

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

USP

Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia

PIPGE

(EP/FEA/IEE/IF)

**GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM COMUNIDADES ISOLADAS NA REGIÃO
AMAZÔNICA COM A UTILIZAÇÃO DE GASEIFICADORES DE BIOMASSA**

Sandra Maria Apolinario dos Santos

São Paulo

2006

SANDRA MARIA APOLINARIO DOS SANTOS

**GERAÇÃO DE ELETRICIDADE EM COMUNIDADES ISOLADAS NA REGIÃO
AMAZÔNICA COM A UTILIZAÇÃO DE GASEIFICADORES DE BIOMASSA**

Dissertação apresentada ao Programa
Interunidades de Pós-Graduação em Energia
da Universidade de São Paulo (Instituto de
Eletrotécnica e Energia / Escola Politécnica /
Instituto de Física / Faculdade de Economia e
Administração) para obtenção do título de
Mestre em Energia.

Orientação: Prof. Dr. José Goldemberg

São Paulo

2006

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Goldemberg, que mesmo muito atribulado, encontrou tempo para me orientar.

A Prof^ª. Dr^ª. Suani Teixeira Coelho, pelas orientações, ensinamentos e, principalmente, pelo exemplo de vida e profissionalismo.

A amiga e madrinha de casamento Sílvia Velázquez, pelo incentivo, colaboração e exemplo de caráter e perseverança.

Aos colegas do CENBIO pela colaboração.

A minha família, por tudo.

E por fim, mas não menos importante, ao meu marido Fernando, pelo companheirismo, paciência, amizade, bom humor e pelo amor.

RESUMO

APOLINARIO, S. M. **Geração de Eletricidade em Comunidades Isoladas na Região Amazônica com a Utilização de Gaseificadores de Biomassa.** 2006. 186 p. Tese de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

As regiões Norte e Nordeste do país concentram a maior parte das comunidades brasileiras sem acesso à rede de distribuição de energia elétrica. O modelo de fornecimento de energia elétrica adotado para as demais regiões do país não atende às características peculiares destas regiões. A grande maioria das comunidades localizadas nas regiões isoladas que dispõem de sistemas de geração de energia elétrica localizada está baseada em pequenos motores a óleo diesel. Acontece que, nestas comunidades, o custo de transporte deste combustível, dadas as grandes distâncias a serem percorridas, chega a dobrar. Desta forma, o emprego de unidades de geração de energia elétrica de pequeno porte utilizando combustíveis regionais como, por exemplo, a biomassa, pode vir a ser uma alternativa economicamente viável. Este trabalho foi baseado e desenvolvido ao longo do projeto “Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte – GASEIFAMAZ”. Seu objetivo é analisar as perspectivas para substituição do óleo diesel na geração de energia elétrica, em comunidades isoladas da região amazônica, através de sistemas de pequeno porte para gaseificação de biomassa localmente disponível.

Palavras-chaves: gaseificação de biomassa, energia renovável, comunidades isoladas.

ABSTRACT

APOLINARIO, S. M. **Electricity Generation at the Amazon Isolated Communities Using Biomass Gasification.** 2006. 186 p. Work. Program on Post-Graduation in Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

The Northern and the Northeastern of the Brazilian territory concentrate most of the communities without access to the electric energy distribution grid. On the other hand, the supplying model adapted outside these regions does not support their peculiarities. Most of the communities located at isolated areas that have its own electric system generation rely on diesel engine to do so. However, diesel transport cost double due to long distance. In this way, small scale electric system generation units using local fuel like biomass could become a viable alternative. This work is based on the project “Comparison among existing technologies of biomass gasification and formation of human resources in Amazon region - GASEIFAMAZ” and its aims to analyse the perspectives to replace diesel oil in the electric energy generation at the Amazon isolated communities trough small scale biomass gasification system.

Keywords: biomass gasification, renewable energy, isolated communities.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	SITUAÇÃO ATUAL DA REGIÃO AMAZÔNICA.....	17
2.1	Perfil Energético da região amazônica.....	17
2.2	Aspectos sócio-econômicos.....	19
3.	ESTADO DA ARTE DA GASEIFICAÇÃO.....	23
3.1	Reações de Gaseificação.....	23
3.2	Principais Tipos de Gaseificadores na atualidade.....	25
3.2.1	Gaseificadores de leito fixo.....	26
3.2.1.1	Gaseificador Contracorrente.....	26
3.2.1.2	Gaseificador Co-corrente.....	30
3.2.2	Gaseificador de leito fluidizado ou de leito circulante.....	40
3.3	Principais projetos de gaseificação de biomassa no mundo.....	44
3.3.1	Hawai Biomass Gasification Project.....	44
3.3.2	Värnamo Planta Gaseificador Integrado – Ciclo combinado.....	45
3.3.3	Vermont Biomass Gasification Project.....	47
3.3.4	TPS Termiska Processer AB.....	48
3.4	Principais projetos de gaseificação de biomassa no Brasil.....	49
3.4.1	Universidade de Campinas (UNICAMP).....	49
3.4.2	Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).....	50
3.4.3	Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).....	51
3.4.4	Universidade Federal do Pará (UFPA).....	53
3.4.5	Projeto WBP-SIGAME.....	54
3.4.6	Termoquip.....	56
3.4.7	Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).....	56
3.4.8	Projeto Ribeirinhas.....	57
3.4.9	Projeto COPERSUCAR para geração de energia por biomassa, bagaço de cana e resíduos.....	57
4.	ESTUDO DE CASO: INSTALAÇÃO DE GASEIFICADOR EM COMUNIDADE ISOLADA NA REGIÃO AMAZÔNICA.....	59

4.1	A experiência da Índia.....	59
4.1.1	Visita à Vila Hosahalli.....	59
4.1.2	Visita à fundição Tahafet.....	62
4.1.3	Conclusões da missão técnica à Índia.....	63
4.2	Levantamento e escolha da comunidade para a instalação do sistema de gaseificação.....	64
4.2.1	Comunidade 6 de Janeiro.....	65
4.2.2	Comunidade Boa Esperança.....	66
4.2.3	Assentamento Aquidabam.....	69
4.3	Montagem do sistema no IPT.....	72
4.4	Transferência e instalação do sistema de gaseificação no Assentamento Aquidabam.....	78
4.5	Processo de capacitação / treinamento dos moradores da comunidade na O&M do sistema de gaseificação.....	79
4.6	Operação do sistema de gaseificação na comunidade.....	80
5.	TESTES NO SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO DE 20 kW, IMPORTADO DO IISc, REALIZADOS NO IPT.....	82
5.1	Descrição da operação do gaseificador e motor.....	82
5.2	Descrição da instrumentação instalada no gaseificador e modificações introduzidas.....	86
5.3	Posta em marcha do gaseificador.....	90
5.3.1	Testes iniciais no sistema de gaseificação.....	91
5.3.2	Concepção e montagem de uma unidade primária de tratamento da água de lavagem do gás.....	96
5.4	Testes nos motores.....	100
5.4.1	Motor indiano.....	101
5.4.2	Motor Nacional (MWM).....	104
5.4.2.1	Análise do óleo lubrificante.....	105
5.5	Avaliação do sistema de limpeza de gases e de água de lavagem.....	107
5.5.1	Avaliação do ciclone e do recuperador de calor.....	107
5.5.2	Avaliação do sistema de lavagem de gases por via úmida.....	109

5.5.3	Avaliação do filtro manga na entrada do motor.....	114
5.5.4	Avaliação do sistema de limpeza da água de lavagem.....	116
5.6	Avaliação do desempenho do gaseificador com diferentes biomassas.....	117
5.6.1	Caracterização da biomassa ensaiada.....	117
5.7	Influência dos parâmetros operacionais no desempenho gaseificador.....	122
5.8	Conclusões dos testes realizados no sistema de gaseificação de 20 kW.....	124
6.	ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO INSTALADO NO ASSENTAMENTO AQUIDABAM.....	127
	6.1 Perspectivas de uso da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC).....	129
7.	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE POLÍTICAS.....	134
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
	ANEXO A.....	147
	ANEXO B.....	178

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Mapas comparativos: IDH x Acesso à energia.....	21
Figura 2 - Regiões existentes no interior de um gaseificador de leito fixo contracorrente.....	27
Figura 3 - Gaseificador Contracorrente Atmosférico Existente no IPT (1 MWth).....	28
Figura 4 - Gaseificador Contracorrente Pressurizado da Lurgi.....	29
Figura 5 - Regiões normalmente encontradas em um gaseificador co-corrente.....	30
Figura 6 - Diagrama do Gaseificador do Tipo Imbert.....	32
Figura 7 - Desenho esquemático de um gaseificador do tipo Imbert.....	32
Figura 8 - Representação das Regiões Ocupadas pelos Jatos de Ar Injetados na Zona de Combustão de um Gaseificador do Tipo Imbert.....	33
Figura 9 - Esquemas de Sistemas de Geração de Gás Empregados para o Acionamento de Veículos Durante a Segunda Guerra Mundial.....	34
Figura 10 - Fotos de Veículos Adaptados para Operar com Gasogêneos.....	35
Figura 11 - Esquema do Corpo do Gaseificador de Topo Aberto do IISc.....	37
Figura 12 - Esquema do Sistema de Limpeza de Gases para Aplicação em Motores IISc.....	38
Figura 13 - Evolução da Pressão na Base de um Leito de Material Particulado com o Aumento da Vazão de Ar.....	41
Figura 14 - Esquema das Instalações do Projeto Hawaii Biomass Gasification.....	44
Figura 15 - Layout da Planta de Värnamo.....	45
Figura 16 - Foto das Instalações de Värnamo.....	46
Figura 17 - Esquema da Planta de Vermont.....	47
Figura 18 - Esquema da Planta Piloto do Gaseificador Atmosférico da Studisvik.....	48
Figura 19 – Projeto ARBRE, Inglaterra.....	49
Figura 20 – Esquema do sistema de gaseificação testado na UNIFEI.....	50
Figura 21 - Gaseificador de Leito Movente Instalado no IPT.....	52
Figura 22 - Fluxograma do Projeto WBP – SIGAME.....	55
Figura 23 - Usina termoeétrica a carvão, instalada no norte de Minas Gerais.....	57
Figura 24 - Vila Hosahalli.....	60
Figura 25 - Floresta de Eucalipto na Vila Hosahalli.....	60

Figura 26 - Gaseificador de 20 kW instalado na Vila Hoshalli.....	60
Figura 27 - Moinho de farinha.....	61
Figura 28 - Sistema de irrigação.....	61
Figura 29 - Água de Lavagem do gás.....	62
Figura 30 – Fornalha.....	63
Figura 31 - Grupo Gerador.....	66
Figura 32 - Comunidade Boa Esperança.....	67
Figura 33 - Placa da Comunidade.....	67
Figura 34 - Grupo Gerador.....	67
Figura 35 - Grupos geradores da usina de óleos vegetais.....	68
Figura 36 - Prensa da usina de óleos vegetais.....	68
Figura 37 - Assentamento Aquidabam.....	70
Figura 38 – Cupuaçu.....	71
Figura 39 – Posicionamento do corpo do gaseificador sobre a base da estrutura metálica.....	72
Figura 40 - Aspecto do gaseificador após montagem sobre a estrutura metálica.....	73
Figura 41 - Conjunto motor / gerador recebido no IPT.....	74
Figura 42 - Fotos do secador de biomassa.....	75
Figura 43 - Serra circular.....	75
Figura 44 - Foto do painel de controle do conjunto.....	76
Figura 45 - Abrigo para o sistema de gaseificação construído pelos moradores da comunidade.....	78
Figura 46 - Inauguração do sistema de gaseificação no assentamento Aquidabam.....	80
Figura 47 - Técnicos do CENBIO, IPT e INCRA presentes na inauguração.....	80
Figura 48 - Morador da comunidade operando o sistema de gaseificação.....	81
Figura 49 - Esquema do gaseificador do IISc.....	83
Figura 50 - Localização da instrumentação instalada.....	86
Figura 51 - Analisadores contínuos e do sistema terciário de limpeza de gás.....	87
Figura 52 - Instrumentação utilizada na determinação do teor de alcatrão e material particulado presentes nos gases.....	88
Figura 53 - “Flare” com injeção de ar comprimido.....	90
Figura 54 - Etapa de ignição do leito.....	91

Figura 55 - Variação da composição do gás gerado durante a partida do gaseificador no primeiro teste de gaseificação.....	92
Figura 56 - Temperaturas registradas ao longo ensaio	92
Figura 57 - Composição dos gases durante ensaio.....	93
Figura 58 - Pressões registradas ao longo do gaseificador durante ensaio	93
Figura 59 - Vazão de gás gerado durante ensaio.....	94
Figura 60 - Variação do PCS do gás gerado e da potência térmica do gaseificador.....	95
Figura 61 - Temperaturas do gás de secagem na entrada e saída do secador.....	96
Figura 62 - Formação de espuma no selo d'água do lavador primário.....	97
Figura 63 - Aspecto da água de lavagem antes e após o tratamento com carvão vegetal retirado do gaseificador.....	98
Figura 64 - Filtro com a grelha coberta com tela de sustentação de areia e de carvão.....	99
Figura 65 - Fotos da entrada do ciclone após o encerramento dos testes no IPT.....	107
Figura 66 - Fotos da saída de gases do ciclone (à esquerda) e do fundo do ciclone (à direita).....	108
Figura 67 - Fotos do material depositado na entrada (à esquerda) e na saída do trocador de calor (à direita).....	108
Figura 68 - Depósitos formados na entrada e saída do dispositivo de coleta inercial, instalado após o trocador de calor.....	109
Figura 69 - Esquema do sistema de lavagem a úmido dos gases.....	110
Figura 70 - Fotos de um dos dispositivos de lavagem a úmido dos gases gerados.....	111
Figura 71 – Fotos da parte interna do dispositivo de lavagem.....	111
Figura 72 – Foto do sistema separador de gotas instalado na saída do sistema primário de lavagem de gases.....	112
Figura 73 – Foto da parte externa do filtro manga instalado na entrada do motor.....	114
Figura 74 – Fotos das partes internas do filtro manga: filtro preso no suporte metálico (pelo lado externo do suporte) pelas braçadeiras, à esquerda, e o suporte metálico sem o filtro, à direita.....	115
Figura 75 – Foto de cavaco de eucalipto utilizado nos ensaios de avaliação.....	118
Figura 76 – Foto das biomassas ensaiadas.....	119
Figura 77 – Foto das cinzas no gaseificador.....	120

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 01 - Acesso à energia nas áreas urbanas e rurais da região Norte, em 1991.....	20
Tabela 02 - Acesso à energia nas áreas urbanas e rurais da região Norte, em 2002.....	20
Tabela 03 – Comparação dos tipos de gaseificadores de leito fixo.....	39
Tabela 04 – Comparação entre os gaseificadores de leito fixo e fluidizado.....	43
Tabela 05 - Especificações dos motores diesel testados no IPT.....	74
Tabela 06 - Potências nominais dos motores elétricos enviados pelo IISc.....	77
Tabela 07 – Análise da água de lavagem de gases, após 32 horas de operação.....	97
Tabela 08 – Resultados de DQO e DBO de três amostras de água.....	98
Tabela 09 – Valores médios registrados durante ensaio.....	103
Tabela 10 - Dados operacionais e rendimentos do motor de marca MWM, operando com diesel e gás pobre gerado a partir de duas biomassas, para vários níveis de carga.....	105
Tabela 11 - Resultados de análises de óleo lubrificante.....	106
Tabela 12 - - Evolução dos índices DQO e DBO da água de lavagem de gases.....	117
Tabela 13 - Análise imediata e PCS do cavaco.....	118
Tabela 14 - Propriedades das biomassas ensaiadas.....	120
Tabela 15 - Propriedades das “cinzas” retiradas do gaseificador.....	121
Tabela 16 - Média de alguns parâmetros operacionais do gaseificador operando com diferentes biomassas.....	122

1. INTRODUÇÃO

A energia renovável está ganhando importância cada vez maior no Brasil e no mundo, devido a fatores como a dependência externa dos combustíveis fósseis, a desvalorização da moeda corrente, a instabilidade política dos países produtores de petróleo, as limitações ambientais - poluição do ar, as mudanças climáticas e o aumento da conscientização pública por um desenvolvimento sustentável. Além disso, a energia renovável permite a criação de mais postos de trabalho do que os combustíveis fósseis e o desenvolvimento de comunidades isoladas (GOLDEMBERG, 2002).

O desenvolvimento de tecnologias de produção de eletricidade a partir de biomassa vem ocorrendo principalmente pelas suas vantagens ambientais, em particular a mitigação das emissões dos gases causadores do efeito estufa, mas também pela redução das emissões dos gases responsáveis pelas chuvas ácidas – óxidos de enxofre e nitrogênio – e das emissões de material particulado (COELHO, 1999).

A utilização de tecnologias avançadas de produção de eletricidade a partir da biomassa é importante por permitir a expansão da capacidade de geração tanto dos países desenvolvidos como também, e principalmente, nos países em desenvolvimento. De forma geral a maior preocupação, no caso dos países em desenvolvimento, deve-se ao fato de uma parcela significativa de sua população ainda ter índices de consumo reduzidos e, portanto, são esperadas altas taxas de crescimento da demanda de energia elétrica. Além disso, de forma geral, esses países têm maior disponibilidade de área e condições climáticas mais favoráveis para o plantio de biomassa (COELHO, 1999).

Embora a região Norte possua no seu território diversas fontes de energia renovável, especialmente uma farta produção espontânea de biomassa, a geração elétrica, é feita por geradores movidos a óleo diesel, que tem seu preço duplicado devido as grandes distâncias a serem percorridas.

Este fato torna-se ainda mais agravante quando analisamos que, a geração de energia elétrica, na maioria das vezes, não é atrelada a nenhuma atividade produtiva, tornando-se assim, mais um custo no restrito orçamento dos moradores destas comunidades isoladas. A geração da energia elétrica nestas comunidades chega a custar R\$ 20,00/mês/residência (incluindo energia elétrica e bombeamento de água), que implica em

um altíssimo custo quando comparado a renda família que, em média, varia entre R\$ 100,00 e R\$ 200,00. Não é raro encontrar famílias que contribuem somente com R\$ 5,00/mês para o bombeamento de água, pois o pagamento do diesel para a geração de energia tornou-se insustentável.

Em 2005, existem ainda, mais de 11 milhões de habitantes no Brasil (IBGE, 2000), a maioria deles localizadas em regiões remotas do país (principalmente na região amazônica), que não contam com fornecimento de energia elétrica. Além disso, para os que já dispõem de sistemas de geração de energia elétrica localizada, a grande maioria está baseada em motor a óleo diesel.

Entretanto, nestas regiões isoladas, o custo de transporte do diesel, dada as grandes distâncias a serem percorridas, chega a atingir duas vezes o seu próprio custo. Desta forma, o emprego de unidades de geração de energia elétrica de pequeno porte utilizando combustíveis regionais e localmente disponíveis, por exemplo, biomassa, pode vir a ser uma alternativa economicamente viável para estas localidades (USHIMA, 2003d).

Além disso, em 2002 o consumo total de óleo diesel no Brasil foi de 39.162 mil m³, sendo que 6.389 mil m³ foram importados (BEN, 2003), aproximadamente 16%, o que contribui desfavoravelmente para a balança de pagamentos do país. Este fato reforça a necessidade de serem pesquisadas opções de substituição do óleo diesel.

As opções convencionais para esta substituição dependem de investimentos elevados em sistemas de transmissão e distribuição de energia gerada a partir das hidroelétricas (ou termoelétricas) - ou a construção do gasoduto Coari-Manaus entre a região do Urucu e essa capital, distante 650 quilômetros. Este gasoduto, certamente irá melhorar a integração da Amazônia como o restante do país, mas dificilmente irá responder à demanda de um grande número de localidades espalhadas neste vasto território, que continuarão na mesma situação (ITURRA, 2004), além dos inúmeros impactos ambientais que a construção deste gasoduto acarretará.

Neste contexto, a utilização de biomassa produzida localmente nas comunidades para geração de energia aparece como uma possibilidade viável e sustentável. Óleos vegetais em motores diesel adaptados e resíduos agrícolas / madeira como combustível em sistemas de geração de pequeno porte apresentam-se como alternativas tecnológicas possíveis e, agora, viáveis economicamente, em função da utilização da CCC – Conta de

Consumo de Combustível para energias renováveis - o que passou a ser possível pela regulamentação da ANEEL (COELHO et al., 2001). Entretanto, no caso de comunidades cuja disponibilidade de biomassa se baseia em resíduos, há a dificuldade de sistemas de conversão comerciais, como o ciclo vapor, com potências menores que 200 kW, não disponíveis comercialmente no país, em vista do elevado custo de produção (específico) e o baixo rendimento de conversão.

A Índia, país com problemas semelhantes ao Brasil nesta questão, vem desenvolvendo unidades de pequeno porte de geração de energia elétrica a partir de biomassa há cerca de duas décadas, tendo desenvolvido diversas unidades de gaseificadores de pequeno porte do tipo co-corrente, muitas delas operando comercialmente há mais de 10 anos.

Um exemplo de uma unidade de geração de energia elétrica, de pequeno porte, na Índia, é a Vila Hosahalli. A vila fica a aproximadamente 110 km de Bangalore, no sul da Índia, onde residem 218 habitantes em 35 casas. O índice pluviométrico da região é de aproximadamente 700mm/ano o que caracteriza uma região semi-árida, semelhante a muitas regiões isoladas brasileiras. Uma floresta de eucaliptos de 4 hectares foi plantada especialmente para o projeto e a produtividade da região é de aproximadamente 10 t/ha/ano¹. A energia gerada com um sistema de gaseificação de 20 kW, instalado em 1990, supre a demanda de iluminação e distribuição de água para as 35 casas, do moinho de farinha e de um sistema de irrigação que atende 8 hectares (CENBIO, 2002c).

Objetivando verificar o desempenho destes gaseificadores e a viabilidade de adaptá-los à realidade brasileira, um projeto conjunto entre o BUN - Biomass Users Network do Brasil e o CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa, intitulado de “Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte - GASEIFAMAZ”, desenvolvido entre os anos de 2002 e 2005, financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), importou uma unidade completa de gaseificação e geração de energia elétrica de 20 kW de potência, desenvolvida pelo Indian Institute of Science (IISc), de Bangalore, para testá-la com biomassas regionais, convênio nº 23.01.0695.00. Após os testes de desempenho do conjunto, e algumas adaptações, a unidade foi transportada, em

¹ Segundo informações dos pesquisadores do Indian Institute of Science – IISc.

2004, para a comunidade de Aquidabam, no município de Manacapuru, na região amazônica, para testes em campo.

Esta dissertação se baseia no projeto GASEIFAMAZ mencionado, no qual a autora foi pesquisadora. Seu objetivo é analisar as perspectivas para substituição do óleo diesel na geração de energia elétrica, em comunidades isoladas da região amazônica, através de sistemas de pequeno porte para gaseificação de biomassa localmente disponível.

O primeiro capítulo desta dissertação pretende caracterizar a situação dos sistemas isolados na região amazônica, bem como, seus aspectos sócio-econômicos.

A seguir serão descritos os tipos de gaseificadores e os principais sistemas de gaseificação, de leito fixo e fluidizado, em operação/desenvolvimento no Brasil e no mundo.

No capítulo do estudo de caso serão descritas as atividades desenvolvidas no projeto como, a missão técnica à Índia, o levantamento e a escolha da comunidade isolada na região amazônica para a instalação do sistema de gaseificação de 20 kW, bem como sua instalação e operação na comunidade.

O capítulo seguinte faz referência aos testes do sistema de gaseificação de biomassa *in natura*, importado do IISc, realizados no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

Será apresentada, também, no sexto capítulo, uma análise econômica do sistema de gaseificação instalado no assentamento Aquidabam.

Por fim, a partir dos resultados obtidos, serão apresentadas as conclusões e propostas de políticas adequadas ao uso de gaseificadores de biomassa de pequeno porte na geração de energia elétrica na Amazônia.

2. SITUAÇÃO ATUAL DA REGIÃO AMAZÔNICA

2.1 Perfil Energético da Região Amazônica

O sistema elétrico brasileiro é segmentado em dois parques distintos: o Sistema Interligado e o Sistema Isolado. O Sistema Interligado, em função das diversidades regionais, também se divide em dois blocos: o Sistema Interligado Sul / Sudeste / Centro-Oeste e o Sistema Interligado Norte / Nordeste. O sistema Isolado é uma região de sistemas de geração não interligados a estes dois blocos, sendo que a maior parte deste sistema está contida na denominada Amazônia Legal².

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é responsável pelo atendimento de cerca de 98% do mercado brasileiro de energia elétrica. Ao final de 2003, a capacidade de geração instalada no SIN alcançou 77.321 MW, sendo 66.321 MW em usinas hidrelétricas e 11.000 MW em usinas térmicas. Para se obter a capacidade de produção total disponível, deve-se somar a esses valores a disponibilidade de importação de 2.178 MW da Argentina e 4.100 MW de Itaipu, parte contratada à ANDE/Paraguai (ONS, 2005).

Os sistemas isolados podem ser divididos em duas categorias: capitais e interiores dos estados. Os da primeira categoria são responsáveis pelo suprimento de energia elétrica às capitais dos estados, que são: Manaus, Porto Velho, Macapá, Rio Branco e Boa Vista, enquanto que os denominados sistemas isolados dos interiores caracterizam-se, basicamente, pelo grande número e dispersão de pequenas unidades geradoras a óleo diesel, utilizada em decorrência da complexidade de acesso a estas localidades e ao reduzido número de consumidores, o que impõe grandes desafios para superar as dificuldades nos procedimentos inerentes à operação e manutenção destes sistemas de geração (FROTA, W. M.; BAJAY, S. V., 2004).

