes gerar riquezas.

A mudança desses paradigmas requer a existência de políticas públicas, visando a conciliação entre as forças de mercado, a sociedade em geral e a filosofia do desenvolvimento sustentável.

Apesar das barreiras encontradas para a implementação de modelos de desenvolvimento sustentável, pelas razões anteriormente expostas, além das dificuldades de harmonia entre as dimensões da sustentabilidade, a busca por esses modelos deve ser perseguida, haja vista seus benefícios à natureza, tanto por seu valor econômico quanto como base de sustentação da vida no planeta Terra, assim como aos valores da sociedade, tais como qualidade de vida, educação, saúde, cultura, visão de mercado, desenvolvimento comunitário e direitos humanos.

2.3 SISTEMAS ISOLADOS

O sistema elétrico brasileiro está basicamente dividido em dois grandes blocos, chamados Sistema Interligado Nacional – SIN e Sistema Isolado, que podem ser visualizados na figura 2.1.



Figura 2.1 – Sistema elétrico brasileiro

Fonte: Adaptado de ANEEL (2008).

O sistema interligado, observado na figura 2.1 como a própria denominação já induz, corresponde a um sistema composto por diversas unidades geradoras, onde predomina a geração hídrica, conectadas por extensas linhas de transmissão responsáveis por levar eletricidade aos centros consumidores. Desse

sistema fazem parte as regiões sul, sudeste, nordeste, centro-oeste e parte da região norte.

O denominado sistema isolado está restrito praticamente à região norte, e, segundo a ANEEL (2008), corresponde a 45% do território brasileiro, 3% da população, 3% do consumo nacional e 4% do parque gerador.

Esse sistema não pode ser visto como passivo de um mesmo tratamento, no que tange ao atendimento de eletrificação, como se comportasse como um único mercado. A região amazônica, em se tratando de sistema isolado, apresenta características específicas quanto ao seu mercado de energia elétrica. Segundo Souza (2003), o sistema isolado correspondente à região amazônica pode ser dividido em três mercados distintos. O primeiro deles, denominado pelo autor como mercado das capitais, corresponde ao atendimento das capitais dos estados, com características de suprimento a partir de geração hidráulica e térmica. O segundo mercado compõe-se por pequenas localidades e pela área urbana dos municípios do interior dos estados da região, que recebeu a denominação de mercado concentrado, normalmente atendido por geração térmica a diesel, de pequeno e médio porte. O terceiro mercado, chamado de disperso, corresponde àqueles que não têm acesso à energia elétrica ou dispõem apenas de pequenos grupos geradores a diesel que, em sua grande maioria, funciona de forma precária, durante poucas horas por dia.

Ainda segundo Souza (2003), apesar dos dois primeiros mercados possuírem, em quase toda a sua totalidade, agentes responsáveis pelos serviços, o fornecimento de energia elétrica acontece com baixa qualidade e grandes desperdícios, além de possuírem em quase sua totalidade geração termelétrica usando combustíveis de origem fóssil.

O mercado das capitais está hoje restrito às cidades de Manaus, Macapá e Boa Vista. Até bem recentemente, mais precisamente até 23 de outubro de 2009, as cidades de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, e Rio Branco, capital do estado do Acre, passaram a fazer parte do SIN, com a operacionalização da linha de transmissão em 230 kV ligando Jauru, no Mato Grosso a Vilhena, em Rondônia, deixando assim de fazer parte do sistema isolado. Está prevista para o ano de 2012 a interligação de Manaus e Macapá ao SIN via linha de transmissão ligando essas cidades a Hidrelétrica de Tucuruí. Há, ainda, projeto de ligação de Boa Vista a

Manaus por intermédio de uma linha de 530 kV, o que deixará todas as capitais brasileiras integradas ao SIN.

Dentre os mercados abordados por Souza (2003), o disperso é considerado como o mais desafiador, em face de inúmeros aspectos que o diferencia dos demais, dentre os quais a enorme carência de educação, saúde, transporte e capacitação para a produção.

Salienta-se que esse mercado é composto por grupos com características totalmente distintas, como comunidades indígenas, áreas de reforma agrária, populações tradicionais (seringueiros, ribeirinhos, extrativistas, etc), populações tradicionais em reservas extrativistas, ecológicas e de desenvolvimento sustentável, e demais populações que não se enquadram nesses grupos, cujas tratativas devem ser específicas.

O maior desafio para suprir as comunidades isoladas na Amazônia de suas necessidades de energia elétrica é a definição de um modelo que considere as questões sócio-econômicas e ambientais, a logística, o uso produtivo da energia, a organização da produção local, a gestão e o consumo.

2.4 A UNIVERSALIZAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Universalizar, no que concerne ao setor elétrico, significa generalizar o serviço de energia elétrica independentemente da classe do consumidor ou mesmo sua localização. Este direito surgiu no Brasil a partir da Constituição de 1988 em seu art. 175, inciso IV, porém necessitava de Lei complementar para sua operacionalização, o que ocorreu em 7 de julho de 1995 por meio da Lei nº 9.074 que em seu art. 3º, inciso IV, estabeleceu a obrigatoriedade de atendimento abrangente ao mercado, sem a exclusão das populações de baixa renda e das áreas de baixa densidade demográfica, inclusive as rurais.

Até o início da década de 90, quando da re-estruturação do setor elétrico, onde o Estado passa do papel de empreendedor para regulador, o termo universalização não era discutido de forma abrangente. Somente no ano de 2000, embora restrita ao acesso físico, passou a ser citada nos regulamentos do setor elétrico, mais especificamente em propositura de regulamentação feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde houve entendimento de que a tarifa

compreenderia toda a prestação de serviço, inclusive a necessidade de obras para conexão ao consumidor (FUGIMOTO, 2005).

Segundo Fugimoto (2005), a regulamentação dos serviços de eletricidade no Brasil tem seu início em 26 de fevereiro de 1957, por meio do Decreto nº 41.019, que estabelecia a obrigatoriedade e responsabilidade da concessionária no que concerne ao suprimento de energia elétrica a uma região, cuja abrangência era configurada em plantas organizadas em comum acordo com as Prefeituras Municipais e aprovadas pelo órgão federal responsável à época, o Conselho Nacional de Águas e Energia - CNAE. O crescimento das concentrações populacionais impunha revisões a essas regiões, porém as extensões em baixa tensão possuíam limites de custeio pela concessionária de até três vezes a receita anual estimada do novo consumo, deixando ainda ao consumidor a possibilidade de contribuir com seus próprios recursos, além de permitir a execução das extensões por entes privados com posterior cessão às empresas concessionárias.

As distribuidoras eram responsáveis pela implementação das linhas de transmissão, subtransmissão, distribuição em tensão primária, ou seja, igual ou superior a 2,3 kV, incluindo as subestações, para atendimento da região delimitada pelo Poder Concedente. As áreas de expansão, isto é, fora da região previamente definida, assim como os consumidores de média e alta tensão, possuíam seus limites de custeio em três vezes e meia a receita anual estimada dessa expansão. As áreas rurais não eram de responsabilidade da distribuidora.

Somente em 12 de março de 1979, após mais de vinte anos, a legislação sofreu alteração, com o Decreto nº 83.269, onde os limites de investimentos passaram para à responsabilidade do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, sucessor do CNAE, em ato do Ministério de Minas e Energia – MME. Essa norma previa que investimentos não poderiam acarretar aumento nas tarifas dos consumidores, além de considerar de responsabilidade da distribuidora o acréscimo de fases em redes existentes, reforço ou acréscimo de novo circuito em tensão inferior a 34,5 kV (com exceção da eletrificação rural), reforma em redes existentes e atendimento aos níveis de continuidade e qualidade. No entanto, responsabilizava o consumidor quanto à extensões de linhas exclusivas, melhoria em qualidade e continuidade superior ao estabelecido em regulamentação e melhoria de aspectos estéticos.

Em 26 de outubro de 1989 o Decreto nº 98.335 alterou novamente o Decreto nº 41.019/57, diminuindo a responsabilidade total da concessionária quanto ao atendimento de novas cargas, ficando como responsabilidade financeira do consumidor a extensão de linha exclusiva ou de reserva, melhorias de aspectos estéticos ou de qualidade e continuidade além do que estabeleciam as Normas vigentes. O DNAEE passou a ser o responsável pela definição dos limites de investimentos, de modo que não acarretasse acréscimos ao custo total do serviço superior ao acréscimo de receita. O consumidor teria seu atendimento condicionado ao pagamento da contribuição financeira, podendo aportar a totalidade dos recursos, com direito a restituição da parcela de responsabilidade da concessionária.

É interessante observar que apesar do dispositivo constitucional de 1988 estabelecer suporte ao direito de acesso aos serviços de energia elétrica a todos os brasileiros, o Decreto nº 98.335 de 1989 não criava obrigações neste sentido para as concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, tampouco desonerava os consumidores não atendidos, caso pleiteassem esse serviço. Àquela altura havia uma lacuna de uma Lei que regulamentasse o dispositivo constitucional, que só ocorreu em 1995, por intermédio da Lei nº 9.074, como anteriormente citado.

Em 26 de dezembro de 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, nascida com a finalidade de regular a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica diante de um novo modelo de mercado do setor que se abria para a participação do capital privado. O modelo vigente até então apresentava inadimplência e ineficiência operacional das concessionárias públicas, utilização das tarifas como controle inflacionário e incapacidade do Estado de investir na expansão do setor.

Em 2000, com base em estudo jurídico que estabeleceu mecanismos que pudessem implementar efetivamente o processo de universalização, a ANEEL elaborou uma minuta de resolução contemplando metas para tal atingimento para as distribuidoras. Em síntese, a proposta eliminava a participação financeira do consumidor em obras de extensão e reforço de rede. Nas áreas urbanas as ligações seriam realizadas sem nenhum ônus a partir da emissão da Norma. Já para as áreas rurais, as distribuidoras seriam obrigadas a apresentar um “Plano de Universalização do Atendimento Rural”, prevendo o atendimento de todo o mercado rural em cinco anos, à razão de 20 % por ano.

Em 26 de abril de 2002, o Governo Federal criou a Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, por meio da Lei N° 10.438, em seu art. 13, que tinha como um de seus objetivos promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional. Os recursos são provenientes dos pagamentos anuais realizados a título de uso de bem público, das multas aplicadas pela ANEEL a concessionários, permissionários e autorizados, e das quotas anuais pagas por todos os agentes que comercializam energia com o consumidor final. Os recursos provenientes do pagamento pelo uso de bem público e das multas impostas aos agentes do setor serão aplicados, prioritariamente, no desenvolvimento da universalização do serviço público de energia elétrica. A duração prevista para a CDE foi de 25 anos. As metas de universalização do uso de energia elétrica para cada concessionária e permissionária, bem como a fiscalização do cumprimento, ficou sob responsabilidade da ANEEL.

Em 2003, em face do que dispunha a Lei N° 10.438, a ANEEL estabeleceu metas para universalização do setor elétrico, por meio da Resolução 223, de 29 de abril de 2003. Nessa resolução a ANEEL estabeleceu prazos para atendimento da universalização em cada município, função do Índice de Atendimento (I_a), definido como sendo a razão entre o número de domicílios com iluminação elétrica e o total de domicílios, ambos obtidos a partir do Censo 2000 da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. A tabela 2.1 mostra esses prazos.

Tabela 2.1 – Prazo máximo para a universalização no município Fonte: ANEEL (2003).

Índice de Atendimento do Município (I_a)	Prazo Máximo para Universalização no Município
$I_a > 96\%$	2004
$90\% < I_a < 96\%$	2006
$83\% < I_a < 90\%$	2008
$75\% < I_a < 83\%$	2010
$65\% < I_a < 75\%$	2012
$53\% < I_a < 65\%$	2014
$I_a \leq 53\%$	2015

Observando-se a tabela 2.1 e confrontando-se com a figura 2.2, que corresponde ao mapa da exclusão de energia elétrica de 2000, onde é mostrado o percentual de pessoas em domicílio com energia elétrica por município, segundo MME (2005) apud Rodrigues (2006), verifica-se que o prazo máximo para universalização, estabelecido pela ANEEL, da maioria dos municípios da Amazônia estaria entre 2012 e 2014.

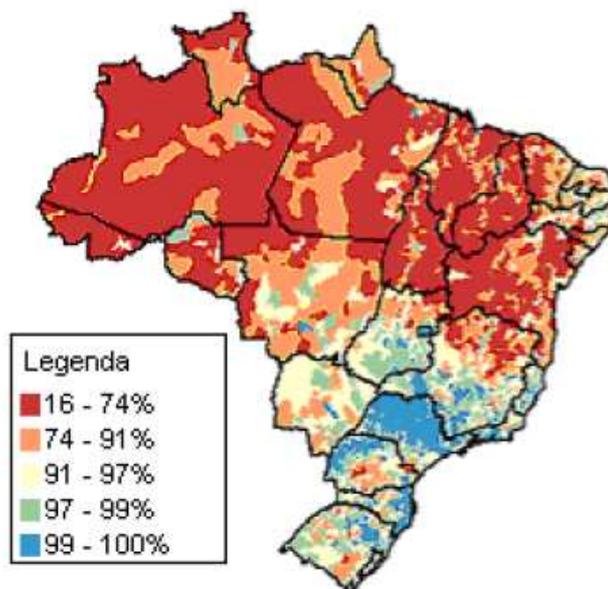


Figura 2.2 - Percentual de pessoas em domicílio com energia elétrica por município em 2000

Fonte: MME (2005) apud Rodrigues (2006).

Silva (2005), indica que o índice de atendimento da região norte em 2002, apresentado na tabela 2.2, alcançava uma média de 70%, calculado a partir dos índices de cada estado da região, também apresentados, corroborando para as expectativas de universalização para após o ano de 2012. Entretanto, como se trata de um índice médio, onde estão incluídos os mercados das capitais e das sedes dos municípios, cujos índices de atendimento são certamente maiores, significa que a maior parte dos municípios desses estados possuía valores abaixo dessa média, implicando nos prazos máximos citados anteriormente.

Tabela 2.2 - Índice de atendimento dos estados do norte do Brasil Fonte: Silva (2005).

	Índice de atendimento em 2002 (%)
BRASIL	91
REGIÃO NORTE	70
Rondônia	64
Acre	69
Amazonas	72
Roraima	70
Pará	70
Amapá	88
Tocantins	72

A Resolução 223 da ANEEL ainda dispõe sobre as metas a serem alcançadas pelas concessionárias em função do Índice de Atendimento, mostradas na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Prazo máximo para a universalização para as concessionárias
Fonte: ANEEL (2003).

Índice de Atendimento (I_a)	Prazo Máximo para Universalização
$I_a > 99,5\%$	2006
$98\% < I_a < 99,5\%$	2008
$96\% < I_a < 98\%$	2010
$80\% < I_a < 96\%$	2013
$I_a \leq 80\%$	2015

Para Rodrigues (2006), o desafio da universalização dos serviços de energia elétrica no Brasil tem as mesmas proporções de dificuldades do enfrentamento das desigualdades sociais e regionais.

Segundo MME (2004), o Brasil possuía 80% dos excluídos ao acesso da energia elétrica vivendo na área rural, cuja população correspondia a 20% do total do país. No entanto, essa população tende a ser em maior porcentagem, haja vista que as estatísticas oficiais seguem critério legal datado de 1938, assimilando

somente sede administrativa e cidade. Além disso, a eletrificação rural se caracteriza por baixa atratividade para as concessionárias (RODRIGUES, 2006).

Por conta da concentração na área rural de consumidores não atendidos em eletrificação é que surgiram as cooperativas de eletrificação rural que, em conjunto com a participação financeira de estados e municípios, buscavam atender a essa população, reduzindo as desigualdades, destacando-se os implementados em São Paulo e Minas Gerais no final da década de 50, início da década de 60.

Os primeiros programas em escala nacional surgiram no início da década de 70 com o auxílio do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e do Ministério da Agricultura. O Grupo Executivo de Eletrificação Rural (GEER) e o Fundo de Eletrificação Rural (FUER) implantaram o I e o II Programas de Eletrificação Rural (PNER), com empréstimos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e recursos da União. Entretanto, a distribuição por região das propriedades eletrificadas pelo GEER foi muito desigual. A Região Sul ficou com 56,3%, a Região Nordeste com 25,5%, a Região Sudeste com 10,5% e a Centro-Oeste com 7,7% das propriedades eletrificadas (FUGIMOTO, 2005).

Nos anos seguintes surgiram o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – Prodeem (1994), o Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo (1999-2002) e o Programa Luz para Todos (2002-2010), abordados a seguir.

Instituído por Decreto Presidencial em 27 de dezembro de 1994, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – Prodeem direcionava-se ao atendimento das populações rurais dispersas não supridas por energia elétrica pela rede convencional. Três eram os objetivos principais desse programa: viabilizar a instalação de pequenos sistemas elétricos, baseados em fontes energéticas descentralizadas; utilizar as fontes renováveis em complementação ao uso de fontes energéticas convencionais; e capacitar recursos humanos no intuito de promover o desenvolvimento das tecnologias e da indústria nacional.

O Prodeem fazia parte de um programa plurianual do Governo Federal chamado Programa Avança Brasil. Em 2001 foi selecionado como alternativa estratégica, constituindo-se um dos 15 programas do Projeto Alvorada, com acompanhamento especial do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão – MPOG, com isenção de contingenciamento de orçamento.

Segundo Silva (2005), o Prodeem, na prática não cumpriu com seus objetivos, pois fez uso apenas de sistemas fotovoltaicos, com a maior parte dos componentes importados, criando problemas para a formação de estoques e de peças de reposição, resultando na descontinuidade do atendimento de inúmeras comunidades, criando um passivo ambiental considerável, em nada contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e da indústria nacional.

Ainda segundo Silva (2005), as instalações de sistemas fotovoltaicos foram executadas apenas em escolas, postos de saúde e poços artesianos, sem o controle adequado, negligenciando as demandas residenciais, irregularidades estas constatadas pelo Tribunal de Contas da União em auditoria realizada em 2002.

Fugimoto (2005), também relata as irregularidades do Prodeem constatadas pelo TCU, onde dos sistemas energéticos inspecionados somente 23,4% estavam instalados. A tabela 2.4 apresenta a situação dos equipamentos amostrados pelo TCU em 2001.

Tabela 2.4 – Situação dos equipamentos do Prodeem amostrados pelo TCU em 2001.

Fonte: Fugimoto (2005).

Situação dos equipamentos	Quantidade	Percentual
Instalados e funcionando	241	23,4%
Instalados e não funcionando	135	13,1%
Estocados	138	13,4%
Inexistentes	470	45,7%
Em outras condições	45	4,4%

Rodrigues (2006) descreve que o Prodeem foi reestruturado e incorporado, pelo Programa Luz para Todos, com a denominação de Plano de Revitalização e Capacitação do PRODEEM - PRC-PRODEEM, cuja proposição é a eletrificação de diversas escolas com o intuito de beneficiar 200 mil alunos da rede pública, treinar cerca de 400 técnicos, capacitar 14 mil agentes comunitários, além de recuperar 1.000 poços de água no Nordeste e 7 mil sistemas fotovoltaicos que apresentaram defeitos durante a primeira fase do programa. Ainda segundo a

autora, o conceito do programa mudou de ação de infraestrutura para se tornar de inclusão social e desenvolvimento.

O Programa Nacional de Eletrificação Rural Luz no Campo foi criado pelo Decreto Presidencial, de 2 de dezembro de 1999, com o objetivo de eletrificar um milhão de propriedades rurais até 2002. Sua meta era atingir 100% da eletrificação rural em oito estados brasileiros: São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Santa Catarina, Paraná, Goiás, Rio Grande do Norte e Pernambuco. A figura 2.3 ilustra as metas por estado.

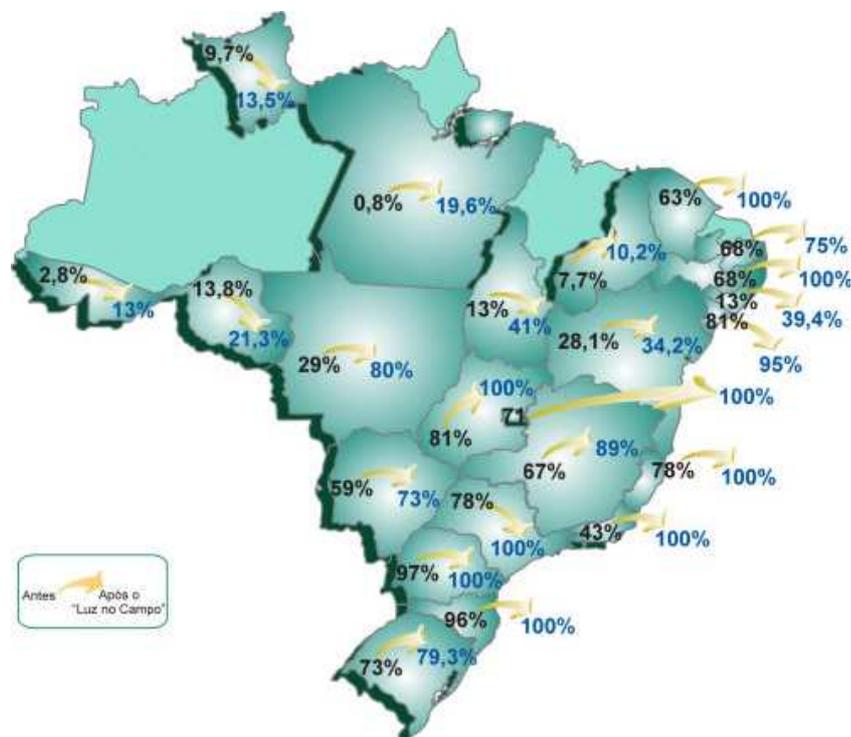


Figura 2.3 - Metas do Luz no Campo por estado

Fonte: Pertusier (2000) apud Fugimoto (2005).

Depreende-se da figura 2.3 que a região Norte ficou praticamente de fora do Programa Luz no Campo, onde apenas o Mato Grosso possuía uma meta considerável. Observa-se que os estados do Amazonas, Amapá e Maranhão não faziam parte dessas metas.

Os recursos para a execução do programa advinham da Reserva Global de Reversão – RGR¹, cujos financiamentos eram realizados diretamente com as concessionárias.

O número de ligações realizadas pelo Luz no Campo até ser sucedido pelo Luz para Todos foi de 584.000, com investimentos em torno de R\$ 1,6 bilhão. A tabela 2.5 apresenta as ligações por região.

Tabela 2.5 – Ligações efetivadas pelo Luz no Campo por região Fonte: Rodrigues (2006).