O mapa da exclusão elétrica no país revela que as famílias sem acesso à energia estão majoritariamente nas localidades de menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e nas famílias de baixa renda. Cerca de 90% destas famílias tem renda inferior a três salários-mínimos e 80% delas estão no meio rural (MME, 2004).

² A Amazônia Legal compreende os estados do Amazonas, Amapá, Acre, Pará, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão.

Em grande medida, esse fato se deve aos altos custos envolvidos na construção e manutenção das redes de transmissão e distribuição em regiões de baixa densidade populacional, com a agravante de que as populações rurais remotas e dispersas costumam ter baixo consumo e baixíssima renda, sendo pouco atraentes para as concessionárias de energia. De certa forma isso explica, também, o grande contingente populacional sem acesso ao serviço de energia elétrica, residente nas proximidades de linhas de transmissão (FEDRIZZI, 2003).

Os sistemas isolados têm especificidades que os diferenciam significativamente do sistema interligado. Uma particularidade é o fato de se despachar, na base, energia termoelétrica gerada a partir de derivados de petróleo. No sistema interligado somente nos horários de ponta e, eventualmente, em situações críticas é que entram em operação unidades geradoras usando derivados de petróleo fora do período de maior demanda.

Outra característica marcante do sistema isolado é a pequena concentração de carga de seus mercados, devido a grande dimensão territorial de sua área de atuação (mercados dispersos), que representam apenas 2% do mercado brasileiro.

Soma-se ao fato da exclusão elétrica, o modelo de crescimento econômico adotado pelo Brasil nas últimas décadas priorizou a industrialização e estimulou um processo de urbanização acelerada, orientando o sistema energético nacional para produção centralizada de grandes blocos de energia, adequada ao atendimento das grandes concentrações de consumo, porém incapaz de satisfazer as necessidades de grande parte da população que habita as zonas rurais (SCHELEDER, 1998 apud TOLMASQUIM, 2004a)³.

O processo de reestruturação do setor elétrico brasileiro trouxe à tona a importância da definição de uma nova estratégia para a eletrificação rural no País, visando criar mecanismos que possam assegurar o comprometimento dos agentes do setor com esta atividade, tradicionalmente deficitária ou de retorno em um longo prazo.

Com o objetivo de atender as populações residentes no sistema isolado, o Governo Federal lançou, em 2003, o programa “Luz para Todos”, que tem o objetivo de levar energia elétrica para mais de 12 milhões de pessoas até 2008. O programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da Eletrobrás e de suas empresas controladas, deverá atender uma população equivalente aos estados de Piauí, Mato Grosso

³ SCHELEDER, E. M. M. “O Mercado Invisível”. Brasília, Out. 1998.

do Sul, Amazonas e do Distrito Federal (MME, 2004). O programa prevê o atendimento das demandas no meio rural através de três alternativas: extensão da rede, sistema de geração descentralizada com redes isoladas e sistemas de gerações individuais. No caso da Região Norte (comunidades isoladas) a previsão é de que o fornecimento seja com geração descentralizada, onde se insere o tema em questão.

O programa pretende levar energia elétrica a 1,4 milhão de famílias - 90% delas em áreas rurais - até o ano de 2006. O programa foi iniciado em todos os estados brasileiros com a instalação dos Comitês Gestores Estaduais de Universalização (CGEU).

2.2 Aspectos sócio-econômicos

O aspecto fundamental que caracteriza os municípios que constituem a região amazônica é o fato de todos eles estarem desconectados dos Sistemas Elétricos Interligados brasileiros. Entretanto, várias outras características sócio-econômicas também são comuns, como a baixa densidade populacional, economia com forte componente extrativista, baixo índice de industrialização (exceto em alguns pólos como Manaus), carência de infraestrutura básica (água encanada, rede de esgotos, etc) (SILVA et al., 2001).

Considerando a área total da região da Amazônia Legal de 5.109.810,40 km², 59,78% do território brasileiro, obtém-se para esta região a densidade populacional de 1,74 hab./km² (SILVA et al., 2001).

Do ponto de vista econômico, com exceção de Manaus e sua Zona Franca relativamente industrializada, a região amazônica apresenta características bastante semelhantes em suas diversas regiões, predominando as atividades extrativistas de madeira, da borracha, sementes e plantas oleaginosas.

Com relação ao Produto Interno Bruto (PIB), a região da Amazônia Legal, que ocupa mais da metade do território nacional, é responsável por somente 6,46% do PIB brasileiro (BADAM, 2005).

As Tabelas 1 e 2 ilustram o acesso à energia nas áreas urbanas e rurais da região Norte do Brasil (sistema isolado), nos anos de 1991 e 2002.

Tabela 1 - Acesso à energia nas áreas urbanas e rurais da região Norte do Brasil, em 1991.

Estado	Área de Cobertura (%)		
	Urbana	Rural	Total
Acre	95%	13%	70%
Amazonas	96%	16%	79%
Amapá	94%	42%	89%
Pará	91%	37%	71%
Rondônia	90%	20%	68%
Roraima	97%	30%	82%
Tocantins	81%	14%	64%
Média da Região	92%	54%	75%
Brazil	97%	49%	87%

Fonte: GOLDEMBERG et al., 2003.

Tabela 2 – Acesso à energia nas áreas urbanas e rurais da região Norte do Brasil, em 2002.

Estado	Área de Cobertura (%)		
	Urbana	Rural	Total
Acre	98.5%	32.6%	80.4%
Amazonas	97.8%	27.2%	85.4%
Amapá	99.3%	52.0%	95.6%
Pará	97.6%	39.0%	82.2%
Rondônia	98.5%	58.8%	85.7%
Roraima	98.9%	42.4%	88.6%
Média da Região	98.5%	48.6%	88.1%
Brazil	98.8%	73.2%	94.8%

Nota: Com base nos dados demográficos e no acesso à eletricidade do Censo Demográfico de 2000, projetou-se os dados para o ano de 2002, de acordo com o crescimento histórico dos municípios.

Fonte: GOLDEMBERG et al., 2003.

Percebe-se que o acesso à eletricidade nas áreas urbanas é bem maior que nas áreas rurais. Houve um aumento significativo na área de cobertura dos estados, entre os anos de 1991 e 2002, apesar da média da área de cobertura na zona rural ter caído (isto deve-se, em parte, ao fato de que somente no levantamento realizado no ano de 1991 foi considerado o estado do Tocantins). O estado de Rondônia foi o que apresentou o maior aumento do acesso à energia entre os anos de 1991 e 2001, cerca de 38% de sua área de cobertura.

Parte deste aumento da área de cobertura na região norte do Brasil deve-se a subsídios como, a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), maiores detalhes poderão ser encontrados no item 6.1 do presente trabalho, e linhas de financiamento como do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (GOLDEMBERG et al., 2003).

A grande maioria dos municípios da região da Amazônia Legal encontra-se bem abaixo do padrão brasileiro médio de desenvolvimento humano tal como mensurado pelo Índice de desenvolvimento Humano – IDH. Mesmo nas melhores situações – caso dos municípios dos Estados de Amapá e Rondônia – apenas algumas municipalidades apresentam indicadores superiores à média nacional. No Estado do Pará menos de 1% conseguiu alcançar esse nível e, no Maranhão, nenhum município atingiu a média brasileira. Torna-se, pois, necessário recorrer à políticas sociais capazes de corrigir essas distorções sob pena de se comprometer o crescimento de longo prazo da região (BADAM, 2005).

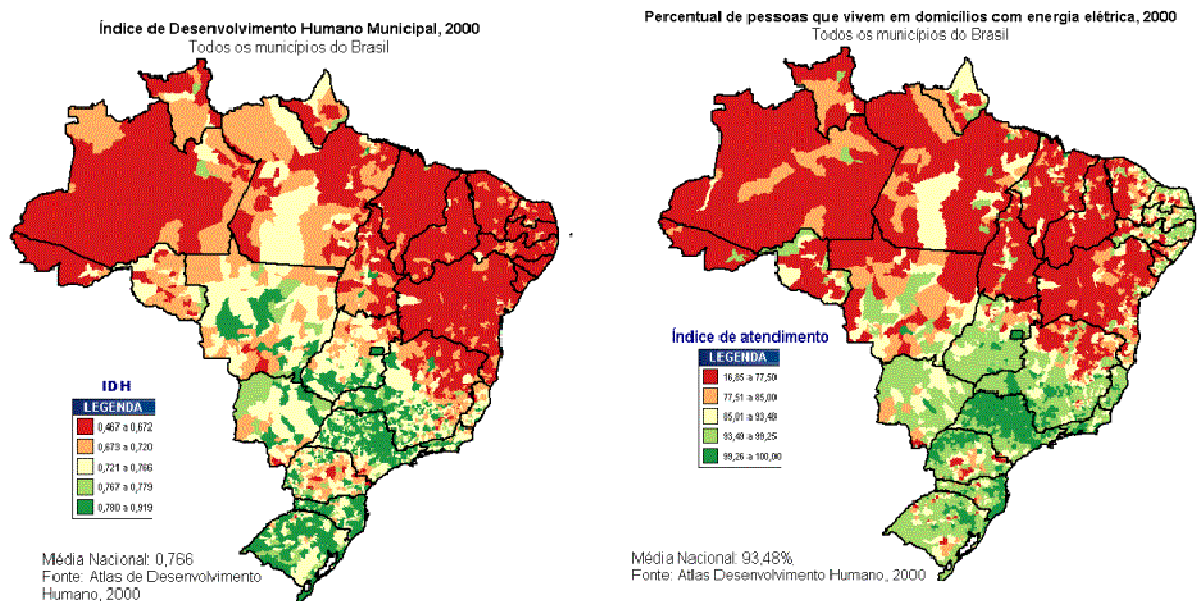


Figura 1 – Mapas comparativos: IDH x Acesso à energia

Fonte: PNUD, 2002.

É sabido que um dos maiores problemas dos países em desenvolvimento é o crescimento populacional demasiado nos grandes centros urbanos, fruto, em parte de um

forte êxodo rural. É evidente a contribuição da energia elétrica para criar meios de evitar o êxodo rural, fornecendo parte das condições básicas para a permanência da população na zona rural ou até mesmo a reversão do fluxo migratório. A possibilidade de retirada de água do subsolo, a purificação desta água, a irrigação, o apoio na educação, a conservação de medicamentos e alimentos, o processamento pós-colheita, a iluminação, o acesso à informação e entretenimento. A energia elétrica contribui para liberar o tempo da população rural para atividades mais nobres – tarefas produtivas, educacionais e lúcidas, proporciona melhores condições de saúde, permite a comunicação, aumenta a produtividade agrícola e permite a produção de bens com maior valor agregado (OLIVEIRA, 2001 apud TOLMASQUIM, 2004b)⁴.

⁴ OLIVEIRA, L. C. Perspectivas para Eletrificação Rural no Novo Cenário Econômico-Institucional do setor Elétrico Brasileiro. Tese de M. SC., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Fev. 2001.

3. ESTADO DA ARTE DA GASEIFICAÇÃO

A gaseificação de combustíveis sólidos é um processo bastante antigo e é realizada com o objetivo de produzir um combustível gasoso com melhores características de transporte, melhor eficiência de combustão e também que possa ser utilizado como matéria-prima para outros processos.

Nos processos de gaseificação a matéria orgânica é total ou parcialmente transformada em gases cujos principais componentes são: monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio e, dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções.

A composição dos gases e a produção concomitante de combustíveis sólidos (carvão) e líquidos condensáveis (pirolenhosos) dependem dos seguintes fatores: tipo de forno de gaseificação, forma de fornecimento de energia ao processo, introdução ou não de vapor de água junto com o comburente (ar, O₂), tempo de retenção da carga, sistema de retirada de gases e outros produtos, da matéria orgânica utilizada.

Os gases produzidos podem ser usados em diversas aplicações, tais como:

- Combustíveis em fornos de cal, fornos cerâmicos, motores a diesel e a gasolina, turbinas a gás, geradores de vapor, etc.
- Como redutor direto em fornos siderúrgicos.
- Como matéria-prima para produção de gás de síntese para metanol, amônia, etc.
- Geração de eletricidade.

3.1 Reações de Gaseificação

O processo de gaseificação da biomassa resulta de complexas reações, ainda não bem conhecidas em sua totalidade. Porém, de forma introdutória e em termos teóricos, pode ser subdividido em várias etapas:

1. Etapa de pirólise ou decomposição térmica, que se desenvolve a temperaturas próximas de 600°C.

2. Oxidação de parte do carbono fixo do combustível, método que constitui a fonte de energia térmica para o processo de volatilização e gaseificação.

3. Gaseificação propriamente dita, que inclui reações heterogêneas entre os gases e o coque residual, assim como reações homogêneas entre os produtos já formados.

4. Craqueamento do alcatrão – processo de destruição térmica das moléculas dos compostos que formam o alcatrão com a obtenção de CO, CO₂, CH₄ e outros gases como produtos.

5. Oxidação parcial dos produtos da pirólise.

Dependendo da organização do processo de gaseificação (movimento relativo da biomassa e do gás de gaseificação), estas etapas transcorrem em diferentes regiões do gaseificador, ou em todo seu volume de maneira simultânea. A seguir apresentam-se as reações químicas mais importantes de cada uma destas etapas (NOGUEIRA, LORA, 2003):

I. Pirólise

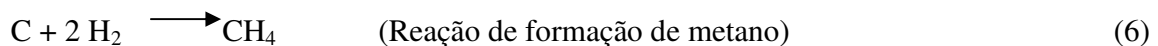
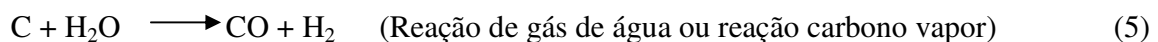


II. Oxidação do Carbono



III. Gaseificação

Reações Heterogêneas

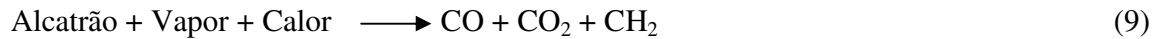


Reações Homogêneas





IV. Craqueamento do Alcatrão



V. Oxidação Parcial dos Produtos da Pirólise



As dez equações apresentadas estão longe de refletir a complexidade dos processos que ocorrem durante a gaseificação da biomassa. Contudo, com base nelas é possível tirar algumas conclusões importantes (NOGUEIRA; LORA, 2003):

- A adição de vapor de água ao ar de gaseificação, na prática até aproximadamente uns 30%, aumenta o conteúdo de hidrogênio e de monóxido de carbono no gás obtido, como mostram as equações 5,7 e 8.

- O aumento da pressão favorece a formação de metano, segundo a equação 6, por causa da diminuição do número de moles ao se passar dos reagentes aos produtos

Em algumas situações especiais pode-se gaseificar um combustível sólido utilizando oxigênio puro ao ar enriquecido com este gás, reduzindo assim as perdas de energia associadas à presença de gases inertes, como é o nitrogênio, que constitui quase 80% em volume do ar atmosférico. O gás produzido neste caso apresenta um poder calorífico mais elevado, porém o alto custo de produção de oxigênio é uma importante limitação econômica desta alternativa.

3.2 Principais Tipos de Gaseificadores na Atualidade

Foram idealizados e desenvolvidos, até hoje, diversos tipos de gaseificadores, afim de atender as peculiaridades das características da matéria prima e as necessidades de gás.

A grande maioria dos gaseificadores em comercialização ou em fase de desenvolvimento atualmente pode ser enquadrada segundo o tipo de leito utilizado, em uma das duas concepções de gaseificadores apresentadas a seguir (USHIMA, 2002b).

- Gaseificador de leito fixo;
- Gaseificador de leito fluidizado ou leito circulante.

3.2.1 Gaseificadores de Leito Fixo

Na gaseificação em leito fixo a matéria a ser gaseificada só se move por ação da gravidade. Esta técnica é adequada para a conversão de quantidades relativamente pequenas de biomassa (KINTO et al., 2003).

Estes gaseificadores representam a maioria dos gaseificadores em operação ou construção no mundo. Segundo Maniatis (2001), 77,5 % dos projetos de gaseificadores são do tipo de leito fixo, 20 % são do tipo fluidizado ou circulante e 2,5 % de outros tipos. Esses tipos de gaseificadores são mais indicados para gaseificadores de pequeno porte.

Dentre os gaseificadores de leito fixo, pode-se destacar dois grandes subgrupos: os de circulação de gases co-corrente (“*downdraft*”) e contracorrente (“*updraft*”). Apesar da diferenciação entre os gaseificadores co-corrente e contracorrente parecer trivial, na realidade são processos muito diferenciados.

3.2.1.1 Gaseificador Contracorrente

O gaseificador contracorrente (com queima de carvão) é o de projeto mais antigo e simples e ainda é largamente utilizado para a gaseificação de carvão mineral e, em menor escala, para gaseificação de biomassa. No Brasil, algumas empresas de produção de CaO (cal) ainda empregam este tipo de gaseificador, gaseificando toras de madeira, para gerar gás combustível alimentado aos fornos de calcinação.

Contracorrente se refere ao fato do combustível ser alimentado pelo topo (através de uma válvula rotativa ou porta de alimentação) e desce em contracorrente ao ar ou oxigênio (também misturado com vapor d’água ou CO₂), introduzido pela grelha, localizada na base do gaseificador, como mostrado esquematicamente na Figura 2. Nesta figura também são apresentadas as regiões normalmente encontradas ao longo da altura do leito de um

gaseificador contracorrente típico, bem como o perfil de temperatura e composição dos gases.

As primeiras camadas de carvão vegetal ou coque apoiadas sobre a grelha entram em combustão intensa, produzindo CO_2 e H_2O a temperaturas elevadas, que posteriormente são reduzidas a CO e H_2 conforme eles passam pela camada descendente de coque ou carvão, resfriando a temperaturas da ordem de 750°C . Abaixo desta temperatura as taxas de reações de gaseificação caem significativamente, praticamente cessando. Os gases, porém, ao subirem, continuam trocando calor com a corrente de sólidos, promovendo a sua pirólise, com liberação e incorporação à corrente gasosa da matéria volátil do combustível, e, em seqüência, aquecimento e secagem. Os gases, já frios e com a incorporação da matéria volátil e umidade do combustível alimentado, saem pelo topo do gaseificador. As cinzas do combustível, ainda com uma certa fração de carbono do combustível não convertido a gás, saem pela base do gaseificador.

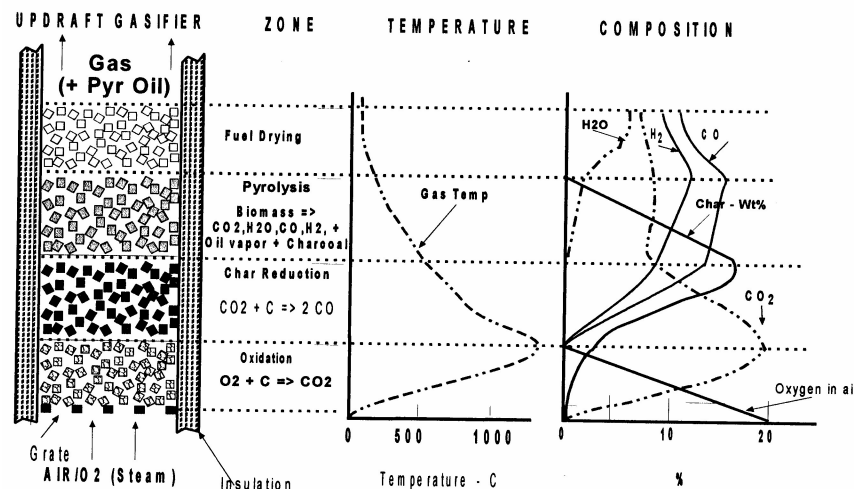


Figura 2 - Regiões existentes no interior de um gaseificador de leito fixo contracorrente

Fonte: REED; GAUR, 1999.

Exemplos de gaseificadores do tipo contracorrente são apresentados a seguir. Um gaseificador testado no Instituto de Pesquisa e Tecnologia (IPT), Figura 3, opera à pressão atmosférica, dispondo de um selo d'água na sua base por onde a cinza e material carbonoso não convertido é removido. No interior da bacia de descarga existe uma grelha cônica, à

semelhança da grelha do gaseificador da Lurgi (Figura 4), e que é excêntrica, de tal forma a provocar o revolvimento do material no interior do leito quando a bacia é rotacionada. Este revolvimento é muito importante para garantir um escoamento uniforme de gases e combustível sólido no interior do leito, principalmente para materiais que apresentem tendência à formação de domos ou de aglomeração de particulados.

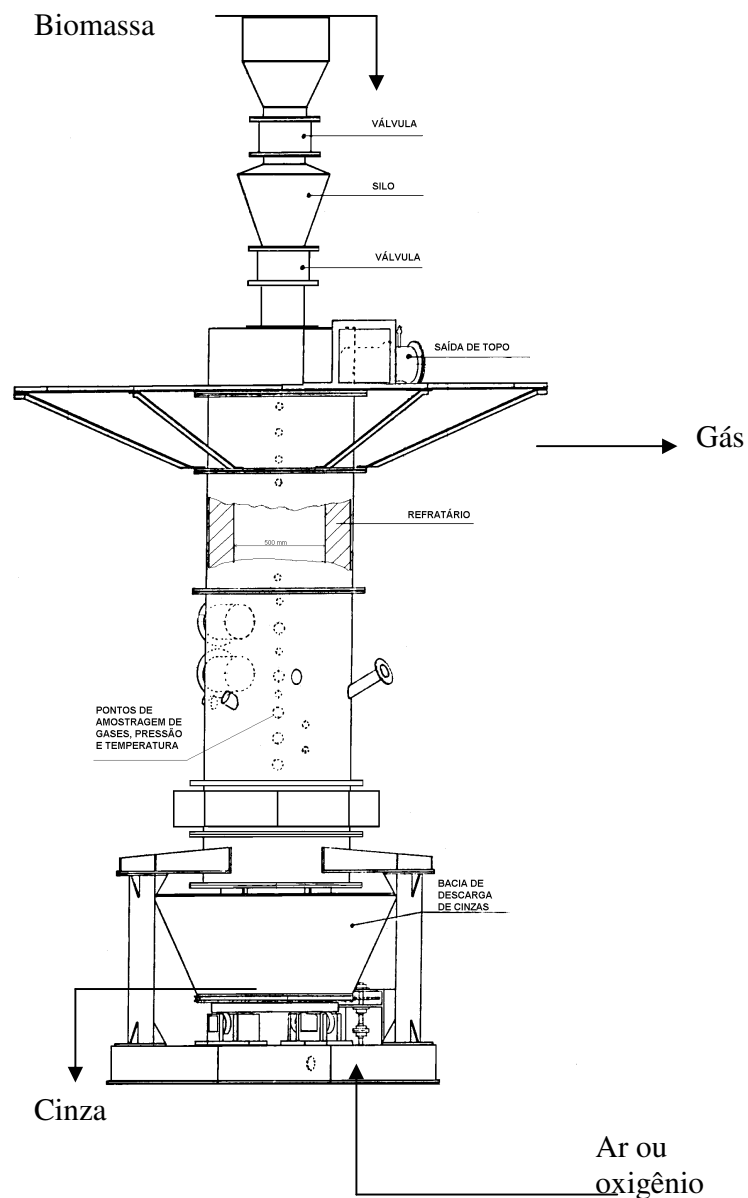


Figura 3 - Gaseificador Contracorrente Atmosférico Existente no IPT (1 MW_{th})
Fonte: USHIMA, 1996a.

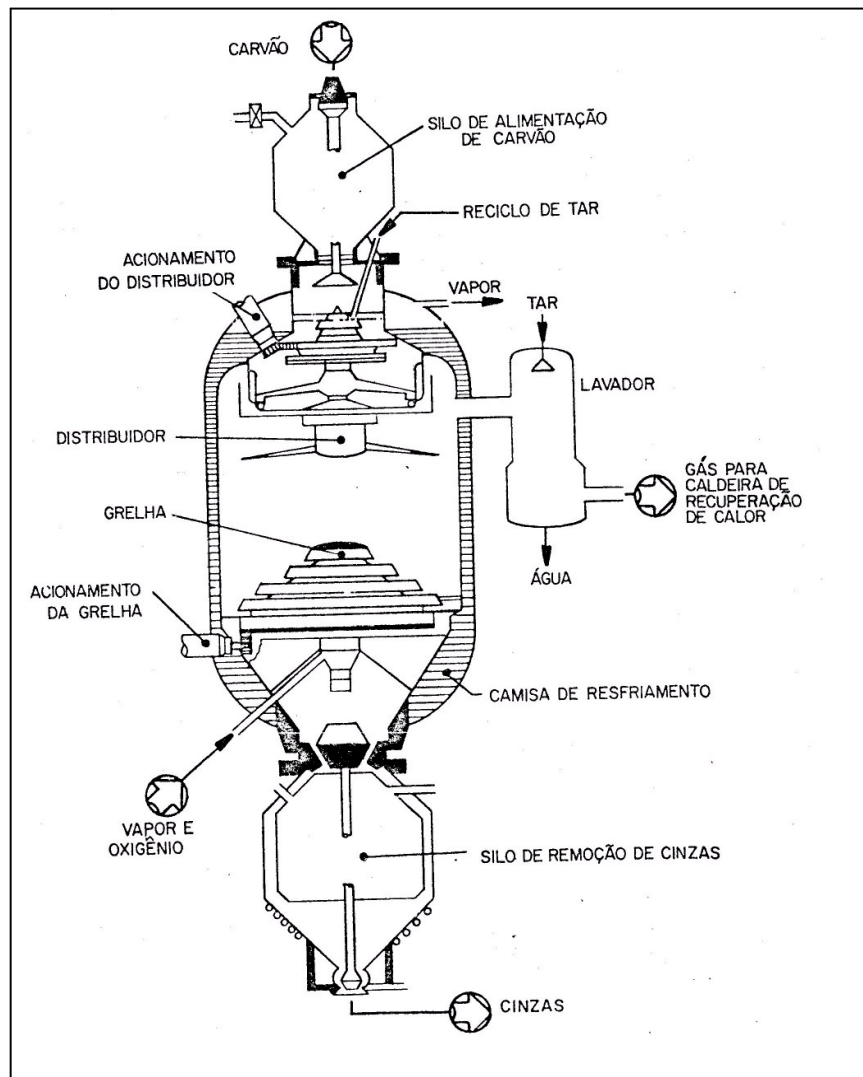


Figura 4 - Gaseificador Contracorrente Pressurizado da Lurgi.
 Fonte: USHIMA, 1996a.