Região	Número de ligações
Norte	53.967
Nordeste	267.487
Centro-oeste	63.800
Sul	41.535
Sudeste	156.946
Total	583.735

Verifica-se na tabela 2.5 que a região nordeste foi a mais contemplada com cerca de 45,82 % das ligações, seguida pela região sudeste com 26,89%.

O Programa Luz para Todos – PLpT foi instituído por meio do Decreto 4873/03 de 11 de novembro de 2003, visando atender à população rural, dado o contexto em que 80% da exclusão elétrica se encontrava nesse meio. Àquela altura os menores índices de eletrificação rural encontravam-se nos estados da região norte, acrescidos de Piauí e Maranhão, e o estado da Bahia possuía o maior número absoluto de excluídos.

Mais do que apenas um programa de eletrificação, foi idealizado como um programa de inclusão social, onde o esforço da eletrificação contemplava também

¹ A Reserva Global de Reversão (RGR) é um encargo equivalente a 2,5% dos investimentos efetuados pelas concessionárias de geração, transmissão e distribuição do setor elétrico brasileiro, limitados a 3% da receita anual, pago mensalmente, cuja finalidade é prover recursos para reversão e/ou encampação dos serviços públicos de energia elétrica. Outra destinação legal desse encargo é o financiamento de expansão e melhoria dos serviços do setor elétrico, bem de fontes alternativas, além de financiar estudos de inventário e viabilidade de aproveitamentos de novos potenciais hidráulicos, bem como para desenvolver e implantar programas e projetos destinados ao combate ao desperdício e uso eficiente da energia elétrica.

melhorar a prestação de serviços à população beneficiada, integrando-o aos diversos programas sociais e de desenvolvimento rural da União, Estados e Municípios, visando a incrementação da produção agrícola, da demanda por energia elétrica e da renda.

A meta prevista era de eletrificar, até 2008, 2 milhões de domicílios rurais, cerca de 10 milhões de brasileiros, cuja renda de 90% dessas famílias correspondia a menos de 3 salários mínimos, equivalente a US\$ 793,50, segundo IBGE (2000) *apud* MME (2003), distribuídas na cronologia apresentada na tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Cronologia das ligações previstas pelo PLpT

Fonte: MME (2004).

Ano	Número de ligações
2004	150.000
2005	620.000
2006	630.000
2007	300.000
2008	300.000

Vale salientar que o prazo estabelecido pelo PLpT antecipava a universalização pretendida pela ANEEL, por meio da Resolução 223, de 29 de abril de 2003, que é o ano de 2015, para o atendimento de pedido de ligação a novas unidades consumidoras com carga instalada até 50 kW, sem ônus para os mesmos. A meta do programa foi posteriormente prorrogada para 2010, por meio do Decreto 6.442, de 25 de abril de 2008.

Os recursos financeiros necessários para implantação do PLpT são aportados pelos estados da federação em 10% do total, pelas distribuidoras e cooperativas em 15% e o restante pelo Governo Federal por meio de uma composição de recursos a fundo perdido, proveniente da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE², e financiamento, originário da Reserva Global de Reversão - RGR.

² Os recursos da CDE são provenientes dos pagamentos anuais realizados a título de uso de bem público, das multas aplicadas pela ANEEL aos concessionários, permissionários e autorizados e das quotas anuais pagas por todos os agentes que comercializem energia com o consumidor final.

Desde seu início, o PLpT concentrou seus esforços no atendimento à consumidores por meio de extensão de rede, onde já existia geração, basicamente em locais próximos às sedes municipais, postergando o atendimento das comunidades mais distantes e dispersas na Amazônia.

Segundo Relatório de fevereiro de 2009 do Comitê Gestor do Estado do Amazonas, a concessionária Manaus Energia (atualmente Eletrobrás Amazonas Energia) atingiu apenas 29,09% da meta prevista. Informações desse Comitê dão conta de que até o final de 2010 a meta total prevista no início do Programa será alcançada, com o agravante de que o número de unidades consumidoras tinha como referência o Censo 2000 que, por razões metodológicas utilizadas pelo IBGE, órgão responsável por esse trabalho, não alcançam a área rural do estado, sem conseguir refletir a realidade deste setor. Levantamentos preliminares feitos pela concessionária Eletrobrás Amazonas Energia apontam para a duplicação desse quantitativo até o presente momento.

Uma vez esgotados os atendimentos possíveis com extensão de rede, o PLpT deverá buscar outras alternativas para cumprir sua meta de universalização, dentre elas o uso de fontes alternativas, preferencialmente renováveis, em face de que a experiência de uso de grupos geradores a diesel se mostrou inadequada ao longo dos últimos anos na região amazônica, onde um considerável número desses sistemas encontra-se inoperante, seja por falta de manutenção, seja pelos altos custos de operação. Há situações em que o transporte de cada litro de diesel consome 3 litros desse combustível.

Além disso, em locais já atendidos, como as sedes municipais, existe uma demanda reprimida, limitada pela geração, obstaculizando a implantação e/ou ampliação de atividades produtivas. Um dos gargalos para a interiorização das atividades industriais e execução de políticas públicas é a oferta limitada de energia elétrica.

2.5 SUBSÍDIO NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Específico do setor elétrico brasileiro, a Conta de Consumo de Combustível surgiu por meio do Decreto nº. 73.102/1973, considerando a Lei 5.899/1973, onde estabelecia o rateio de ônus ou vantagens decorrentes do uso de combustíveis fósseis nas termelétricas entre as concessionárias do chamado

Sistema Interligado Nacional – SIN. Àquela altura sua aplicação era exclusiva para esse sistema, tendo sido estendida para o Sistema Isolado – ISOL por intermédio das Portarias 179 e 328/1991 do Ministério da Infraestrutura.

Em 2002 a Lei 10.438 estabeleceu a duração deste subsídio até abril de 2022 e disponibilizou essa conta para uso exclusivo dos sistemas isolados, denominada, a partir de então, de CCC-ISOL, embora o rateio incluísse, ainda, o SIN. Para se ter uma idéia do montante deste subsídio, em 2009 a ANEEL aprovou o valor de R\$ 2,471 bilhões, equivalente à época da publicação (abril de 2009) a US\$1,123 bilhões.

Esta mesma Lei possibilitou a sub-rogação dos benefícios ou rateio da CCC, limitados a 75% do valor do empreendimento, na condição de aprovação pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, em favor de titular de concessão ou autorização que venha a implantar empreendimentos para a geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica em sistemas isolados que permitam a substituição total ou parcial de geração termelétrica que se utilize de combustíveis fósseis ou o atendimento a novas cargas, reduzindo o dispêndio atual ou futuro da CCC. O instrumento legal que regulamenta as condições desta sub-rogação é a Resolução nº 245, de 1999, da ANEEL.

Ressalta-se que não existe qualquer medida que procure cobrir os custos operacionais e de manutenção dos sistemas, além do fato de que a Resolução 784, de 2002, da ANEEL, incluiu o gás natural como uma das fontes possíveis de contemplação da sub-rogação da CCC, o que complica sobremaneira o fomento de energias renováveis.

A CCC sofreu alterações profundas com a edição da Lei nº 12.111 de 9 de dezembro de 2009. Em seu artigo 3º, estabelece que esse subsídio passará a reembolsar as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços públicos e instalações de distribuição de energia elétrica nos sistemas isolados a diferença entre o custo de geração e o custo médio equivalente de potência e energia elétrica no Sistema Interligado Nacional, comercializadas no ambiente de contratação regulada.

Nos custos deverão estar incluídos a energia e a potência associada contratada, a geração própria, as despesas com combustíveis, encargos, impostos, investimentos realizados, além de outros custos associados à distribuição em regiões remotas.

O direito ao reembolso se mantém até o final dos contratos de compra de potência e energia elétrica, mesmo que haja a interligação ao SIN.

A princípio a edição desta medida provisória significa redução de interesse e esforços por parte das concessionárias, permissionárias ou autorizadas no sentido de substituição de geração com uso de combustíveis fósseis por outra fonte, em face do reembolso que a legislação citada lhes garante. Entretanto, na mencionada Medida consta que sua regulamentação deve prever mecanismos que induzam à utilização de recursos energéticos locais e à valorização do meio ambiente visando à sustentabilidade.

Desta forma, a utilização da biomassa disponibilizada no rio Madeira, objeto deste trabalho, para geração de energia elétrica possibilita usufruir da sub-rogação, no caso de implantação onde já existe atendimento com termelétrica que faça uso de combustível fóssil, ou mesmo para contemplar demandas reprimidas em locais já atendidos, cujo montante pode chegar até 75% do investimento, além de reembolso do custo de geração, neste caso em qualquer circunstância no Sistema Isolado.

2.6 AS FONTES RENOVÁVEIS NA AMAZÔNIA

Em face de suas características conseqüentes de localização geográfica, da geologia, do relevo e da vegetação, a Amazônia apresenta peculiares potenciais de aproveitamento de energias renováveis para geração de eletricidade no que concerne às fontes hídrica, eólica, solar e biomassa.

A região é tida como a maior região hidrográfica do planeta, composta pelas bacias hidrográficas Amazônica e do Tocantins/Araguaia. A bacia amazônica ocupa 3.870.000,00 km² em território brasileiro, contribuindo com 133.000 m³/s, enquanto que a do Tocantins/Araguaia ocupa 967.059 km² e contribui com 11.000 m³/s (ANA, 2008).

O potencial hídrico dessa região corresponde a 112 GW, equivalente a 43% do total do Brasil (KELMANN, 2008). As principais usinas planejadas e em construção para atendimento do setor elétrico brasileiro estão localizadas na Amazônia: Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, com 3.150 e 3.300 MW respectivamente; Belo Monte, no rio Xingu, com 5.500 MW; e Estreito, no rio Tocantins, com 1.087 MW.

O Brasil possui 2203 empreendimentos de geração de energia elétrica em operação, produzindo 107.240.722 kW e está prevista uma adição de 37.395.190 kW, provenientes de 154 empreendimentos em construção e 444 outorgados (ANEEL, 2010). Da energia total gerada 75.471.427 kW são provenientes de usinas hidrelétricas de energia - UHE, 3.017.339 kW de pequenas centrais hidrelétricas – PCH³ e 182.551 kW de Central Geradora Hidrelétrica - CGH⁴. Somadas essas gerações hídricas representam, na atualidade, 72,48% do total de energia elétrica gerada no Brasil. Desse total de energia hídrica a Amazônia Legal responde pela geração de 11.249 MW em UHE, 568 MW em PCH e 2,96 MW em CGH (ANEEL, 2010).

A exploração do potencial hídrico anteriormente citado esbarra em restrições socioambientais com cerca de 16% de seu território constituído por Unidades de conservação federal, além de 25% de terras indígenas (KELMANN, 2008). Existe ainda um considerável número de Unidades de conservação estaduais. Uma outra barreira diz respeito as características topográficas, haja vista ser a região uma planície.

Segundo Souza (2003), as turbinas hidráulicas disponíveis não são adequadas às características locais, onde predomina baixa queda e pequena vazão e geradores hidrocinéticos disponíveis no mercado exigem velocidades a partir de 4,5 m/s, necessitando de identificação das potencialidades da região que não possui esse tipo de inventário.

A Amazônia brasileira, como todo o restante do País, é privilegiada em termos de radiação solar. O Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solarimétrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ/m² durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m².

Uma das restrições técnicas à difusão de projetos de aproveitamento de energia solar é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, o que torna necessário o uso de grandes áreas para a captação de energia em quantidade suficiente para que o empreendimento se torne economicamente viável (ANEEL, 2005). Ademais, sistemas fotovoltaicos apresentam altos custos para uso em processo produtivo (SOUZA, 2003).

³ Pequena Central Hidrelétrica é a designação para usinas com capacidade de geração entre 1 e 30 MW.

⁴ Central Geradora Hidrelétrica é a designação para usinas com capacidade de geração menor do que 1 MW.

Segundo Fugimoto (2005), o Tribunal de Contas da União – TCU, apresentou dados de um levantamento realizado em 2001, pela Secretaria Federal de Controle Interno, onde consta que apenas 23,4% dos sistemas fotovoltaicos instalados pelo PRODEEM estavam funcionando adequadamente e 45,7% foram classificados como inexistente. Esses números revelam a necessidade de maior maturação quanto à gestão dessa tecnologia na região.

No que concerne à energia eólica, a Amazônia apresenta potencial da ordem de 12,8 mil MW, segundo o Atlas eólico brasileiro de 2001, concentrado basicamente no nordeste do estado de Roraima e litorais dos estados do Amapá e do Pará, como observado na figura 2.4. Este potencial pode ter sofrido incrementos em face do nível de desmatamento que a região tem experimentado nos últimos anos. A maior probabilidade de aproveitamento está restrita à costa do estado do Pará, em face da proximidade dos centros de carga. Roraima apresenta ainda restrições adicionais concernentes a questões ambientais pela considerável proporção de área indígena naquele estado, cerca de 60%.

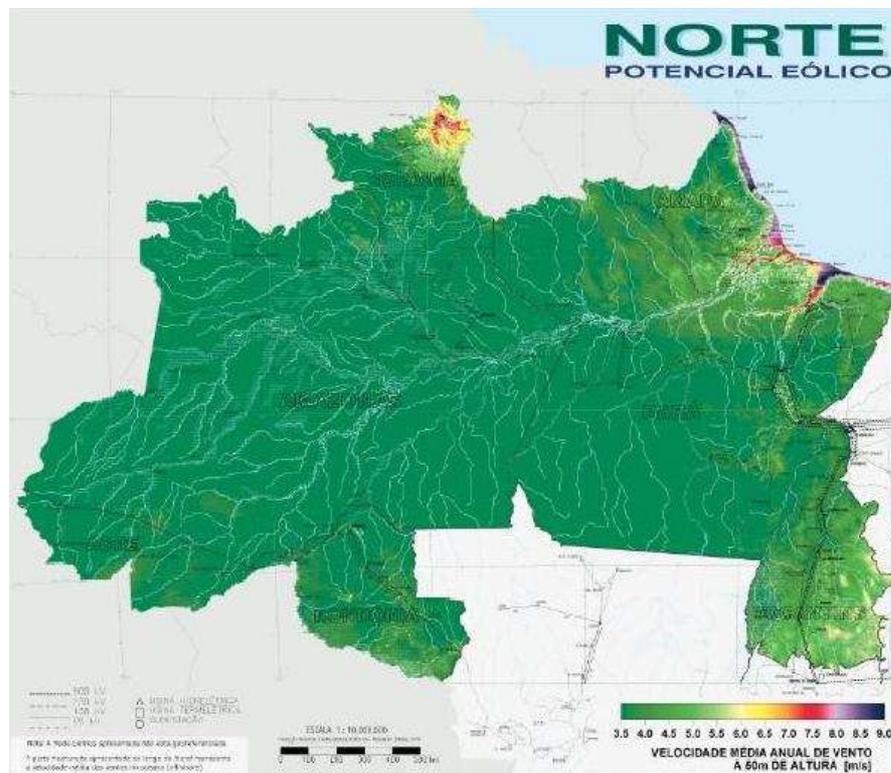


Figura 2.4 – Potencial eólico da região norte

Fonte: CRESESB (2001).

Em que pese as opções acima descritas quanto ao aproveitamento de energia renovável para geração de eletricidade na Amazônia, este trabalho está focado na utilização de biomassa, mais especificamente na biomassa lenhosa submersa no rio Madeira, disponibilizada por fenômeno natural, cuja retirada é obrigação do estado.

2.7 CONVERSÃO DE BIOMASSA EM ENERGIA

Pode-se resumir a conversão da biomassa em energia em três processos: físico-químico, biológico e termo-químico (CORTEZ, LORA e GOMEZ, 2008). A figura 2.5 apresenta um esquema que mostra os processos de uso da biomassa para fins energéticos.

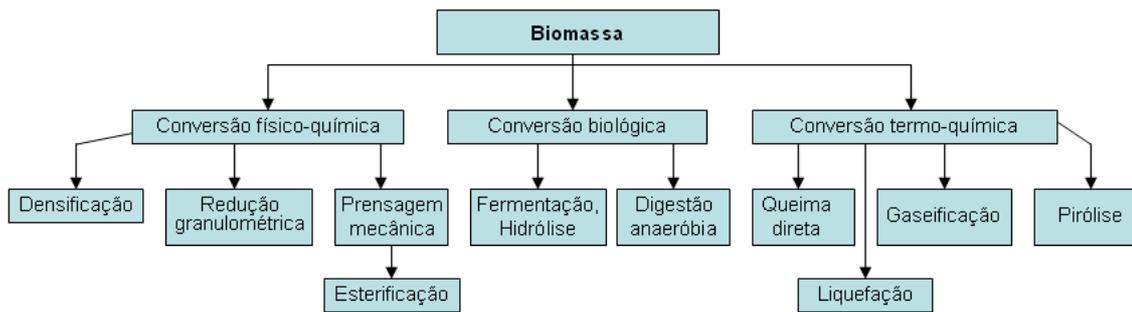


Figura 2.5 – Esquema de uso da biomassa para fins energéticos

Fonte: Adaptado de Cortez, Lora e Gomez (2008)

O processo físico-químico consiste em densificar a biomassa, transformando-a em briquetes ou pellets, reduzir sua granulometria, ou executar sua prensagem mecânica, para extração de óleos vegetais, que podem, a *posteriori*, sofrer esterificação.

A investigação na busca de combustíveis de origem vegetal remonta épocas bem anteriores ao que se chamou de primeira crise do petróleo, ocorrida no final da década de 1970. Em 1900, na cidade de Paris, durante a Feira Mundial, um motor ciclo Diesel de fabricação da companhia francesa Otto, funcionou usando óleo de amendoim, sem qualquer adaptação da máquina (KNOTHE *et al*, 2006). Segundo esses autores, a idéia de usar esse óleo vegetal foi do Governo francês sem a

participação de Rudolph Diesel, o criador do motor, embora ele tenha conduzido testes análogos nos anos subseqüentes e se tornado defensor deste conceito.

Durante a Segunda Guerra Mundial, óleos vegetais foram usados como combustíveis de emergência, dentre outras aplicações, levando, inclusive, o Brasil a proibir exportações de óleo de algodão (KNOTHE *et al*, 2006).

O uso de óleos vegetais apresenta algumas barreiras para sua difusão, dentre elas a questão do custo, bem acima dos derivados de petróleo, tanto na obtenção quanto no uso e, recentemente, a competição de seu uso como alimento. Essa competição efervesceu nos últimos anos graças a alta inflacionária dos preços dos alimentos, consequência do aumento do consumo, sobretudo nos países em desenvolvimento, notadamente China e Índia, resultante do incremento positivo do poder aquisitivo da população mundial.

Embora a literatura apresente um comportamento satisfatório dos óleos vegetais como combustível, sua viscosidade cinemática é superior à de combustíveis de origem fóssil, provocando problemas operacionais com a ocorrência de depósitos nas partes internas dos motores de combustão interna, como os de ciclo Diesel e Otto. Para reduzir tais depósitos foi desenvolvida a técnica de pré-aquecimento dos óleos, além de partida e parada com o uso de combustível fóssil.

Demais estratégias usadas para obtenção de combustíveis foram a pirólise, o craqueamento e outros métodos de decomposição dos óleos vegetais.

O processo biológico pode ocorrer por meio de fermentação e digestão anaeróbia.

Na fermentação os açúcares de plantas são transformados em alcoóis (etanol e metanol), por ação de microorganismos. As plantas usadas em maior escala são, normalmente, batatas, no Japão, milho nos Estados Unidos da América, trigo e beterraba, na Europa e cana-de-açúcar, no Brasil e Ilhas Maurício.

A digestão anaeróbia é um processo simples e natural que ocorre com quase todos os compostos orgânicos, por meio da ação de bactérias anaeróbias, sem a presença do ar, provocando a decomposição do material, liberando gases conhecidos como biogás. A composição desse biogás é basicamente metano e dióxido de carbono (50% a 75%). É um processo muito difundido nas regiões rurais de alguns países como a China e a Índia. Além do gás, a digestão anaeróbia tem como efluente material que pode ser usado como fertilizante.

O processo termoquímico pode ser dividido em pirólise, combustão direta, transesterificação, liquefação e gaseificação.

A pirólise é o mais antigo processo utilizado pelo homem para transformar biomassa em um combustível de melhor qualidade, mais denso, menos poluente e de melhor poder calorífico, essencialmente carvão, embora o processo tenha como resultado gases, alcatrão e ácido piro - lenhoso. Esse processo consiste em elevar lentamente a temperatura da biomassa, geralmente até valores entre 300^oC e 600^oC, com rarefação de ar, até que todo o material volátil seja retirado.

O elevado teor de umidade da biomassa é o principal problema da pirólise. Via de regra, a quantidade de carvão gerado é de 10% a 30% do total de lenha utilizada.

Há, ainda, o processo de pirólise rápida, consistindo em elevar a temperatura a valores entre 800^o C a 900^o C em altas velocidades de aquecimento em curtos tempos de residência. Como resultado deste processo apenas 10% do material é transformado em carvão e em torno de 60% em gás rico em hidrogênio e monóxido de carbono, competindo com a gaseificação, muito embora os problemas com tratamento de resíduos se tornem maiores do que na pirólise convencional.

A liquefação consiste na obtenção de combustíveis líquidos a partir de misturas de biomassa triturada com óleos ou materiais solúveis com monóxido de carbono, em presença de um catalisador alcalino, em condições específicas de pressão e temperatura. Esse líquido pode ser usado como combustível em fornos.

O processo de combustão direta é usado quando o produto final desejado é a energia calorífica. Geralmente seu uso ocorre em cocções de alimentos por meio de fogões à lenha, fornos de metalúrgicas ou caldeiras. Embora seja de singular praticidade, sua eficiência é muito baixa. Problemas relacionados à alta umidade e a dificuldades de transporte e armazenamento são barreiras características desse processo.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, metade da população do mundo se utiliza de lenha para cocção de alimentos, provocando 1 milhão e meio de óbitos anuais, por conta de doenças causadas pela inalação da fumaça advinda dessa atividade, a chamada poluição doméstica, sobretudo às mulheres e crianças.

Há ainda a possibilidade de utilização da energia calorífica para geração de energia elétrica. Nesta rota tecnológica a biomassa é queimada para geração de calor usado para a obtenção de vapor, que é aproveitado em turbinas a vapor que,

por sua vez, acionam geradores de eletricidade. Nesta situação a pressão deve ser a menor possível para viabilidade econômica. Há casos em que existe interesse em aproveitar o calor de forma industrial, ocasião em que a pressão pode necessitar de incremento.

A transesterificação consiste na reação de um lipídio com um álcool, formando éster e glicerol. Como a reação se processa lentamente, é usado um catalisador para acelerá-la. O éster purificado é o que se denomina de biodiesel, cujas propriedades são similares ao óleo diesel. Na prática o lipídio pode ser um óleo ou gordura de origem animal ou vegetal e o álcool etanol ou metanol.