O gaseificador Lurgi (Figura 4) foi muito empregado na gaseificação de carvão mineral para geração de gás de síntese. Note-se a presença de um dispositivo de distribuição de carvão por sobre o leito, para evitar a formação de canais preferenciais, e sistemas de alimentação e descarga de sólidos estanques, devido à pressurização do gaseificador (2,5-3,0 MPa). Por ser pressurizado, apresenta uma capacidade 5 vezes maior que um equivalente atmosférico, mas uma complexidade mecânica e operacional significativamente maiores, não sendo competitivo para pequenas capacidades (USHIMA, 1996a). No princípio, os gaseificadores pressurizados foram largamente utilizados por

fornecer um melhor balanço de energia, além do que, com o uso do gaseificador pressurizado não havia a necessidade de compressão do gás antes da entrada na câmara de combustão. Mas o uso deste tipo de gaseificador trouxe outros tipos de problemas como o de alimentação do gaseificador.

3.2.1.2 Gaseificador Co-corrente

O gaseificador co-corrente (queima de alcatrão) se assemelha construtivamente ao gaseificador contracorrente, exceto que o ar e o gás fluem para baixo, na mesma direção que o combustível, como mostrado esquematicamente na Figura 5.

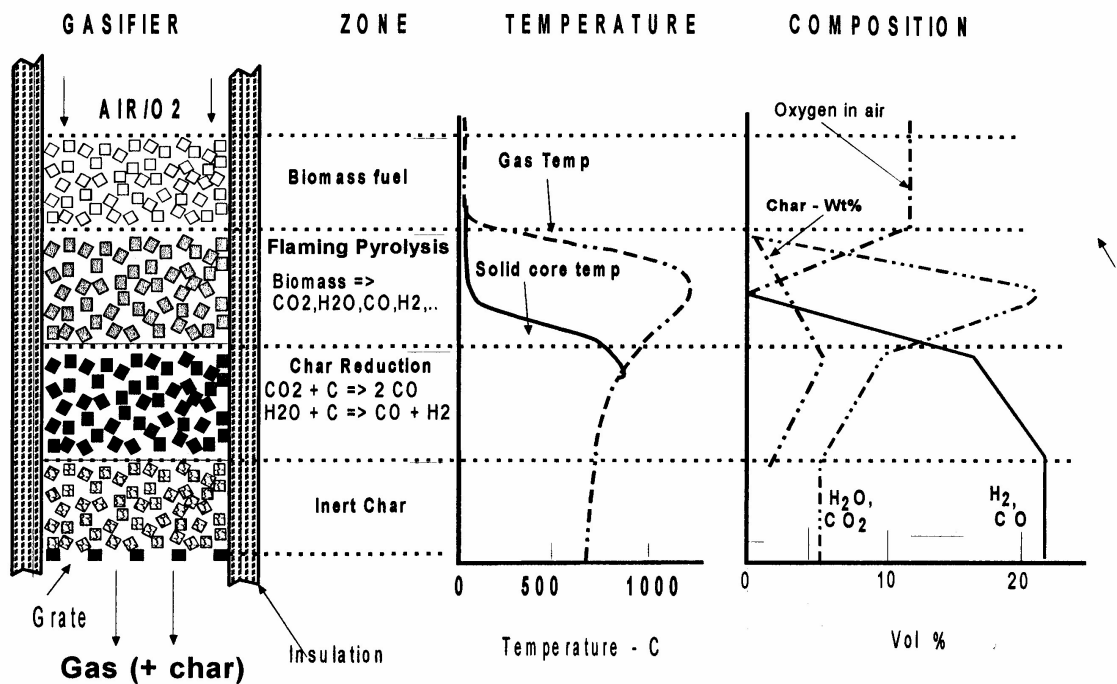


Figura 5 - Regiões normalmente encontradas em um gaseificador co-corrente
 Fonte: REED; GAUR, 1999.

Esta mudança de sentido faz toda a diferença para um combustível com teor elevado de matéria volátil como a biomassa. Neste tipo de gaseificador, o ar injetado no gaseificador, pode queimar até 99,9% (REED; GAUR, 1999) do alcatrão liberado pelo combustível (dá a denominação queima de alcatrão).

Como o ar introduzido no gaseificador, encontra primeiro a biomassa não queimada, a temperatura máxima ocorre na fase gasosa (não mais na fase sólida), na região de pirólise flamejante. O material sólido localizado logo acima desta região sofre um preaquecimento e secagem, principalmente por troca de calor por radiação com a região de pirólise flamejante. Materiais com umidade elevada (acima de 20 %) apresentam dificuldades de aquecimento e secagem, devido à evaporação da água contida no interior das partículas, que retarda ou até impede a formação da região de pirólise flamejante, levando à formação de gases com alto teor de alcatrão.

Conforme a biomassa atinge uma determinada temperatura (acima de 200°C) ela começa a liberar voláteis combustíveis que, ao entrar em ignição com o ar descendente, forma uma chama em volta das partículas, que passam a queimar mais intensamente, devido às trocas de calor com a própria chama, até o esgotamento de toda a matéria volátil, restando de 5 a 15 % de carvão vegetal.

Os gases ricos e aquecidos desta região reagem com o carvão vegetal a 800-1200 °C, gerando mais CO e H₂. Como as principais reações que ocorrem nesta região são endotérmicas, a temperatura do gás cai abaixo de 800 °C, abaixo do qual as reações de gaseificação praticamente ficam congeladas.

Uma cinza com algum carbono ainda não reagido (4 a 8 % da massa alimentada), passa através da grelha para disposição.

Desenhos esquemáticos de alguns tipos de gaseificadores operando segundo o princípio co-corrente são apresentados a seguir.

Os gaseificadores co-correntes do tipo Imbert, apresentado nas Figuras 6 e 7, apresentam uma região de estrangulamento onde também ocorre a injeção de ar, através de bocais localizados nas paredes.

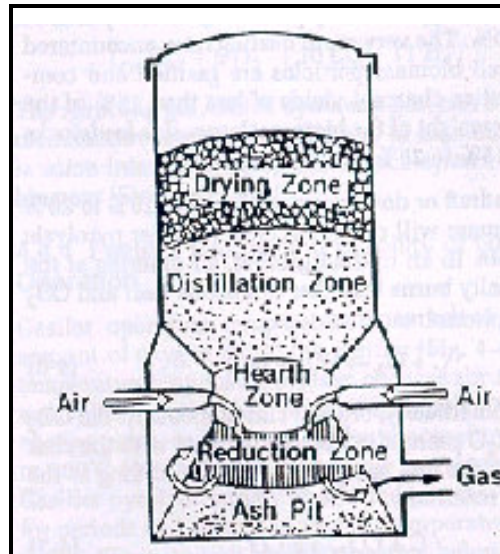


Figura 6 - Diagrama do Gaseificador do Tipo Imbert

Fonte: REED; GRABOSKI; LEVIE, 1994.

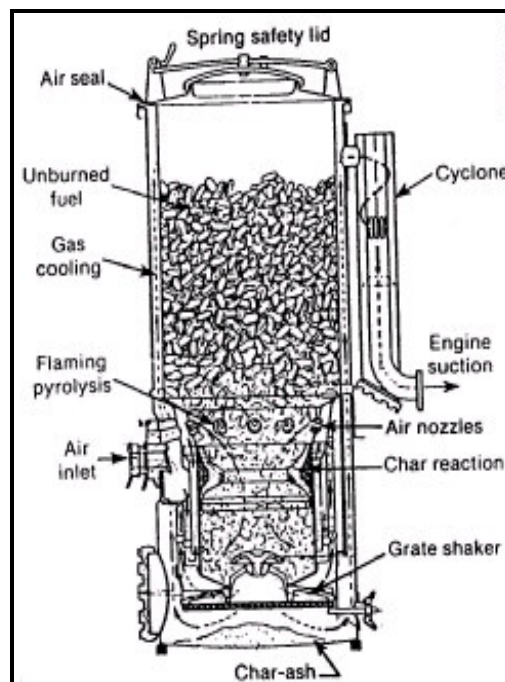


Figura 7 - Desenho esquemático de um gaseificador do tipo Imbert

Fonte: REED; GRABOSKI; LEVIE, 1994.

Esta região de estrangulamento tem a função de forçar a passagem dos voláteis liberados na região de destilação pela região de combustão (“hearth zone”) para a sua

destruição. No entanto, entre os bocais de injeção de ar e no centro da região de combustão, como mostrado na Figura 8, formam-se regiões sem acesso de ar, conseqüentemente com temperaturas mais baixas, por onde os alcatrões podem passar praticamente sem sofrer decomposição. Na zona de redução, mais abaixo, este alcatrão pode ser apenas parcialmente craqueado porque as temperaturas reinantes nesta zona, da ordem de 650°C, não são suficientes para uma decomposição total.

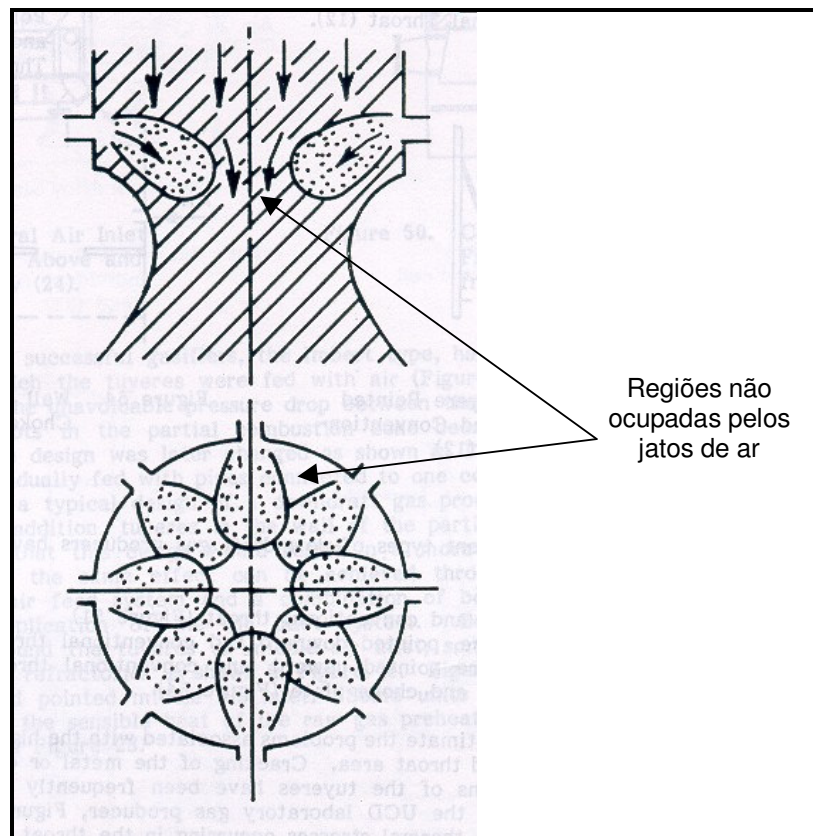


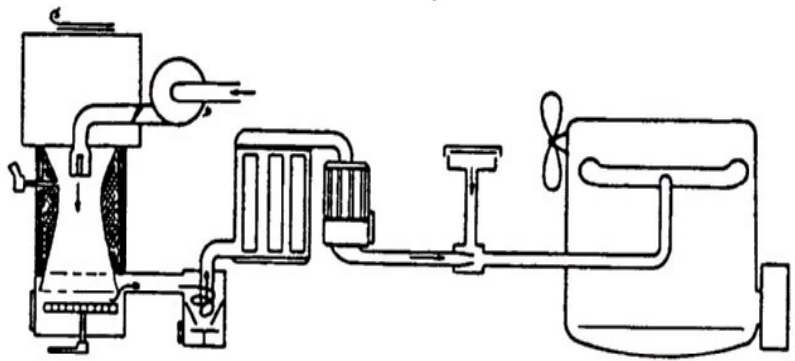
Figura 8 - Representação das Regiões Ocupadas pelos Jatos de Ar Injetados na Zona de Combustão de um Gaseificador do Tipo Imbert

Fonte: USHIMA, 2002b.

Este tipo de gaseificador foi largamente empregado na Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, devido ao embargo de derivados de petróleo para o esforço da guerra. Milhares de unidades deste tipo de gaseificador foram construídas, como as mostradas esquematicamente na Figura 9, que apresenta dois conjuntos integrados, constituídos de uma unidade de gaseificação, um sistema de resfriamento e limpeza de

gases e um motor. O primeiro conjunto era utilizado para operar com carvão vegetal e o segundo com madeira. Em ambos os casos, o gás gerado, após passar por um ciclone para coleta de material particulado, passava por um sistema de resfriamento e filtragem para provocar a condensação da umidade presente nos gases e coleta de alcatrões eventualmente presentes.

Conjunto integrado com gaseificador para operar com carvão vegetal.



Conjunto integrado com gaseificador para operar com madeira.

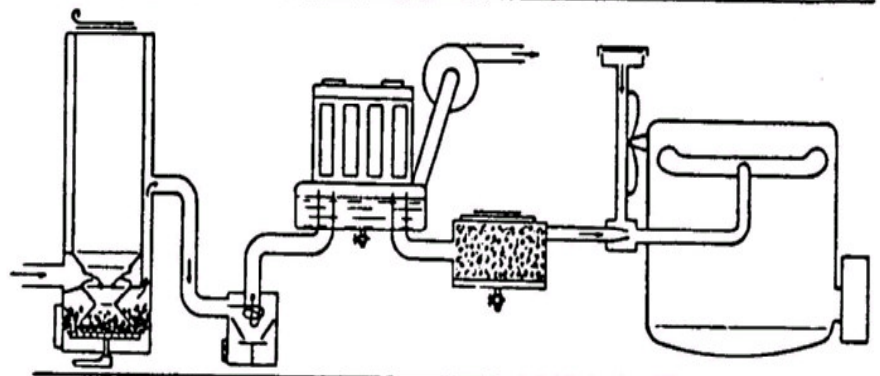


Figura 9 - Esquemas de Sistemas de Geração de Gás Empregados para o Acionamento de Veículos Durante a Segunda Guerra Mundial
Fonte: USHIMA, 2002b.

A título de ilustração, na Figura 10 são apresentadas fotos de veículos adaptados para operar com gasogêneos. Alguns eram instalados em “trailers” e outros anexados à carroceria do veículo.

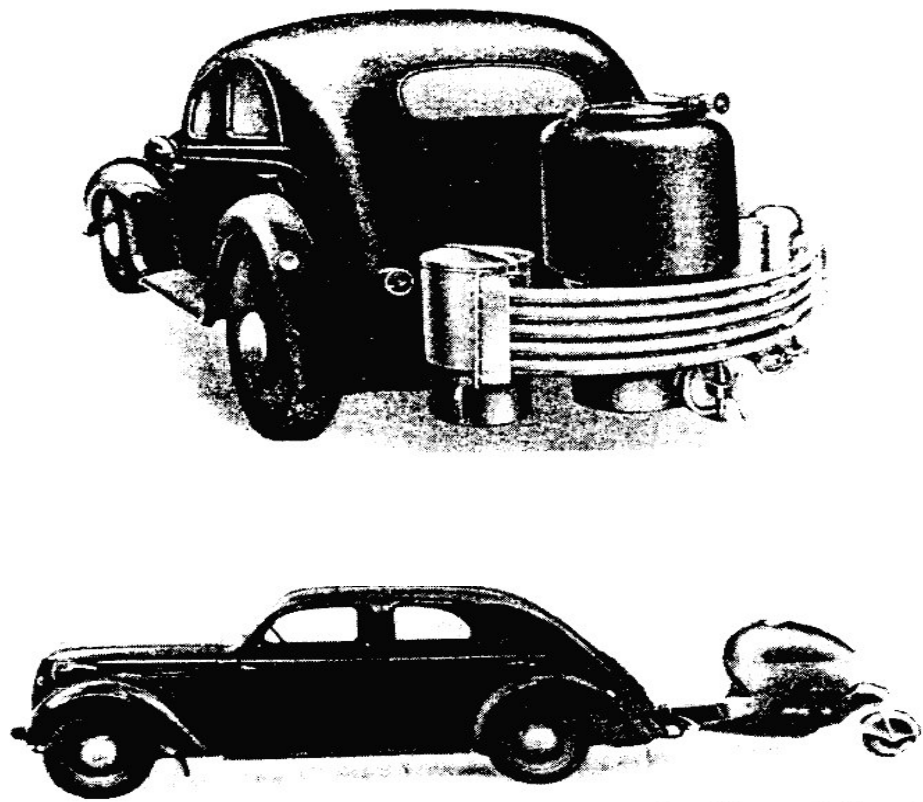


Figura 10 - Fotos de Veículos Adaptados para Operar com Gasogêneos
Fonte: USHIMA, 2002b.

Com o fim da Segunda Guerra e a consolidação do petróleo e gás natural como fontes energéticas, toda esta tecnologia foi abandonada.

Mais recentemente, com a crise do petróleo ocorrida na década de 70 e 80 (mais política que de disponibilidade), vê-se ressurgir o interesse em recuperar e aperfeiçoar algumas das tecnologias de gaseificação desenvolvidas até a Segunda Guerra. No Solar Energy Research Institute (SERI), atualmente National Energy Laboratory (NREL), em 1982, REED e GRABOSKI desenvolveram um protótipo de um gaseificador co-corrente, que eles denominaram de gaseificador co-corrente estratificado, com capacidade de 1 ton/dia. O princípio de operação deste gaseificador é mais simples que o do gaseificador Imbert. Neste modelo, o ar ou oxigênio é alimentado pelo topo do leito, deixando de existir uma região de estrangulamento, característico dos gaseificadores do tipo Imbert. Esta unidade operou com ar e oxigênio, gerando um gás com baixo teor de alcatrão (1000 e

2000 ppm, respectivamente) e elevado poder calorífico (5.000-6.000 kJ/m³ e 10.000-12.000 kJ/m³, respectivamente).

Variantes dos Gaseificadores Co-corrente

Variantes da unidade de gaseificação co-corrente estratificado têm sido construídos e testados desde então, sendo que o modelo desenvolvido por Mukunda et al., 1994, do Indian Institute of Science (IISc), vem apresentando bons resultados em testes de avaliação em laboratórios e em campo, na Índia, razão pela qual duas unidades foram trazidas ao Brasil para testes de avaliação de desempenho com biomassas locais, como parte do projeto GASEIFAMAZ.

Estes gaseificadores trabalham em depressão, que garante o escoamento dos gases através da carga de biomassa, e são abertos à atmosfera no topo, por onde entra cerca de 2/3 do ar de gaseificação, razão pela qual também são conhecidos como gaseificadores de topo aberto. Esquema deste gaseificador é apresentado na Figura 11. Nos modelos preliminares o corpo do gaseificador era totalmente metálico, porém, devido ao desgaste acentuado de partes do equipamento, principalmente as localizadas em regiões com temperatura elevada, correspondentes às regiões de pirólise flamejante e de redução, os períodos de operação sem manutenção eram curtos (cerca de 1000 h). Para aumentar a resistência do equipamento, as partes do gaseificador onde as temperaturas são mais elevadas, foram construídas de material refratário, como indicado na Figura 11.

Neste gaseificador cerca de 1/3 do ar restante é injetado numa região localizada pouco acima da grelha, através de bocais distribuídos uniformemente ao longo de uma seção do corpo do gaseificador, servindo para completar a queima ou craqueamento térmico de alcatrões eventualmente não reagidos na região de pirólise flamejante.

Sistema de limpeza dos gases

Os gases passam através das cinzas apoiadas sobre a grelha, o que também auxilia na decomposição do alcatrão ainda remanescente, passam por um ciclone para coleta de material particulado arrastado, e preaquecem a carga de combustível e ar alimentados pelo topo do gaseificador, através da parede metálica do corpo do gaseificador localizada nesta

região. O gaseificador opera em depressão e a estanqueidade, na parte inferior do gaseificador, é garantida por um selo d'água.

A água de resfriamento e de lavagem, utilizada nas torres, passa por uma filtragem em filtro de areia, é resfriada numa torre de resfriamento e retornada às torres de lavagem, ficando em circuito fechado. A reposição de água ao sistema é necessária principalmente devido à evaporação da água na torre de resfriamento.

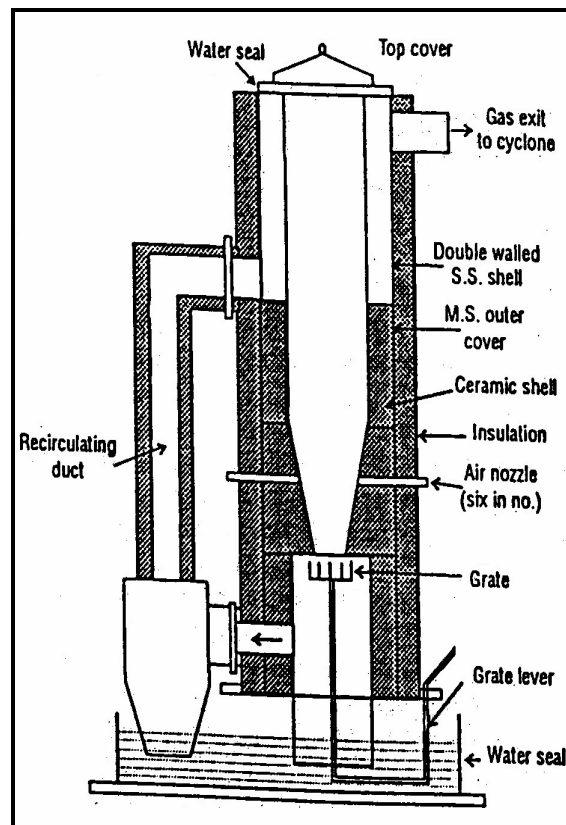


Figura 11 - Esquema do Corpo do Gaseificador de Topo Aberto do IISc
Fonte: MUKUNDA et al., 1994.

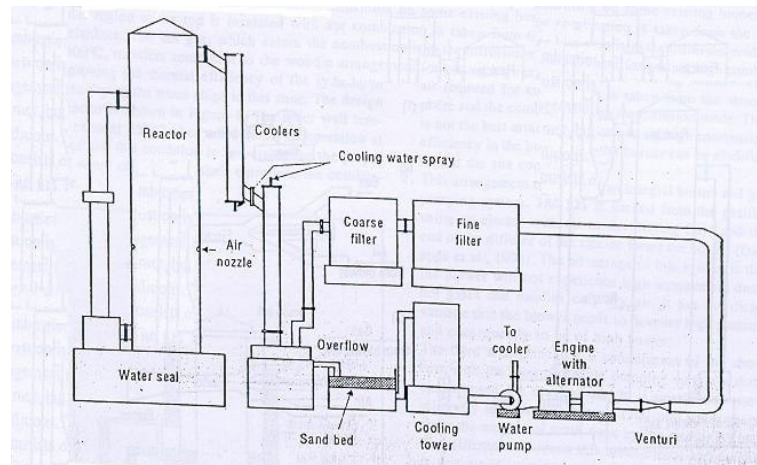


Figura 12 - Esquema do Sistema de Limpeza de Gases para Aplicação em Motores do IISc

Fonte: MUKUNDA et al., 1994.

Maiores detalhes sobre este tipo de gaseificador como, composição dos gases, poder calorífico, vazão de alimentação, etc, serão apresentados no item 5 desta dissertação.

A seguir, tabela comparativa dos gaseificadores de leito fixo, contracorrente e co-corrente.