Uma definição simples para o biodiesel é a de um combustível capaz de substituir o diesel em motores do ciclo diesel, obtidos a partir de matéria-prima renovável proveniente de biomassa (CORTEZ *et AL*, 2008).

No Brasil a definição desse combustível está prescrita em lei, a de número 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que em seu artigo 4º, inciso XXV, define “Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

Entretanto o termo biodiesel é usado para os ésteres metílicos e etílicos, obtidos pelo processo de transesterificação das gorduras vegetais ou animais. Nesta reação a gordura animal ou vegetal, chamadas de triacilglicerol (três ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerol), reage com álcool metanol ou etanol, de tal sorte que o glicerol é separado dos ácidos graxos que, por sua vez, são ligados ao álcool, formando um monoglicerido (éster metílico), no caso do metanol, ou um diglicerido (éster etílico), para o caso do etanol. A figura 2.6 mostra a reação de transesterificação de um triacilglicerol.

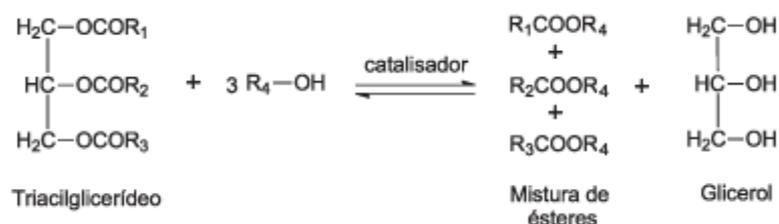


Figura 2.6 – Reação de transesterificação de um triacilglicerídeo

Fonte: Knothe *et al* (2006).

A reação, porém, precisa de catalisadores que geralmente são incorporados ao produto, necessitando a adoção de purificadores, o que encarece o custo final do biodiesel. Os catalisadores mais comuns são carbonatos de sódio ou de potássio, hidróxidos ou alcóxidos de metais alcalinos ou, ainda, alcoólatos básicos. A busca por catalisadores que possam ser reutilizados e que não contaminem o produto final está em fase de desenvolvimento em organizações de pesquisa, inclusive fazendo uso de nanotecnologia.

Segundo Knothe *et al* (2006), muitas das especificações hoje existentes para o biodiesel foram definidas de tal modo que apenas ésteres metílicos podem ser classificados como tal, muito embora outros alcoóis possam ser usados. Ainda segundo esses autores, o álcool mais usado para a produção de biodiesel é o metanol porque é o de menor custo.

A tabela 2.7, elaborada por RIBEIRO,2006, apud CORTEZ, 2008, apresenta algumas características do biodiesel para as rotas metílica e etílica.

Tabela 2.7 – Características do biodiesel para as rotas metílica e etílica

Fonte: Cortez *et al* (2008)

	Éster Metílico	Éster Etílico
Conversão (óleo-biodiesel)	97,5%	94,3%
Glicerina total no biodiesel	0,87%	1,40%
Viscosidade	3,9 a 5,6 cSt@40° C	7,2% sup. ao éster metílico
Potência em relação ao diesel	2,5% menor	4% menor
Consumo em relação ao diesel (%)	10% maior	12% maior
Quantidade de álcool/1000 l de biodiesel	90 kg	130 kg
Preço médio do álcool	US\$190/kg	US\$360/kg
Excesso de álcool recomendado	100%	650%
Proporção molar álcool:óleo recomendado	6:1	20:1
Temperatura recomendada	65° C	80° C
Tempo de reação	45 minutos	80 minutos

O Brasil apresenta grande potencial para exploração desse combustível, em virtude de suas características geográficas, assim como dos benefícios sociais e ambientais que pode trazer.

A liquefação de biomassas pode ser definida genericamente como a obtenção de líquidos (óleos) a partir de materiais lignocelulósicos (CORTEZ e LORA, 1997). O processo de produção consiste em reação da biomassa triturada em um meio líquido com CO, usando-se catalisadores alcalinos.

A gaseificação da biomassa consiste em submetê-la a elevadas temperaturas, da ordem de 600° C a 1500° C, de tal maneira que ocorre a oxidação, obtendo como resultado gases, chamados de *producer gas* ou gases pobres, que podem ser usados para geração de energia calorífica ou elétrica.

A gaseificação ocorre por meio de processo de combustão, reação de óxido-redução onde o oxidante é o oxigênio e, neste caso, o redutor é a biomassa. A fonte de oxigênio normalmente é o ar atmosférico, procedimento de menor custo, porém, dependendo da qualidade do gás que se deseja, pode ser usado o oxigênio puro ou, até mesmo, vapor d'água.

No processo de gaseificação, busca-se a combustão praticamente completa, caso em que a quantidade de oxigênio é maior do que a estequiometricamente necessária.

Quando o ar atmosférico é usado como fonte de oxigênio, o gás obtido possui poder calorífico muito baixo, da ordem de 5MJ/Nm³, contendo uma grande quantidade de nitrogênio em seu volume, em torno de 50%. No caso de se usar o oxigênio puro ou vapor d'água, o gás obtido possui poder calorífico bem superior, alcançando valores entre 10 a 15 MJ/Nm³.

Além da fonte de oxigênio, o processo de gaseificação de biomassa tem relações de dependência com a pressão, a temperatura e o tempo de residência em que ocorre a combustão.

Pode-se dividir o processo de gaseificação da biomassa em várias etapas com complexas reações químicas, ainda hoje não bem totalmente conhecidas. De forma simples, essa divisão pode ser feita em cinco etapas:

- Pirólise – onde ocorre a decomposição térmica, cujas temperaturas giram em torno de 600° C. Ocorre a formação de coque, gases, alcatrão e condensáveis;

- Oxidação de parte do carbono fixo do combustível – fonte de calor para a volatilização e gaseificação, com a formação de CO e CO₂;
- Gaseificação – ocorrem reações entre os gases e o coque residual e entre os produtos já formados, resultando em 2CO, CO, H₂, CH₄, CO₂ e 3H₂;
- Craqueamento do alcatrão – destruição das moléculas que formam os compostos do alcatrão, obtendo-se CO, CO₂ e CH₄;
- Oxidação parcial dos produtos da pirólise, formando-se CO₂ e H₂.

Quando se deseja fazer uso da rota tecnológica de geração de eletricidade a partir da gaseificação, é preciso que o gás esteja limpo, o que é feito por meio de sistemas de filtragem. Usualmente o principal problema é a presença do alcatrão e de particulados. O alcatrão é uma substância betuminosa, negra e viscosa composta por centenas de substâncias químicas, condensável quando os gases atingem temperaturas inferiores a 500°C, causando sérios problemas em motores de combustão interna e turbinas a gás, formando crostas que entopem as tubulações. Os particulados são partículas muito finas de sólidos presentes no gás, formado pela parte não volátil da biomassa, também danosos aos equipamentos mencionados.

O uso mais eficiente da gaseificação acontece quando há o aproveitamento para geração combinada de eletricidade e calor (co-geração), caso em que é desejável um gás de qualidade média para alta, o que implica em uso de sistemas adequados de filtros.

A gaseificação de biomassa se apresenta como alternativa interessante para reduzir a dependência de combustíveis fósseis de regiões ou países, sobretudo em período de consideráveis flutuações nos preços, como o que atualmente se vivencia. Destaque deve ser dado para pequenas gerações, de algumas dezenas e até centenas de kW, situações em que este processo se mostra competitivo frente à queima direta da biomassa ou de combustíveis fósseis, quando utilizados em motores de combustão interna ou turbinas a gás. Destaca-se, ainda, o potencial de uso em comunidades isoladas na Amazônia, onde a biomassa apresenta grande potencial pela eventual disponibilidade a custos competitivos.

O equipamento usado para obtenção de gás pobre é chamado de gaseificador, abordado no capítulo 3.

2.7 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Como em qualquer outro investimento no mercado, o setor elétrico também necessita de análises econômicas das opções disponíveis para a tomada de decisão por parte do investidor que, via de regra, analisa primordialmente a questão da viabilidade econômica em detrimento das demais dimensões envolvidas no empreendimento. O atendimento à questão de viabilidade econômica é, geralmente, condição *sine qua non* na ótica do mercado capitalista.

A decisão de alternativas de investimento necessita de ferramentas a serem disponibilizadas ao tomador de decisão para que o mesmo possa adotar aquela que mais se adeque às perspectivas dos acionistas ou investidores.

A lógica do investidor numa visão mais moderna é o atingimento de máximos lucros em um determinado período de tempo, ao invés do imediatismo do lucro que norteava as organizações no passado. Desta forma, segundo Camargo (1998), os métodos de análise de investimentos que se ajustam ao conceito moderno supracitado são os seguintes: o *Payback*; o Valor Líquido Presente; e a Taxa Interna de Retorno.

O *Payback* consiste em avaliar o tempo que um determinado investimento levaria para o retorno do valor investido, ou seja, é o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor do investimento. Neste método, nem juros nem rendimentos são levados em consideração após a recuperação do capital investido. É o mais simples dos métodos de análise de investimentos e o mais pobre, já que não considera o valor temporal dos recursos financeiros envolvidos, tampouco o valor recebido após a recuperação do capital. Geralmente é exigido o uso de outros métodos para complementação de ferramenta em processo decisório.

Investimento significa a saída de recursos financeiros, que se espera retornar em determinado espaço de tempo (meses ou anos) por meio dos lucros líquidos. O *Payback* é exatamente esse tempo demandado e algebricamente pode ser determinado usando a equação 2.1.

$$PB = \frac{I_0}{\sum LL} \quad [1]$$

Sendo:

- *PB*= *Payback* (unidade de tempo);

- I_0 = Investimento Inicial (unidade monetária);
- LL = Lucro Líquido em determinada unidade de tempo (unidade monetária).

Existe a possibilidade de se fazer uso do chamado *Payback* descontado, onde se considera o valor presente das receitas incluindo a taxa de juros.

O método apresenta como inconveniente não considerar os lucros líquidos após o ano de recuperação do investimento, desaconselhável ao se avaliar projetos de longa duração. Suas vantagens dizem respeito à facilidade de cálculo e de compreensão, além de fornecer uma idéia do grau de liquidez e do risco do empreendimento, adequado à processos de avaliação quando o contexto é de risco elevado e de vida limitada.

O método do Valor Líquido Presente (VLP) ou Valor Atual Líquido determina o valor presente dos desembolsos e receitas futuras de um determinado investimento, descontando o investimento inicial, considerando taxa de juros e um tempo determinado. Em outras palavras é o cálculo de quanto o custo inicial de um empreendimento acrescido de futuros pagamentos estaria valendo atualmente. É a ferramenta mais usada pelas grandes empresas (COPELAND, 2001).

Este método é utilizado para processo decisório de investimentos em empreendimentos de longo prazo. Quando seu resultado for maior que zero indica potencial de investimento no empreendimento em questão. Se o VLP for igual a zero, o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas é igual ao valor presente das saídas de caixa. Para o caso em que o VLP for menor do que zero, significa que o investimento não é economicamente atrativo, já que o valor presente das receitas é menor do que o valor presente dos investimentos. A equação 2.2 a seguir permite calcular o Valor Líquido Presente.

$$VLP = \sum_1^n \frac{FC_n}{(1+i)^n} - I_0 \quad [2]$$

Sendo,

FC – Fluxo de caixa, ou seja, a diferença entre os valores de receita e despesa no caixa do empreendimento (unidade monetária);

I_0 – Investimento inicial (unidade monetária);

- i – Taxa de juro (% na unidade de tempo do período em análise);
- n – período de análise (unidade de tempo do período considerado).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que torna nulo o valor líquido presente. Diferentemente da VLP a TIR tem seu resultado expresso em porcentagem e não em valor monetário. Usando a equação 2.2 anteriormente dada, a taxa interna de retorno corresponde ao valor de i para uma VLP igual a zero.

Investimentos são considerados rentáveis quando a TIR for maior do que a chamada taxa mínima de atratividade, que é o valor dos juros máximos que um investidor se propõe a pagar por um capital emprestado, ou o mínimo que se propõe a ganhar quando faz um investimento. Normalmente essa taxa é tomada a partir de algumas taxas balizadoras como a caderneta de poupança e os fundos de investimento, além de considerar os riscos do negócio e a liquidez, ou seja, a capacidade e a velocidade com que o empreendedor pode sair do mesmo.

Os métodos descritos são denominados de métodos determinísticos, podendo se valer da análise de sensibilidade para avaliar os riscos e incertezas do investimento. Quando há disponibilidade de dados históricos é possível lançar mão dos métodos probabilísticos os quais decorrem dos métodos determinísticos, sendo que as variáveis são representadas por distribuições de probabilidade. Tais métodos possibilitam uma análise mais precisa do risco do empreendimento.

De outra sorte, quando os dados são pouco confiáveis, pode-se lançar mão dos métodos possibilísticos. Em tais métodos, que adotam procedimentos semelhantes aos métodos determinísticos, as variáveis são representadas como números fuzzys.

Em todos os métodos é possível incorporar a influência da inflação e da depreciação dos bens envolvidos.

Capítulo 3

TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA USO DE BIOMASSA NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

3.1 INTRODUÇÃO

A forma de energia mais usada tendo biomassa como fonte é a calorífica, seja em uso doméstico para cocção de alimentos ou aquecimento de ambientes, seja em indústrias para uso desta energia no processo produtivo. Entretanto, sua utilização na geração de energia elétrica tem se mostrado promissora, sobretudo no aproveitamento de resíduos de processos agrícolas, madeireiros e da indústria de celulose, bem como em gerações distribuídas, mormente para atendimento de sistemas isolados em países em desenvolvimento, em que pese seu maior desenvolvimento tecnológico com as maiores eficiências ocorra em usinas com grandes potências (acima de 200 MW), instaladas em países desenvolvidos.

O aproveitamento do bagaço da cana de açúcar exemplifica esse potencial, no caso do Brasil, onde praticamente toda a indústria suco-alcooleira é autossuficiente em energia elétrica, ocorrendo, ainda, a venda de excedentes em inúmeros casos.

A rota tecnológica de mais intenso uso nesses processos de geração de energia elétrica é a de geração de vapor. No entanto, há outras possibilidades, como é o caso da gaseificação, sobretudo para pequenas potências, onde existe a possibilidade de incremento da eficiência com o uso da co-geração.

Neste Capítulo são descritas essas rotas tecnológicas com ênfase em ciclos a vapor e gaseificação, haja vista serem as tecnologias passivas de serem utilizadas no aproveitamento da biomassa flutuante do rio Madeira.

3.2 CICLO A VAPOR

Esta rota tecnológica usa biomassa para produção de calor, aproveitado para gerar vapor em pressão e temperatura bem definidos, usado para movimentar uma turbina a vapor ou até mesmo um motor a pistão.

Um dos problemas desse tipo de aproveitamento de biomassa é o baixo rendimento, em torno de 20% a 25%, em face da alta umidade da biomassa, da densidade e do baixo poder calorífico. Para aumentar a eficiência do sistema faz-se uso da co-geração, ou seja o aproveitamento do calor para o processo produtivo.

Outro fator que obstaculiza esse tipo de sistema é a quantidade de biomassa a ser processada, o que implica em custos mais elevados com a disponibilidade, haja vista a logística para tal. Normalmente as faixas de potência das termelétricas a biomassa são da ordem de 25 MW a 50 MW, podendo chegar, em alguns casos, a 80 MW. De maneira geral são usadas biomassas sólidas para atender a esse tipo de termelétrica, exceto quando do aproveitamento da lixívia para geração de energia nas indústrias de celulose. Salienta-se a existência de termelétricas a lenha de potências elevadas, a partir de 200 MW, em alguns países desenvolvidos, onde a lógica de fornecimento de biomassa está embasada em florestas energéticas, solucionando a problemática de disponibilidade e custos do combustível, porém aproveitando a energia calorífica em co-geração, para aumentar a eficiência.

A tabela 3.1 mostra os empreendimentos existentes na Amazônia que fazem uso de biomassa com ciclo a vapor, com base em informações do Banco de Informação de Geração – BIG da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Nessa mesma fonte são apresentadas 321 usinas que usam biomassa como fonte, instaladas no Brasil, respondendo pela geração de 4.786.954,70 kW de energia elétrica. Desse total 13 operam com lixívia, 6 com casca de arroz, 28 com resíduos de madeira, 3 com carvão vegetal, 8 com biogás e as demais 263 com bagaço de cana.

Tabela 3.1 – Empreendimentos na Amazônia com ciclos a vapor, usando biomassa

Fonte: ANEEL (2010).

Usina	Potência (MW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Combustível
Itacoatiara	9	Produtor independente	BK Energia Itacoatiara Ltda.	Itacoatiara/AM	Resíduos de madeira
Tramontina	1,5	Registrado	Tramontina Belém S/A	Belém/PA	Resíduos de madeira

Cont. da tabela 3.1 – Empreendimentos na Amazônia com ciclos a vapor, usando biomassa
 Fonte: ANEEL (2010).

Usina	Potência (MW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	Combustível
Pampa	0,4		Pampa Export. Ltda	Belém/PA	Resíduos de madeira
Bio Fuel	4,8	Registrado	Brasil Bio Fuels Ltda	São João da Baliza/RR	Resíduos de madeira
Jarí Celulose	55	Produtor independente	Jarí Celulose S/A	Almeirim/PA	Licor Negro
Simasa	8	Produtor independente	50% Companhia Siderúrgica Vale do Pindaré e 50% Siderúrgica do Maranhão S/A	Açailândia/Ma	Carvão vegetal
Viena	7,2	Auto produção	Viena Siderúrgica do Maranhão S/A	Açailândia/Ma	Carvão vegetal
Gusa Nordeste	10	Produtor independente	Gusa Nordeste S/A	Açailândia/Ma	Carvão vegetal

No intuito de reduzir emissões de CO₂ e de SO_x em termelétricas que utilizam carvão mineral, há um significativo uso do chamado *co-firing* em países como os Estados Unidos, Dinamarca e Holanda, o qual consiste na adição de biomassa ao carvão mineral em termelétricas que fazem uso desta fonte. A porcentagem de mistura pode variar de 2% a 25%. Acima desse valor os custos se elevam, haja vista a necessidade de gaseificação da biomassa previamente (BAIN *et al* (2003), apud CORTEZ, LORA e GOMES,2008).

3.3 GASEIFICAÇÃO

3.3.1 BREVE HISTÓRICO

Assim como o fogo é a pedra fundamental do início da civilização, o uso de combustíveis líquidos e gasosos é o marco histórico da era moderna da tecnologia. Muitos processos hoje usados seriam impossíveis sem esses combustíveis, além do que outros estariam com menos eficiência e mais poluentes.

Apesar de sua importância na vida moderna, o uso de combustíveis gasosos só teve início no final do século XVIII, tendo começado seu uso comercial e doméstico em 1830. Já por volta de 1850 a cidade de Londres possuía grande parte de sua iluminação a gás.

O uso de motores movidos a gás tem seu início em torno de 1881. Em 1920 caminhões e tratores usando gás foram introduzidos na Europa. Operavam tanto com carvão quanto com madeira. No entanto produziam alcatrão altamente prejudicial às partes mecânicas do motor, o que levou ao desuso.

Durante a II grande guerra houve escassez de combustível líquido, propiciando a intensificação pela busca de alternativas locais resultando na concepção e instalação de geradores movidos à gás. Com o término deste conflito mundial veio a incrementação de uso de combustíveis fósseis e o quase total abandono do uso de gaseificadores, à exceção de alguns países subdesenvolvidos.

A crise do Petróleo no final dos anos 70 trouxe à baila a retomada de pesquisas em gaseificadores.

As previsões de cientistas quanto às conseqüências climáticas causadas pelas emissões de gases de efeito estufa, sobretudo o CO₂, provocaram pressões da Sociedade aos Governos, de tal sorte que políticas públicas estão sendo adotadas no mundo inteiro buscando redução de uso de combustíveis de origem fóssil, maior responsável por essas emissões. Naturalmente, as pesquisas em gaseificadores estão sendo incentivadas, haja vista que se apresentam neste contexto como opções factíveis.

3.3.2 TIPOS DE GASEIFICADORES

Para Nogueira e Lora (2003), os gaseificadores para biomassa podem ser classificados em inúmeros tipos, dependendo de parâmetros a serem considerados. A seguir são apresentados alguns desses parâmetros e tipos:

1. Segundo o critério do poder calorífico dos gases produzidos, tem-se:
 - Gaseificadores de baixo poder calorífico – até 5 MJ/Nm³;
 - Gaseificadores de médio poder calorífico – de 5 a 10 MJ/Nm³;
 - Gaseificadores de alto poder calorífico – de 10 a 40 MJ/Nm³.
2. Segundo o critério de tipos de agente de gaseificação, estes se classificam em:
 - Gaseificadores a ar;
 - Gaseificadores a vapor, e;
 - Gaseificadores a oxigênio.
3. Segundo a pressão de trabalho, estes podem ser denominados de:
 - Gaseificadores de baixa pressão - pressão atmosférica;
 - Gaseificadores pressurizados – até 3 MPa.
4. Segundo a direção do movimento da biomassa relativo à do agente de gaseificação, tem-se:
 - Gaseificadores com leito em movimento contracorrente – alimentação da biomassa em sentido contrário à saída do gás;
 - Gaseificadores com leito em movimento concorrente – alimentação da biomassa em sentido contrário à saída dos gases;
 - Gaseificadores com leito em movimento de fluxo cruzado – alimentação da biomassa perpendicular à saída dos gases, e;
 - Gaseificadores com leito fluidizado.

Na prática os gaseificadores recebem denominação com o uso de todos os critérios acima descritos simultaneamente, ou seja, são identificados pelo poder calorífico do gás produzido, do tipo de agente gaseificador, da pressão de trabalho e do movimento da biomassa relativo ao gás. Existe, também, uma relação direta entre esses parâmetros. Por exemplo, a produção de gás de médio ou alto poder calorífico só é possível ao usar vapor ou oxigênio como agentes gaseificadores.

Entre os critérios descritos, o mais usual é o do movimento da biomassa relativo ao gás. A seguir discorre-se acerca dos tipos de gaseificadores segundo esse critério.

3.3.2.1 GASEIFICADORES COM LEITO EM MOVIMENTO CONTRACORRENTE

O mais antigo e mais simples dos gaseificadores, possui a entrada de ar pela parte inferior e a alimentação da biomassa pela parte superior, juntamente com a saída do gás. A figura 3.1 mostra um esquema desse tipo de gaseificador.