Tabela 3 – Comparação dos tipos de gaseificadores de leito fixo

Gaseificadores de Leito Fixo		
	Vantagens	Desvantagens
Gaseificador contracorrente	<p>1. Simplicidade operacional e habilidade de gaseificar materiais com elevado teor de água e material inorgânico, como lodo residual do tratamento de esgoto;</p> <p>2. Potencial de operar com temperaturas muito elevadas na região da grelha (a menos que vapor d'água seja injetado na grelha) capaz de fundir metais e escória (gaseificação com cinza fundida).</p>	<p>1. O gás gerado normalmente contém de 10 a 20 % do alcatrão gerado na pirólise do combustível, com uma concentração da ordem de 100 g/Nm³. Estes alcatrões, no entanto, queimam bem em processos de combustão direta;</p> <p>2. No caso de aplicações em motores de combustão interna, turbinas ou para geração de gás de síntese, o alcatrão deverá ser removido;</p> <p>3. A grelha pode ser submetida a temperaturas muito elevadas, a não ser que vapor d'água ou CO₂ seja injetado com o ar ou oxigênio;</p> <p>4. A granulometria do combustível alimentado tem de ser uniforme para evitar perda de carga elevada no leito (no caso do gaseificador atmosférico) ou formação de canais preferenciais.</p>
Gaseificador Co-corrente	<p>1. Consomem entre 99 a 99,9 % do alcatrão. Desta forma o gás gerado pode ser transportado em tubulações e utilizados em motores com um mínimo de limpeza;</p> <p>2. Os materiais inorgânicos ficam retidos na matriz de carvão e cinza retirada pelo fundo dos gaseificadores, reduzindo de forma acentuada a necessidade de ciclones de elevada eficiência e filtros a quente;</p> <p>3. O gaseificador co-corrente é um sistema comprovado, com mais de um milhão de veículos utilizando este sistema durante a Segunda Guerra Mundial;</p> <p>4. O gás (quando limpo) pode ser utilizado em motores de linha, sem maiores modificações;</p> <p>5. Os gaseificadores de topo aberto apresentam poucos problemas em casos de explosão.</p>	<p>1. O combustível tem de apresentar baixa umidade (<20 %) e granulometria uniforme;</p> <p>2. O gás sai do gaseificador a temperaturas elevadas (em geral 700 °C); desta forma esta energia é perdida, a menos que haja algum aproveitamento (para preaquecimento do ar, secagem do combustível etc.);</p> <p>3. Tipicamente 4 a 7% do carbono do combustível não é convertido, saindo com as cinzas pelo fundo do gaseificador;</p> <p>4. A potência de pico de motores com ignição a vela é reduzida em 30 a 40 %, a menos que ele seja turbinado.</p>

Fonte: Adaptada, pela autora, de USHIMA, 2002b.

3.2.2 Gaseificador de Leito Fluidizado ou de Leito Circulante

O leito fluidizado foi desenvolvido antes da Segunda Guerra Mundial para sistemas de gaseificação de carvão mineral de grande capacidade (gaseificadores Winkler). Ele, posteriormente, foi adotado pelas indústrias petroquímicas e químicas para o craqueamento catalítico de hidrocarbonetos pesados, secagem e uma infinidade de outras aplicações. Os equipamentos de leito fluidizado são reconhecidos por apresentarem elevadas taxas de produção e de troca de calor. Eles são mais complicados de operar que os leitos fixos e por esta razão são empregados majoritariamente em grandes instalações.

Antes de entrarmos nas características de um equipamento de gaseificação em leito fluidizado é importante entender o seu princípio de funcionamento.

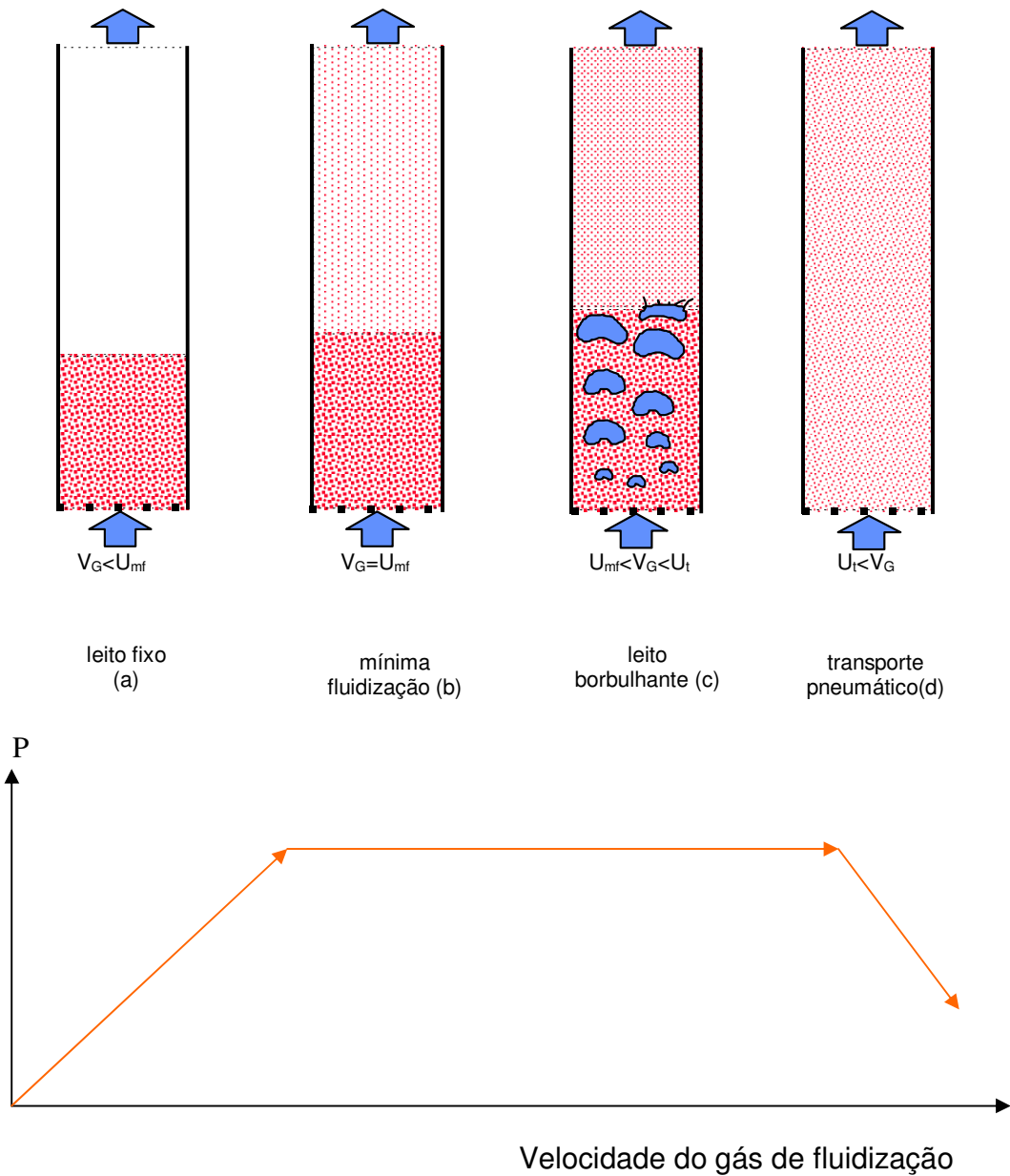


Figura 13 - Evolução da Pressão na Base de um Leito de Material Particulado com o Aumento da Vazão de Ar

Fonte: USHIMA, 2002b.

Ao passarmos um gás através de um leito de material particulado, por exemplo a areia, como indicado na Figura 13, observa-se somente uma elevação de pressão na grelha. Ao elevarmos continuamente a vazão do gás obteremos uma elevação também contínua da pressão até atingirmos uma velocidade, denominada velocidade de mínima fluidização (U_{mf}) na qual a força peso das partículas se iguala à força de arraste do gás. Neste ponto as

partículas começam a se descolar uma das outras e ficam suspensas, passando a se comportar como um líquido. Incrementos adicionais de velocidade provocam o surgimento de bolhas de gás no interior da suspensão, criando duas fases. Uma constituída somente de gás, na forma de bolhas, e outra, denominada emulsão, composta de gás e material particulado fluidizado.

As bolhas, ao subirem, aumentam de tamanho, por redução de pressão e coalescimento com outras bolhas, arrastando grande quantidade de material particulado na sua subida. São elas as responsáveis pela grande taxa de circulação de sólidos no leito. A elevação continuada da vazão, nesta condição, provoca somente o aumento do número e tamanho das bolhas, sem elevar a pressão na base da grelha. Quando a velocidade do gás atinge a velocidade terminal das partículas (U_t) começa a haver um arraste do material mais fino, diminuindo a altura do leito e a pressão na sua base. Nos casos destas partículas arrastadas serem coletadas em um ciclone, ou outro dispositivo semelhante, e serem retornadas ao leito, têm-se um leito fluidizado circulante. Quando não há este retorno, tem-se um leito de arraste.

Os gaseificadores de leito fluidizado podem ser de leito borbulhante ou de leito circulante. A diferença básica é a velocidade com que o material atravessa o leito. O gaseificador de leito borbulhante foi o primeiro gaseificador de leito fluidizado a ser projetado, com velocidade de 1 m/s. No de leito circulante, resultado de projeto mais recente, o material atravessa em velocidade mais alta (7 a 10 m/s), permitindo melhor mistura do ar com o combustível a ser gaseificado (COELHO, 1992).

Combustão de biomassa em leito fluidizado tem sido largamente utilizado devido à sua característica de poder operar com combustível com umidade elevada (até 65 % de umidade). Para formar a base de suporte de um leito fluidizado, normalmente se utiliza areia, que representa um grande reservatório térmico capaz de atenuar grandes variações de umidade por períodos relativamente longos, no combustível alimentado, ao contrário de caldeiras de grelha (USHIMA, 1996a).

Os equipamentos de leito fluidizado normalmente apresentam uma capacidade por unidade de área transversal maior que outros gaseificadores, que, por sua vez, podem apresentar uma capacidade por unidade de volume maior. Eles ainda são reconhecidos por serem mais flexíveis com relação ao combustível alimentado, mas não devem ser

considerados como capazes de operar com qualquer tipo de combustível. As dimensões máximas têm se situado em torno de 5 a 10 cm. Materiais com granulometrias muito finas também apresentam problemas de arraste excessivo do leito (quando este é do tipo borbulhante).

Operações a pressões pouco maiores que a atmosférica são muito difíceis, exigindo sistema de comportas, alimentação por roscas e sistemas de selagem especiais. Entretanto, existem muitas vantagens em operar estes gaseificadores a pressões da ordem de 10 a 20 bar. Turbinas a gás e processos de síntese normalmente utilizam gases a pressões elevadas. Além disso, a capacidade do gaseificador aumenta rapidamente com a pressão.

O emprego de combustíveis com cinzas de ponto de fusão baixo (teor de alcalinos elevado) podem apresentar problemas de sinterização e colapso do leito. Emprego de caolim no leito tem sido reportado como forma de contornar este problema.

A Tabela 4 compara os gaseificadores de leito fixo e leito fluidizado.

Tabela 4 – Comparação entre os gaseificadores de leito fixo e leito fluidizado

	Gaseificador de leito fixo	Gaseificador de leito fluidizado
Porte	Pequeno porte (de 1 kW a 1MW)	Grande porte (a partir de 1MW)
Alcatrão contido no gás gerado	100 g/Nm ³ no leito fixo contracorrente e 1g/Nm ³ no leito fixo co-corrente	10 g/Nm ³
Biomassa	Baixa umidade (menor que 20%) e granulometria uniforme (no máximo 6 cm)	Alta umidade (até 65%) e granulometria uniforme (5 a 10 cm)
Uso do gás gerado	Motores de linha (combustão interna e ciclo Otto).	Turbinas a gás

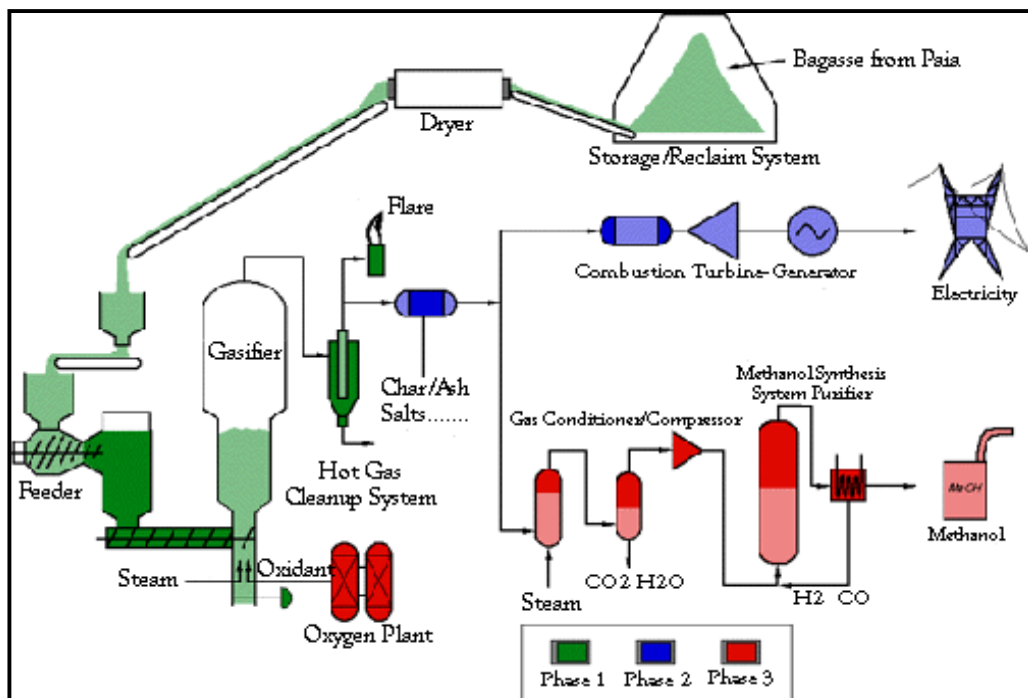
Fonte: Adaptado, pela autora, de USHIMA, 2002b e COELHO, 1992.

3.3 Principais projetos de gaseificação de biomassa no mundo

3.3.1 Hawaii Biomass Gasification Project

O objetivo desse projeto era a elevação da escala do gaseificador desenvolvido pelo IGT (IGT RENUGAS), de 2 MW de potência térmica, para 20 MW. Essa unidade de demonstração deveria operar sendo alimentada com bagaço de cana e madeira. O gaseificador foi projetado para operar pressurizado (com pressões de até 2,07 MPa), tanto com injeção de ar quanto oxigênio, e com temperaturas dos gases à saída na faixa de 850 a 900°C (USHIMA, 2002b).

Esse projeto era o único entre os projetos de desenvolvimento de maior porte a estudar a gaseificação do bagaço de cana. O projeto compreendia três fases: (1) gaseificação de biomassa, (2) geração de eletricidade, (3) síntese do metanol. A unidade está construída em Paia, na ilha de Maui, no Hawaii, em uma fábrica de açúcar da Hawaiian Commercial and Sugar Company.



Fase 1: Construção e testes preliminares de gaseificação de biomassa

Fase 2: Geração de eletricidade através de turbina de combustão

Fase 3: Síntese do metanol

Figura 14 - Esquema das Instalações do Projeto Hawaii Biomass Gasification

Fonte: CENBIO, 2002b.

Em 1999, o projeto foi paralisado devido a dificuldades técnicas, principalmente, relativas à alimentação do bagaço de cana e limpeza dos gases (COELHO, 1992).

3.3.2 Värnamo Planta Gaseificador Integrado – Ciclo Combinado (Bioflow, Sydkraft, Forter Wheeler)

Está foi a primeira planta do mundo que operou com gaseificador integrado ciclo combinado. Este gaseificador foi desenvolvido pela Sydkraft AB, em cooperação com a Foster Wheeler Energy International Inc e tinha capacidade de geração de energia elétrica de 6 MWe, distribuído para a rede local, bem como 9 MWth, distribuído para o sistema de aquecimento da cidade de Värnamo. A potência de alimentação da unidade é de 18 MW.

Esquema do gaseificador é apresentado na Figura 15 e foto da instalação na Figura 16. Esta unidade foi posta em marcha em 1996 e operou até 2000, tendo acumulado 8.500 horas de operação do gaseificador e cerca de 3.600 h da unidade como um todo. Durante este período testou-se diversos tipos de madeiras e outros combustíveis, como palha de trigo e um material derivado de resíduo urbano.

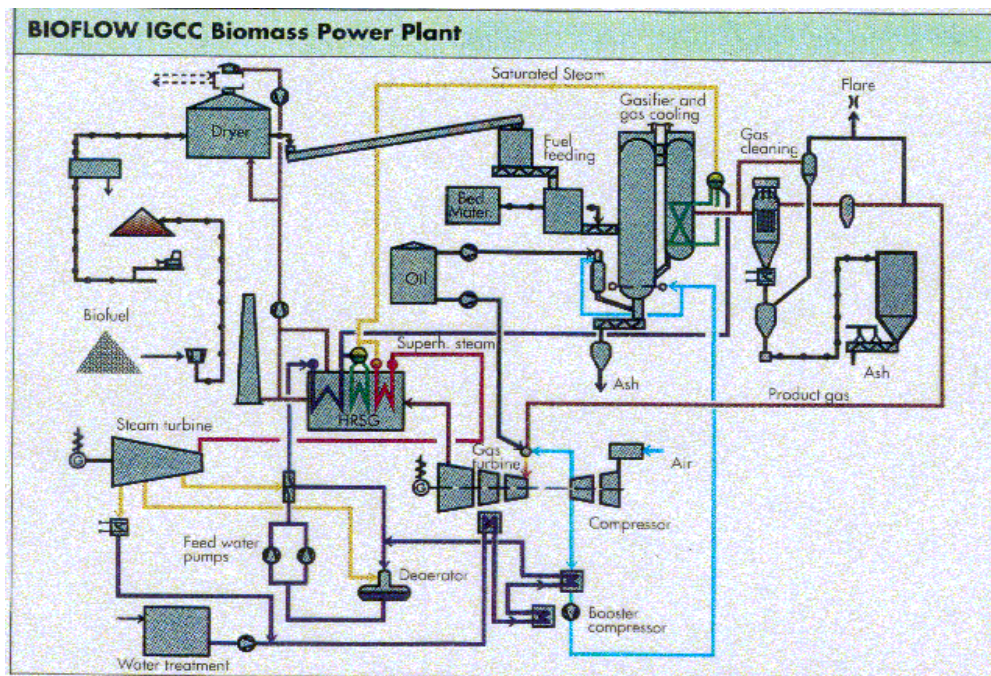


Figura 15 - Layout da Planta de Värnamo

Fonte: CENBIO, 2002b.

O gaseificador operava a temperaturas de 950 a 1000 °C e uma pressão aproximada de 18 bar. Diferentemente do modelo da TPS, este não utiliza um material de suporte de areia ou dolomita no leito. O combustível, com umidade variando de 5 a 20%, é alimentado pouco acima da base do leito, onde sofre secagem, pirólise e gaseificação quase que instantaneamente. Os gases arrastam o material do leito e o carvão remanescente é separado no ciclone, retornando ao fundo do gaseificador, onde ar é injetado. A combustão deste resíduo auxilia a manter a temperatura no reator.

Os gases ao saírem do ciclone, passam por um trocador de calor onde é resfriado a 350/400°C, para condensação dos alcalinos voláteis. Após o resfriamento o gás passa por um filtro a vela de metal sinterizado (material cerâmico apresentou problemas) sendo enviado diretamente para a câmara de combustão da turbina, sem remoção da fração condensável ainda presente nos gases (na faixa de 2 a 3 g/Nm³). Este procedimento de queimar diretamente os gases sem remoção da fração volátil, composta principalmente de aromáticos da família do benzeno e naftaleno, não apresentou nenhum inconveniente à turbina. O poder calorífico do gás variou de 5,0 a 6,3 MJ/Nm³.

Esta foi a primeira planta no mundo que conseguiu operar inteiramente integrada. Esta planta confirmou a viabilidade técnica e econômica da tecnologia e forneceu dados da engenharia e design para projetos de plantas comerciais (COELHO, 1992).



Figura 16 - Foto das Instalações de Värnamo
Fonte: WALDHEIM, 2005.

3.3.3 Vermont Biomass Gasification Project

O objetivo geral do projeto era demonstrar a integração de um gaseificador de aquecimento indireto com turbina a gás, a partir da tecnologia de gaseificação desenvolvida pelo Batelle Columbus Laboratory, com injeção de vapor (para produção de gás com maior densidade energética, com poder calorífico inferior de aproximadamente 17 MJ/Nm³)

A unidade piloto de gaseificação, de 2 MW térmicos, deverá dar origem a uma unidade de demonstração de 40 MW térmicos, permitindo a alimentação de uma turbina a gás de 15 MW. A instalação foi construída na cidade de Burlington, no Estado de Vermont, EUA, em uma área já parcialmente ocupada por uma termelétrica convencional a vapor, alimentada por madeira, com capacidade de 50 MW.

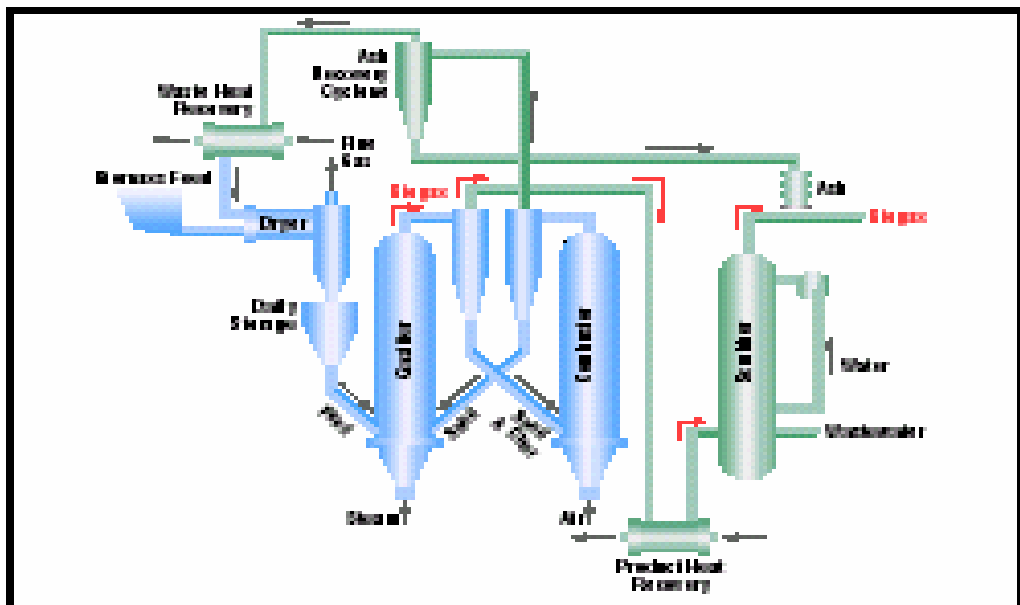


Figura 17 - Esquema da Planta de Vermont

Fonte: CENBIO, 2002b.

Instalado em 1997, as atividades desta planta forma paralisadas há alguns anos atrás por razões desconhecidas (WALDHEIM, 2005).

3.3.4 TPS Termiska Processer AB (Studsvik Energiteknik AB, ARBRE)

Este gaseificador tem, como característica principal, o emprego de um segundo leito, com injeção de dolomita, para promover o craqueamento catalítico dos alcatrões arrastados com os gases do primeiro leito. Como estas reações ocorrem a temperaturas da ordem de 900°C, existe a necessidade de se injetar uma pequena quantidade de ar na base do segundo leito.

Testes com peletes de bagaço de cana resultaram em um gás com 4,3 MJ/Nm³ e elevada taxa de conversão de carbono a gás (maior que 95 %). O teor de alcatrão foi baixo (valor não informado) e operou-se a uma temperatura abaixo do ponto de formação de sínter no leito (encontrado mas também não informado).

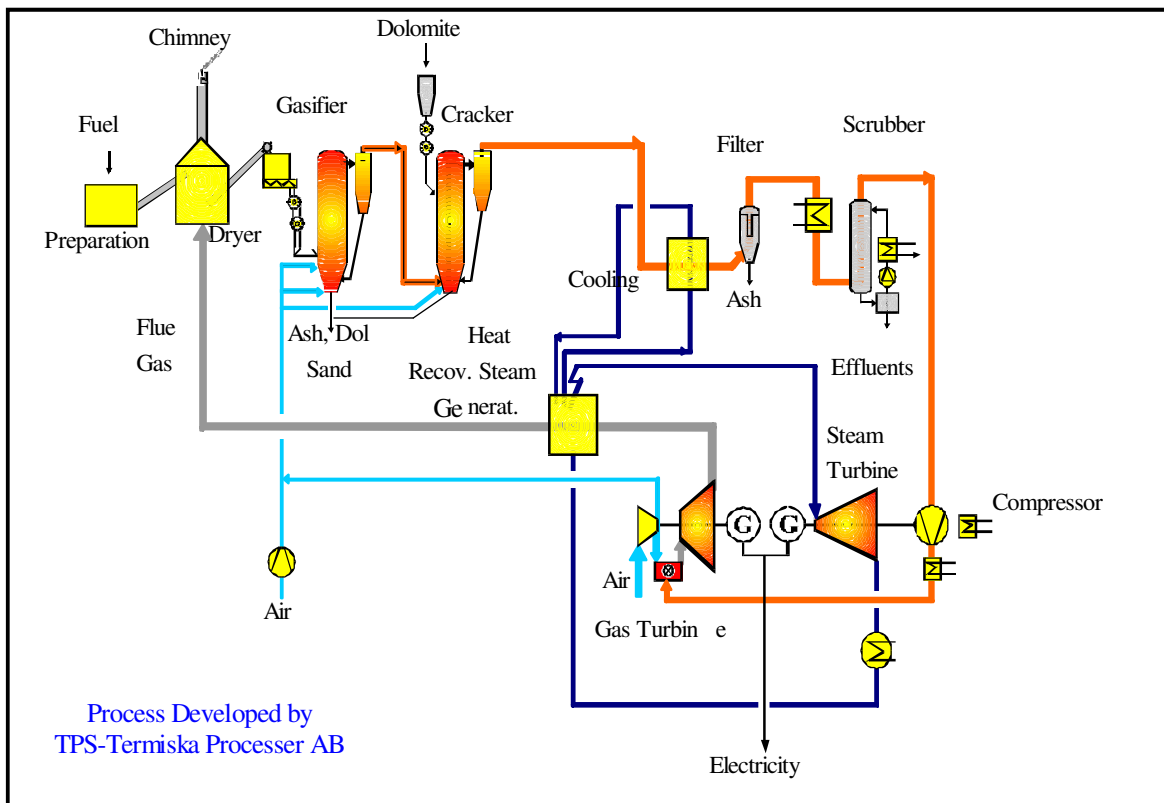


Figura 18 - Esquema da Planta Piloto do Gaseificador Atmosférico da Studisvik
Fonte: CENBIO, 2002b.

No início de 2002 a planta é vendida e logo depois suas atividades são paralisadas (WALDHEIM, 2005).

A TPS participou também do projeto ARBRE, na Inglaterra, com um gaseificador de leito fluidizado circulante atmosférico, com capacidade de 8 MW_e em ciclo combinado. Teve sua construção concluída no início de 2001 e quando estava iniciando a operação, o dono da planta faliu. O futuro da planta é incerto, pois os planos de seu novo dono não são conhecidos.



Figura 19 – Projeto ARBRE, Inglaterra.

Fonte: LORA, 2004.

3.4 Principais projetos de gaseificação de biomassa no Brasil

3.4.1 Universidade de Campinas (UNICAMP)

O grupo de Tecnologia Ambiental e Processo Térmicos da Escola de Engenharia Mecânica da UNICAMP tem estudado a gaseificação de biomassa, com destaque para o leito fluidizado.

Seis gaseificadores de leito fluidizado foram construídos pela equipe. Atualmente, três deles estão em testes: um de 200 mm de diâmetro interno, produzindo 34 kW_{th}; um de 400 mm de diâmetro, com capacidade de produção de 180 kW_{th} e um de pequena escala, com 100 mm de diâmetro interno, usado para estudos de pirólise. Nestes gaseificadores foram realizados testes com diferentes tipos de biomassa, como o bagaço-de-cana, casca de arroz, serragem e capim elefante (FERNANDES; SANCHES; FIGUEIREDO, 2004).

O gaseificador de 400 mm de diâmetro está conectado a um motor de combustão interna para produção de potência mecânica. Existem planos para conectá-lo a um gerador para produção de eletricidade.

3.4.2 Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

A UNIFEI, sob a coordenação do Prof. Electo da Silva Lora, tem estudado nos últimos anos os sistemas de gaseificação de leito fluidizado. O gaseificador estudado tem como características: potência térmica 245 kW, vazão de biomassa 0,03 kg/s, altura do leito: 800 mm e diâmetro da seção do leito: 0,474 mm. Os testes com bagaço de cana tiveram como principais resultados: vazão do gás produzido: 0,163 m³/s, eficiência a frio: 57%, Poder Calorífico Inferior do gás: 4,7 MJ/Nm³. A Figura 20 ilustra o sistema de gaseificação de leito fluidizado testado na UNIFEI.

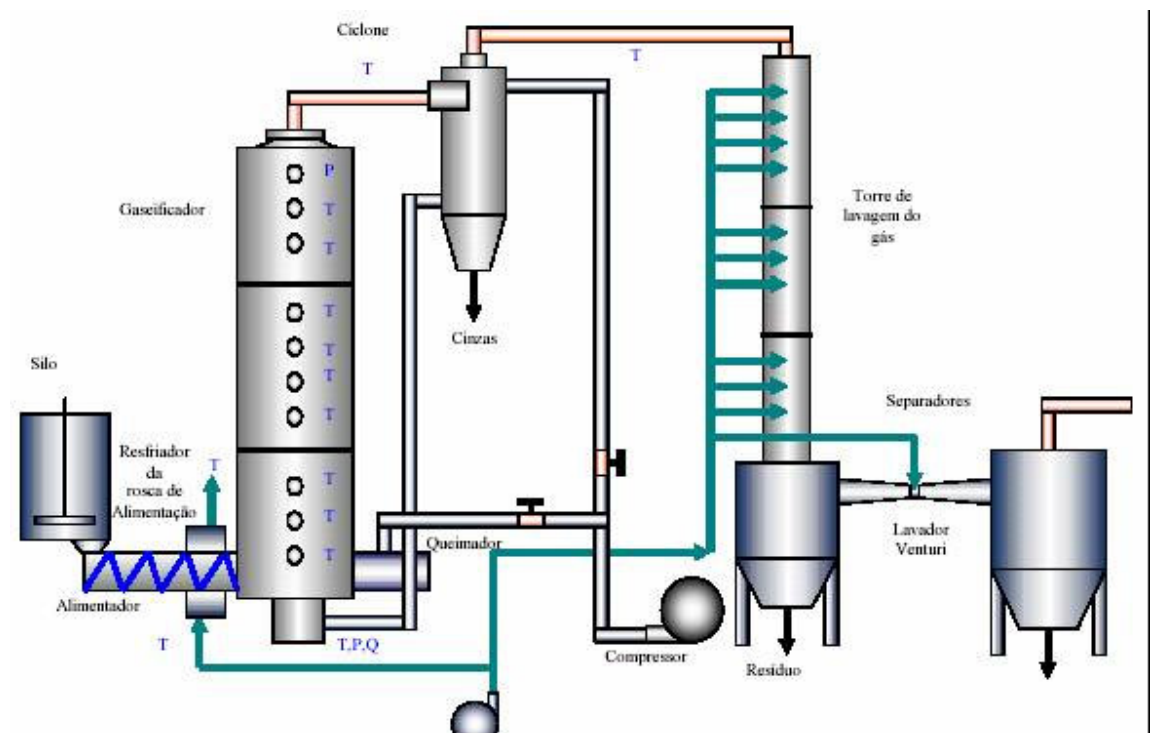


Figura 20 – Esquema do sistema de gaseificação testado na UNIFEI
Fonte: LORA, 2004.

3.4.3 Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

Nos últimos anos, a equipe do Laboratório de Combustão e Gaseificação (LCG) do IPT, projetou e construiu várias instalações piloto, que permanecem montadas no Laboratório para a execução de trabalhos de investigação experimental e para o atendimento de trabalhos de interesse do meio industrial.

O combustor/gaseificador testado no IPT era constituído de: um reator com diâmetro interno de 0,5 m e altura de 5,0 m, revestido internamente por refratário sílico-aluminoso monolítico.

O sistema de injeção de ar de fluidização era constituído por um plenum e uma placa com 72 bicos de injeção de furos laterais.

O preaquecimento do material inerte que constitui o leito era feito pela combustão de GLP. Como material utilizava-se areia com faixas granulométricas bastante estreitas.

O gás efluente do gaseificador passava por um ciclone, revestido internamente com refratário, que capta parte do material particulado presente nesse gás.

O gás efluente da primeira etapa de limpeza seguia por uma tubulação de medição e amostragem e em seguida por um sistema de resfriamento e lavagem e por um conjunto de ventiladores em série que comprime o gás para o *flare*.

O reator com potências de até 1 MW operava com bagaço de cana peletizado.

Gaseificador de leito movente

O IPT testou também um gaseificador de leito movente (também chamado de leito fixo), com diâmetro interno de 0,5 m e altura de 3 m, possibilitando alturas de leito de até 2,5 m. O reator era revestido internamente com refratário sílico-aluminoso monolítico e seu corpo construído em várias partes, possibilitava diversas configurações: contracorrente, co-corrente e com reciclo de gases de topo (USHIMA, 2002b).



Figura 21 - Gaseificador de Leito Movente Instalado no IPT.

Fonte: USHIMA, 2002b.

O leito de material em processamento apóia-se sobre uma grelha tronco cônica que gira excentricamente em relação à seção transversal do gaseificador. As cinzas resultantes escoam por gravidade por um espaço anular entre a grelha e a carcaça do gaseificador caindo na bacia de selagem, que gira solidariamente à grelha.

O gás gerado pode ser enviado diretamente para o *flare* ou então passar por um sistema de limpeza, e deste ir para o *flare* ou para outro equipamento onde deva ser utilizado.

Este equipamento já foi utilizado em operações com cavacos de lenha, carvão vegetal, turfa extrudada, carvão de casca de coco de babaçu, carvão mineral, bagaço de cana peletizado e resíduos florestais peletizados, totalizando mais de 2000 horas de operação. As máximas potências de operação estão por volta de 500 kW.

Projeto GASEIFAMAZ

O IPT desenvolveu em parceria com o CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa e o BUN – Biomass Users Network do Brasil e a Universidade do Amazonas

o projeto GASEIFAMAZ “*Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte*”. Esse projeto é financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), empresa de fomento do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT).

O IPT foi responsável pelos testes no sistema de gaseificação de 20 kW, importado no Indian Institute of Science (IISc). Mais detalhes dos testes poderão ser encontrados no item 5 do presente trabalho.

Atualmente, o IPT desenvolve dois importantes projetos na área de gaseificação de biomassa: o primeiro refere-se a um novo projeto, em parceria com o CENBIO, financiado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que tem como objetivo desenvolver e construir um sistema de gaseificação de 20 kW, com tecnologia totalmente nacional; o segundo refere-se ao desenvolvimento de um sistema de gaseificação para ser alimentado com bagaço de cana. Este projeto é realizado em conjunto com uma empresa privada e não pode ser divulgado devido a cláusula de sigilo presente no contrato entre as instituições.

3.4.4 Universidade Federal do Pará - UFPA

O Departamento de Engenharia Elétrica junto com o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (UFPA) vem desenvolvendo projetos de biomassa, como: Utilização de Resíduos da Flora Paraense para Produção de Briquetes Energéticos, Utilização de Resíduos da Flora Paraense para a Produção de Energia, Utilização de Resíduos de Madeira para a Produção de Vapor, Utilização de Resíduos da Flora Paraense para Obtenção de Produtos de Alto Valor Agregado, Utilização de Resíduos de Capoeiras para produção de Briquetes Energéticos.

Atualmente a UFPA está desenvolvendo o “Programa ENERBIO/UFPA Utilização de Resíduos de Biomassa de Açai e Cacau para a Produção de Energia” sob coordenação da Prof. Dr. Brígida da Rocha. O projeto consiste em:

- Obtenção do poder calorífico do açai e do cacau,
- Realização de testes através de gaseificação (dois sistemas de gaseificação de 20 kW e 1 kW, importados do Indian Institute of Science),
- Realização de testes de combustão direta,

- Briqueteamento dos resíduos do cacau,
- Briqueteamento dos resíduos do açai,
- Utilização de briquetes dos resíduos de cacau e açai para a geração de energia,

Resultados esperados:

- Melhoria na qualidade de vida da população,
- Adequação as normas MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo),
- Limpeza ambiental,
- Geração e manutenção de empregos diretos e indiretos,
- Viabilidade da qualidade de vida para gerações futuras,
- Agregação de valor aos produtos,
- Contribuição do acréscimo do PIB do estado do Pará, entre outros.

Dentre os problemas encontrados pela autora, em visita à Universidade, pode-se destacar a falta de análise da biomassa utilizada nos testes do sistema de gaseificação.

A biomassa que alimenta o sistema, na maioria das vezes, era doada por indústrias de beneficiamento, e utilizada sem qualquer controle. Um controle efetivo da umidade e do tamanho da biomassa usada para alimentar o sistema poderia melhorar ainda mais as condições de operação e o rendimento do sistema.

Além disto, havia problemas de segurança encontrados no laboratório: o sistema de exaustão dos gases de escape do motor e o *flare* estavam dentro do laboratório que não possui circulação de ar, sendo assim a concentração de gases dentro do laboratório era altíssima, o ruído era também muito alto e não existia nenhum equipamento de proteção individual para os operadores do sistema.

3.4.5 Projeto WPB – SIGAME

O projeto WBP-SIGAME foi concebido para demonstrar a viabilidade comercial da geração de eletricidade, a partir da madeira (biomassa florestal), através da utilização da tecnologia de gaseificação integrada a uma turbina a gás (HORTA, 1995).

Não apenas os aspectos técnicos deveriam ser testados e provados, mas também a estrutura organizacional estabelecida para realizar a demonstração de projetos futuros que teriam que demonstrar, em termos práticos, sua adequação comercial.

Para atingir tais objetivos, uma usina de 32 MW foi instalada no interior da Bahia,

baseada na tecnologia BIG-GTCC, foi projetada e sua engenharia básica foi feita.

O Projeto foi concebido para ser desenvolvido em 5 fases, sendo: Fase I – Estudos de pré-investimentos; Fase II – Desenvolvimento de equipamento, engenharia básica e infra-estrutura institucional; Fase III – Construção e montagem; Fase IV – Operação para demonstração; Fase V – Operação comercial. . A fase I, realizada de julho de 91 a março de 92, foi finalizada com a aprovação dos fundos do GEF para a fase II (MCT, 2006).

A fase II teve início em abril de 1992 e foi concluída em outubro de 1997. Atualmente, o projeto está paralisado, em função das incertezas existentes quanto à tecnologia (COELHO, PALETTA, FREITAS, 2000).

Participaram deste projeto além de instituições nacionais como, MCT - Ministério de Ciência e Tecnologia brasileiro e consórcio de participantes, formado pela ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras ("holding" das empresas estatais de energia elétrica), CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (estatal de área de energia elétrica e coordenadora do projeto), CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (instituição estadual de desenvolvimento tecnológico), CVRD - Companhia Vale do Rio Doce (estatal da área mineral e florestal) e SHELL (empresa energética multinacional), instituições internacionais como, Global Environmental Fund - GEF, United Nations Development Program - UNDP, World Bank - WB, bem como fornecedores internacionais de equipamentos e consultoria: BIOFLOW, Termiska Processer AB - TPS, General Electric - GE e a Jaakko Pöyry Engenharia – JPE.

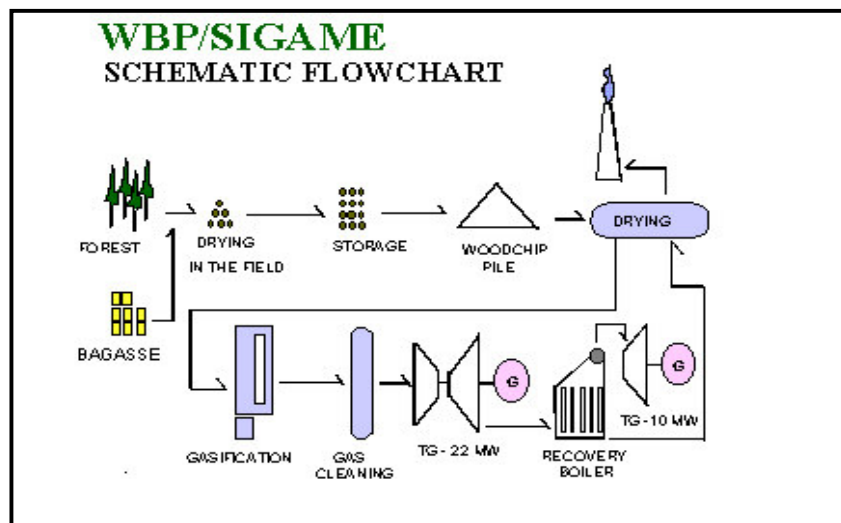


Figura 22 - Fluxograma do Projeto WBP – SIGAME

Fonte: HORTA, 1995.

3.4.6 Termoquip

A Termoquip Energia Alternativa Ltda, empresa brasileira, fundada em 1981, que atua nas áreas de energia térmica e de meio ambiente, desenvolveu durante alguns anos uma variante de gaseificador co-corrente.

O gaseificador fluxo co-corrente da Termoquip foi desenvolvido especificamente para gaseificar lenha e produzir energia térmica. A grelha fabricada em liga especial de aço inoxidável remove automaticamente a cinza e carvão residual proporcionando a produção de gás de forma contínua e estável. Atualmente, a Termoquip fabrica gaseificadores, somente, sobre encomenda (informação verbal)⁵.

A Termoquip desenvolveu em conjunto com a Copersucar/Piracicaba e com a UNICAMP o projeto de "Pirólise Rápida Contínua de Biomassa com Ar em Reator de Leito Fluidizado" (bagaço e palha de cana-de-açúcar e outras gramíneas), que consistiu em um sistema baseado na utilização de um reator atmosférico de leito fluidizado borbulhante em escala de planta piloto, combinado com sistemas convencionais de recuperação de sólidos (carvão vegetal pulverizado) e de Bio-Óleo (líquidos da pirólise) (GOMES; CORTEZ; PERES, 2000).

3.4.7 Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)

Acionar sistemas de irrigação e gerar eletricidade em regiões distantes da rede elétrica convencional. Essas foram as experiências de possíveis aplicações da energia gerada através da tecnologia de gaseificadores a carvão acoplados a motores de combustão interna. Os sistemas para irrigação funcionaram satisfatoriamente.

O maior projeto de geração de energia elétrica nessa linha foi desenvolvido na cidade de Formoso, Minas Gerais, utilizando gaseificação de carvão para acionamento de um motor a diesel (operando no sistema dual - queima de 80% de gás de carvão e 20% de óleo diesel). O equipamento funcionou por cerca de cinco anos, operando em média 3 horas/dia. Hoje está desativado (CEMIG, 2005).

⁵ Notícia fornecida por Caio Glauco Sanches em reunião, São Paulo, Junho de 2005.



Figura 23 – Usina termoeletrica a carvão, instalada no norte de Minas Gerais

Fonte: CEMIG, 2006.

3.4.8 Projeto Ribeirinhas

O projeto Ribeirinhas é uma parceria entre a Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS), responsável pela coordenação e financiamento do projeto; Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), responsável pelo desenvolvimento técnico do projeto; Companhia Energética do Amazonas (CEAM), responsável pelo apoio logístico e Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

O projeto tem como objetivo fomentar a implantação de sistemas de atendimento elétrico a populações localizadas em áreas com dificuldade de extensão de rede, avaliando a possibilidade de geração baseados em recursos energéticos renováveis locais no estado do Amazonas.

O projeto importou um sistema de gaseificação de 20 kW, da Ankur Technologies, localizada em Bombaim, na Índia e instalou em uma comunidade isolada no município de Manacapuru, no estado do Amazonas.

Atualmente, o sistema de gaseificação está paralisado com problemas no grupo gerador indiano (informação verbal)⁶.

3.4.9 Projeto COPERSUCAR para geração de energia por biomassa, bagaço de cana e resíduos

Em julho de 1997 a Copersucar e o Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (PNUD) assinaram o contrato referente ao projeto que tinha como objetivo avaliar e desenvolver para o ciclo de produção de eletricidade em sistemas de

⁶ Notícia fornecida por Itaúna Paulo D'Urso Jacob (CEAM) em reunião, Manaus, Setembro de 2005.

gaseificação/turbina a gás (BIG-GT – Biomass Integrat Gasification – Gas Turbine) a partir de biomassa de cana de açúcar. O projeto previa também o estudo da disponibilidade de biomassa a partir da colheita de cana crua e a definição das melhores rotas agronômicas para aproveitamento desta biomassa (bagaço e palha).

O projeto foi coordenado pelo Ministério de Ciências e Tecnologia, com recursos do GEF, com contrapartida da Copersucar (COELHO; PALETTA; FREITAS, 2000).

Dentre os resultados obtidos podemos destacar: avaliação da qualidade e disponibilidade dos resíduos de cana, avaliação das rotas agronômicas com recuperação do bagaço, testes com bagaço em sistema de gaseificação leito fluidizado atmosférico, integração do sistema BIG-GT com moinho, identificação e avaliação dos impactos ambientais.

Os resultados mostraram-se satisfatórios. Entretanto o orçamento final do projeto foi excedido em US\$ 10 milhões (HASSUANI; LEAL; MACEDO, 2005).

4. ESTUDO DE CASO: INSTALAÇÃO DE GASEIFICADOR EM COMUNIDADE ISOLADA NA REGIÃO AMAZÔNICA

4.1 A experiência da Índia

Como parte do projeto GASEIFAMAZ, técnicos do CENBIO, IPT e Universidade Federal do Pará (UFAM), participaram do Programa de Treinamento Internacional “Modern Biomass Utilisation Technologies” ministrado pelo Indian Institute of Science – IISc, Bangalore, Índia nas dependências do Combustion, Gasification & Propulsion Laboratory (CGPL). O Programa contou com a participação de 20 pessoas dos seguintes países: Áustria, Brasil, Camboja, Cuba, Nepal, Sudão e Tailândia.

O programa de treinamento foi composto basicamente por aulas teóricas, aulas práticas dadas nos laboratórios do CGPL, além de visitas a campo. Todas as atividades foram supervisionadas pelos técnicos do CGPL.

Além da participação do Programa, a missão técnica à Índia teve também como objetivo testar o sistema de gaseificação de 20 kW, que havia sido adquirido como parte do projeto GASEIFAMAZ. No Anexo A encontra-se o relatório técnico de viagem elaborado pela equipe técnica do CENBIO.

Dentre as atividades realizadas na missão pode-se destacar a visita a Vila Hosahalli, descrita abaixo.

4.1.1 Visita a Vila Hosahalli

Uma das atividades realizadas na missão que merece destaque foi a visita à Vila Hossahalli. A vila Hosahalli fica a aproximadamente 110 km de Bangalore, nela residem 218 habitantes em 35 casas. O índice pluviométrico da região é de aproximadamente 700mm/ano o que caracteriza uma região semi-árida. A floresta de eucaliptos de 4 hectares foi plantada especialmente para o projeto e a produtividade da região é de aproximadamente 10 ton/ha/ano segundo informações dos pesquisadores do IISc.



Figura 24 – Vila Hosahalli
Fonte: CENBIO, 2002c.



Figura25 – Floresta de Eucalipto na Vila Hosahalli
Fonte: CENBIO, 2002c.

Um gaseificador de 20kW foi instalado na vila em 1990 e desde então supre a demanda das 35 casas, um moinho de farinha e sistema de irrigação que atende 8 hectares. Segundo informações dos técnicos do IISc, no início do projeto era dada assistência aos moradores da comunidade diariamente, até que os moradores se familiarizassem com o equipamento e, na época da vista, a assistência era dada semanalmente.



Figura 26 – Gaseificador de 20 kW instalado na Vila Hoshalli
Fonte: CENBIO, 2002c.



**Figura 27 – Moinho de farinha
irrigação**

Fonte: CENBIO, 2002c.



Figura 28 – Sistema de

Fonte: CENBIO, 2002c.

O fato da comunidade ficar a 110 km do IISc, aproximadamente 2 horas de carro, foi determinante para o sucesso do projeto, à medida que as operações de manutenção, freqüentes, podem ser realizadas com facilidade.

Foi visível a melhoria da qualidade de vida da população da vila já que, entre outros fatores, não precisam caminhar horas por dia para buscar água ou levar o milho para o moinho.

Em relação ao sistema propriamente dito o que mais chamou atenção é a dependência do operador para o funcionamento correto. A quantidade de gás que pode ser introduzido no motor, causando a redução do consumo de diesel está vinculada à carga de operação. Quanto maior a carga maior a substituição de diesel.

Toda a implantação do sistema de eletrificação da vila foi feita em regime de cooperativa, desde a coleta da biomassa até o recolhimento dos pagamentos pelos serviços energéticos.

Na comunidade existe contaminação do solo causada pela água de lavagem do gás. Apesar do sistema de lavagem do gás ser ciclo fechado, a água de lavagem, após horas de uso satura e então, a água contaminada era colocada em um tanque sem impermeabilização.



Figura 29 – Água de Lavagem do gás
Fonte: CENBIO, 2002c.

4.1.2 Visita à fundição Tahafet

A fundição Tahafet possui um gaseificador de capacidade 300 kg/h, leito fixo co-corrente (downdraft), com sistema de alimentação pelo topo, dupla entrada de ar, sistema de extração de cinzas, sistema de limpeza / resfriamento da água, visando à produção de aproximadamente 1,2 MWth.

Existem 8 fornalhas que são usadas no tratamento térmico e trabalham na faixa de temperatura entre 600 e 920°C. Segundo informações dos técnicos do IISc, a indústria usava cerca de 2.000 litros de diesel por dia como combustível nas fornalhas e o gaseificador de 300 kg/hora tem capacidade para substituir o combustível líquido por completo.

Apesar da substituição do diesel pelo gás do gaseificador não ser completa, o uso de gaseificadores para fins térmicos surge como uma ótima alternativa.



Figura 30 – Fornalha

Fonte: CENBIO, 2002c.

A secagem da biomassa era feita com o calor das peças saídas dos fornos, o sistema é bastante simples, a biomassa é disposta sobre uma grelha e esta é colocada sobre as peças recém saídas das fornalhas.

4.1.3 Conclusões da missão técnica à Índia

Comprovou-se que a economicidade do sistema de gaseificação está diretamente ligada à distância do local de instalação até o ponto de distribuição do diesel. Quanto mais longe do ponto de distribuição, melhor a competitividade econômica do sistema. Isto se deve ao fato de que, quanto maior a distância, maior o custo final do diesel e assim sendo, a substituição do mesmo pelo gás de biomassa tem maiores vantagens financeiras. Por outro lado, o custo de manutenção tende a crescer com a distância. Pelo que foi observado durante a missão, principalmente na fase de implantação, a necessidade de acompanhamento técnico e manutenção é bastante freqüente.