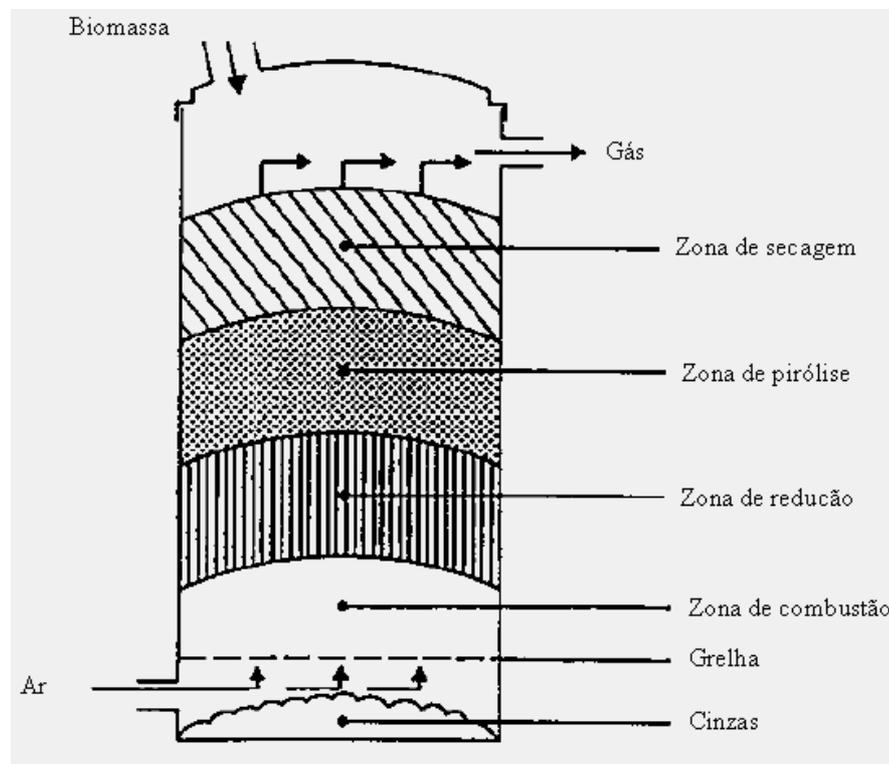


Figura 3.1 - Esquema de um gaseificador de leito em movimento contracorrente

Fonte: adaptado de Reed (2002).

Observa-se que a grelha é fixa na parte inferior, contígua à região onde ocorre a combustão. Imediatamente acima se encontra a zona de redução seguida pela pirólise e secagem. As cinzas são removidas no fundo do equipamento. O ar é introduzido pela parte inferior e na parte superior combustão e pirólise da biomassa ocorrem como resultado da transferência de calor forçada por convecção e radiação das partes inferiores.

Esses gaseificadores são os de mais baixos custos e apresentam elevada eficiência térmica, além de possibilitarem o uso dos mais variados tipos de biomassa, porém seus gases são muito sujos, de baixo poder calorífico e possuem altos teores de alcatrão, sobretudo quando a biomassa usada possui elevada umidade, restringindo seu uso para aquecimento direto (CORTEZ e LORA, 1997).

A grelha desses tipos de gaseificadores é de suma importância. Como estão diretamente conectadas com a zona de combustão, onde a temperatura atinge valores acima de 1300⁰C, os materiais que a constituem devem ser capaz de suportar tais valores, além de deixar passar as cinzas sem perder combustível. Alguns modelos fazem uso de grelhas rotativas para facilitar esse trabalho.

3.3.2.2 GASEIFICADORES COM LEITO EM MOVIMENTO CONCORRENTE

A busca pela retirada do alcatrão do gás gerado pelos gaseificadores com leito em movimento contracorrente levou ao desenvolvimento do gaseificador com leito em movimento concorrente. Neste caso o equipamento é alimentado com biomassa pela parte superior, a saída de gás ocorre pela parte inferior e a entrada de ar acontece antes ou na zona de oxidação. Isso faz com que ocorra o craqueamento do alcatrão presente no gás ou na zona de oxidação. O movimento de alimentação e de saída dos gases, portanto, ocorrem no mesmo sentido. A figura 3.2 apresenta um desenho esquemático desse tipo de gaseificador.

O baixo nível de condensados orgânicos é item favorável ao uso desse tipo de gaseificador no que concerne a aspectos ambientais.

Fator desfavorável deste equipamento reside no fato de não operar qualquer tipo de biomassa, necessitando peletizar¹ ou briquetar² aquelas com pequena densidade, por conta da dificuldade de deslocamento para baixo. Mesmo aquelas com suficiente densidade é preciso homogeneizar sua dimensão e limitá-la a cerca de 10 cm para permitir a passagem dos gases e do ar.

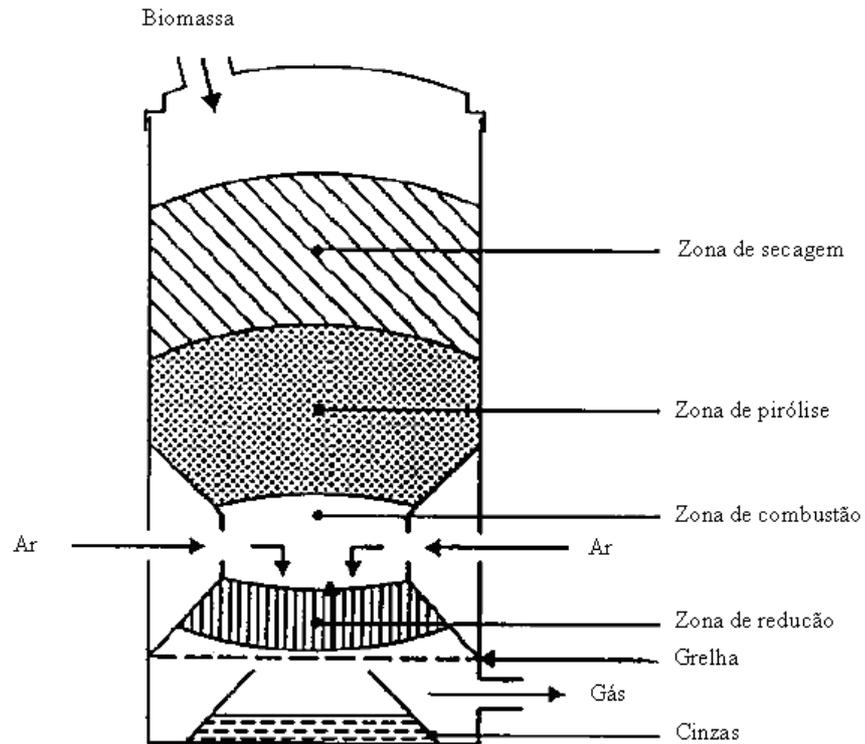


Figura 3.2 – Esquema de um gaseificador de leito em movimento concorrente

Fonte: Adaptado de Reed (2002).

No intuito de permitir a utilização de alguns tipos de resíduos agrícolas e industriais foi desenvolvido o gaseificador de leito em movimento concorrente de topo aberto.

3.3.2.3 GASEIFICADORES COM LEITO EM MOVIMENTO DE FLUXO CRUZADO

Caracteriza-se pela saída do gás lateralmente da câmara de gaseificação, perpendicular à alimentação do combustível, na mesma altura da entrada de ar, que é localizada, normalmente, na área central da zona de combustão. Seus gases resultantes possuem poder calorífico entre os dois tipos de gaseificadores anteriormente citados.

Adaptado para consumir carvão vegetal o gaseificador de leito em movimento de fluxo cruzado possui altas temperaturas (1500°C ou mais) na zona de oxidação, conseqüência de maior taxa de fornecimento de ar, que pode gerar problemas com materiais.

Uma de suas mais importantes vantagens é seu uso em equipamentos de geração em pequena escala, sendo em algumas ocasiões economicamente factível

até para geração abaixo de 10kW. Responde com rapidez às variações de carga e possui peso reduzido. A figura 3.3 apresenta um esquema com este tipo de gaseificador.

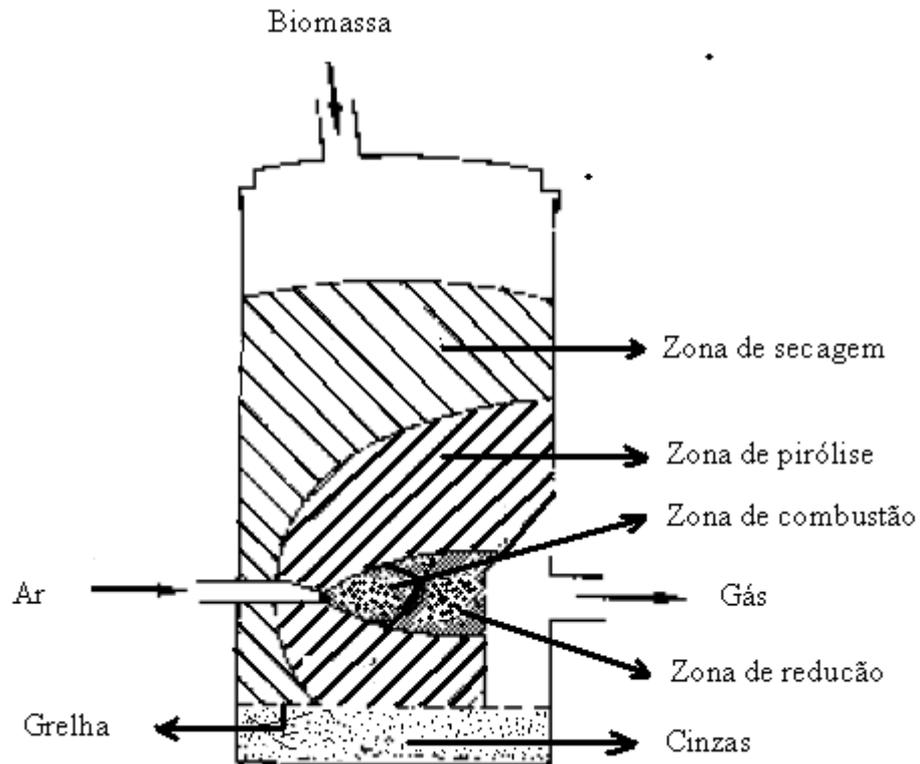


Figura 3.3 - Esquema de um gaseificador de leito em movimento de fluxo cruzado

Fonte: Adaptado de Reed (2002).

3.3.2.4 GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO

O desenvolvimento deste tipo de gaseificador deu-se a partir da necessidade de prover temperaturas uniformes e melhor eficiência no contato entre sólidos e gases em processos industriais (REED, 2002).

Neste equipamento a biomassa é alimentada diretamente a um leito que contém materiais inertes, geralmente quartzo e dolomita, pré-aquecidos, em suspensão, simulando um fluido, em razão do fluxo de ar. O combustível, ao entrar em contato com os materiais aquecidos, mistura-se rapidamente e ocorre uma quase que instantânea transferência de calor entre as partes, ocorrendo a pirólise rápida da biomassa, resultando em uma grande quantidade de materiais gasosos. O gás resultante tende a ser mais limpo, em face do maior contato entre os voláteis e

as partículas do leito (CORTEZ e LORA,1997). A figura 3.4 mostra um esquema com esse tipo de gaseificador.

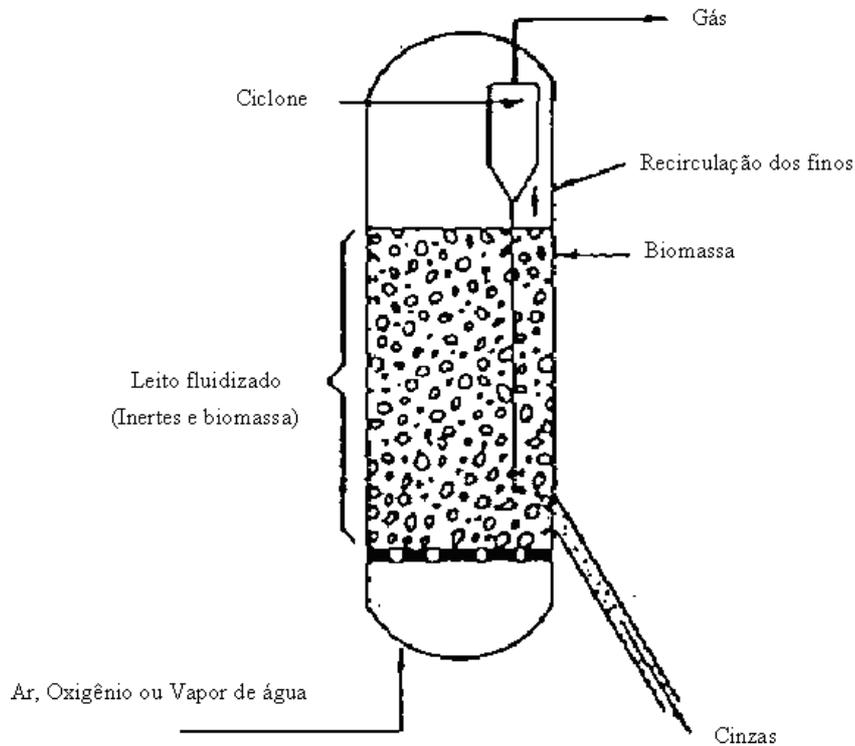


Figura 3.4 - Esquema de um gaseificador de leito fluidizado

Fonte: Adaptado de Reed (2002).

O gaseificador de leito fluidizado permite um controle mais fácil da temperatura de operação por meio de alimentação da biomassa e de ar. Desta forma pode trabalhar com temperaturas mais baixas do que os outros tipos de gaseificadores, porém em valores menores ocasionam a presença maior de alcatrão nos gases produzidos. Dependendo do uso, o alcatrão torna-se interessante por aumentar o poder calorífico do gás resultante e melhorar a transferência de calor, no entanto provoca incrustações nas tubulações (CORTEZ e LORA, 1997).

Desvantagem apresentada pelos gaseificadores de leito fluidizado diz respeito ao fato de não responderem, com a necessária velocidade, às mudanças de consumo do gás. Neste caso é preciso um aumento tanto no fluxo de ar quanto no de combustível, trazendo como conseqüência uma maior atenção na atividade de alimentação.

A utilização de gaseificadores de leito fluidizado é ainda bastante recente e se encontra em pleno processo de desenvolvimento, apresentando-se com grande

potencial. Sua vantagem está no fato de permitir o uso de combustíveis de difícil gaseificação pelos demais métodos, tais como bagaço de cana e casca de arroz. Essas biomassas apresentam umidade elevada e baixa densidade, dentre outros, como barreiras para uso como combustíveis.

3.4 SISTEMAS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA

A partir da biomassa pode-se gerar energia elétrica usando combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Quando do uso de combustíveis sólidos, a biomassa pode ser usada *in natura*, após redução e homogeneização de sua granulometria ou como carvão em geradores de vapor conectados a turbinas a vapor ou motores de pistão. Quando ocorre a disponibilidade de combustíveis líquidos ou gasosos as rotas disponíveis são motores de combustão interna ou externa, turbinas e micro-turbinas a gás e células a combustível.

Quando na hipótese de uso de combustível gasoso, a decisão pela rota tecnológica a ser adotada para geração de energia elétrica está diretamente dependente do comportamento da demanda requerida, havendo situações em que acontece superposição tecnológica, implicando na necessidade de estudo mais apurado para a tomada de decisão.

A gaseificação de biomassa produz um gás que contém contaminantes, normalmente alcatrão, particulados sólidos, amônia, metais alcalinos e sulfeto de hidrogênio. A presença desses contaminantes torna-se, às vezes, indesejadas, pois causam danos aos equipamentos energéticos (NOGUEIRA E LORA, 2003).

Os diferentes tipos de gaseificadores produzem gases com características peculiares quanto aos contaminantes. Os gaseificadores de leito fixo tipo concorrente produzem gases com menores teores de alcatrão do que os demais. Os gaseificadores de leito fixo contracorrente produzem as maiores taxas de alcatrão e menores taxas de particulados. Os gases resultantes de gaseificadores de leito fluidizado são os de maiores taxas de particulados. Embora as taxas de alcatrão em gases advindos de gaseificadores de leitos fluidizados sejam altas, são geralmente menores do que os de leito fixo contracorrente.

A escolha da rota tecnológica depende, dentre outros fatores, da faixa de potência. Essa faixa pode ser dividida em pequena, média e grande escala. Para

efeito deste trabalho, considera-se de pequena escala os sistemas que atendem até 100 kWe, de média escala até 200 MWe, e os de grande escala acima desse valor.

A seguir são abordados os sistemas para produção de energia elétrica a partir da gaseificação.

3.4.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

A utilização de motores de combustão interna usando gases de baixo poder calorífico data de meados do século passado, sobretudo usando o carvão vegetal como matéria prima, cujo baixo teor de alcatrão permite redução considerável de problemas. Durante a Segunda Grande Guerra, mais de um milhão de veículos adaptados para usar esse tipo de motor e matéria prima foram fabricados (REED, 2002). Um desses tipos de veículos é mostrado na figura 3.5.

Isso aconteceu em face das dificuldades de dispor de combustível fóssil. Essa tecnologia foi praticamente abandonada nos anos seguintes, com o fim da guerra e com o baixo preço do Diesel. A retomada do interesse por esses equipamentos aconteceu com as crises do petróleo na década de 1970. Novamente a queda dos preços do diesel inviabilizou a continuidade do uso de gaseificadores e motores de combustão interna na produção de energia elétrica até nova fase de interesse a partir dos anos 90, desta feita por razões ambientais. Busca-se o uso de fontes renováveis, em face da redução na emissão de gases causadores do efeito estufa, principalmente CO₂, visando a sustentabilidade.



Figura 3.5- Veículo movido à gás pobre usado durante a Segunda Guerra.

Fonte: Reed (2002).

Segundo Nogueira e Lora (2003), em sistemas em que a faixa de potência não ultrapassa 2MWe os gaseificadores concorrentes e contracorrentes associados a motores de combustão interna apresentam-se mais viáveis para produção de energia elétrica, enquanto que os gaseificadores de leito fluidizado são mais vantajosos para potências superiores a 5 MWe.

Motores de combustão interna têm como princípio de operação o aproveitamento da energia liberada em forma de gases expandidos, consequência da aplicação de ignição em um volume considerável de fluido em um pequeno espaço limitado, fechado. Essas explosões podem acontecer centenas de vezes por minuto. Recebem esta denominação em razão da combustão ser realizada no próprio fluido operante. Pode acontecer a partir de duas formas de ignição: centelha ou compressão. O primeiro, de ignição por centelha, é conhecido como motor de ciclo Otto, enquanto que o segundo, de ignição por compressão, é chamado de ciclo Diesel.

3.4.1.1 MOTOR CICLO OTTO

Este tipo de motor foi apresentado pela primeira vez na feira mundial em Paris, em 1878, por Nikolaus August Otto, a gás, funcionando em quatro tempos (Silva e Rugero, 2003, *apud* Muraro,2005).

Para melhor compreensão apresenta-se a explicação com apenas um cilindro, o que não é normal, pois apenas alguns equipamentos fazem uso desse tipo de motor, como é o caso de motonetas e motores de popa. O entendimento de motores com mais cilindros fica assim facilitado por se tratarem de repetições do que ocorre em um deles.

O motor com apenas um cilindro é constituído essencialmente pelas partes mostradas na figura 3.6.

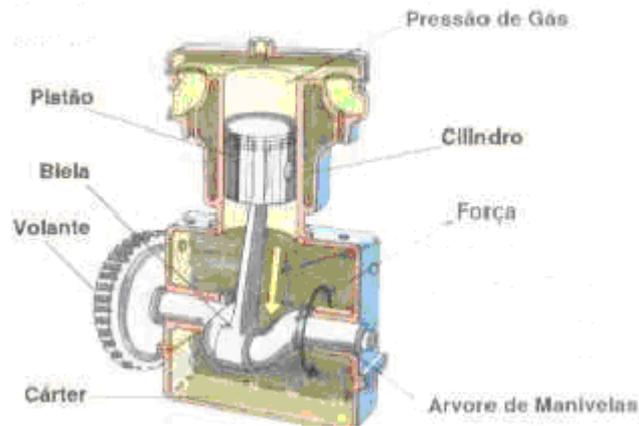


Figura 3.6 - Partes componentes de um motor ciclo Otto com 1 cilindro

Fonte: Muraro (2005).

Dentro do cilindro existe o pistão, que pode se movimentar para cima e para baixo, ligado à biela, que acompanha seu movimento. Esta, por sua vez, é conectada à árvore de manivelas, comumente chamada de virabrequim. O movimento da biela provoca o giro da árvore de manivelas, girando o volante. Este resultado de movimentos mecânicos pode ser aproveitado para inúmeras utilizações, dentre elas a geração de energia elétrica.

Na parte superior do cilindro são localizadas as válvulas de admissão e de escape, responsáveis pela alimentação de combustível e saída dos gases, respectivamente, além de velas que respondem pela ignição.

O movimento do pistão no cilindro acontece basicamente em quatro etapas. Na primeira o pistão inicia seu movimento para baixo, ao mesmo tempo em que a válvula de admissão abre, permitindo a entrada do combustível. Nesse movimento para baixo o pistão aspira a mistura ar e combustível. Na etapa seguinte, a válvula de admissão é fechada e o pistão inicia seu processo de subida, comprimindo a mistura ar/combustível. Na terceira etapa ocorre a combustão do combustível, consequência da faísca provocada pela vela. Gases em alta pressão são formados e empurram o pistão para baixo. Na etapa final o pistão volta a subir e a válvula de escape se abre, permitindo a saída dos gases, reiniciando assim um novo ciclo.

Quando o motor possui vários cilindros, este processo aumenta o giro na árvore de manivelas, permitindo maior rotação.

Segundo a FAO (1993), os motores de ignição por centelha (ciclo Otto) podem funcionar com gás pobre unicamente, embora apresente problemas relacionados à limpeza de gases advindos de gaseificadores. A presença de alcatrão e particulados são extremamente prejudiciais a esses equipamentos e, portanto, é crucial garantir baixos níveis desses componentes nos gases.

Outro aspecto importante a se considerar diz respeito ao comportamento do sistema mediante as variações de carga elétrica. Quando a carga varia, o conjunto motor-gerador tende a modificar sua rotação, o que leva a mudança no nível da tensão e da frequência geradas. Tal comportamento pode ocasionar danos às cargas elétricas supridas pelo sistema. Geralmente a superação desse problema é levada a efeito pela utilização de combustível de poder calorífico mais elevado, normalmente de origem fóssil.

3.4.1.2 MOTOR CICLO DIESEL

Após vários projetos em busca de um motor que utilizasse totalmente a energia do combustível, Rudolf Diesel, engenheiro alemão, conseguiu patentear sua idéia em 22 de fevereiro de 1893. Apenas em 1898 foi apresentada sua primeira versão, de 10 cv de potência, apelidada de “minha amante pretinha”.

Semelhante ao ciclo Otto, o ciclo diesel possui quatro fases ou tempos: aspiração, compressão, expansão e descarga. A diferença reside no fato de que não acontece centelha ou faísca para provocar a explosão do combustível com conseqüente expansão dos gases. Isso se dá graças à grande compressão do ar puro dentro do cilindro, elevando significativamente a temperatura que, combinada com o combustível, pulverizado em pequenos jatos a alta pressão, iniciam o processo de combustão, evitando o efeito de detonação que ocorre nos motores de ciclo Otto, aumentando o rendimento volumétrico. As quatro fases de funcionamento do motor ciclo Diesel são mostradas na figura 3.7.

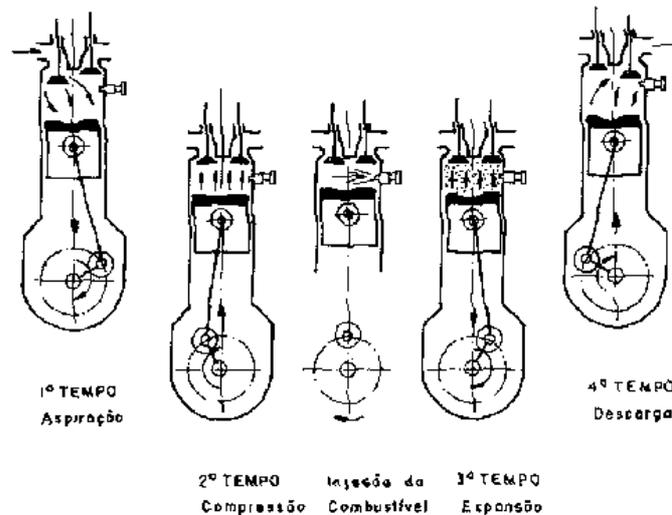


Figura 3.7 - Fases do motor ciclo Diesel

Fonte: <http://www.demec.ufmg.br>

No primeiro tempo ou fase, dita de aspiração, o pistão desloca-se no cilindro desde sua parte superior até a parte inferior, aspirando ar por meio da válvula de aspiração posicionada na parte superior.

Em seguida, no segundo tempo, chamado de compressão, fecha-se a válvula de aspiração e o pistão desloca-se da parte inferior para a superior do cilindro, comprimindo o ar. Com a compressão, o ar sofre aumento de temperatura, que será tanto maior quanto for a taxa de compressão.

Antes de atingir o limite superior do pistão, a válvula de injeção de combustível se abre, pulverizando-o para o interior da câmara. Ao encontrar o ar em elevada pressão e temperatura o combustível incendeia-se espontaneamente, empurrando o pistão para baixo. Esta fase é denominada de expansão.

No momento em que o pistão se aproxima da parte inferior do cilindro, ocorre a abertura da válvula de descarga. O pistão, então, reinicia seu processo de subida, empurrando os gases, nesta que é chamada de fase de descarga. Em seguida o processo recomeça.

De maneira análoga aos motores ciclo Otto, os de ciclo Diesel também podem funcionar com gás pobre, apresentando, também problemas com a limpeza dos gases quando advindos de gaseificadores. Ainda assim, precisam de adaptações, diminuindo o índice de compressão e instalando uma ignição por centelha, ou de transformação em um sistema dois combustíveis, gás e diesel. Neste caso, há a necessidade de usar cerca de 20% do consumo de combustível sendo óleo diesel. Apresenta a vantagem de flexibilidade de usar somente diesel

para o caso de falha no funcionamento do equipamento de gaseificação ou da falta de biomassa (FAO,2003).

Nem todos os tipos de motores diesel podem ser adaptados ao sistema de funcionamento exposto acima. Seus índices de compressão são elevados, podendo ocorrer explosões ocasionadas por pressões demasiadamente altas e por retardamento da ignição. São mais adequados os motores com injeção direta.

Também apresenta dificuldades quanto às variações de carga elétrica, que podem sofrer danos, tal qual o que acontece no motor ciclo Otto, cuja superação do problema acontece ao se usar o sistema gás/diesel.

3.4.1.3 OUTROS CICLOS

- **Ciclo Wankel**

Desenvolvido pelo engenheiro alemão Felix Wankel, em 1936, usa o mesmo ciclo termodinâmico do motor Otto, porém sua construção é totalmente diferente. Há um rotor de três vértices que pode girar dentro de uma cavidade especial, em vez de cilindro e pistão com movimento alternativo.

O rotor ao girar no sentido horário aspira o combustível, juntamente com ar, e os comprime até a região onde o volume é mínimo. Neste momento ocorre a detonação, por meio da vela, impelindo o rotor e expelindo os gases.

Este tipo de motor apresenta algumas vantagens, tais como menos peças móveis, movimento suave, com menos vibrações, trabalha em menor rotação para a mesma potência. No entanto possui desvantagens como maior dificuldade de refrigeração, desgastes de vedação dos vértices do rotor, maior consumo de combustível, maior concentração de poluentes nos escapes e maior custo de produção. Existe apenas um fabricante no mundo, apesar das perspectivas de amplo uso em automóveis durante as décadas de 1960 a 1980, quando a indústria Mazda vendeu mais de 300 mil veículos com esse motor. Novas pesquisas podem viabilizar um maior uso no futuro.

- **Ciclo Atkinson**

Patenteado em 1882 por James Atkinson, motor, que foi batizado com o sobrenome de seu criador, possui seu ciclo semelhante ao ciclo Otto, porém com a interligação da biela com a árvore de manivelas numa engenhosa geometria.

Pode-se observar a válvula de combustível posicionada na parte inferior do cilindro, enquanto que a de escape está na parte superior. Entre as duas válvulas encontra-se a vela.

Em apenas uma única rotação do virabrequim ocorrem os quatro tempos: admissão, compressão, expansão e descarga. Isso proporciona maior expansão do que compressão, causando maior aproveitamento da energia dos gases, tornando maior sua eficiência quando comparado ao ciclo Otto nas mesmas dimensões, contudo com menor potência.

Após mais de cem anos de sua criação, a utilização desse tipo de motor ganha força na indústria automobilística, que passa a fazer uso de veículos elétricos híbridos (VEH). Nesse tipo de veículo o movimento das rodas é acionado por bateria, cuja alimentação é feita por motor de combustão interna. Quando a necessidade de energia do motor elétrico é inferior à capacidade do gerador o excedente é estocado em baterias. Ao contrário, quando a demanda por potência supera a capacidade do gerador (nas arrancadas), as baterias suprem a energia necessária. A Toyota e a Ford já fabricam modelos de VEH com motores ciclo Atkinson, cuja razão para tal é atribuída à eficiência desses equipamentos.

3.4.2 MOTORES DE COMBUSTÃO EXTERNA

Sistema diferenciado de combustão acontece no motor Stirling ou de combustão externa, criado em 1816 pelo pastor escocês Robert Stirling. Nesse sistema não ocorre combustão no cilindro, a fonte de calor é externa, podendo ser de qualquer origem. Os gases usados na parte interna do motor não são perdidos, mantêm-se no sistema, sem explosões, o que redundava em baixíssimo nível de ruído. Por conta disso, submarinos e iates o utilizam com frequência.

Basicamente o motor Stirling foi desenvolvido a partir de dois princípios dos gases: O primeiro diz respeito ao aumento da pressão com o aumento de temperatura para certo volume de gás em espaço limitado; O segundo é o aumento de temperatura quando ocorre uma redução de volume de uma determinada quantidade de gás confinado (aumento de pressão).

Há vários arranjos para o motor Stirling. Um sistema simplificado desse tipo de motor usa uma câmara contendo ar que recebe aquecimento na parte inferior e resfriamento na parte superior. Outros arranjos utilizam hidrogênio, nitrogênio ou

hélio como gás contido na câmara, em face do alto calor específico desses gases. Dentro da câmara existem dois pistões, chamados auxiliar e acionador, fixados a uma manivela com defasagem de 90° . Quando ocorre certo nível de aquecimento do ar na parte inferior, acontece maior quantidade de ar quente no conjunto com maior pressão interna, provocando deslocamento dos pistões para cima. O ar frio na parte superior reduz a pressão forçando o pistão acionador para baixo que empurra, também, o pistão auxiliar no mesmo sentido. Em seguida, o ciclo volta a se repetir.

Por não haver escapamento de gases, liberados sob pressão, a operação é silenciosa, tornando-se esta uma vantagem para o uso deste sistema. A eficiência apresentada está em torno de 30%. No entanto, as respostas às variações de velocidade são muito lentas, pois é grande a inércia da variação do aquecimento.

O amplo uso do motor Stirling é restringido pelos altos custos de produção, resultantes, principalmente pela complexidade do eixo de manivelas e dos elementos de troca de calor. Ademais, a necessária construção de um sistema de gás compacto acrescenta problemas construtivos.

É bem verdade que esses custos tenderiam a redução, caso houvesse economia de escala, fato não acontecido em virtude de ser uma tecnologia em desenvolvimento, além dos avanços tecnológicos dos motores de combustão interna, cuja escala de produção foi incrementada ao longo dos anos, graças aos baixos preços praticados pelos combustíveis de origem fósseis usados nos mesmos.

Vale ressaltar a vantagem de se ter uma fonte de calor externa, permitindo maior flexibilidade, podendo-se fazer uso das mais variadas opções, inclusive energia solar.

A aplicação de motores de combustão externa depara-se com dificuldades quanto à disponibilidade desses equipamentos para aquisição no mercado, em face da existência de poucos fabricantes no mundo. No Brasil essa dificuldade aumenta, já que todas essas indústrias estão estabelecidas no exterior.

3.4.3 TURBINAS A GÁS

Idealizada em 1870 por George Brayton, a turbina a gás possui ciclo termodinâmico que recebe o seu nome. Teoricamente seu funcionamento é muito simples. São compreendidas em três partes: compressor, onde ocorre a compressão

do ar por alta pressão; combustão, lugar em que acontece a queima do combustível, produzindo gás com alta velocidade e pressão; e turbina, que extrai energia do gás vindo da combustão. A figura 3.8 apresenta esquema simplificado desse equipamento.

Na área de compressão o ar é admitido pela ação de um compressor, que pode ser do tipo mostrado em que possui a forma de um cone com pequenas pás dispostas em fileiras. Nesse estágio, o ar é forçado a passar pelas fileiras de pás provocando um considerável aumento de pressão, podendo atingir um incremento de trinta vezes.

Da área de compressão o ar com alta pressão é conduzido à área de combustão, onde o combustível é injetado por anéis, e mantido em combustão de forma constante. Em face das elevadas velocidades do ar, ocorrem dificuldades de se manter acesa a chama, condição necessária para garantir a combustão ininterrupta. Para tanto é preciso usar uma peça metálica oca perfurada, conhecida como “caneca”.

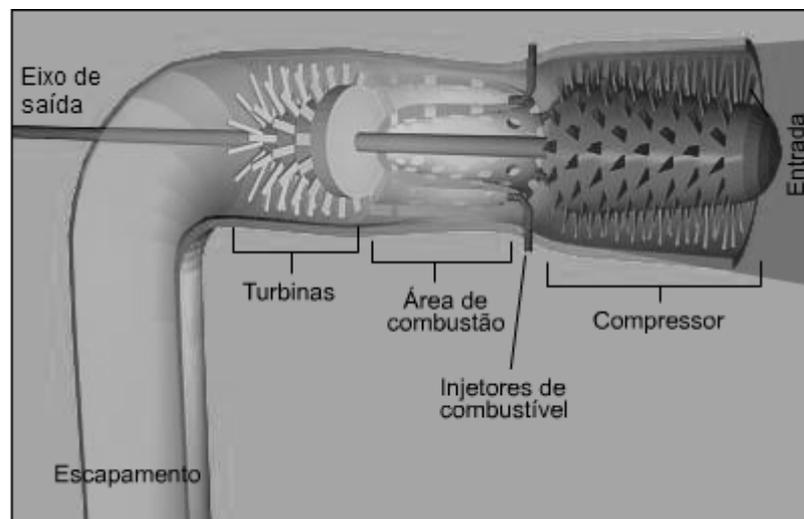


Figura 3.8 – Esquema simplificado de uma turbina a gás

Fonte: Adaptado de <http://science.howstuffworks.com>

O calor gerado pela queima do combustível expande o ar, e o deslocamento em alta velocidade desse ar quente aciona a turbina, que está diretamente ligada ao compressor por um eixo. No entanto, o estágio final da turbina, ou seja, a última fileira de pás, está ligado ao eixo de saída, girando livremente, de forma independente do restante do equipamento.

O uso de turbinas a gás para instalações de geração de energia elétrica usando biomassa tem sua faixa típica de aplicação acima de 5.000 kW, cuja tecnologia ainda está em desenvolvimento com custo de geração em torno de US\$1.500/kW (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Uma característica desses sistemas é a redução do custo de geração à medida que se aumenta a capacidade de geração. Em outras palavras, apresentam redução do fator de escala sobre os custos unitários de capital (CORTEZ e LORA, 1997).

No sistema de turbinas a gás ocorre exaustão de gases em altas temperaturas, cuja recuperação o torna mais eficiente, do ponto de vista termodinâmico. Quando isso acontece, este ciclo é denominado de combinado.

Basicamente o uso de biomassa como combustível em sistemas de turbinas a gás pode ser efetivado das seguintes formas:

- Sistema BIG/GT (*Biomass Integrated Gasification/Gás Turbine*)- O gás advindo de um sistema de gaseificação de biomassa é injetado como combustível na zona de combustão, após limpeza;
- Sistema BIG/STIG (*Biomass Integrated Gasification/Steam Injected Gás Turbine*) – Neste sistema os gases de exaustão em altas temperaturas são aproveitados para gerar vapor que é injetado na turbina;
- Sistema BIG/IIGT (*Biomass Integrated Gasification/Intercooled Injected Gás Turbine*) – ocorre resfriamento intermediário do combustível e injeção de vapor;
- Ciclos de ar quente – a turbina opera com aquecimento do ar por meio de um trocador de calor que usa o calor advindo da combustão do gás pobre do gaseificador;
- Ciclos de queima direta da biomassa – Um combustor com leito fluidizado pressurizado é usado como câmara de combustão.

Os principais problemas enfrentados com os sistemas que fazem uso de turbinas a gás funcionando com gás pobre dizem respeito às dificuldades de limpeza desse gás, haja vista as altas temperaturas de operação, além da necessidade de grandes volumes de combustível, consequência do baixo poder calorífico do gás, o que implica em quantidades significativas de biomassa para alimentar os gaseificadores. No primeiro caso há dificuldades de se obter filtros cujos materiais componentes consigam operar com temperaturas acima de 700^oC. Alguns materiais cerâmicos têm sido usados visando à superação desta barreira. No segundo, é preciso que se disponha da biomassa com custo de transporte compatível para não inviabilizar o sistema. É o caso das florestas energéticas e da utilização do bagaço da cana-de-açúcar.

No caso de se utilizar gaseificadores pressurizados, pode acontecer que a alimentação da biomassa se transforme numa dificuldade, em face da frequência de abastecimento, além da sua pulverização e redução de umidade para no máximo 25%.

3.4.4 MICRO-TURBINAS A GÁS

Micro-turbinas seguem o mesmo princípio das turbinas a gás e são sistemas normalmente compostos por compressor, câmara de combustão, turbina e gerador de eletricidade. Desenvolvidas a partir de aplicações da indústria automotiva e aeroespacial, comercialmente são disponibilizadas com potências que variam de 25 kW a 250 kW, não há uma definição rigorosa para as micro-turbinas (NOGUEIRA e LORA, 2003). Apresentam uma série de vantagens, dentre elas: podem operar com vários tipos de combustível, entre os quais gás natural, biogás, diesel, propano e gás pobre; eficiência elétrica em torno de 30%, podendo ser elevada a mais de 80% quando utilizada em co-geração; baixo nível de ruído; pequenas dimensões, o equipamento para gerar 30 kW é do tamanho de uma geladeira; baixas emissões de gases à atmosfera; facilidade de instalação; utilizam rolamentos a ar, evitando a contaminação dos combustíveis. Entretanto, seus custos de manutenção são desconhecidos, há pouca experiência de utilização, bem como sua vida útil e

confiabilidade quando submetidos a cargas parciais são questionáveis (CORTEZ, LORA E GÓMEZ, 2008).

A figura 3.9 ilustra o funcionamento de uma micro-turbina a gás, onde a turbina e o compressor estão conectados em um mesmo eixo, possibilitando o uso da energia gerada para movê-lo. O ar admitido no compressor é submetido a uma elevação de pressão, empurrando-o para a câmara de combustão onde é adicionado combustível. Ar quente e combustível são expandidos na turbina, transformando energia térmica em mecânica, girando o eixo onde está acoplado o gerador, gerando energia elétrica. Para aumentar o rendimento usa-se um recuperador de calor (regenerador) que aproveita o calor dos gases de escape para aquecer o ar antes de admiti-lo no compressor.

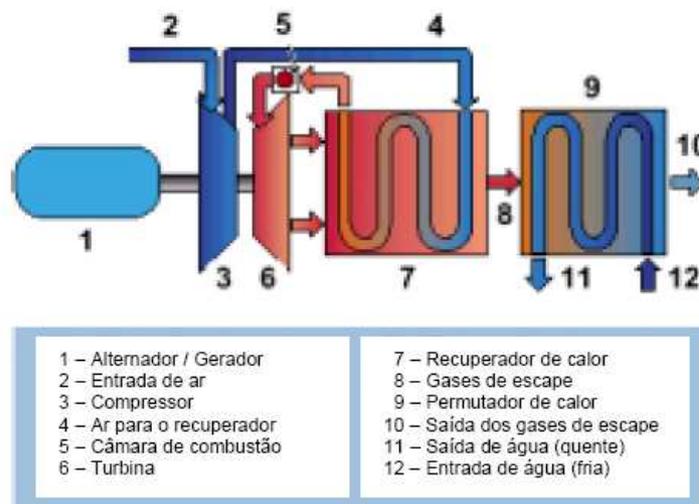


Figura 3.9- Esquema de uma micro-turbina a gás

Fonte: <http://www.Turbec.com>

Normalmente o eixo trabalha com rotações em torno de 70.000 a 90.000 rpm, o que implica na produção de eletricidade em corrente alternada com frequência elevada (em torno de 1800 Hertz). Para sua utilização em corrente alternada com frequência de 50 Hz ou 60 Hz, primeiro a corrente é retificada para continua depois invertida novamente para alternada.

O uso de gás de gaseificação em micro-turbinas requer eficaz resfriamento e limpeza desse combustível, para que não haja materiais particulados, amônia ou alcatrão, prejudiciais a câmara de combustão.

A operação de micro-turbinas com gás de gaseificação de biomassa não se encontra em escala comercial, havendo poucos projetos demonstrativos no mundo, dentre eles o Flex-Microturbines, da Reflective Energies, que funciona com

casca de nozes, em Tucson, Arizona, nos Estados Unidos, e o Green Gasifier Generator, da Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization em parceria com a Capstone e a Smale&CO.

3.4.5 CÉLULAS A COMBUSTÍVEL (FC)

A primeira célula a combustível foi criada em 1839 por William Grove. Sabia-se que hidrogênio e oxigênio poderiam ser obtidos a partir da água, por meio de corrente elétrica, processo chamado eletrólise. Grove imaginou que ao inverter o processo seria capaz de obter eletricidade e água. Criou, então, o que chamou de bateria a gás voltaico. Cinco anos mais tarde, os cientistas Ludwig Mond e Charles Langer adotaram o termo célula a combustível, durante a construção de um modelo prático para produzir energia elétrica.

Consiste, basicamente, de dois eletrodos (ânodo e cátodo) separados por um eletrólito de diferentes composições químicas, onde o hidrogênio passa pelo ânodo e o oxigênio pelo cátodo, gerando energia elétrica e água.

O hidrogênio pode ser obtido a partir de gases combustíveis que alimentam continuamente o eletrodo negativo (ânodo) e o oxigênio, geralmente advindo do ar, alimenta o eletrodo positivo (cátodo). A reação eletroquímica ocorre nos eletrodos, produzindo corrente elétrica.

Diferentemente de uma bateria, teoricamente uma célula a combustível pode produzir energia elétrica sempre, desde que ocorra a continuidade de suprimento de combustível e do oxidante. Na prática isso de fato não ocorre, por conta de corrosão primária e degradação dos componentes. A figura 3.10 ilustra o funcionamento de uma célula a combustível.

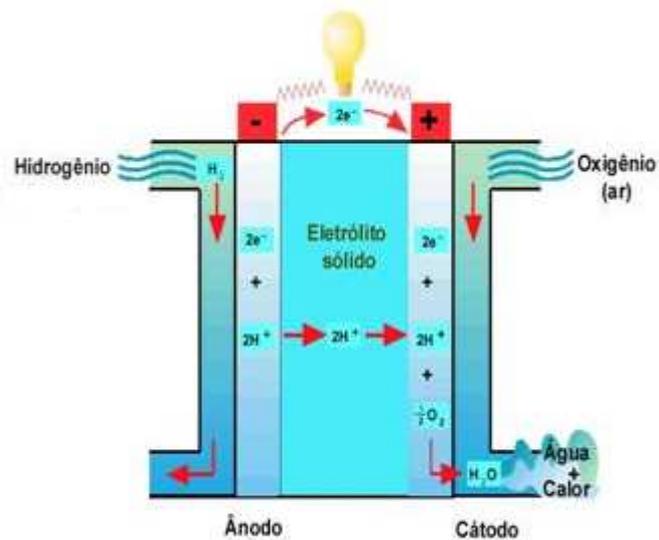


Figura 3.10 - Esquema de uma célula a combustível

Fonte: <http://www.electrocell.com.br>

Existem vários tipos de células a combustível, todas gerando corrente contínua, cuja classificação depende da temperatura de operação e do tipo de eletrólito usado. Os principais são:

- *Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)* ou Membrana de Intercâmbio Protônico – utiliza uma membrana polimérica hidratada como eletrólito, deve trabalhar a temperaturas em torno de 80°C , para evitar a evaporação excessiva da água, único líquido neste tipo de FC, mantendo assim a membrana hidratada, para que se obtenha eficiência adequada. Essa limitação da temperatura baixa implica em usar combustível com um mínimo de CO, altamente venenoso nessas condições de temperatura;
- *Alkaline Fuel Cell (AFC)* ou Célula a Combustível Alcalina – neste tipo de FC o eletrólito é o hidróxido de potássio (KOH) com dois tipos de concentração possíveis, 85 wt% ou 35 wt% a 50 wt%, adequados para altas temperaturas, em torno de 250°C , ou temperaturas menores, em torno de 120°C , respectivamente. Combustíveis isentos de CO e CO_2 são imperativos, para não alterar o eletrólito, consequência de possíveis reações químicas na presença desses elementos;

- *Phosphoric Fuel Cell* (PFC) ou Célula a Combustível de Ácido Fosfórico – o eletrólito utilizado é o ácido fosfórico a 100%, em temperaturas que variam de 150⁰C a 220⁰C. Seu gerenciamento é facilitado pela baixa vaporização de água apresentada nesta FC;
- *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC) ou Célula a Combustível Carbonato Fundido – combinações de carbonatos alcalinos ou de sódio e potássio são usadas como eletrólitos, retidos em uma matriz composta de cerâmica de LiAlO₂. Operam em temperaturas elevadas, em torno de 800⁰C;
- *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC) ou Célula a Combustível de Óxido Sólido – óxido de zircônio cerâmico é usado como eletrólito, operando a temperaturas em torno de 1000⁰C. Obtém o hidrogênio a partir do metano do combustível.