Na maioria dos casos observados a substituição de diesel foi em média de 50%. Existe uma questão tecnológica na concepção do sistema de geração de energia elétrica com utilização de gás de gaseificação. Quanto melhor a qualidade do gás maior é a taxa de substituição de diesel e melhor é o funcionamento do motor. Porém, para proporcionar a melhoria da qualidade do gás, é necessário introduzir vários componentes no sistema. O principal deles é um “chiller” para refrigerar a água de tratamento do gás. Além de

consumir algo em torno de 15% da potencia gerada no sistema, a introdução de um equipamento deste tipo torna a manutenção mais cara e freqüente, à medida que adiciona vários outros componentes como um compressor, bomba, etc.

Os critérios para a escolha da comunidade em que o projeto piloto será implantado devem ser:

1. A disposição da comunidade em participar de um projeto de eletrificação;
2. A existência de sistema de geração de energia elétrica a diesel no local;
3. A disponibilidade de biomassa, durante todo o ano.

Outra importante conclusão foi que a implantação de um sistema de eletrificação em uma comunidade deve ser feita como se o sistema reproduzisse as condições de uma comunidade que esteja conectada à rede de distribuição de energia elétrica. Isto é, as pessoas devem receber pelas horas trabalhadas na operação e manutenção do sistema e pagar pelos serviços fornecidos pela energia gerada.

O sistema de gaseificação se apresenta como uma ótima alternativa para a produção de calor. O aproveitamento desta tecnologia poderá ser feito em regiões onde exista o fornecimento de energia elétrica para substituir outros combustíveis na geração de calor, como foi constatado na visita a fundição Tahafet (CENBIO, 2002c).

4.2 Levantamento e escolha da comunidade para a instalação do sistema de gaseificação

Como dito anteriormente, o objetivo era testar a tecnologia de gaseificação de biomassa, importada do Indian Institute of Science – IISc, para a geração de energia elétrica e instalá-lo em uma comunidade isoladas da região amazônica.

A princípio, a comunidade escolhida para a instalação do sistema havia sido a Comunidade do Roque, na região do Médio Juruá, na Amazônia. Esta comunidade fica a sete dias de barco de Manaus, possui aproximadamente 400 moradores e 60 domicílios. A comunidade tem uma pequena usina para extração de óleo vegetal (andiroba, murumuru e uricuri).

O sistema de gaseificação seria alimentado com os resíduos da extração do óleo de murumuru e de uricuri.

Entretanto, quando a equipe técnica do projeto iniciou os estudos para a transferência do sistema de gaseificação do IPT, local onde foram realizados os testes, para a comunidade, recebeu a informação de que a comunidade, no período compreendido entre os meses de maio a janeiro, fica isolada devido à seca e que, portanto, a transferência do sistema neste período seria muito difícil.

Diante da necessidade de cumprir o cronograma de execução do projeto, era impossível esperar mais tempo para transportar o equipamento na época da cheia; a dificuldade de levar o sistema de gaseificação, que pesa mais de 5 toneladas, por via terrestre, a Comunidade do Roque tornou-se uma alternativa pouco atrativa. Iniciou-se então processo para a escolha da nova comunidade.

Foram realizadas viagens às reservas de Mamirauá e Amanã, na região Amazônica, e à comunidade 6 de Janeiro, perto de Manaus. Estas viagens tiveram como objetivo determinar comunidades com potencial para a instalação do sistema de gaseificação. Dentre as visitadas, podemos destacar as comunidades de 6 de Janeiro e Boa Esperança.

4.2.1 Comunidade 6 de Janeiro

A Comunidade 6 de Janeiro surgiu como uma alternativa. Fica a 135 km de Manaus (acesso rodoviário). A sua sede reúne 8 famílias. Segundo informações dos moradores locais, cerca de 50 famílias estão assentadas ao longo das vicinais/ramais do assentamento, e fazem parte de um grande conglomerado de comunidades que compõem o “Assentamento do Iporá”, executado pelo INCRA.

Em visita à comunidade, constatou-se os seguintes problemas (CENBIO, 2003d).

- As famílias encontram-se dispersas ao longo dos 20 hectares da comunidade;
- Os grupos geradores existentes na comunidade estão parados, por falta de manutenção nos geradores;
- A sede da comunidade já dispõe de uma rede de baixa tensão (220/127V) de aproximadamente 100 metros de extensão, que faz parte de uma rede maior de distribuição em 13,8 kV, com extensão superior a 35 km, que passa por diversas propriedades da comunidade 6 de Janeiro e de outras comunidades, num total aproximado de 350 domicílios. A rede foi construída pela Companhia Energética do

Amazonas (CEAM) há cerca de 3 anos, porém, até o momento, não foi interligada à rede rural do município, que fica a apenas 20 km da comunidade.

- O sistema de gaseificação teria que ser alimentado com madeira, proveniente de um projeto de manejo florestal, pois não há outro resíduo gaseificável na região. Entretanto, verificamos que a implantação de um projeto de manejo florestal na comunidade seria difícil, pois não existe organização suficiente para sustentar um projeto de manejo.



Figura 31 - Grupo Gerador
Fonte: CENBIO, 2003d.

Com base nestes fatos decidiu-se procurar outra comunidade para a instalação do sistema de gaseificação.

4.2.2 Comunidade Boa Esperança

Por meio do Instituto de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá (IDSM), com sede na cidade de Tefé, no Estado do Amazonas, iniciou-se um levantamento do potencial e o reconhecimento de uma possível comunidade para a instalação do sistema.

Na visita à reserva de Amanã, usuários da Reserva de Mamirauá, foi feito contato com a Comunidade Boa Esperança, que fica a 10 horas de barco de Tefé. É composta por aproximadamente 200 habitantes, divididos entre 37 famílias. A comunidade vive do plantio da mandioca, abacate, banana e pupunha. Existe um sistema fotovoltaico (4 placas de 75W e 8 baterias) para o telefone (CENBIO, 2003d).



Figura 32 - Comunidade Boa Esperança
Fonte: CENBIO, 2003d.



Figura 33 - Placa da Comunidade
Fonte: CENBIO, 2003d.

A comunidade possui uma rede de transmissão de 700m que abastece todas as casas, a escola, a igreja e a casa comunitária. A geração da energia elétrica é feita através de um grupo gerador de 44 HP, 1800 rpm com um gerador síncrono de 48 kVA. O sistema funciona quatro horas por dia (das 18h00 às 22h00) e o consumo de diesel, segundo informações dos moradores, é de 4 l/h. O diesel é comprado pela comunidade, diretamente em Tefé, com transporte próprio. O custo do diesel em Tefé é de R\$ 1,50/l e chega na comunidade a R\$ 2,00/l, o que implica num aumento de 33,3% devido ao custo do transporte.

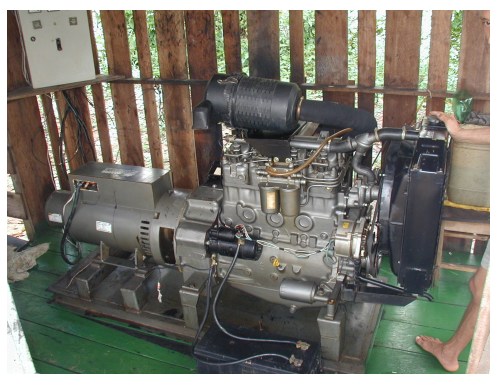


Figura 34 - Grupo Gerador
Fonte: CENBIO, 2003d.

O pagamento da energia elétrica é feito da seguinte maneira: casas com televisão e freezer pagam R\$ 15,00/mês e as casas que possuem somente lâmpadas e rádio pagam R\$ 10,00/mês.

Na comunidade existe uma pequena usina de óleo vegetal doada pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Esta usina ainda não foi instalada apesar de todos os equipamentos estarem no local e as obras civis concluídas e, segundo informações dos moradores e dos técnicos do IDSM, a princípio, não existe nenhum técnico responsável pela instalação, posta em marcha e acompanhamento do sistema de extração de óleo vegetal.



Figura 35 - Grupo Gerador da usina de óleos vegetais
Fonte: CENBIO, 2003d.



Figura 36 - Prensa da usina de óleos vegetais
Fonte: CENBIO, 2003d.

A comunidade iria produzir óleo vegetal de andiroba e de castanha, espécies nativas existentes na região.

Verificou-se que a Comunidade Boa Esperança seria uma boa opção para instalação do sistema de gaseificação, tendo em vista que a alimentação do sistema poderia ser feita com madeira proveniente do roçado (que consiste no plantio da mandioca, principal atividade de subsistência da comunidade, feito em sistema de rotação de campos - uma determinada área é cultivada e após a colheita é abandonada - o cultivo da safra seguinte é feito em uma área que havia sido abandonada, em geral, há dois ou três anos atrás). Este

sistema implica na retirada de grande quantidade de madeira das áreas anteriormente abandonadas para cultivo, que é queimada a céu aberto.

Entretanto, verificou-se que a melhor solução seria usar os resíduos provenientes da extração de óleo vegetal, atividade que seria desenvolvida a partir de um projeto de extração de óleo vegetal, em fase de instalação, e não madeira devido ao receio de proporcionar um incentivo ao desmatamento. Foi então solicitado ao IDSM um levantamento sobre o potencial das oleaginosas presentes na região a fim de se obter a quantidade de resíduo gerado para alimentar o sistema de gaseificação.

Constatou-se que a execução deste levantamento levaria um tempo maior que o projeto poderia disponibilizar, devido ao seu cronograma de execução. Sendo assim, partiu-se para a busca de outras comunidades.

4.2.3 Assentamento Aquidabam

Após a realização de um seminário, em Manaus, para disseminação dos resultados do projeto, um técnico do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), entrou em contato com o CENBIO para informar sobre o interesse de um assentamento em receber o projeto.

Em vista ao Assentamento Aquidabam, foi constatado que o assentamento possuía as condições básicas necessárias para à implementação do sistema de gaseificação: disponibilidade de biomassa o ano todo, experiência em motores diesel e, principalmente, grande envolvimento e interesse dos moradores no projeto.

O assentamento fica no município de Manacapuru, estado do Amazonas, a aproximadamente 4 horas da cidade de Manaus e o trajeto é feito da seguinte maneira: a partir do Porto de Cacao Pereira, em Manaus, atravessa-se o Rio Negro, de balsa, durante aproximadamente 40 minutos. Em seguida, percorre-se um trajeto de carro de 1 hora, até a cidade de Manacapuru. A partir de Manacapuru, de voadeira (pequeno barco com motor), sobe-se o Rio Solimões, em trajeto de aproximadamente 3h30 até o assentamento.



Figura 37 – Assentamento Aquidabam

Fonte: CENBIO, 2003e.

Nesta comunidade vivem cerca de 700 pessoas, 180 famílias. A comunidade possui uma área plantada de 100 hectares de cupuaçu (Figura 38), que hoje é vendido *in natura* (baixo valor agregado), pois não existe energia elétrica para fornecer o acondicionamento térmico necessário à polpa.

A idéia principal é que a instalação do sistema de gaseificação nesta comunidade possibilite a implantação de uma agroindústria para a extração e venda da polpa do cupuaçu (produto com maior valor agregado), propiciando assim aumento da renda da comunidade e conseqüentemente, melhoria na qualidade de vida dos moradores. O sistema de gaseificação será alimentado com as cascas do cupuaçu, resíduo da agroindústria. Além disto, o gás gerado pelo sistema de gaseificação poderá ser usado para secar as sementes de cupuaçu. As sementes secas podem ser vendidas para o replantio por pelo menos R\$ 1,00/kg (em cada safra são gerados no Assentamento cerca de 100 toneladas de semente)⁷.

Apesar do cupuaçu ser uma planta sazonal, a quantidade de cascas de cupuaçu gerada no processo de despulpamento da fruta é suficiente para alimentar o sistema de gaseificação durante todo o ano, desde que armazenadas em local seco.

⁷ Segundo informações dos moradores da comunidade, cada hectare de cupuaçu produz 1 tonelada de polpa e 1 tonelada de semente.



Figura 38 – Cupuaçu

Fonte: www.amazonlink.com.br

Outra característica importante para a escolha desta comunidade foi a existência de um gerador diesel e uma pequena rede de distribuição de energia elétrica, de propriedade da Companhia Energética do Amazonas (CEAM). Selecionada esta comunidade que já possui sistema de geração de eletricidade, tendo em vista que se trata de um projeto de pesquisa e existe o risco de falha no sistema de gaseificação e conseqüentemente falta de eletricidade para os moradores da comunidade. Sendo assim, o sistema da CEAM serviria de *back up* para o sistema de gaseificação.

O sistema de geração diesel da CEAM sofre constantes paralisações, por dias e, freqüentemente, semanas. Os moradores que contam com esta energia para conservar uma pequena parte da produção de cupuaçu que é despolpada manualmente e congelada para ser vendida na entressafra, perdem sua produção. Daí a importância da instalação do sistema de gaseificação que fornecerá energia elétrica para a agroindústria e para os freezers.

Na comunidade existe uma escola para alfabetização de crianças e adultos, um pequeno comércio local, igrejas e telefone público. A maioria das residências são palafitas construídas de madeira.

O fato das casas serem construídas em madeira e sobre palafitas é adequado do ponto de vista de salubridade, já que o piso não fica em contato com o solo. Além disso, os moradores têm o hábito de retirar os sapatos antes de entrar em casa, não permitindo que a sujeira trazida de fora contamine o interior da moradia.

A grande maioria das famílias existentes na comunidade tem como atividade produtiva o cultivo, extração e venda de cupuaçu.

Inicialmente, a comunidade vendia o cupuaçu *in natura*; mais tarde, após a instalação do sistema de geração de eletricidade da CEAM, a comunidade passou a vender parte da produção de cupuaçu congelada, na entressafra, com maior valor agregado (despolpado manualmente). Entretanto, devido às falhas da rede da CEAM havia perda de grande quantidade do cupuaçu congelado.

4.3 Montagem do sistema no IPT

A fase de montagem do gaseificador teve início após o transporte do equipamento da cidade de Bangalore, Índia, até o Brasil. O equipamento veio desmontado (ele foi montado no Indian Institute of Science - IIS para teste, em outubro de 2002, e desmontado, em seguida, para transporte ao Brasil) e ficou quase dois meses no Porto de Santos para liberação alfandegária.

O equipamento veio acompanhado de um manual de operação simplificado, mas não de um manual de montagem. Somente esquemas simplificados de montagem da estrutura metálica e dos pisos foram enviados. Desta forma, a montagem do gaseificador foi feita a partir de fotos tiradas no Laboratório do IISc, e da experiência da equipe técnica do Laboratório de Combustão e Gaseificação do IPT (LCG).

O gaseificador se apóia em uma estrutura metálica, composta de vigas e colunas aparafusadas. Após a montagem da parte inferior da estrutura e o seu nivelamento em relação ao piso, posicionou-se o corpo do gaseificador sobre ela. Uma vez fixado o corpo do gaseificador à estrutura, montou-se o primeiro piso, composto de chapas de aço inox, e iniciou-se a montagem da linha de gás e do sistema de lavagem, conforme mostra a Figura 39.



Figura 39 - Posicionamento do corpo do gaseificador sobre a base da estrutura metálica

Fonte: USHIMA, 2003c.

Após a montagem da linha de gás e do sistema de lavagem, este último composto de duas bombas d'água, três lavadores, dois selos d'água e um refrigerador, passou-se à montagem das vigas e colunas secundárias, escada de acesso ao piso superior e o piso superior. Por último, instalaram-se as portas laterais para proteção do gaseificador contra as intempéries, conforme mostra a Figura 40.



Figura 40 - Aspecto do gaseificador após montagem sobre a estrutura metálica
Fonte: USHIMA, 2003c.

O motor, de marca Kirloskar, modelo 3R1040, veio acoplado ao gerador e montado sobre uma base metálica. As principais especificações do motor são apresentadas na Tabela 05. Junto com o motor vieram peças de manutenção, como filtros de óleo, de ar etc.

Além do gaseificador e do conjunto motor/gerador, foram enviados um secador de biomassa e uma serra circular, Figuras 42 e 43.

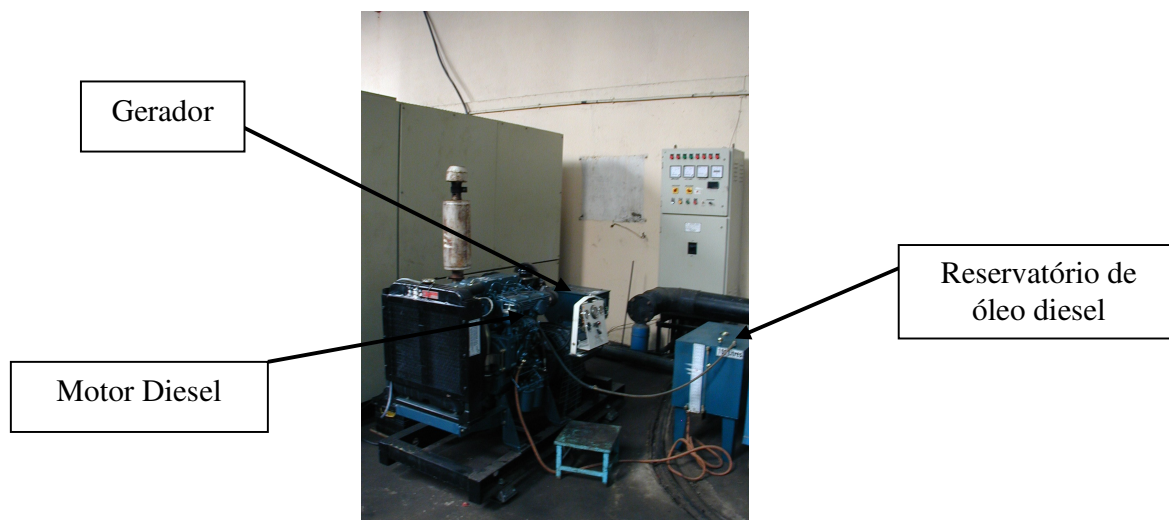


Figura 41 – Conjunto motor / gerador recebido no IPT
 Fonte: USHIMA, 2003c.

Tabela 05 - Especificações dos motores diesel testados no IPT

Fabricante	KILOS KAR	MWM
País de origem	India	Brasil
Tipo	Aspirado, 3 cilindros, refrigeração a água	Aspirado, 3 cilindros, refrigeração a água
Volume dos cilindros (cm ³)	3.120	2.940
Taxa de compressão	18:1	17:1
Potência (kW)	33,1	33
Rotação (rpm)	1.800	1.800
Potência gerador (kVA)	32,5	---

Fonte: USHIMA, 2003c.



Figura 42 - Fotos do secador de biomassa
Fonte: USHIMA, 2003c.

O secador foi projetado para utilizar os gases de exaustão do motor como agente de secagem. O ventilador, mostrado na foto da esquerda, aspira gases de exaustão do motor e os dilue com ar frio, através de uma válvula borboleta instalada na sucção do ventilador, não mostrada na figura. A temperatura dos gases, na saída do ventilador, deve permanecer em torno de 100 °C, a fim de evitar a ignição da biomassa no secador. A biomassa se apoia sobre uma grelha, colocada acima do duto de entrada dos gases quentes. Desta forma, os gases de secagem, já diluídos, atravessam a carga, aquecendo-a, saindo pelo topo do secador. A tampa superior e uma das paredes laterais são móveis, facilitando as operações de carga e descarga de biomassa no secador.



Figura 43 – Serra circular
Fonte: USHIMA, 2003c.

A serra circular, mostrada na Figura 43, é de operação manual e serve para cortar galhos finos na dimensão recomendada para a alimentação do gaseificador, de 1 a 6 cm.

Todos os motores elétricos dos equipamentos auxiliares apresentados, como bombas, refrigerador, ventilador etc., são acionados através de um único painel elétrico, mostrado na Figura 44. Além dos relês térmicos e das botoeiras para acionamento dos motores, o painel é equipado com um indicador de potência consumida nos motores elétricos em operação, corrente e tensão da energia gerada, um indicador de temperaturas para cinco pontos e um controlador para acionamento do extrator de cinzas. Este controlador é ligado a um transdutor de pressão, que aciona o dispositivo extrator quando a depressão na região de descarga de cinza atinge determinados valores (geralmente menor que -100 mm.c.a). O sistema de acionamento de descarga de cinza está conectado a um temporizador (aproximadamente 15 segundos) que desliga automaticamente o dispositivo após o seu acionamento. No caso de ocorrência de sobrecarga em um dos equipamentos e o seu desligamento via relê térmico, um alarme sonoro entra em operação, alertando o operador. No caso de necessidade, o painel ainda conta com uma botoeira de acionamento rápido para desligamento manual de todo o sistema.

As potências nominais dos motores elétricos enviados pelo IISc são apresentadas na Tabela 06.



Figura 44 - Foto do painel de controle do conjunto
Fonte: USHIMA, 2003c.

Tabela 06 - Potências nominais dos motores elétricos enviados pelo IISc

Equipamento	Especificação	Potência do motor elétrico (kW)	Modo de operação
Bomba d'água 1	Altura manométrica: 21 m, vazão 15,5 m ³ /h; 60 Hz	1,5	Contínuo
Bomba d'água 2	Altura manométrica: 21 m; vazão 15,5 m ³ /h; 60 Hz	1,5	Contínuo
Refrigerador	1,5 TR; 60 Hz	1,65	Contínuo
Ventilador do secador	Pressão 100 mm.c.a; vazão 1000 m ³ /h; 60 Hz	1,75	Descontínuo
Extrator de cinza	60 Hz	0,375	Intermitente
Serra circular	60 Hz	1,5	Descontínuo

Fonte: USHIMA, 2003c.

Alguns dos equipamentos recebidos estavam superdimensionados, como é o caso das bombas d'água. As vazões recomendadas no manual de operação do gaseificador, para estas duas bombas, são de 6 e 3 m³/h, respectivamente. No entanto, a potência nominal dos motores de acionamento das bombas recebidas é de 1,5 kW e a capacidade das bombas é de 15 m³/h, para uma altura manométrica de 21 m.c.a. Para as condições especificadas no manual de operação do gaseificador, as potências dos motores de acionamento das bombas deveriam ser de 0,75 e 0,375 kW, respectivamente. Pelo exposto, a simples substituição das bombas d'água e dos seus motores por equipamentos mais bem dimensionados, de fácil aquisição no mercado nacional, levaram a uma melhora significativa na capacidade de geração do sistema. A troca das bombas e seus motores aumentam a capacidade de geração em 1,8 kW, ou aproximadamente 9,4 % da capacidade nominal de geração do sistema.

De qualquer forma, mesmo considerando a substituição das bombas enviadas pelo IISc por equipamentos nacionais de menor potência, e somando somente as potências dos motores dos equipamentos que operam continuamente, resultaria em um consumo interno

total de 2,775 kW, ou seja, a capacidade de geração do sistema, na realidade, é de aproximadamente 17,225 kW e não 20 kW (86,13 % da nominal).

Durante os períodos chuvosos, em que for necessário acionar o ventilador do secador, a capacidade de geração cai para cerca de 15,5 kW (77,5 % da nominal). Caso a serra circular também seja empregada durante a operação do conjunto, a capacidade se reduz a 14 kW (70 % da nominal). A potência do motor do extrator de cinzas, por ser muito baixa e operar em intervalos de tempo curtos, com baixa frequência de acionamento (aproximadamente por 15 segundos, 3 a 4 vezes ao dia), pode ser desconsiderada no cômputo geral.

4.4 Transferência e instalação do sistema de gaseificação no Assentamento Aquidabam

Após a conclusão da fase de testes no IPT e escolha da comunidade para a instalação do sistema partiu-se para a instalação do sistema no assentamento Aquidabam.

O transporte do sistema de gaseificação de Manaus até Belém do Pará foi feito por rodovia, e daí até Manaus por balsa. O transporte da cidade de Manaus até o assentamento foi realizado com a ajuda da CEAM, que disponibilizou uma balsa para o transporte.

O processo de montagem do sistema de gaseificação foi realizado por técnicos do CENBIO e IPT, com a ajuda dos moradores da comunidade. O sistema foi montado dentro de um abrigo construído pelos moradores, com recursos do projeto, conforme as Figura 45.



Figura 45 – Abrigo para o sistema de gaseificação construído pelos moradores da comunidade

Fonte: CENBIO, 2004g.

A etapa mais difícil da montagem do sistema foi a instalação do reator, que pesa cerca de 600 kg e apesar de bastante robusta tem seu interior revestido de material cerâmico, que é bastante frágil ao impacto. Todo processo de manuseio das partes do sistema de gaseificação foi realizado com a utilização de uma talha e roletes de madeira.

Após a etapa de montagem do sistema de gaseificação foi realizada a interligação dos dois motores, nacional e indiano, ao gaseificador e secador. Através da rede montada é possível desviar o gás gerado no gaseificador para qualquer um dos dois grupos geradores, através da movimentação de algumas válvulas. Da mesma forma, os gases de exaustão dos motores também podem ser desviados para o secador, ou para o meio ambiente quando ele não estiver em operação. Os motores foram interligados à rede através de tubos metálicos flexíveis para evitar a transferência de vibração.

4.5 Processo de capacitação / treinamento dos moradores da comunidade na O&M do sistema de gaseificação

O treinamento de operadores do sistema de geração, ministrado por técnicos do CENBIO e IPT, contou com a participação de 12 membros da comunidade, selecionados pela própria liderança local, segundo o critério de experiência anterior com equipamentos mecânicos. Do treinamento também participou um técnico da CEAM (USHIMA, 2004g).