As células a combustível operam, sem exceção, usando hidrogênio como combustível, o que implica em usar o combustível gasoso para o caso da biomassa como fonte. Desta forma, gases obtidos em resíduos sólidos urbanos, resultantes de processo de tratamento de efluentes, gases pobres obtidos em gaseificadores e reforma de alcoóis são passíveis dessa utilização. As MCFC e SOFC são as mais recomendadas para esse uso, por conta de suas elevadas temperaturas de operação.

Salienta-se que não existem sistemas comerciais de células a combustível operando com biomassa, somente em nível de pesquisa em laboratórios. Seus custos são elevados, necessitando de maturidade tecnológica. Pode-se citar o Centro Holandês de Pesquisas em Energia- ECN, a Universidade de L'Alquila, na Itália, o National Renewable Energy Laboratory, nos Estados Unidos e a Universidade de Delft, também na Holanda, como exemplos de organizações que desenvolvem esse tipo de pesquisas.

Capítulo 4

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DA BIOMASSA LENHOSA DO RIO MADEIRA

4.1 O RIO MADEIRA

4.1.1 INTRODUÇÃO

Os rios fazem parte da vida quotidiana dos amazônidas, seja como fonte principal de sua alimentação, seja como importante meio de transporte, conseqüência da vasta rede hidrográfica existente na região. Eles se confundem com o dia-a-dia do povo que habita essa área, sobretudo os aglomerados humanos localizados em áreas distantes das sedes municipais.

Neste contexto encontra-se o rio Madeira, um dos mais importantes rios da Amazônia Brasileira, exercendo papel crucial nas economias dos estados de Rondônia e Amazonas. É considerado o mais importante afluente do Rio Amazonas, em face do volume de águas que esse manancial d'água despeja no maior rio do planeta. Ocupa o quinto lugar entre os maiores rios do mundo em termos de volume de água. A figura 4.1 mostra a sua localização.

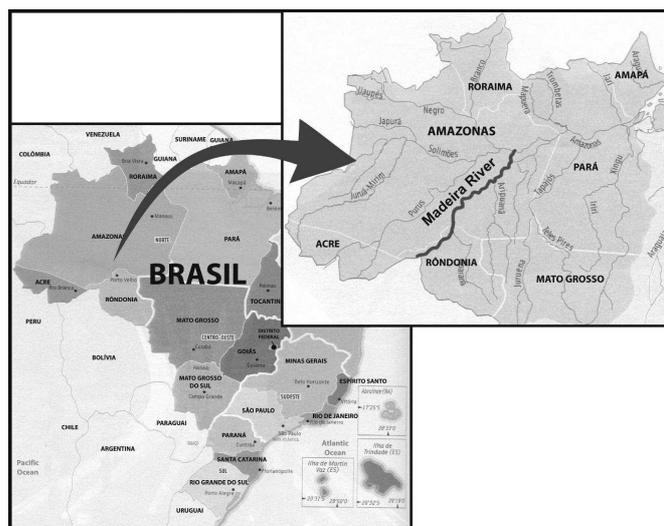


Figura 4.1 – Localização do rio Madeira

Fonte: Adaptado de MT (2004).

Entretanto, a navegação nesta hidrovia apresenta alguns percalços oriundos de fenômenos naturais, tais como bancos de areia, pedrais e troncos flutuantes, responsáveis por uma indesejável estatística de acidentes aos usuários deste curso d'água.

A seguir são descritas informações gerais, regime hídrico, clima, geologia, descarga sólida, dificuldades na navegação e importância econômica do rio Madeira.

4.1.2 INFORMAÇÕES GERAIS

O rio Madeira é formado pela confluência dos rios Beni e Mamoré, na fronteira com a Bolívia, a jusante da cidade de Guajará-Mirim, como pode ser visto na figura 4.2 Possui um percurso de aproximadamente 1.450 km, percorrendo toda a parte leste da Bolívia, norte e oeste do estado de Rondônia, desaguando no rio Amazonas, na sua margem direita, distante 27 km da cidade de Itacoatiara, no estado do Amazonas.



Figura 4.2 – Confluência dos rios Beni e Mamoré, formando o rio Madeira

Fonte: <http://www.googleearth.com>

Segundo a CPRM (1999), a bacia hidrográfica deste importante curso de água possui área aproximada de 1.420.000 km², correspondendo a 23% da Bacia Amazônica, captando 18% da precipitação pluviométrica, contribuindo com 15% do volume total do rio Amazonas.

Pode-se dividir o rio Madeira em três trechos distintos, chamados de alto, médio e baixo Madeira. O primeiro desses trechos refere-se à região constituída pelos seus formadores. O médio Madeira é caracterizado pelo trecho repleto de cachoeiras, iniciando na cachoeira Mamoré até a de Santo Antônio, localizada nas proximidades da cidade de Porto Velho, estado de Rondônia. O baixo Madeira é a parte navegável, iniciando-se em Porto Velho até a sua foz, com aproximadamente 1.050 km.

O nome madeira é consequência da notável quantidade de árvores que flutuam neste rio, trazidas pelos seus afluentes e pelo processo de erosão que ele próprio causa em suas margens, graças aos movimentos de enchente/vazante.

Esse movimento causa o desprendimento de parte das margens do rio em fenômeno denominado popularmente de terras caídas. O fenômeno provoca o arraste para as águas de porção do solo componente das margens, incluindo a vegetação existente.

Carvalho (2006), define terras caídas como um termo regional usado para a designação da erosão fluvial, desde as mais simples a altamente complexas, englobando indiferenciadamente escorregamento, deslizamento, desmoronamento e desabamento que acontece às vezes em escala quase que imperceptível, pontual, recorrente e não raro catastrófico, afetando em muitos casos distâncias quilométricas. É um fenômeno predominantemente complexo, inter-relacionado causado por fatores hidrodinâmicos, hidrostáticos, litológicos, climáticos, neotectônicos e, ainda que em pequena escala, antropogênicos.

Para Guerra (1993), citado em Carvalho (2006), as terras caídas são escavações produzidos pelas águas dos rios, solapando suas margens, assumindo por vezes aspecto assustador.

La Condamine (1992), *apud* Carvalho (2006), cita que entre os anos de 1735 e 1745, quando descia o rio Amazonas, um dos maiores perigos da navegação dizia respeito à colisão com árvores submersas, relatando acidentes com muitos botes, além do seu próprio barco que foi a pique após colidir com um tronco submerso.

Esse mesmo autor relata o seguinte trecho de manifestação de viagem de inspeção do Ouvidor Sampaio ao rio Solimões em setembro de 1774:

Foi pouco agradável o dia de hoje; porque além das contínuas correntezas, toda a margem, que era necessário seguir em pouca distancia da terra, estava embaratada de grossíssimos troncos, e ramos de árvores, ou arrojadas no rio, ou cahidas da terra da mesma margem. Esta estava continuamente desabando em largas porções. Passávamos por baixo de árvores altíssimas, que já ameaçavam momentânea cahida; porque o terreno pouco sólido, as raízes já a superfície, e a água sucessivamente minando, assim o indicavão e a cada passo se vião terras precipitadas de fresco. Este he hum dos grandes perigos desta viagem, e que tem sido a cauza de muitos naufrágios com perda de inumeráveis vidas (SAMPAIO, Ouvidor 1825, p. 14).

Verifica-se que o fenômeno acontece há séculos na região e que não se imagina que irá reduzir em um horizonte próximo, mesmo porque se trata de um evento geológico, onde a unidade temporal normalmente se dá em valores consideráveis.

A maior contribuição de volume de água do rio Madeira provém do rio Beni, um de seus formadores, chamado outrora de rio dos Troncos, devido à enorme quantidade de troncos de árvores trazidas pelas suas enchentes.

Os principais afluentes do Madeira são: rio Juary com aproximadamente 370 km de extensão, com calado que pode atingir até 9m, é navegável até o local onde se localiza a usina hidrelétrica Samuel, deságua nas proximidades da localidade denominada São Carlos a 80 km da cidade de Porto Velho; rio Ji-Paraná, também conhecido como rio Machado, com mais de 700 km de extensão possui navegabilidade durante o inverno, atingindo 10m de calado e sua foz se encontra próximo à comunidade Calama, 200 km a jusante da cidade de Porto Velho; rio Marmelos, possui cerca de 270 km navegáveis dos seus mais de 700km de extensão, com calados variando de 1m, durante o verão, até 4m, durante o inverno, desaguando na localidade que recebe o mesmo nome (Marmelos), cerca de 100 km

a montante da cidade de Manicoré, no estado do Amazonas; rio Manicoré, navegável durante o inverno por mais de 120 km, com 3m de calado, desaguardo a montante da cidade de Manicoré, bem próximo à sua sede; rio Aripuanã, possui 1100 km de extensão, em seu leito está prevista a construção da Hidrelétrica de Dardanelos, sua foz está localizada na sede da cidade de Novo Aripuanã.

Segundo Medeiros (2006), o declive do rio Madeira na sua parte navegável é de apenas 53,6 m, entre a cidade de Porto Velho e sua foz no rio Amazonas, ao longo de 1160 km, ou seja, 4,6 cm/km, o que leva à conclusão de que o deslocamento da massa aquosa se dá como consequência de pressão da água nova que entra no rio e não pela declividade.

Ressalta-se uma particularidade da bacia do Madeira no fato de que sua margem esquerda possui uma pequena extensão, com largura média de 100 km, limitando-se com a bacia do rio Purus, ficando praticamente a margem direita como única responsável pela área de contribuição dessa bacia.

4.1.3 REGIME HÍDRICO

O regime hídrico desse importante rio da Amazônia apresenta situação atípica em relação aos demais cursos d'água da região. Segundo Medeiros (2006), apenas 25% de seu volume provêm de rios de pequenas descargas líquidas existentes à jusante da cidade de Porto Velho, estado de Rondônia, dependentes do clima da região sul amazônica, local onde duas estações climáticas são bem definidas, verão e inverno, quando ocorrem maiores e menores precipitações pluviométricas, respectivamente. Os demais 75% estão relacionados com o clima da região andina do leste da Bolívia.

A vazão do rio Madeira apresenta uma enorme variação entre os períodos de enchente e de vazante, muito embora esses valores máximos e mínimos não apresentem grandes diferenças entre si na comparação ao longo dos anos. As descargas máximas atingem patamares entre 30.000 a 35.000 m³/s, enquanto que na vazante entre 5.000 e 10.000 m³/s, conforme AHIMOC (1999).

Dado interessante referente ao ciclo de enchente é o que regionalmente se chama “enchente de cima” e “enchente de baixo”. A primeira enchente atinge

toda a extensão do rio Madeira e ocorre por conta do ciclo hidrológico, ocasião em que o rio Amazonas apresenta suas águas baixas. A segunda enchente acontece a partir de abril, quando o rio Madeira inicia seu ciclo de vazante não coincidente com o ciclo do rio Amazonas que se encontra ainda na época de enchente. Chega um momento em que a cota do rio Amazonas torna-se mais elevada que a do rio Madeira, represando-o até a cidade de Manicoré, no estado do Amazonas. Este fenômeno provoca o aparecimento de muitas ilhas móveis de sedimentos, em razão da redução da dinâmica do rio, desaparecendo quando acontece a cheia de cima. O limite superior da “enchente de baixo” é chamado de “barra da enchente de baixo”.

A figura 4.3 mostra as variações de vazão ao longo dos meses, medidas em estações localizadas na cidade de Porto Velho e na comunidade de Vista Alegre, localizada próxima à foz, a aproximadamente 50 km.

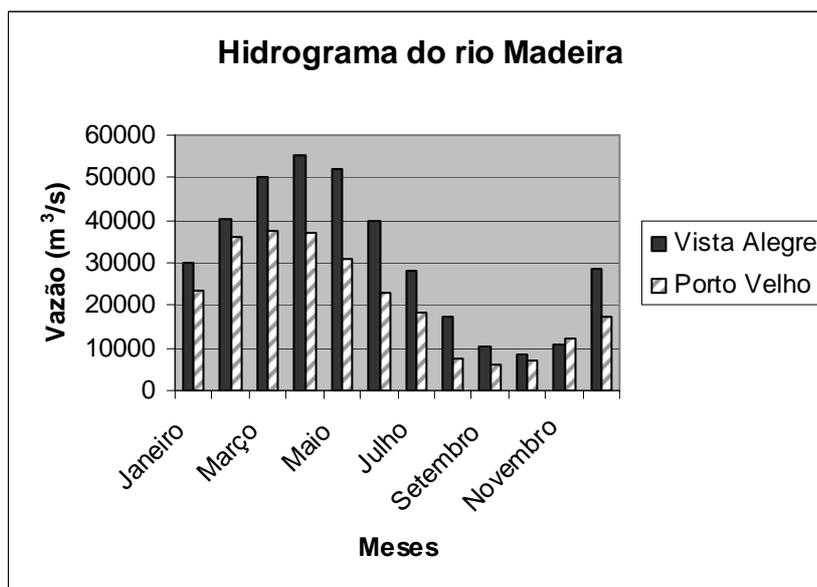


Figura 4.3 – Hidrograma do rio Madeira em Porto Velho e próxima à foz em Vista Alegre

Fonte: AHIMOC (1999).

Pode-se observar na figura 20 que o período de maior vazão na cidade de Porto Velho ocorre entre os meses de fevereiro a abril, enquanto o de maior vazante de agosto a novembro.

Ainda na figura 4.3, verifica-se que o período de maior vazão em Vista Alegre tem ocorrência entre os meses de março a maio, e os de menor vazão entre os meses de setembro a novembro.

Analisando o hidrograma, pode-se constatar que é muito pequeno o deslocamento do pico de cheia entre Porto Velho e Vista Alegre e que ocorre pouco incremento de vazão, o que leva à conclusão de maior influência da região à montante de Porto Velho.

4.1.4 CLIMA

O clima da região do Madeira é do tipo “AM”, segundo a classificação de Köppen, quente e úmido, com estação seca pouco pronunciada. A umidade relativa do ar fica em torno de 85% ao longo do ano, com temperaturas médias que variam entre 25⁰C e 27⁰C. As precipitações médias anuais estão acima de 2200 mm, concentrando o período chuvoso de dezembro a abril (CPRM, 2000).

4.1.5 GEOLOGIA

A partir da cidade de Porto Velho até sua nascente, o rio Madeira possui seu curso sobre rochas Pré-Cambrianas, onde se apresenta estruturalmente encaixado, com desníveis em relação às margens e elevado número de cachoeiras e corredeiras.

Em direção à sua foz atravessa áreas sedimentares da formação Alter do Chão (65 a 60 milhões de anos) e formação Solimões (2,6 a 2,4 milhões de anos), região em que desaparecem as cachoeiras e corredeiras, porém mantém o mesmo aspecto de encaixamento.

A Formação Alter do Chão corresponde a área denominada de Planaltos Rebaixados da Amazônia, mais conhecidos regionalmente como terras firmes. Normalmente apresenta água subterrânea em abundância e de boa qualidade, embora pobre em sais minerais em sua composição química. Seu ambiente compõe-se de sedimentos transportados do final do Terciário, com porções lenticulares de arenito de coloração avermelhada (arenito Manaus), estratos de argila e areia intercalados, com morfologia de ondulações leves, com ocorrências de latossolos vermelho-amarelo distrófico gigantes, com mais de 100 m de perfil.

A Formação Solimões tem como característica um ambiente continental fluvial, representada por sedimentos de transbordamento de canal. Apresenta

porções lenticulares, predominando argilas cinza, verde, marrom-arroxeadas ou esbranquiçadas, com lentes e veios de calcita e gipso, acamadas ou laminadas, estratificações cruzadas de pequeno e médio portes, pouco endurecidas.

O rio Madeira, de modo geral apresenta menor faixa de planície em sua margem esquerda, que está em contato com os relevos do Planalto Rebaixado da Amazônia. Este fenômeno parece ser um dos agentes responsáveis pela não ocorrência de meandros em seu talvegue.

4.1.6 DESCARGA SÓLIDA

De acordo com AHIMOC (2003), a cordilheira dos Andes exporta aproximadamente 5×10^8 toneladas de sedimentos anualmente, dos quais 40% são transportados pelos rios e 60% ficam em seu sopé. O Madeira é um dos principais rios transportador desses sedimentos.

Ainda segundo AHIMOC (2003), o rio Madeira possui um fluxo global de sedimentos da ordem de $2,7 \times 10^8$ toneladas por ano. Desse total 15% é material dissolvido e 85% material particulado (sedimento de fundo ou em suspensão). Apenas 2% do material particulado são transportados por arraste e/ou saltitação e se encontra no leito, enquanto que 98% são transportados em suspensão.

A análise do tamanho dos grãos desse material particulado aponta uma granulometria média (diâmetro correspondente a mais de 50% das partículas - d_{50}) em torno de 0,11mm, compondo-se de lama (70%), argila e silte 20% e areia (10%). O material de fundo é composto de 50% de quartzo, 20% de feldspato e 30% de argilas (MEDEIROS, 2006).

Ainda segundo Medeiros (2006), nas proximidades da foz, na cidade de Urucurituba, a granulometria média desse material particulado sofre um acréscimo e assume o valor de 0,17 mm, e na maior parte é constituída de areia fina.

Os sedimentos transportados pelo Madeira provocam o aparecimento de bancos formados por argila e areia, causando dificuldades para a navegação a partir do assoreamento do canal navegável. Em algumas cidades esse fenômeno tem aumentado de forma substancial, de forma particular na cidade de Manicoré.

Uma explicação plausível desse fenômeno está intrinsecamente ligada à redução da velocidade de escoamento das águas quando ocorre o que regionalmente se denomina “barra da enchente de baixo”, anteriormente explicada.

Em outras palavras o nível do rio Amazonas na foz impede o deságüe do rio Madeira, provocando uma elevação do nível desse rio, formando uma espécie de cortina de sedimentação e conseqüente assoreamento. Como essa “enchente” tem seu ponto máximo em Manicoré, é nessa cidade que ocorre com mais ênfase esse processo, porém os demais municípios à jusante também sofrem com esse problema.

Vale salientar que em face de monitoramento ambiental da Hidrovia, obrigatório desde 1999, por conta das Licenças de Instalação e de Operação, está sendo construído um banco de dados que poderá permitir maior conhecimento sobre esse fenômeno, de tal sorte que possa manter a qualidade do ecossistema.

4.1.7 DIFICULDADES NA NAVEGAÇÃO

Como os demais rios da região amazônica, o rio Madeira apresenta dois períodos distintos, bem definidos, que possuem características diferenciadas quanto às dificuldades para sua navegabilidade. O primeiro ocorre durante a época chamada de enchente, quando o nível de suas águas sobe, conseqüência de contribuição de seus formadores e tributários, por conta do degelo dos Andes e das chuvas em sua bacia hidrográfica. Geralmente acontece entre os meses de setembro a maio, sendo entre março e maio a época de cotas mais elevadas. O segundo período, conhecido como vazante, ocorre entre os meses de maio a setembro, quando o rio atinge seu nível mais baixo. Existe, ainda, um terceiro período chamado de repiquete, que acontece durante o mês de outubro, ocasião em que o ciclo das águas inverte seu fluxo e ao invés de aumentar o nível das águas, esse sofre uma descida de até 3m, quando volta a subir.

A diferença de nível entre a vazante e a enchente do rio Madeira chega a atingir 14 m. Seu traçado é permanente, embora seu canal principal sofra alterações durante a estação de enchente, época em que suas águas apresentam-se de cor barrenta, alterando para claras durante a fase de vazante.

Em face do movimento de enchente/vazante o calado do canal principal sofre variações que vão de 2m na época de águas baixas até mais de 6m durante as águas altas. Esses valores de calado inferem a condição de navegabilidade durante todo o ano ao rio. Apesar disso, exige atenção constante de quem o navega por conta da forte correnteza, do aparecimento de bancos de areia, dos pedrais, dos

obstáculos flutuantes descendo o rio e do acúmulo de árvores e troncos em determinados pontos, chamados de “paliteiros”.

A velocidade das águas do Madeira provoca uma série de redemoinhos que chegam a tirar embarcações de seu rumo. Na cidade de Borba atinge valor que chega a 7 nós ou aproximadamente 3,6 m/s, capaz de perda de ferros de algumas embarcações.

Os aparecimentos de ilhas de bancos de areia são freqüentes durante o período de vazante, cujas localizações variam muito ano após ano. Esses bancos de areia são responsáveis por inúmeros acidentes e seu processo de retirada é feito por meio de dragagem que por conta de razões ambientais fazem a deposição do material retirado no próprio leito do rio. Salienta-se que em determinados locais os bancos de areia aparecem todos os anos, possibilitando suas identificações em cartas náuticas, além de sinalizações. A figura 4.4 apresenta um desses afloramentos.



Figura 4.4 – Afloramento de ilhas de areia durante a vazante do rio Madeira

Fonte: Medeiros (2006).

Os pedrais existentes na hidrovia são constituídos de diques de granito que cortam a calha do rio de forma transversal e, assim como inúmeros bancos de areia, já foram inventariados e constam de cartas náuticas. A definição de um melhor processo de retirada, denominado derrocamento, carece de prévio levantamento geológico. A figura 4.5 mostra um desses pedrais.



Figura 4.5 – Pedral no rio Madeira

Fonte: AHIMOC(2000).

Os obstáculos flutuantes são formados por pedaços de terra com vegetação, árvores e troncos de madeira que acontecem ao longo de todo o trajeto do rio desde a sua formação, na fronteira com a Bolívia, até a sua foz. Esses obstáculos são originários de processo erosivo natural de queda das margens, em face da instabilidade, que o curso d'água provoca, em fenômeno conhecido como “terras caídas”, consequência do movimento de enchente/vazante. Normalmente a queda das árvores e de barrancos acontece quando da vazante e são arrastados durante o período de cheia. Há, também, a contribuição do homem que desmata a área de várzea, geralmente para uso da pecuária, deixando que o resultado dessa atividade de desmatamento seja arrastado pelas águas do rio. Pode-se verificar na figura 4.6 uma imagem característica do Madeira durante a cheia.