No início do curso foi distribuído aos participantes um manual resumido de operações do equipamento com instruções de partida e parada do gaseificador e do sistema de geração de energia elétrica. Após a apresentação teórica do sistema foi realizada uma apresentação prática do sistema. O sistema de gaseificação foi operado pelos técnicos do IPT e os participantes do curso acompanharam todas as operações de partida e de desligamento do conjunto.

Para intensificar o contato dos participantes do curso com o equipamento, a equipe foi dividida em três turmas, cada uma responsável pela operação do equipamento num determinado dia. O treinamento das equipes ocorreu durante uma semana, durante a qual foi feita uma seleção de quatro operadores que mais se destacaram no treinamento. Pretende-se que estes operadores selecionados assumam a operação do sistema.

4.6 Operação do sistema de gaseificação na comunidade

Em Novembro de 2004, o sistema de gaseificação foi inaugurado. A inauguração contou com a presença do presidente nacional do INCRA – Sr. Rolf Hackbart, do prefeito eleito do município de Manacapuru, de técnicos do CENBIO, IPT, INCRA, Eletrobrás, CEAM, MME, além de moradores da comunidade.



Figura 46 – Inauguração do sistema de gaseificação no assentamento Aquidabam

Fonte: CENBIO, 2004h.

A operação do sistema de gaseificação, no dia da inauguração, ficou a cargo dos quatro operadores selecionados no treinamento, com supervisão dos técnicos do IPT.



Figura 47 – Técnicos do CENBIO, IPT e INCRA presentes na inauguração

Fonte: CENBIO, 2004h.



Figura 48 – Morador da comunidade operando o sistema de gaseificação
Fonte: CENBIO, 2004h.

Tendo em vista que não há uma agroindústria instalada no assentamento, definiu-se que a princípio, o sistema de gaseificação de 20 kW alimentaria um conjunto de *freezers* dos moradores que ficaria no galpão ao lado do abrigo do sistema.

A principal vantagem desta configuração seria o funcionamento do sistema independente da rede da CEAM. Entretanto, a comunidade passou a operar o sistema somente quando ocorriam falhas na rede da CEAM, ficando assim o funcionamento do sistema esporádico e, portanto, o número de horas de operação no mês bastante reduzido, prejudicando a avaliação da operação do sistema em campo.

Algum tempo depois, a comunidade passou a operar o sistema de gaseificação para alimentar uma bomba d'água, mas meses depois foi feita uma ligação irregular da bomba à rede da CEAM.

Tentando solucionar estes entraves, providenciou-se a interligação do sistema de gaseificação à rede da CEAM. Entretanto, o valor que os moradores pagam pela energia (R\$ 240,00 / MWh) é bem menor que o custo de operação e manutenção do sistema, conforme detalhamento no item 6.0.

Atualmente, a equipe técnica do CENBIO busca, insistentemente, recursos para financiar a agroindústria, apesar de não ser o objetivo do projeto, atrelando a atividade produtiva à geração de energia elétrica. Além disso, sabe-se da importância que a agroindústria terá para a continuação do projeto GASEIFAMAZ e principalmente para os moradores de Aquidabam, que poderão ter melhores condições de vida.

5. TESTES NO SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO DE 20 kW, IMPORTADO DO IISc, REALIZADOS NO IPT.

Neste capítulo, serão analisados os testes no sistema de gaseificação de 20 kW, realizados no IPT.

A descrição dos testes e ensaios realizados no sistema de gaseificação, demonstrados neste capítulo, é baseada nos relatórios técnicos realizados pelo Agrupamento de Engenharia Térmica (AET) do Laboratório de Combustão e Gaseificação (LCG) do IPT (USHIMA, 2003c, 2003e, 2004f).

5.1 Descrição da operação do gaseificador e motor

O gaseificador do IISc é do tipo cocorrente estratificado, ou seja, o escoamento do combustível sólido segue na mesma direção e sentido do gás. Ambas as correntes, de biomassa e ar, entram pelo topo do gaseificador, que é aberto à atmosfera (“open top”) e seguem para a base, como indicado na Figura 49. O fato de o gaseificador ser aberto à atmosfera não implica em riscos de vazamento de monóxido de carbono (CO) para o ar externo. O gaseificador opera em depressão, com pressão ligeiramente inferior à atmosférica, o suficiente para garantir o escoamento de gases através da carga de biomassa.

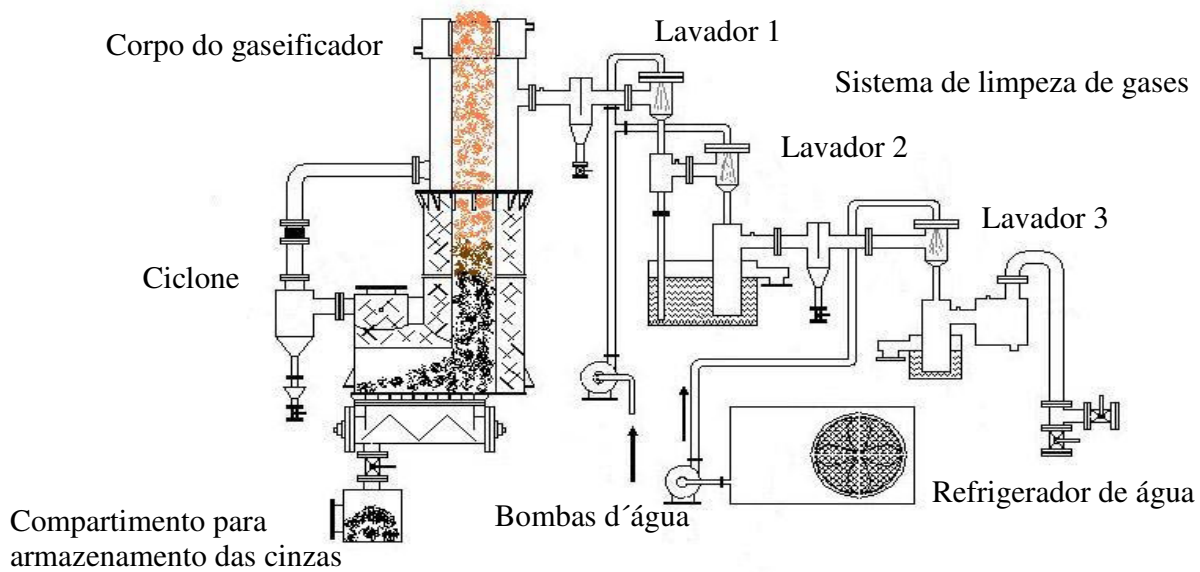


Figura 49 – Esquema do gaseificador do IISc

Fonte: USHIMA, 2003c.

O gaseificador pode ser dividido em três partes principais: gaseificador, sistema de lavagem primário e sistema de lavagem secundário.

No gaseificador, a biomassa é alimentada manualmente pelo topo e parte do ar (~60%) também entra por ele. O restante do ar entra através de três orifícios distribuídos uniformemente ao longo da seção transversal do corpo do gaseificador, localizada numa cota intermediária entre o topo e a base do gaseificador. A parte superior do gaseificador é um trocador de calor metálico, tipo duplo tubo, revestido externamente com isolante térmico. As correntes entrando pelo topo passam pelo tubo interno e são preaquecidas pela corrente de gás quente, que passa pelo lado externo do tubo, oriunda da base do gaseificador.

A biomassa, ao descer pelo corpo do gaseificador, vai se aquecendo e liberando vapor d'água de secagem e voláteis. Numa posição intermediária entre o topo e a entrada secundária de ar, os voláteis entram em combustão, formando uma chama em torno das partículas de biomassa. Na região de entrada secundária de ar, o restante dos voláteis da biomassa são liberados e queimados. Esta região é a de maior temperatura no corpo do gaseificador. Os gases de combustão dos voláteis, ao entrarem em contato com o resíduo

carbonoso da biomassa, na região logo abaixo da entrada secundária de ar, tem a sua temperatura rapidamente reduzida de 1200 °C a 800 °C, devido principalmente às reações endotérmicas de gaseificação de carbono com vapor d'água e dióxido de carbono. Abaixo de 800 °C, as velocidades destas reações são praticamente nulas e o resfriamento dos gases, a partir desta temperatura, se dá principalmente por troca de calor com o meio ambiente.

Na base do gaseificador, existe um dispositivo de remoção de cinzas, constituído de uma rosca (sobre a qual a carga do gaseificador fica apoiada) e um reservatório selado. Com o progresso da gaseificação, material carbonoso, com teores crescentes de cinza e de finos, vai se acumulando na base do gaseificador. Conseqüentemente, a perda de carga nesta região vai se elevando, aumentando a depressão nesta região e provocando uma redução na vazão de gás. Quando a depressão atinge valores da ordem de -100 mm.c.a., a rosca deve ser acionada. O dispositivo de acionamento da rosca dispõe de um temporizador (~15 segundos) que o desliga automaticamente, evitando o esvaziamento excessivo do leito. O material carbonoso, com cinzas, é transferido para o reservatório selado. Este reservatório é fixado ao corpo do gaseificador através de flange e parafusos e precisa ser descarregado diariamente, antes do início de cada ensaio.

Na base do gaseificador, os gases, após atravessarem a carga de carvão com cinzas, passam por um ciclone para a separação de material particulado grosseiro eventualmente arrastado. Este ciclone, construído de aço inox, não é isolado termicamente. Após o ciclone, os gases passam no trocador de calor instalado no topo do gaseificador, também construído de aço inox, e saem pela sua parte superior. Na sua saída, existe um dispositivo de separação inercial para remoção de material particulado eventualmente arrastado do trocador.

Em seguida, os gases adentram o primeiro sistema de lavagem, que consiste de dois estágios de lavagem com jatos de água à pressão de 2 atm. A vazão de água em cada lavador é de cerca de 50 litros/min. No primeiro estágio, o gás sofre um resfriamento brusco e uma limpeza inicial. O jato de água, a alta pressão, além de resfriar o gás, transfere parte da quantidade de movimento à corrente de gás, movimentando-a através do circuito. Este dispositivo de lavagem é responsável pela geração da depressão no corpo do gaseificador, dispensando o uso de máquinas de fluxo, como ventiladores, no circuito. O gás passa, em seguida, ao segundo lavador. A água utilizada nestes dois lavadores vem de

uma única bomba e é proveniente de um reservatório de cerca de 5 m³. A água de lavagem, após a operação de lavagem, é retornada ao reservatório onde sofre resfriamento por evaporação e troca de calor com o meio ambiente. Os contaminantes, líquidos e sólidos, removidos do gás, vão se acumulando na água ao longo do tempo, exigindo o descarte da água após um determinado período de operação.

Após passar pelo primeiro sistema de limpeza, existe um segundo separador inercial para coleta de gotas de líquido arrastado com os gases. No segundo sistema de limpeza, a água de lavagem é resfriada até cerca de 10 °C no refrigerador, que dispõe de um reservatório interno de 250 litros. Esta água, resfriada, circula em circuito fechado, entre o lavador e o refrigerador, a uma vazão em torno de 50 litros/min e a uma pressão de 2 atm, não se misturando com a água do primeiro sistema. De tempos em tempos esta água também precisa ser descartada, devido ao acúmulo de contaminantes.

Após passar pelo separador inercial, instalado na saída do sistema secundário de lavagem, o gás, já limpo, e a uma temperatura abaixo da ambiente, é enviado ao motor ou ao “flare”. Na entrada do motor existe um filtro, do tipo manga, para limpeza final do gás. Este filtro dispõe de selo de ruptura, que serve como dispositivo de segurança no caso de ocorrência de explosão. O gás entra diretamente na linha de ar do motor (após o filtro de ar). Como a vazão de gás admitido num motor estacionário é constante, a pré-mistura do gás com o ar na entrada do motor implica numa redução do excesso de ar.

A partida do gaseificador se dá com a ignição do motor na condição 100 % diesel. O painel elétrico do gaseificador é alimentado com a energia gerada no gerador e, uma vez com os motores elétricos do gaseificador em operação (acionamento das bombas e refrigerador), procede-se ao acendimento do gaseificador. Este acendimento é feito através das entradas secundárias de ar, colocando-se uma chama à frente dos orifícios. Como o interior do gaseificador opera em depressão, estas chamas são sugadas para dentro do gaseificador, dando ignição ao material localizado próximo às entradas de ar. Cerca de 15 minutos após a ignição do leito, o gás gerado já pode ser encaminhado ao motor, iniciando a substituição do diesel. O gás, gerado durante este período inicial, é queimado em um “flare”.

O sistema de controle de rotação do motor estacionário (governador), ao detectar uma tendência de elevação de rotação no motor com a chegada de gás combustível ao

motor, reduz o fornecimento de óleo diesel, mantendo a sua rotação. Para garantir a ignição da mistura no interior dos cilindros, e para evitar o superaquecimento dos bicos injetores de diesel, é necessário manter um consumo mínimo de diesel, em torno de 1,2 litros/h. Como consequência, quanto menor é a demanda de potência do sistema motor/gerador menor é a taxa de substituição de óleo diesel por gás no motor.

Desta forma, em situações em que a demanda de energia elétrica for menor que a nominal, a vazão de gás terá de ser reduzida, atuando-se na válvula de controle de vazão de gás instalada na linha.

5.2 Descrição da instrumentação instalada no gaseificador e modificações introduzidas

Para avaliar o desempenho do gaseificador, instalou-se um conjunto de instrumentos no corpo do gaseificador, o que exigiu a introdução de algumas modificações na linha de gás.

No gaseificador foram instalados 4 termopares, 3 transdutores de pressão e uma placa de orifício, esta última para determinação da vazão de gás gerado. Os locais de instalação da instrumentação são mostrados na Figura 50.

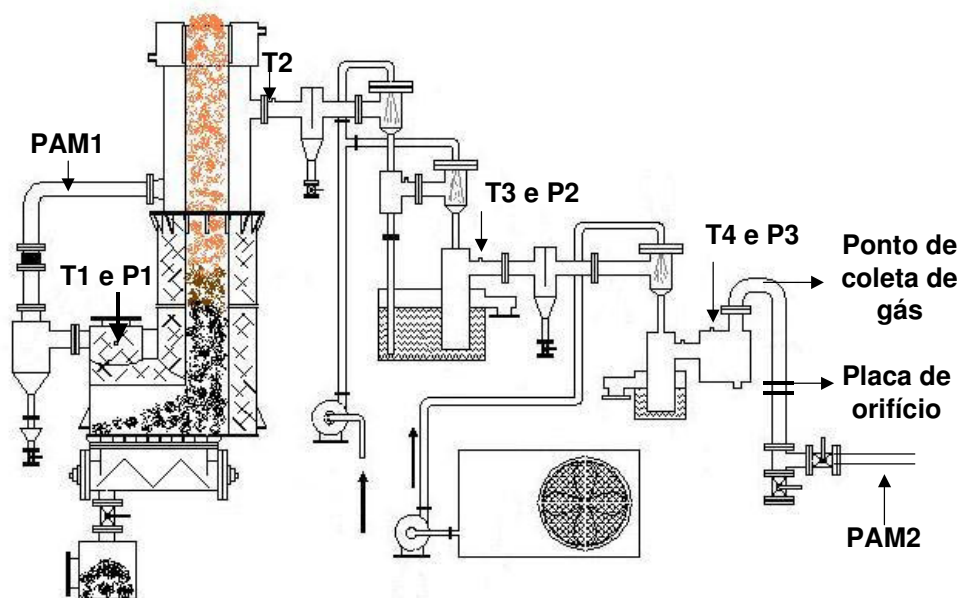


Figura 50 – Localização da instrumentação instalada
Fonte: USHIMA, 2003c.

Os termopares foram instalados ao longo do circuito de gás para medir a temperatura dos gases: na saída do gaseificador (T1), antes do ciclone; na saída do trocador de calor (T2); após o sistema primário de limpeza (T3); o último após o sistema secundário de limpeza (T4). Para medir e monitorar a pressão ao longo do gaseificador, foram instalados três transdutores de pressão: um na saída do gaseificador (P1); outro na saída do sistema primário de limpeza de gases (P2); o terceiro na saída do sistema secundário (P3). A vazão de gás é medida através de placa de orifício, indicada na Figura 50. O diâmetro do orifício instalado foi de 29,04 mm (0,57 do diâmetro da tubulação) e a perda de carga estimada na placa, na condição nominal de trabalho do gaseificador, foi de 30 mm.c.a..

O ponto de amostragem de gases para análise contínua foi instalado na saída do sistema secundário de limpeza de gases, como mostrado na Figura 50. O gás, recolhido de forma contínua neste ponto, passa por um sistema terciário de limpeza antes do seu envio para os analisadores contínuos, mostrados na Figura 51. Esta limpeza adicional, que remove somente a umidade residual do gás e o restante de material particulado ainda presente nos gases, é feita para garantir a integridade dos analisadores e não afeta a sua composição.



Figura 51 - Analisadores contínuos e do sistema terciário de limpeza de gás
Fonte: USHIMA, 2003c.

Neste sistema, os gases monitorados de forma contínua são: CO (% vol.), CO₂ (% vol.), CH₄ (% vol.), H₂ (% vol.) e O₂ (% vol.). Como a soma dos teores de outros gases ou vapores combustíveis, com pesos moleculares maiores que o metano (eteno, penteno, benzeno etc.) e não monitorados, é muito baixa (em geral menor que 1 % vol.), ela pode ser

desprezada e o teor de nitrogênio ser calculado por diferença. Para melhorar a precisão na medição dos teores destes gases, os analisadores são calibrados, antes de cada ensaio experimental, com um gás padrão com composição próxima da composição média do gás gerado no gaseificador.

Os teores de alcatrão e de material particulado nos gases são medidos em dois pontos, identificados como PAM 1 e PAM 2, na Figura 50. O primeiro ponto está localizado antes do sistema de limpeza de gases e o segundo, após. A determinação destes teores permitirá determinar a eficiência do sistema de limpeza de gases do gaseificador.

A metodologia de determinação do teor de alcatrão e de material particulado utilizada nesta avaliação foi desenvolvida dentro do projeto, “Energy Project EEN5-1999-00507 (tar protocol)”, patrocinado pela União Européia e é específica para gaseificadores. Parte do aparato a ser utilizado é mostrado na Figura 52. Neste método, o gás, amostrado em uma sonda isocinética aquecida, passa por um filtro de tipo dedal, também aquecido por uma manta elétrica, para evitar a condensação de água e de parte dos alcatrões sobre ela. Os gases, já livres do material particulado, passam por um condensador e por um conjunto de borbulhadores imersos em banho de gelo para retenção de parte da água e alcatrões presentes nos gases. Em seguida, os gases passam por um segundo conjunto de borbulhadores imersos em banho de gelo com salmoura, contendo isopropanol, para remoção final dos alcatrões. Para garantir a retenção de gotículas do álcool ou de vapor de água, eventualmente ainda presente nos gases, no último borbulhador é colocado um enchimento de sílica gel. O volume de gases amostrado é medido no aparelho mostrado à direita da Figura 52.



Figura 52 - Instrumentação utilizada na determinação do teor de alcatrão e material particulado presentes nos gases

Fonte: USHIMA, 2003c.

Como parte dos alcatrões presente no gás amostrado (principalmente os de maior peso molecular, com temperatura de condensação maior que 120 °C) fica retido no filtro junto com o material particulado, é necessário separá-la antes da pesagem do filtro. Para isto, utiliza-se um método denominado Soxhlet, que consiste na lavagem do filtro com o próprio isopropanol dos borbulhadores, em uma coluna de destilação. O isopropanol, ao se condensar no condensador superior, cai no interior do filtro, dissolvendo os alcatrões presentes e arrastando-os para o balão de destilação, onde vão se acumulando. Quando a solução passante pelo filtro fica límpida, interrompe-se a operação de lavagem. Após a determinação da massa final de solução de isopropanol restante no balão, dos teores de alcatrões presente nesta solução (determinados via análise cromatográfica) e do volume de gás amostrado, consegue-se determinar a composição e o teor de alcatrões presente no gás. O teor de material particulado é determinado pesando-se o filtro após a operação de lavagem e secagem, dividindo a massa líquida de material retido no filtro pelo volume de gases amostrado.

O equipamento de gaseificação do IISc veio equipado com um “flare”, de aço inox, para queima dos gases gerados nos períodos de partida e parada do gaseificador. Para compensar a sucção provocada pela aspiração do motor e a perda de carga na placa de orifício, foi necessário substituí-lo por outro “flare”, equipado com um ejetor de ar comprimido na sua base, mostrado na Figura 53. O jato de ar comprimido provoca o arraste dos gases, criando uma depressão na linha, equivalente à provocada pela sucção do motor.

Neste “flare”, a vazão de ar comprimido é controlada pela pressão do ar na entrada do ejetor e quanto maior a sua pressão, maior a depressão provocada na linha de gás. No entorno da chama que se forma na saída do ejetor, colocou-se ainda um tubo de proteção metálico que tem a função de evitar o descolamento da chama provocado por correntes laterais de ar e permitir a sucção de gás quente para a secagem de biomassa úmida, de forma independente do motor.



Figura 53 - “Flare” com injeção de ar comprimido

Fonte: USHIMA, 2003c.

5.3 Posta em marcha do gaseificador

Após a montagem, instrumentação, testes iniciais, reparos de equipamentos do gaseificador e recebimento do primeiro lote de cavacos de eucalipto, os testes de avaliação do gaseificador tiveram início.

Devido à homogeneidade, disponibilidade e facilidade de obtenção, optou-se por utilizar cavacos de eucalipto nos testes de avaliação de desempenho do conjunto gaseificador/motor. A Cia. Suzano de Celulose e Papel, gentilmente doou o material a ser utilizado nestes testes, estimado em cerca de 7 toneladas de cavaco. Este material foi entregue em lotes sucessivos de cerca de 1,5 tonelada cada.

5.3.1 Testes iniciais no sistema de gaseificação

No primeiro teste, o gaseificador foi carregado até o topo com carvão vegetal utilizado para churrasco, quebrado em pedaços com dimensões da ordem de 5 cm. Em ensaios subseqüentes, não mais se alimentou carvão vegetal, apenas cavacos de eucalipto. Após o acionamento das bombas e regulagem das vazões de água, procedeu-se ao acendimento do gaseificador. Esta operação mostrou-se muito simples, bastando colocar uma chama em frente aos orifícios de entrada de ar secundário, um de cada vez, como mostrado na Figura 54.



Figura 54 - Etapa de ignição do leito

Fonte: USHIMA, 2003c.

A depressão no interior do leito, provocada pelos ejetores dos sistemas de lavagem, succionou a chama para o interior do leito, dando ignição ao material parado nesta região. A zona de combustão se espalhou rapidamente ao longo da seção e o teor de oxigênio nos gases também sofreu uma queda rápida, como pode ser verificado na Figura 55. Observe-se que, após cerca de 6 minutos, o teor de oxigênio nos gases gerados se aproximou rapidamente de zero.

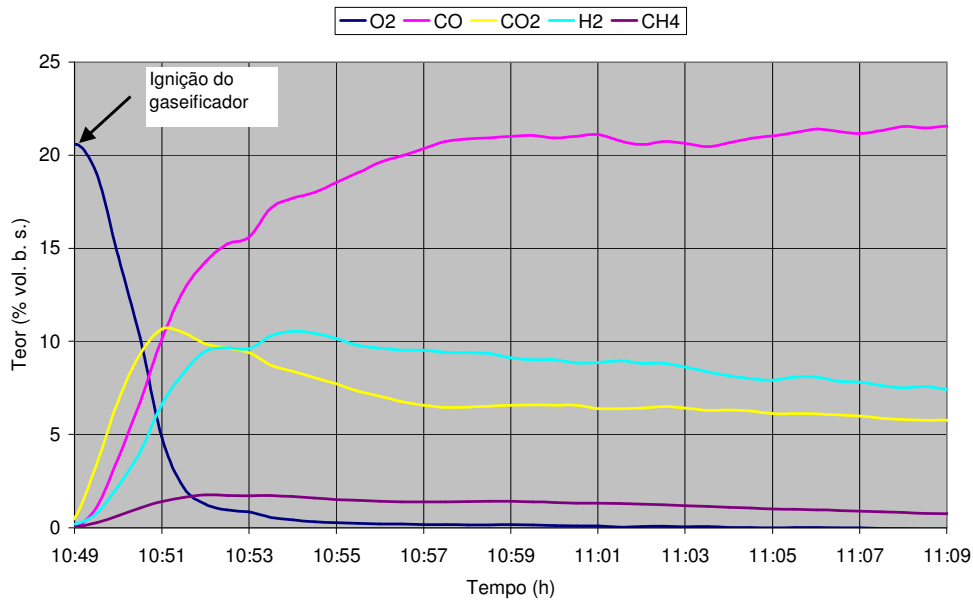


Figura 55 - Variação da composição do gás gerado durante a partida do gaseificador no primeiro teste de gaseificação

Fonte: USHIMA, 2003c.

Curvas de composição, temperatura, pressão e vazão após o primeiro ensaio contínuo do sistema são apresentadas a seguir.