Figura 4.6 – Vista do rio Madeira com sua notável quantidade de troncos flutuantes

Fonte: AHIMOC (2000)

Os troncos e árvores arrastados pelas águas do Madeira, dependendo de suas densidades, podem não flutuar e arrastados pela correnteza acumularem-se em determinados locais causando o que é denominado “paliteiro”. Esses troncos e árvores acumulados atuam como verdadeiras lanças colocadas no leito do rio e têm causado prejuízos às embarcações, inclusive provocando naufrágios. A figura 4.7 mostra um desses “paliteiros”.



Figura 4.7 – “Paliteiros” no rio Madeira

Fonte: AHIMOC, 2000.

Baseado em informações contidas em AHIMOC (1999, 2000, 2003) e Medeiros (2006), a tabela 4.1 apresenta um resumo das passagens já identificadas com seus respectivos obstáculos, sobretudo na época de águas baixas, e suas localizações referenciadas a partir da foz em direção à cidade de Porto Velho, estado de Rondônia.

Tabela 4.1 – Locais identificados, posicionamentos e dificuldades à navegação no rio Madeira

Local	Posic.	Dificuldades à navegação
Foz do Madeirinha	PK 197	"Paliteiros"
Ilha dos Ganchos	PK 235	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Porto do Cruzeiro	PK 339	"Paliteiros"
Bom Malcher	PK 345	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Uruazinho	PK 355	Afloramentos rochosos, "paliteiros" e bancos de areia

Continuação da Tabela 4.1 – Locais identificados, posicionamentos e dificuldades à navegação no rio Madeira

Local	Posic.	Dificuldades à navegação
Uruá Grande	PK 365	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Cachoeirinha	PK 380	"Paliteiros"
Paraná do Jenipapo	PK 399,5	"Paliteiros"
Costa do Atininga	PK 408	"Paliteiros"
Manicoré	PK 465	Bancos de areia
Santa Helena	PK 538	Bancos de areia
Marmelos	PK 550	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Ilha Santa Cruz	PK 565	Bancos de areia
Baianos	PK 617	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Pedra São Raimundo	PK 625	Afloramento rochoso
Trapicho	PK 640	Bancos de areia
Ilha Rasa das 3 Casas	PK 730	Bancos de areia
Pupunhas	PK 780	Bancos de areia
Boca do Rio	PK 795	Bancos de areia
Ilha Salomão	PK 845	"Paliteiros"
Ilha do Tambaqui	PK 855	Bancos de areia
Papagaio	PK 905	Bancos de areia e "paliteiros"
Abelhas	PK 923	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Pombal	PK 930	Afloramentos rochosos e bancos de areia
Barreira do Guierera	PK 955	Bancos de areia
Periquitos/Curicaca	PK 975	"Paliteiros"
Porto Chuelo	PK 1015	Bancos de areia
Belmonte	PK 1035	Afloramento rochoso
Mutuns	PK 1036	Bancos de areia e "paliteiros"

Das localidades relacionadas na tabela 4.1, dois pontos destacam-se , em face de se constituírem os mais críticos para navegação de comboios durante a vazante, são as passagens Marmelos, no PK-550, e Abelhas, no PK-923.

Em Marmelos os comboios são obrigados a efetuar o desmembramento de suas unidades para ultrapassá-lo, por conta de pedrais que impõem ao canal principal sinuosidade com raios de curvatura limitados, além de intensa velocidade das águas.

Já na passagem Abelhas o canal principal apresenta-se com grande largura, profundidade adequada, porém com pedras no meio que limitam o calado.

4.1.8 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A importância econômica do rio Madeira para a região ganhou uma nova pujança em virtude do avanço da fronteira agrícola no norte do Mato Grosso e sul de Rondônia, mais especificamente do cultivo de grãos, em especial a soja. É interessante observar que esse avanço foi propiciado por incentivos implementados por políticas públicas de consecutivos governos federais entre os anos 60 e 70 que foram responsáveis pela implantação de rodovias, como a Belém-Brasília, a Transamazônica, a Cuiabá-Porto Velho e a Manaus-Porto Velho, e de programas de colonização como o Polamazônia, Pin e Proterra, fatores determinantes para esse avanço.

Os escoamentos das produções dessas regiões ocupadas pelos Programas de Colonização eram realizados praticamente por modal rodoviário em quase toda a sua totalidade, o que propiciou um elevado custo para esses produtos agrícolas. Para se ter uma idéia, a tonelada transportada de soja da Chapada dos Parecis, no Mato Grosso, até os portos de Santos e Paranaguá tinha os custos com variação entre US \$ 95,00 a US \$ 110,00, com conseqüente perda de competitividade no mercado externo.

A alternativa encontrada foi a utilização do multi-modal rodo-fluvial-marítimo, por meio da integração do rio Madeira aos modais rodoviário e marítimo, em um sistema de transportes denominado Corredor Noroeste Multi-Modal de Exportação. Este sistema permitiu economia de mais de US \$ 30,00 por tonelada, possibilitando fortalecer a integração econômica dos estados do Amazonas, Mato Grosso, Rondônia, Acre, Roraima e Pará.

O Corredor Noroeste Multi-Modal de Exportação consiste de transporte rodoviário pela BR-364 da produção de grãos do Mato Grosso até a cidade de Porto Velho, daí segue em comboios de balsas/empurrador pelo rio Madeira até a cidade de Itacoatiara, no estado do Amazonas e então de navios para o Porto de Rotterdam, na Holanda.

Para que se possa avaliar o que significa o uso desse corredor, segundo AHIMOC (2008), pela Hidrovia do Madeira no ano de 2007 foram transportados 1.714.243 ton de grãos de soja de Porto Velho para Itacoatiara e 883.097 ton para o porto de Santarém, no estado do Pará, além de 474.872 ton de demais cargas para Manaus. Ainda segundo esta mesma fonte, pelo rio Madeira foram transportados 929.121 ton de carga de Manaus para Porto Velho. Ao todo, considerando todos os destinos, a Hidrovia do Madeira foi responsável pelo transporte de mais de 4 milhões de toneladas de carga em 2007.

4.2 A BIOMASSA LENHOSA DISPONÍVEL NO RIO MADEIRA

Em razão de ser uma hidrovia, as ações necessárias para a manutenção da navegabilidade de forma perene e segura do rio Madeira é de responsabilidade do Governo Federal. A Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental – AHIMOC, órgão vinculado à Companhia Docas do Maranhão e ao Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre – DNIT, do Ministério dos Transportes, é a responsável pelas atividades necessárias para garantir essa navegabilidade. Para atingir esse objetivo são necessárias, dentre outras intervenções, a realização de balizamento (operação de sinalização), a remoção de bancos de areia do canal principal, a retirada de pedras, em operação denominada derrocamento, assim como a retirada de obstáculos flutuantes, dentre eles os paliteiros.

Segundo AHIMOC (2000), a remoção de paliteiros iniciou-se de forma emergencial no rio Madeira no ano de 2000 em função de interrupção da navegação entre as cidades de Porto Velho e Humaitá, mais precisamente nas passagens conhecidas como Papagaios e Cavalcante, em agosto daquele ano, por intermédio da empresa Hidrocart Cartografia Ltda. Essa empresa foi contratada para realizar a tarefa, além de levantamentos batimétricos após o destocamento, ou seja, realizar levantamentos capazes de possibilitar a identificação da situação do canal após a

limpeza. O aparelho utilizado para tal foi um eco-batímetro, que faz uso da emissão de ondas sonoras para identificação de profundidades.

Ainda de acordo com AHIMOC (2000), nessa operação foram retirados 3200 m³ de material, porém não há registro das localidades onde foram retirados esses materiais.

A partir de 2001 até o ano de 2005 as retiradas de paliteiro foram realizadas regularmente e seus volumes constam na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Volumes de biomassa lenhosa retirada dos paliteiros do rio Madeira

Fonte: Hidrocart (2000, 2001), J.R. Almeida (2002, 2003, 2004,2005).

Local	Volume retirado por ano (m ³)					Média
	2001	2002	2003	2004	2005	
Foz do Paraná do Madeirinha					209.36	209.36
Porto do Cruzeiro					350.2	350.2
Santa Rosa					418.71	418.71
Enseada Cachoeirinha					310.59	310.59
Paraná do Jenipapo		650			238.92	444.46
Costa Bela Vista do Atininga					468.89	468.89
Ilha do Salomão	545	590	590	725	649.43	619.89
Papagaios	545	560	560	690	406.75	552.35
I. Periquitos/ Curicaca	420	440	440	540	424.74	452.95
Capitari	520	540	540	665	0	566.25
Mutum	670	770	755	930	143.32	653.66
Totais	2700	3550	2885	3550	3620.91	3261.18

Ao se observar os dados constantes na tabela 4.2, verifica-se que as atividades de retirada de paliteiros foram repetidas nas localidades Paraná do Jenipapo, Ilha do Salomão, Papagaios, Ilha dos Periquitos/Curicaca, e Mutum nos anos de 2001 a 2005. A operação na localidade de Capitari aconteceu de 2001 a

2004, não tendo sido realizada em 2005 devido ao nível já elevado das águas quando da chegada dos equipamentos ao local, segundo informações obtidas junto à empresa J.R Engenharia Ltda, executora do contrato de desobstrução. As operações na localidade Mutum também foram prejudicadas nesse ano pelas mesmas razões, ocasião em que menos de 1/3 dos volumes anteriormente retirados puderam ser destocados.

Ainda na tabela 4.2, pode-se observar que em 2005 os paliteiros apareceram em lugares não retirados em anos anteriores. Atribui-se ao fato de que naquele ano foi registrada uma das maiores vazantes do rio Madeira, corroborado pela época em que foram iniciados os trabalhos, que permitiu visualizar tais obstáculos.

É importante destacar que os procedimentos de retirada das árvores submersas que formam os paliteiros têm sido realizados sem uso de equipamentos específicos para suas visualizações. As árvores são identificadas a olho nu a partir da parte que fica acima do nível d'água, por conseguinte as árvores totalmente submersas não são retiradas.

Salienta-se que os volumes retirados dos paliteiros ao longo dos anos não refletem os valores mais adequados para a garantia da navegação. Na verdade esses volumes são normalmente limitados por dotações orçamentárias da AHIMOC.

Outro fator limitador está intrinsecamente ligado ao sincronismo entre procedimentos burocráticos inerentes à contratação de empresa para realizar a atividade e a velocidade do movimento natural de enchente/vazante do rio. Todo trabalho burocrático deve ser concluído de tal sorte que a retirada de paliteiros deva coincidir com o período de vazante máxima. Vale salientar que existe uma defasagem de aproximadamente um mês entre a época em que ocorre a vazante em Porto Velho e em Vista Alegre, nas proximidades da foz. Em Porto Velho as mínimas vazantes ocorrem entre os meses de setembro e outubro, e em Vista Alegre entre os meses de outubro e novembro.

Como anteriormente citado, um dos motivos para a retirada dos paliteiros é a segurança na navegação. A ocorrência constante de obstáculos flutuantes no rio Madeira apresenta-se como uma das principais causas de acidentes envolvendo colisão. Dados obtidos em histórico de acidentes ocorridos entre os anos de 1997 e 2005, baseados em inquéritos instaurados pela Capitania dos Portos, citados em

Medeiros (2006), foram usados para elaboração de resumo desses acidentes, expressos na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Número de acidentes no rio Madeira provocados por colisão com objeto submerso

Fonte: Adaptado de Medeiros (2006).

Ano	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Número de acidentes	7	13	9	4	1	0	4	2	1

Verifica-se na tabela 4.3 uma sensível redução do número de acidentes a partir de 2000, ano em que a AHIMOC deu início às atividades de retirada de paliteiros. É interessante observar, também, que os anos de 1997, 1998 e 1999 registraram cheias e vazantes historicamente expressivas, segundo a ANA (2008), e que mesmo em 2005, quando ocorreu a maior vazante registrada no rio Madeira até então, o número de acidentes foi de apenas 1.

Fato que merece destaque é que durante os anos em que as retiradas de paliteiros foram realizadas, os descartes dos materiais resultantes dessas atividades foram feitos nas margens do próprio rio Madeira, em locais onde o retorno desses materiais teria pouca probabilidade de ocorrer, segundo a AHIMOC (2006). A figura 4.8 mostra um desses lugares.



Figura 4.8 – Um dos Locais de descarte da operação de retirada de paliteiros

Fonte: AHIMOC (2003)

Uma análise mais apurada permite conjecturar que a disposição da biomassa lenhosa da forma como foi executada não permite a afirmação de que seu retorno ao rio não é possível. Essa conjectura fundamenta-se nas limitações dos equipamentos usados para essa atividade, os guinchos acoplados à balsa não possibilitam dispor a biomassa em locais que garantam que a mesma não seja atingida durante a enchente, trazendo-a de volta às águas.

Todo esse material se apresenta, na verdade, como uma importante fonte de energia que pode ser utilizada para fins de geração de energia elétrica destinada ao suprimento de comunidades isoladas não contempladas por esse bem de consumo, situadas nos arredores dos locais de coleta, ou mesmo para reduzir a demanda reprimida nas sedes municipais da calha do Madeira, podendo contribuir desta forma com o PLpT no tocante a definição de uma solução sustentável passível de contribuir com o cumprimento de suas metas.

4.3 POTENCIAIS CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Ao longo da calha do rio Madeira, em sua parte navegável, são encontradas as sedes dos municípios de Porto Velho, em Rondônia, em seu início, e de Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã, Borba e Nova Olinda do Norte em território amazonense, além de um considerável número de comunidades. As comunidades, por município e localidade, que se encontram nas proximidades dos pontos onde foram realizadas as operações de retirada de paliteiro entre os anos de 2001 a 2005, segundo informações obtidas em Ministério dos Transportes, 2004, constam na tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Comunidades próximas aos locais de retirada de paliteiros.

Fonte: Ministério dos Transportes (2004).

Local	Município	Comunidades
Foz do Paraná do Madeirinha	Borba	Jacarezinho, Santa Helena, Muiratinga, S. Sebastião, Iracema, Felicidade, B. Horizonte, S. Sebastião do Jauari

Continuação da tabela 4.4 – Comunidades próximas aos locais de retirada de paliteiros Ministério dos Transportes (2004).

Local	Município	Comunidades
Porto do Cruzeiro	Novo Aripuanã	Bom Malcher, Bacabal, Santa Rosa, Novo Mundo, São Bento, Conceição, Nova Estrela
Foz do Paraná do Madeirinha	Borba	Jacarezinho, Santa Helena, Muiratinga, S. Sebastião, Iracema, Felicidade, B. Horizonte, S. Sebastião do Jauari
Porto do Cruzeiro	Novo Aripuanã	Bom Malcher, Bacabal, Santa Rosa, Novo Mundo, São Bento, Conceição, Nova Estrela
Santa Rosa	Novo Aripuanã	Pliniópolis, Itaituba, São Pedro, Vencedor, Conceição
Enseada Cachoeirinha	Manicoré	Colares, Cachoeirinha, Santa Helena, Macaco Prego, Itapenima
Paraná do Jenipapo	Manicoré	Primavera, Jenipapo, São Raimundo, São Mateus, Porto Seguro
Costa Bela Vista do Atininga	Manicoré	Curralinho, Boa Vista do Atininga, Delícia, Santo Antônio
Ilha do Salomão	Humaitá	Fausto, Goiabal, Laranjal
Papagaios	Humaitá	Assunção, Nova Fé, Goiana, Nova Esperança, Firmeza
I. dos Periquitos	Porto Velho	Vista Alegre, Vila de Nazaré, Boa Hora, Boa Vitória
Capitari	Porto Velho	Sobral, São Carlos, Aliança e Bom Sossego
Mutum	Porto Velho	Cojubim, Bom Jardim, Mutuns, Barreira Vermelha

De acordo com CEAM (2009), verificou-se que ao longo do rio Madeira apenas as sedes municipais das cidades de Borba, Novo Aripuanã, Manicoré e Humaitá, todas no estado do Amazonas, constantes na tabela 4.4 possuem atendimento de energia elétrica.

Por meio de levantamento *in situ* verificou-se que as comunidades localizadas na margem direita do rio Madeira, desde a sede da cidade de Porto

Velho, estado de Rondônia, até a foz do rio Jamary, estão conectadas à rede. São elas as comunidades Cojubim, São José, Aliança, Bom Sossego, Belmonte e Sobral. As demais, localizadas na margem direita, não possuem geração de energia, à exceção de São Carlos.

4.4 POTENCIAL DE GERAÇÃO USANDO A BIOMASSA LENHOSA DO RIO MADEIRA

Vislumbram-se duas rotas adequadas para a geração de eletricidade usando a biomassa lenhosa oriunda do rio Madeira: a gaseificação acoplada a motores de combustão interna e o ciclo a vapor usando turbinas. A mais adequada está intrinsecamente ligada à escala de produção.

Para Nogueira e Lora (2003), tecnologia com gaseificadores e motores alternativos de geração elétrica com biomassa estão disponíveis até a capacidade de 1 MWe, enquanto o uso de tecnologia de ciclo a vapor estão disponíveis em plantas a partir desse valor.

Segundo Cortez, Lora e Gómez (2008), efeitos da economia de escala limitam a produção de energia elétrica por meio de motores de combustão interna integrados a gaseificadores a instalações com capacidades até 150 kWe.

Para exemplificar, na cidade de Itacoatiara, a aproximadamente 50 km da foz do rio Madeira, existem duas plantas instaladas, com capacidades de 9 MWe e 5MWe, pertencentes às empresas BK Energia⁵ e Maggi Energia⁶, respectivamente, que utilizam resíduos de indústrias madeireiras como insumo.

A utilização de biomassa lenhosa como combustível sólido em sistemas de geração de energia elétrica impõe a necessidade de granulometrias bem definidas para que sejam logradas boas condições de operação e rendimento (NOGUEIRA e LORA, 2003). No caso da madeira flutuante do rio Madeira significa a adoção de procedimentos de corte com uso de picadores para enquadramento nas dimensões requeridas visando a utilização nas rotas tecnológicas vislumbradas neste trabalho: gaseificação ou ciclo a vapor.

⁵ BK Energia Itacoatiara Ltda – Produtor independente de energia elétrica, localizado no município de Itacoatiara, estado do Amazonas, autorizado pela Resolução ANEEL n° 425, de 15 de outubro de 2001.

⁶ Maggi Energia S/A – Produtor Independente de energia elétrica, localizado em Itacoatiara, estado do Amazonas, autorizado pela Resolução ANEEL n° 385, de 31 de julho de 2003.

O volume resultante após o corte, chamado volume a granel, certamente diferirá daquele obtido durante a operação de retirada de paliteiros, ressaltando-se sua variação de espécie para espécie de madeira. Este volume pode ser estimado a partir do conhecimento da massa do material disponível *in natura*, obtido a partir do volume constante na tabela 2.1 multiplicado pela densidade aparente desse material pela expressão seguinte:

$$M_{\text{disp}} = V_{\text{disp}} \times \rho \quad [3], \text{ onde:}$$

M_{disp} – massa disponível *in natura* (kg);

V_{disp} - volume disponível *in natura* (m³)

ρ - densidade da biomassa disponível (kg/m³).

Em face da inexistência de inventário relativo às espécies de madeira retiradas dos paliteiros, que permitiriam avaliação da densidade da biomassa (ρ), foram coletadas amostras de biomassa lenhosa nas localidades Mutum, Capitari e Curicaca. Após análises em laboratório foram identificadas as espécies *Xylopia SP.* (Envira), *Couratari SP.* (Tauari), *Hymenolobium SP. Fabaceae* (Angelim) e *Calycophyllum SP. Rubiaceae* (mulateiro da várzea).

Os valores encontrados de densidade aparente dessas espécies madeireiras são todos superiores a 500 kg/m³. Desta forma, adotou-se esse valor para efeito deste trabalho, em face da heterogeneidade das espécies encontradas no bioma da várzea do rio Madeira, além de permitir um cenário conservador, ou seja, os valores usados não implicarão em superestimacões.

Uma vez definida a densidade, foram calculados os valores de volumes disponíveis, a partir do qual se chegou aos volumes a granel disponíveis, bastando, para tal, efetuar a multiplicação por sua densidade a granel, ou seja:

$$V_g = M_{\text{disp}} \times \gamma \quad [4], \text{ onde:}$$

V_g – Volume a granel disponível;

M_{disp} – massa disponível;

γ – densidade a granel da biomassa.

A densidade a granel é obtida por meio de ensaio normatizado pela NBR 6922, onde se verifica o peso da biomassa para uma amostra com volume igual a 0,216 m³. Para este ensaio a biomassa deverá estar com sua granulometria adequada ao requerido pelo sistema a ser adotado. Para efeito deste trabalho foi adotado o valor de 245 kg/m³, obtido a partir da média das 43 espécies amazônicas caracterizadas em Feitosa Netto *et al* (2006).

Os resultados de massa disponível e volume a granel para cada localidade onde as operações de retirada de paliteiro foram realizadas, usando-se para tal a média das retiradas, constam da tabela 4.

Uma vez conhecidos os volumes a granel, o potencial de geração de energia elétrica pode ser avaliado por meio do produto da densidade energética da biomassa pelo volume a granel, ou seja:

$$P_{ele} = \bar{\delta} \times V_g [3], \text{ onde:}$$

P_{ele} – Potencial de geração de energia elétrica (MJ);

$\bar{\delta}$ – densidade energética (MJ/m³);

V_g – Volume a granel (m³).

A densidade energética adotada neste trabalho foi de 4.893 MJ/m³, resultante da média obtida para 43 espécies amazônicas publicadas em DUARTE *et al*, 2007.

Os valores calculados em MJ foram convertidos para kWh, e em seguida, foram calculadas as potências disponíveis em kVA, considerando um fator de carga de 0,4, além do número de unidades consumidoras que o sistema é capaz de atender, tomando-se como referência o valor unitário de 2,5 kVA, obtido a partir de relatório de fevereiro de 2009 do Programa Luz para Todos, Coordenação Estadual do Amazonas. A tabela 4.5 mostra os resultados obtidos.

Tabela 4.5 – Potencial de geração de energia elétrica e do número de unidades consumidoras a serem atendidas utilizando a biomassa retirada de paliteiros do rio Madeira.

Local	Massa disponível(kg)	Vol. a granel (m3)	Energia (kWh)	Potência (kVA)	Número de Unid. Cons.
Foz do Paraná do Madeirinha	104.680,00	427,27	116.112,43	41,42	17
Porto do Cruzeiro	175.100,00	714,69	194.223,22	69,29	28
Santa Rosa Enseada	209.355,00	854,51	232.219,32	82,84	33
Cachoeirinha Paraná do	155.295,00	633,86	172.255,26	61,45	25
Jenipapo	222.230,00	907,06	246.500,44	87,94	35

Continuação da tabela 4.5 – Potencial de geração de energia elétrica e do número de unidades consumidoras a serem atendidas utilizando a biomassa retirada de paliteiros do rio Madeira.

Local	Massa disponível(kg)	Vol. a granel (m3)	Energia (kWh)	Potência (kVA)	Número de Unid. Cons.
Costa Bela Vista do Atininga Ilha do Salomão Papagaios Ilha dos Periquitos /Curicaca Capitari Mutum	234.445,00	956,92	260.049,48	92,77	37
	309.943,00	1.265,07	343.792,85	122,64	49
	276.175,00	1.127,24	306.336,94	109,28	44
	226.474,00	924,38	251.207,94	89,61	36
	283.125,00	1.155,61	314.045,97	112,03	45
	408.540,00	1.667,51	453.157,94	161,66	65
Totais	1.630.591,00	6.655,47	1.808.672,97	645,22	258

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 INTRODUÇÃO

No intuito de se poderem obter subsídios para dar suporte a uma conclusão adequada quanto ao aproveitamento energético da biomassa disponível a partir de operações de retirada de “paliteiros” no rio Madeira, foram desenvolvidas análises quanto aos aspectos de viabilidades técnica, econômica, ambiental, legal e social, relatadas a seguir.

- Aspectos de viabilidade técnica:

As retiradas de “paliteiros” do rio Madeira realizadas pelo Governo Federal, por intermédio da AHIMOC, entre os anos de 2000 a 2005, indicam um potencial de aproveitamento para geração de energia elétrica constante na tabela 4.5, onde se verifica que o aproveitamento de toda a biomassa redundaria em uma potência de aproximadamente 645 KVA.

Esse aproveitamento energético poderia ter gerado eletricidade suficiente para atender algo em torno de 258 unidades consumidoras (UCs) ao longo desses anos, ao invés de sua disponibilização nas margens do rio Madeira, sem qualquer utilidade, como de fato aconteceu.

Três cenários distintos podem ser conjecturados como estratégias de aproveitamento dessa biomassa: uso em comunidades próximas a cada local de retirada; geração em local próximo ao atingimento da capacidade volumétrica do veículo usado para transporte da biomassa (balsa); e o aproveitamento em um único local de todo o material lenhoso retirado.

Desses cenários, o que supõe o aproveitamento em comunidades próximas ao local onde o limite de transporte da balsa é alcançado é o que não causa alterações na rotina usada até o presente momento na retirada de “paliteiros”, com conseqüente manutenção de custos por parte da AHIMOC.

Essa rotina, adotada pelas empresas responsáveis pela retirada de “paliteiros”, contratadas pela AHIMOC, consistia em processo operacional em que foram usadas balsas equipadas com guindastes que permitiam cargas até 25

toneladas. Para evitar riscos de tombamento das balsas e no intuito de permitir armazenamento adequado nas mesmas, com melhor aproveitamento de suas capacidades, os troncos de árvores retirados sofreram redução de suas dimensões por meio de motosserras.

Desta forma foi possível armazenar um volume equivalente a 1000 m³ de madeira em uma única balsa, nos anos em que as retiradas foram realizadas, tendo sido, em seguida, dispostos às margens do rio Madeira, em local onde a empresa responsável pela operação considerava reduzidas as chances de retorno às águas, antes de reiniciar a operação.

Na hipótese de adoção do cenário de não alteração da rotina de retirada de “paliteiros”, considerando-se a média dos volumes obtidos entre 2001 e 2005, verifica-se a possibilidade de uso da biomassa disponível para alimentação de quatro usinas: três de 158 kW, para fazer uso de 1000 m³ de biomassa cada uma, que permitiria atender 79 UCs por usina, totalizando 237 UCs; e uma usina de 40 kW, para fazer uso de 261 m³, capaz de atender 21 UCs.

Focando-se a demanda, no cenário mencionado, verifica-se oportunidade de geração na comunidade São Carlos, situada nas proximidades do local conhecido como Curicaca, no estado de Rondônia. Nessa comunidade já existe fornecimento de energia elétrica pelo Poder Público, sob responsabilidade de um Produtor Independente de Energia - PIE, com potência efetiva de 284 kW. A implantação de sistema de geração com aproveitamento da biomassa permitiria o atendimento de todos os consumidores hoje supridos por usina termelétrica a diesel.

Outra localidade que apresenta potencial para uso da biomassa é a sede da cidade de Humaitá, bem próxima ao local de retirada de “paliteiro” conhecido como Ilha do Salomão. Nesta cidade, segundo CEAM (2008), existe geração termelétrica a diesel para 6765 consumidores, com 8850 kW de potência instalada, das quais 1600 kW são gerados por PIE.

Em Humaitá, onde o mercado é bem mais robusto, a implantação desse tipo de sistema significa um acréscimo de apenas 5,83% na oferta de energia, porém possibilitaria o atendimento de eventual demanda reprimida.

Considerando-se este nível de potência, bem como as rotas tecnológicas disponíveis no mercado, evidenciam-se vantagens competitivas no uso do sistema de gaseificação em relação às demais tecnologias, haja vista seu grau de maturidade e eficiência.

Fica reforçada a opção pela gaseificação se for considerada a hipótese de aproveitamento da biomassa de forma não concentrada, sem que isso ocorra em um único local, uma vez que os níveis de potência seriam necessariamente menores, reduzindo mais ainda a competitividade das outras rotas tecnológicas disponíveis no mercado.

Ressalta-se a possibilidade de aquisição de sistema de gaseificação no mercado internacional, haja vista a inexistência de fornecedores nacionais para esse tipo de equipamento, muito embora experiências implementadas no Brasil demonstrem a capacidade técnica de desenvolvimento de tecnologia nacional ou mesmo de adaptação dessa tecnologia.

Ressalta-se, ainda, que não há grandes dificuldades de preparação de mão-de-obra para lidar com gaseificadores quando se compara com a capacidade técnica necessária para operar sistemas a diesel.

Outro aspecto a considerar diz respeito à hipótese de necessidade de substituição ou complementação de biomassa para o sistema de gaseificação, considerando-se a possível escassez desta fonte lenhosa do rio Madeira, ou mesmo, da necessidade de atendimento de ampliação da demanda. Nestes casos salienta-se ser perfeitamente viável para o sistema de gaseificação a possibilidade de uso de outras biomassas porventura existentes nas comunidades, preferencialmente as resultantes de processos produtivos como, por exemplo, a casca de castanha e a casca de cupuaçu. Existe, também, a possibilidade de atendimento desta demanda a partir de cultivo manejado de espécies energéticas, podendo para tanto priorizarem-se áreas degradadas.

Em resumo a viabilidade técnica está caracterizada em face da disponibilidade de fonte, no caso a biomassa lenhosa, em quantidade e qualidade para aproveitamento na geração de eletricidade, existe demanda para a energia elétrica nas proximidades da disponibilidade, além da existência de tecnologia, sem grandes barreiras quanto à aquisição, à operação e à manutenção.

- Aspectos de viabilidade econômica:

Foram efetuadas avaliações concernentes aos custos de geração da energia elétrica, considerando-se o sistema de gaseificação e o de termelétrica a diesel. A escolha de termelétrica a diesel para comparação deve-se ao fato de ser este sistema o mais usado atualmente nas comunidades isoladas da Amazônia em que esse serviço está disponibilizado. Os resultados obtidos estão apresentados na

tabela 5.1, e consideram a hipótese de instalação em local onde já existe geração usando combustível de origem fóssil.

Tabela 5.1 - Custos de geração com sistema de gaseificação e termelétrica a diesel

	Gerador a Diesel	Gaseificação
Potência [kW]	158	158
Custo de instalação [R\$/kW]	1.629,00	3.258,00
Custo de capital [R\$]	257.382,00	128.691,00
Custo anual de O&M [R\$]	992.604,32	392.280,31
Custo anual com biomassa [R\$]	Não aplicável	50.103,70
Custo anual com diesel [R\$]	872.275,59	218.068,90
Custo anual com óleo lubrificante	10.149,74	10.149,74
Energia produzida [MWh/ano]	968,86	968,86
Taxa mínima de atratividade [%]	12	12
Vida útil [ano]	15	15
Custo de geração [R\$/MWh]	1.063,52	502,44

É importante ressaltar que em ambos os casos, biomassa e diesel, foram adotadas as mesmas taxas de juro anual (12%) e o mesmo período de vida útil dos equipamentos (15 anos). O consumo de diesel usado foi de 0,285 l/kWh e de 0,0015 de óleo lubrificante para o grupo-gerador, obtido de CEAM (2008), e 75% como índice de substituição do diesel no sistema de gaseificação. Além disso, considerou-se o ressarcimento de 75% do investimento, para o caso da biomassa, em face de dispositivo legal previsto na Lei 12.111/2009, concernente à CCC. O custo da biomassa foi estimado em R\$ 0,036/kg, apesar da hipótese da sua disponibilidade em local próximo à geração, para fazer face à despesas com transporte da biomassa até a usina, bem como a redução de suas dimensões, visando à compatibilização com o sistema de gaseificação.

Assim sendo, observa-se que o sistema de gaseificação apresenta custo de geração que representa apenas 47,24% do custo na termelétrica a diesel.

A partir dos resultados obtidos dos custos de geração foram calculadas as figuras de mérito *pay back*, VLP e TIR, usando-se para tanto o fluxo de caixa incremental, ou seja, as diferenças entre os custos de capital e os benefícios das

opções termelétrica a diesel e gaseificação, aqui abordadas, constantes da tabela 5.2.

Tabela 5.2 - *Pay back*, VLP e TIR, considerando o fluxo de caixa incremental, considerando-se as opções de geração a diesel e gaseificação.

Custo de capital incremental [R\$]	128.691,00
Benefício incremental anual [R\$]	281.901,28
Taxa mínima de atratividade [% a.a.]	12
Vida útil [anos]	15
FIGURAS DE MÉRITO	
VLP [R\$]	1.791.300,43
TIR [% a.a.]	219,05
Pay back time [anos]	0,46

Os resultados apresentados na tabela 5.2 permitem a constatação de vantagem econômica da adoção do sistema de gaseificação.

- Aspectos de viabilidade ambiental

A retirada de obstáculos flutuantes da Hidrovia do Madeira está prevista dentre um conjunto de ações preconizadas no seu Plano de Controle Ambiental, em face da necessidade de permitir condições mínimas de segurança para a navegabilidade deste importante rio da Amazônia. A disposição desse material retirado de forma concentrada em suas margens tem-se constituído em um problema ambiental, haja vista que potencializa a proliferação de vetores de doenças. O uso desse material para geração de energia elétrica apresenta-se como interessante opção para a solução desse gargalo.

Há ainda que se ressaltar que no que concerne à tecnologia proposta, neste caso o sistema de gaseificação, a obtenção de licenciamento ambiental é perfeitamente factível, em face de estágio atual de desenvolvimento dessa tecnologia.

É importante destacar que na hipótese de substituição de termelétrica a diesel já implantada pelo sistema de gaseificação, ocorrem ganhos quanto às emissões na atmosfera de gases de efeito estufa, haja vista que o uso de biomassa como fonte remete a um balanço zero de emissão de CO₂, o que não ocorre no caso de uso de combustíveis de origem fóssil.

- Aspectos de viabilidade legal

A manutenção da navegabilidade em hidrovias no Brasil faz parte das obrigações do estado. O rio Madeira é considerado como uma hidrovia federal e por conta disso cabe ao Ministério dos Transportes, via Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, a obrigação da manutenção das condições permanentes de sua navegação. Por conta disso é que são realizadas as operações de retirada de “paliteiros” possibilitando, assim, a disposição da biomassa lenhosa.

Outro aspecto a considerar diz respeito à Lei 12.111/2009 que incentiva o uso de biomassa para geração de energia.

- Aspectos de viabilidade social

Do ponto de vista social não se vislumbra qualquer impacto negativo em face de instalações de usinas com o sistema proposto, tão somente aspectos positivos decorrentes da geração de postos de trabalho e renda, como consequência direta da implantação, bem como dos inúmeros ganhos ocasionados pela oferta de energia elétrica aos domicílios, escolas, postos de saúde, etc.

5.2 CONCLUSÕES

Os resultados aqui apresentados sinalizam a oportunidade de uso inédito para geração de energia elétrica de uma biomassa disponibilizada pela natureza de maneira viável sob a ótica técnica, econômica, ambiental, legal e social.

A viabilização desta geração requer a adoção de política pública neste sentido, a partir do estabelecimento de ações entre entes pertencentes ao mesmo poder público, no caso os Ministérios dos Transportes, de Minas e Energia e do Meio Ambiente, onde o primeiro já dispõe da biomassa e o segundo possibilitaria o seu uso como fonte energética em programa de universalização.

Verifica-se que os empreendimentos ora em curso no rio Madeira, leia-se a construção das hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, não comprometem o uso energético contemplado no estudo, haja vista que a ocorrência de “paliteiros” está intrinsecamente ligada ao fenômeno das terras caídas.

Por fim, conclui-se que o aproveitamento energético da biomassa lenhosa tem potencial de atração de capital privado, o que poderá levar, inclusive, a redução de custos públicos.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos relativos à replicação da experiência em outras calhas de rios da Amazônia em que acontece fenômeno semelhante, como no rio Solimões, seriam oportunizados a partir do amadurecimento tecnológico da rota de gaseificação aqui proposta.

Há que se considerar, também, a oportunidade de realização de estudos relativos à disponibilidade de outras biomassas, considerando as situações de aumento da demanda ou de redução de oferta da biomassa proposta, originárias de diversas atividades econômicas, destacando-se o extrativismo e a agricultura famílias, ou de culturas energéticas manejadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL – AHIMOC. *Plano de Controle Ambiental da Hidrovia do Madeira*, 1999.
2. ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL – AHIMOC. *Relatório Final de Desobstrução de Trecho Crítico do Canal Preferencial do Rio Madeira*, 2000.
3. ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL – AHIMOC. *Monitoramento Ambiental da Hidrovia do Madeira*. 2003.
4. ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL – AHIMOC. *Relatório Estatístico 2004*, 2005.
5. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Monitoramento Hidrológico - Boletim Informativo número 07, 2008.
6. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Resolução 223, de 29 de abril de 2003*.
7. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 3 ed., 2008.
8. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, 2 ed., 2005.
9. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Banco de Informações de Geração*, 2010.
10. BELLEN, Hans Michael Van. *Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro. Editora FGV, 2007. 256 p.
11. CAMARGO, Ivan Marques de Toledo. *Noções Básicas de Engenharia Econômica: Aplicações ao Setor Elétrico*. Brasília: FINATEC, 1998. 160 p.
12. CARVALHO, José Alberto Lima de. *Terras caídas e conseqüências sociais: Costa do Miracauera – Paraná da Trindade*. Dissertação de Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Itacoatiara/Am, 2006. 141p.
13. CASAGRANDE, Luiz Fernandes. *Avaliação Descritiva de Desempenho e Sustentabilidade Entre uma Granja Suinícola Convencional e Outra Dotada de Biossistema Integrado (B.S.I.)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
14. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*, 2001.

15. COELHO, Suani Teixeira. *Biofuels – Advantages and Trade Barriers*. United Nations Conference on Trade and development. 2005
16. COMPANHIA ENERGÉTICA DO AMAZONAS – CEAM. *Boletim Estatístico 2008*. Manaus, 2009.
17. COPELAND, Tom, ANTIKAROV, Vladimir. *Opções Reais: um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos*. Tradução de Maria José Cyhlar. Rio de Janeiro. Editora Campus, 2001.
18. CORTEZ, L. A. B., LORA, E.E.S. *Tecnologias de Conversão Energética de Biomassa*. EDUA/EFEI, Manaus, 1997.
19. CORTEZ, L. A. B., LORA, E.E.S. GÓMEZ, E. O. *Biomassa para Energia*. Editora UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2008.
20. CPRM SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Projeto de Gestão Ambiental Integrada do Amazonas: Zoneamento Ecológico-Econômico do Vale do Rio Madeira*. 1999.
21. DE GOUELLO, Christophe, MAIGNE, Yves. *Eletrificação Rural Descentralizada: Uma Oportunidade para a Humanidade, Técnicas para o Planeta*. CRESESB-CEPEL, Rio de Janeiro, 2003.
22. DUARTE, André A. A. M., BRASIL, Augusto C. M., CRUZ, Daniel. O. A., GUERRA, Danielle R. S., MACÊDO, Emanuel N., RENDEIRO, Gonçalo., NOGUEIRA, Manoel F. M. *Manual para Elaboração de Projetos de Centrais Termoelétricas a Biomassa Vegetal para Comunidades Isoladas da Amazônia: Combustão e Gaseificação*. Projeto BRA/99/011. MME-PNUD-UFPA-Fadusp, 2007.
23. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación- *El Gas de Madera como Combustible para Motores*. 1993.
24. FEITOSA NETTO, G.B., OLIVEIRA, A. G. P., COUTINHO, H. W. M., NOGUEIRA, M. F. M., RENDEIRO, G. *Caracterização Energética de Biomassas Amazônicas*. In: AGRENER, 2006. Campinas /SP.
25. FERNANDES, Marcelo C., SANCHEZ, Caio G., ANGULO, Mario B. *Custos de Gaseificação de Gramíneas para Eletrificação Rural*. In: AGRENER 2002, Campinas/SP, 2002.
26. FUGIMOTO, Sérgio Kinya. *A Universalização do Serviço de Energia Elétrica: Acesso e Uso Contínuo*. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
27. HIDROART CARTOGRAFIA LTDA. *Serviços de Desobstrução do Trecho Crítico do Canal Preferencial do Rio Madeira- Retirada de Paliteiros*. Relatório apresentado à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, 2000.

28. HIDROCARD CARTOGRAFIA LTDA. *Serviços de Desobstrução do Canal Navegável do Rio Madeira Com Retirada de Paliteiros*. Relatório apresentado à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, 2001.
29. J.R. ALMEIDA ENGENHARIA LTDA. *Serviços de Desobstrução do Canal Navegável do Rio Madeira Com Retirada de Paliteiros*. Relatório apresentado à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, 2002.
30. J.R. ALMEIDA ENGENHARIA LTDA. *Serviços de Desobstrução do Canal Navegável do Rio Madeira Com Retirada de Paliteiros*. Relatório apresentado à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, 2003.
31. J.R. ALMEIDA ENGENHARIA LTDA. *Serviços de Desobstrução do Canal Navegável do Rio Madeira Com Retirada de Paliteiros*. Relatório apresentado à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, 2004.
32. J.R. ALMEIDA ENGENHARIA LTDA. *Serviços de Desobstrução do Canal Navegável do Rio Madeira Com Retirada de Paliteiros*. Relatório apresentado à Administração das Hidrovias da Amazônia Ocidental, 2005.
33. KELMANN, Jerson. 2008. *Características do potencial hidroenergético na Amazônia*. In: Seminário Recursos Hidroenergéticos da Amazônia – Alternativas Não Convencionais para os Trancos de Transmissão. Centro de Tecnologia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
34. MEDEIROS, Ricardo Lopes de. *Análise do Fluxo Aquaviário e das Condições Operacionais das Embarcações que Transportam Granéis Líquidos pelo Rio Madeira, Amazônia Ocidental*. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais – PPGCIFA, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas - UFAM, 2006.
35. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. *Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos*, 2003.
36. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Manual de Operacionalização. Brasília, 2004.
37. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Programa Luz para Todos. *Relatório do Comitê Gestor do Estado do Amazonas*, 2009.
38. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT. *Atlas de Atualização do Projeto de Balizamento Para a Implantação da Nova Sinalização de Margem da Hidrovia do Madeira*, 2004.
39. MURARO, Wilson. *Avaliação de Motor ICE com Gás de Baixo Poder Calorífico Proveniente da Gaseificação de Casca de Arroz*. Dissertação de mestrado. Campinas: FEM, UNICAMP, 2005.

40. NOGUEIRA, L.A., LORA, E.E.S. *Dendroenergia: fundamentos e aplicações*. Editora Interciência Ltda, 2. ed., Rio de Janeiro, 2003.
41. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Programmes*. Relatório do Grupo de Especialistas em Saúde do Fórum Chernobyl das Nações Unidas, Genebra, 2006.
42. REED, Thomas B. *Encyclopedia of Biomass Thermal Conversion. 3rd Edition*, The Biomass Energy Foundation Press, Colorado State, USA, 2002.
43. ROCHA, Brígida R. *Biomassa é Fonte Alternativa de Energia Promissora na Amazônia*. Revista T&C Amazônia, Manaus/Am, ano III, n. 6, pp 5-8, janeiro de 2005.
44. RODRIGUES, Alexia de Freitas. *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 apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2006. 146 p.
45. ROSA, Victor Hugo da Silva. *Energia Elétrica Renovável em Pequenas Comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável*. Tese de Doutorado, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília, 2007. 440 p.
46. SILVA, Ennio Peres, et al. *Regulação Energética e Meio Ambiente: Propostas para a Região Amazônica Isolada*. Campinas, SP: NIPE/UNICAMP, 2001.
47. SILVA, Marcos Vinicius Miranda da. *A dinâmica excludente do sistema elétrico paraense*. Tese de doutorado apresentada ao Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 308p.
48. SOUZA, R. C. R. *Energias alternativas: Desafios e Oportunidades para a Amazônia*. Revista T&C Amazônia, ano 1, vol. 1, pag. 76 a 80, fevereiro de 2003.
49. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*, 2007. Acesso: 28 de junho de 2009. Disponível em <http://www1.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>,
50. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT - WCED. *Our Common Future*. Oxford and New York. Oxford University Press, 1987.

LISTA DE PRINCIPAIS ENDEREÇOS CONSULTADOS NA REDE MUNDIAL DE COMPUTADORES

www.ahimoc.com.br
www.ana.gov.br
www.cenbio.iee.usp.br
www.conhecendoamadeira.com
www.coppe.ufrj.br
www.cprm.gov.br
www.demec.ufmg.br
www.electrocell.com.br
www.eletrabras.gov.br
www.elsevier.com/locate/enpol
www.epe.gov.br
www.fao.org
www.fucapi.gov.br
www.googleearth.com
www.ibge.gov.br
www.iea.org
www.inpa.gov.br
www.luzparatodos.mme.gov.br
www.mme.com.br
www.mme.gov.br
www.ons.gov.br
www.santoantonioenergia.com.br
www.science.howstuffworks.com
www.Turbec.com
www.ufpa.br
www.un.org
www.unifei.edu.br
www1.ipcc.ch/ipccreports