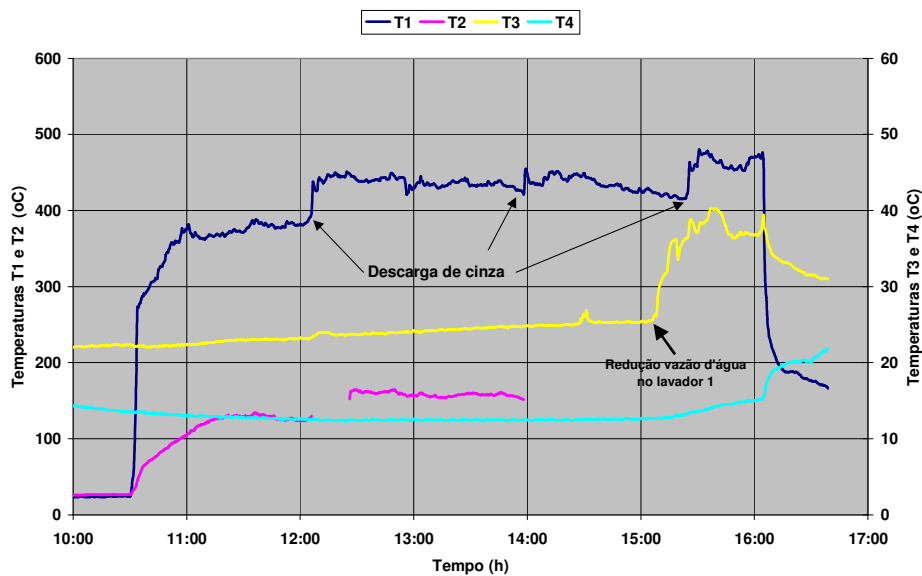


Figura 56 - Temperaturas registradas ao longo ensaio

Fonte: USHIMA, 2003c.

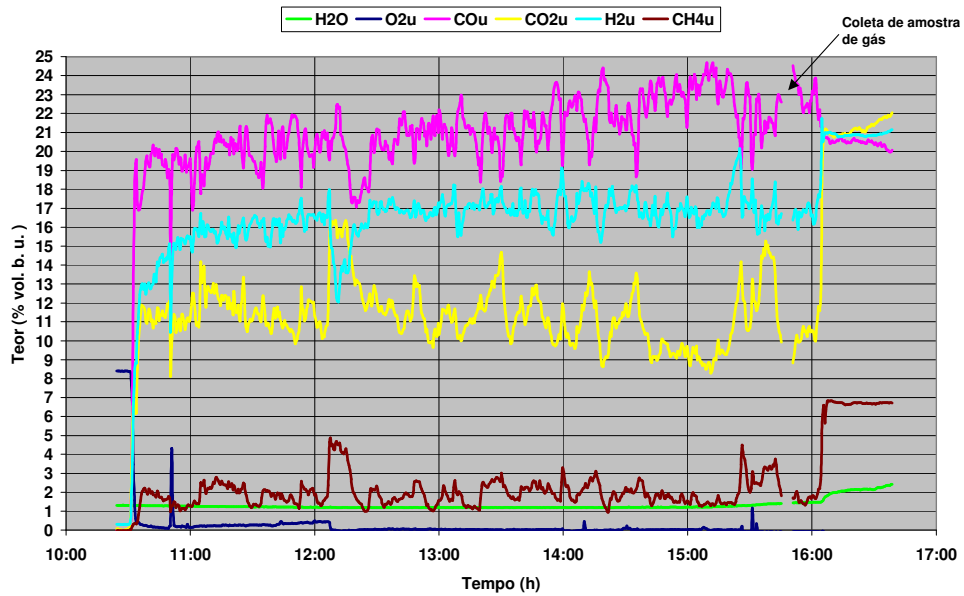


Figura 57 - Composição dos gases durante ensaio

Fonte: USHIMA, 2003c.

O teor de vapor d'água nos gases (linha verde na figura) foi calculado a partir da temperatura dos gases na saída do sistema 2 de lavagem, considerando o gás saturado. Os teores base seca, medido nos analisadores contínuos, foram corrigidos para base úmida, a partir dessa umidade, e plotados no gráfico.

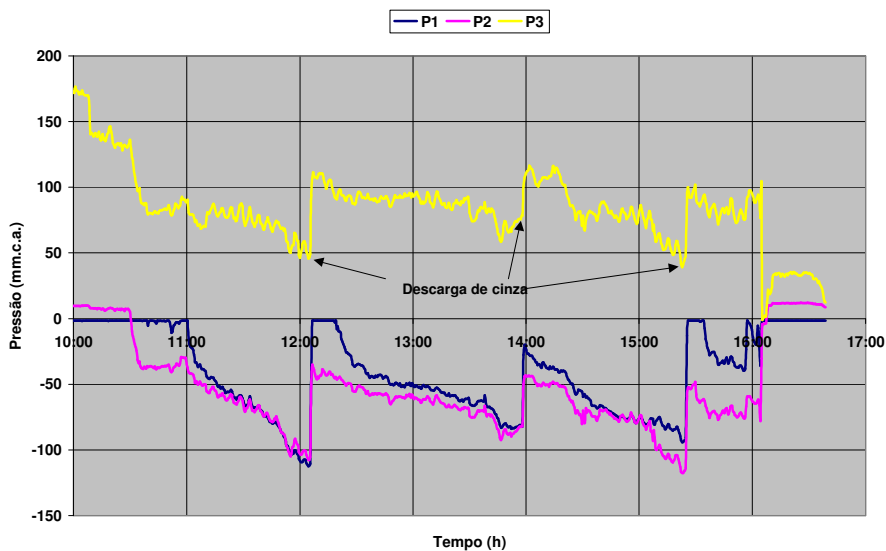


Figura 58 - Pressões registradas ao longo do gaseificador durante ensaio

Fonte: USHIMA, 2003c.

Observe-se o efeito da descarga de cinza na pressão ao longo do circuito de gás. A pressão na saída do gaseificador (P3) sofre uma elevação significativa após esta operação. Como consequência, a vazão de gases também sofre uma elevação, como mostrado na Figura 39.

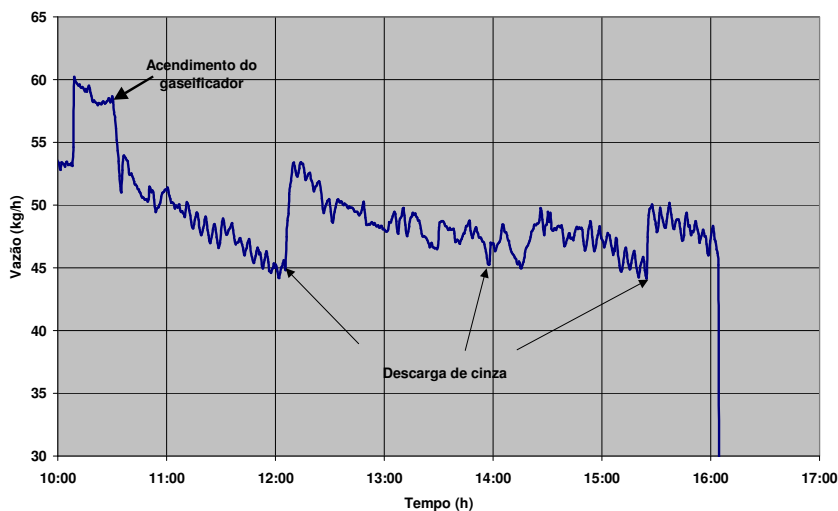


Figura 59 - Vazão de gás gerado durante ensaio

Fonte: USHIMA, 2003c.

O aumento de vazão, no entanto, não é uniforme, sendo que, para algumas descargas, não se observou elevações significativas.

A partir da composição volumétrica do gás, base úmida, da pressão ambiente e do PCS de cada um dos componentes, pode-se calcular o PCS do gás úmido gerado e a potência térmica do gaseificador. Na Figura 60, a variação do PCS b. u. do gás gerado e da potência térmica do gaseificador, ao longo do ensaio, é mostrada.

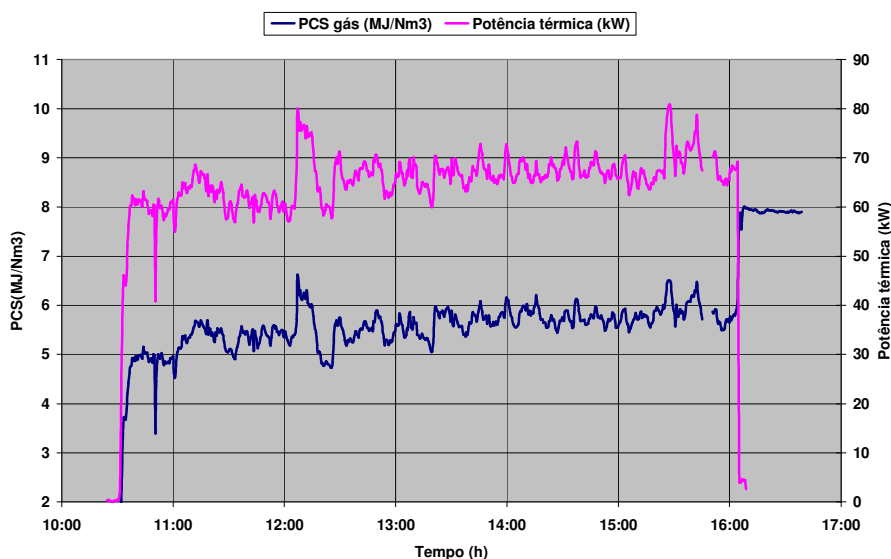


Figura 60 - Variação do PCS do gás gerado e da potência térmica do gaseificador
 Fonte: USHIMA, 2003c.

Observe-se, nesta figura, a flutuação da potência térmica ao longo do ensaio. A partir desta característica, pode-se antever que o consumo de diesel no motor também deverá apresentar flutuações semelhantes, para uma carga constante no gerador.

Neste ensaio, o secador de biomassa, mostrado na Figura 42, também foi testado. Parte do gás de combustão do “flare” foi desviado para o secador, através do ventilador mostrado na mesma figura, e as temperaturas do gás de secagem, na entrada e saída do secador, foram monitoradas continuamente, como apresentadas na Figura 61.

Uma carga de 133,4 kg de cavaco, com umidade aproximada de 24 % b.u. foi colocada no secador. A temperatura do gás de secagem foi controlada manualmente, através da válvula de diluição do gás de secagem procurando-se mantê-la em torno de 100 °C. Após cerca de 3 h de operação do secador, quando a temperatura dos gases na saída do secador ultrapassou 80 °C, o ventilador do secador foi desligado. A carga de cavaco seco foi pesada, registrando uma perda de peso da ordem de 21,7 %. A umidade residual do material seco ficou em torno de 3 %.

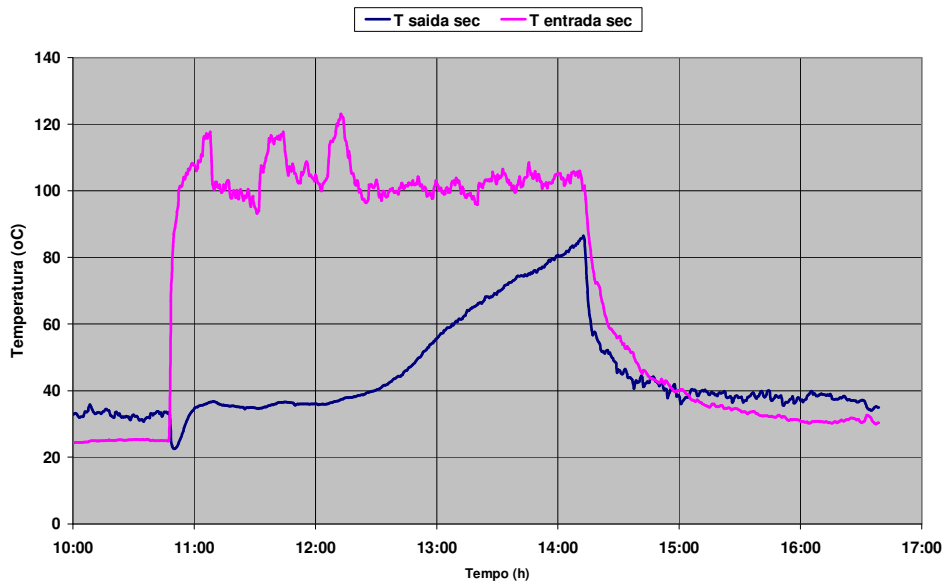


Figura 61 - Temperaturas do gás de secagem na entrada e saída do secador
 Fonte: USHIMA, 2003c.

Durante a operação do secador, registrou-se um aumento de consumo de potência elétrica no conjunto (indicado no painel elétrico), da ordem de 0,82 kW, passando para um patamar de 3,8 kW.

5.3.2 Concepção e montagem de uma unidade primária de tratamento da água de lavagem do gás

Após cerca de 36 horas de operação do gaseificador, a água utilizada no sistema primário de lavagem apresentava propensão à formação intensa de espuma, conforme mostra a Figura 62.



Figura 62 - Formação de espuma no selo d'água do lavador primário

Fonte: USHIMA, 2003c.

Uma amostra desta água foi coletada, filtrada e analisada, tendo-se medido a sua demanda química e biológica de oxigênio (DQO e DBO). Além disso, nesta mesma água, também foram determinados os teores de fenóis e BTXE (benzeno, tolueno e xileno). Os resultados são apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 - Análise da água de lavagem de gases, após 32 horas de operação

Demanda química de oxigênio (mg/L O ₂)	816
Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L O ₂)	275
Fenóis (mg/L)	23
Benzeno (µg/L)	183
Tolueno (µg/L)	50
Etilbenzeno (µg/L)	<5
M,p-Xilenos (µg/L)	<5
O-Xilenos (µg/L)	<5

Fonte: USHIMA, 2003c.

Como se pode observar, pelos resultados apresentados, os teores de componentes aromáticos são muito elevados, impedindo o seu descarte no solo ou em cursos de água. Uma alternativa de tratamento desta água seria absorver os compostos orgânicos em leito de carvão, retirado do gaseificador com as cinzas. Testes de bancada de adição controlada do carvão à água retirada do reservatório apresentaram resultados promissores. Neste teste, uma amostra de 6 litros de água foi filtrada e, ao filtrado, adicionou-se duas quantidades de

carvão retirado do gaseificador. Numa amostra, adicionou-se 5 g/litro e em outra, 10 g/litro. As suspensões resultantes foram agitadas manualmente e filtradas em seguida. Fotos das águas de lavagem resultantes são mostradas na Figura 63.



Figura 63 - Aspecto da água de lavagem antes e após o tratamento com carvão vegetal retirado do gaseificador
Fonte: USHIMA, 2003c.

Na Figura 63, da esquerda para a direita, tem-se amostras de águas retiradas do reservatório sem filtragem, filtrada, e tratadas com 5 e 10 g/litro de carvão. Observe-se a grande quantidade de material particulado em suspensão, no frasco mais à esquerda, e o clareamento que se obtêm com o tratamento da água filtrada com o carvão.

Para se obter dados mais quantitativos, as três amostras de água filtrada foram analisadas quanto ao DQO e DBO, e os resultados são apresentados na Tabela 08.

Tabela 08 - Resultados de DQO e DBO de três amostras de água

Análise	Filtrado sem carvão	Filtrado com 5 g/litro carvão	Filtrado com 10g/litro carvão
DQO (mg O ₂ /litro)	816	385	193
DBO (mg O ₂ /litro)	275	92	105

Fonte: USHIMA, 2003c.

Constata-se uma redução significativa, principalmente da DQO, nas águas tratadas. Esta redução provavelmente se deveu à adsorção dos compostos aromáticos pelo carvão. Para verificar o grau de ativação do carvão empregado no teste, mediu-se a sua área específica, que resultou em $174 \text{ m}^2/\text{g}$ (RE IPT N° 902.503). Trata-se de um carvão semi-ativado uma vez que, para ser considerado ativado, tem de apresentar área específica maior que $800 \text{ m}^2/\text{g}$.

Apesar do carvão retirado do gaseificador não poder ser considerado um carvão ativado, ele mostrou uma grande capacidade de adsorção de aromáticos, o que motivou a construção de um sistema simples de filtragem, composto de areia grossa e carvão retirado do gaseificador.

Seguindo o princípio de se utilizar ao máximo materiais de fácil aquisição em localidades remotas, construiu-se um filtro de areia a partir de uma caixa d'água de seção circular, com capacidade de armazenagem de 1000 litros, mostrada na Figura 64.



Figura 64 - Filtro com a grelha coberta com tela de sustentação de areia e de carvão
Fonte: USHIMA, 2003c.

Na base da caixa d'água, afastada cerca de 10 cm do fundo, foi colocada uma grade metálica. Sobre esta grade, colocou-se um tela de material sintético, normalmente utilizada para evitar a entrada de insetos em janelas, para sustentar uma camada de areia grossa.

Numa primeira tentativa, colocou-se carvão diretamente por sobre a camada de areia, na forma que foi retirada do gaseificador, e encheu-se a caixa d'água. Na base da caixa d'água foi colocada uma tubulação conectando a caixa com a bomba do sistema

primário de lavagem. Água do reservatório foi bombeada para a superfície da caixa (tubulação verde) através de uma terceira bomba. Esta última bomba poderá ser dispensada na instalação do gaseificador em uma comunidade remota, desde que o reservatório d'água de lavagem fique próximo ao gaseificador. Desta forma, a água que sairá do sistema primário de limpeza poderá ser despejada diretamente por sobre o filtro, e a água filtrada, despejada no reservatório por gravidade. A bomba d'água do sistema primário de limpeza, por sua vez, succionará a água diretamente do reservatório e não mais da caixa d'água, dispensando o uso da terceira bomba.

Nesta primeira tentativa, a utilização de carvão tal qual foi retirada do gaseificador, sem nenhum tratamento, resultou no bloqueio do filtro, criando uma depressão muito grande na entrada da bomba e reduzindo a sua vazão. Isto ocorreu devido à fração de finos presentes no carvão. Na segunda tentativa, colocou-se uma segunda tela de material sintético por sobre a areia e sobre ela foi colocado carvão peneirado, sem a fração de finos passante em malha de 2 mm (utilizou-se uma peneira de areia de construção no processo de separação). Para evitar a flutuação do carvão na superfície da caixa d'água, sobre ele foi colocada mais uma camada de tela e sobre ela pesos, para manter esta camada no fundo do filtro. A troca do carvão será feita periodicamente, utilizando-se o carvão produzido em ensaios anteriores. Este arranjo, na segunda tentativa, permitiu a operação do filtro sem a ocorrência de bloqueios.

5.4 Testes nos motores

Os motores envolvidos nos ensaios corresponderam ao Kirloskar modelo 3R1040 de 31,65 kW e ao MWM modelo 229-3 de 33 kW, ambos com cerca de 3 litros de cilindrada total e equipados com reguladores de velocidade para manutenção da condição estacionária de funcionamento em 1800 rpm.

As variáveis monitoradas durante o teste do motor, em tempo real, foram: composição dos gases de exaustão (teores de CO, O₂, CO₂, NO_x, SO_x, hidrocarbonetos não queimados (HC)); torque no eixo do motor; consumo de diesel; temperatura da água de refrigeração, do óleo e dos gases de exaustão do motor. De forma descontínua, foram monitorados os teores de fuligem nos gases de exaustão e a perda de carga no filtro manga de gás.

Utilizando um freio dinamométrico elétrico de corrente de Foucault (fabricante: Hoffman), inicialmente foram levantadas as curvas de desempenho e consumo dos motores operando exclusivamente com óleo diesel e de acordo com as orientações contidas em normas de ensaio relacionadas com a aplicação em questão. Estes ensaios tinham como principal objetivo gerar referências para quantificar a deterioração das condições de funcionamento de cada motor após sua operação por cerca de 100 horas com o uso do gás gerado no gaseificador. No caso particular do motor nacional de marca MWM, foi desenvolvido, antecipadamente, um programa de amaciamento de cerca de 10 horas, em conformidade com a orientação do fabricante.

5.4.1 Motor indiano

Nas primeiras 50 horas de ensaio do motor indiano com o uso do gás pobre, o freio dinamométrico foi utilizado como simulador da carga imposta pelo gerador. Nesta fase, explorou-se o percentual de substituição de óleo diesel e buscou-se determinar o valor máximo desta substituição para evitar a ocorrência de falhas por superaquecimento dos bicos injetores dos motores. Desta forma, a vazão definida como débito de óleo diesel foi 1,2 kg/h para ambos os casos. Este valor correspondia àquele em que os motores mantinham operação regular em todas as condições julgadas como importantes de serem ensaiadas, ou seja, com cargas parciais de 25%, 50% , 75% e 100% de carga (tomando por base a potência de 20 kW efetivos). Foi desenvolvido, então, um ciclo envolvendo as quatro condições de carga, com tempos diferentes para cada condição (1h30 em 100 %, 1h00 hora em 75 %, 0h30 em 50 % e 0h15 em 25 %), com duração total de 3h15, para um ensaio de durabilidade de curta duração (compreendendo as 100 horas restantes de ensaio previstas para cada um dos motores ou 30,8 ciclos).

Antes do início deste ensaio de durabilidade, a carga de óleo lubrificante do motor e o filtro correspondente foram substituídos; uma amostra deste óleo novo foi enviada para análises físico-químicas. A idéia era verificar, ao final desse ensaio, como as propriedades deste óleo iriam se alterar. As escolhidas para serem avaliadas foram: viscosidade cinemática a 40°C, porcentagens de insolúveis em pentano e tolueno e número de basicidade total (TBN).

As justificativas pelas escolhas destas propriedades são:

- a variação da viscosidade é um indicativo do espessamento por oxidação ou da diluição deste óleo pelo combustível líquido;
- a diferença das porcentagens de insolúveis em pentano e tolueno indica o grau de oxidação do lubrificante. Os insolúveis em pentano isoladamente dão uma indicação da contaminação total do óleo (incluindo teores de carvão, contaminações de origens externas ao motor, produtos advindos de desgaste e oxidação do óleo mineral e dos aditivos). Os insolúveis em tolueno indicam o teor de resinas formadas no óleo durante sua utilização no motor;
- o número de basicidade total (TBN) indica a reserva alcalina que o óleo possui.

Deve-se mencionar que estas propriedades são usuais no monitoramento do motor utilizando óleo diesel e não é possível garantir que dêem indicações corretas na operação com combustíveis alternativos. Entretanto, a iniciativa de se fazer estas análises justifica-se pelo fato de ser um dos poucos instrumentos disponíveis para avaliação dos efeitos do combustível utilizado na eventual deterioração sofrida pelo motor durante os ensaios.

Durante o ensaio de durabilidade foram também realizadas avaliações das condições de funcionamento do sistema de injeção através do levantamento periódico das pressões estáticas de abertura e das estanqueidades dos bicos injetores. Nestas oportunidades eram também observadas as quantidades e as formas dos depósitos formados por coqueificação dos combustíveis na região dos orifícios de injeção, avaliando suas possíveis interferências na combustão do óleo diesel e, conseqüentemente, na variação nas eficiências de substituição. As pressões de abertura estática foram anotadas para servirem de base de avaliação.

Ao final do ensaio de durabilidade, os motores ensaiados tiveram seus cabeçotes desmontados dos respectivos blocos com o objetivo de se proceder uma avaliação visual de seus diversos componentes fixos e móveis (válvulas de admissão e escape, guias de válvulas, camisas e cabeças de pistões) afetadas por desgastes excepcionais, ataques químicos e acúmulos de depósitos.

Tabela 09 - Valores médios registrados durante ensaio

Condição	100%D	100%DG1	100%DG2	75%D	75%DG1	75%DG2	50%D	50%DG1	50%DG2	25%D	25%DG1	25%DG2
Consumo diesel (kg/h)	5,2	1,7	1,7	4,1	1,3	1,3	3,2	1,2	1,2	2,3	1,2	1,3
Relação substituição (%)	0,0	67,3	67,3	0,0	68,3	68,3	0,0	62,5	62,5	0,0	47,8	43,5
Consumo gás (kg/h)	0	35	32	0	29	27	0	25	25	0	20	15
PCS gás (MJ/Nm3)	0	5,2	5,4	0	5,3	5,4	0	5,2	5,3	0	5,3	5,2
Potência óleo diesel (kW)	64,8	20,7	21,3	51,5	16,3	16,5	39,9	15	14,3	29,2	14,4	16,2
Potência gás (kW)	0	43,5	41,6	0	36,6	36	0	31,8	31,8	0	23,5	18,7
Potência eixo (kW)	22	22,4	22,3	16,5	16,6	16,7	11	11	11	5,5	5,5	5,6
Rendimento motor (%)	34,0	34,9	35,5	32,0	31,4	31,8	27,6	23,5	23,9	18,8	14,5	16,0
Temperatura saída água (oC)	74,5	75	74,9	74,3	74,7	74,9	74,6	74,3	74,5	73,5	73,9	74,4
Temperatura óleo (oC)	90,3	93	93,1	92	91,7	92,8	91,6	90,3	90	90,9	89,5	88,2
Temperatura gás escape (oC)	387	451	440	314	364	368	252	297	293	197	224	214
Teor O2 (% vol.b.s.)	10,5	6,4	6,8	12,5	9,3	9,2	14,2	11,2	11,3	15,7	13,2	13,5
Teor CO2 (% vol. b.s.)	7,5	13,6	13,1	5,8	10,1	10,1	4,3	7,6	7,6	3	5,4	5,1
Teor CO (ppmv)	197	4811	4853	290	8500	8000	452	16100	16100	635	19500	17100
Teor NOx (ppmv)	685	186	208	498	61	62	322	19	15	181	10	13
Teor HC (ppmv)	21	39	30	20	50	55	23	82	87	26	104	97

D: operação 100 % diesel; DG: operação dual; 1: primeiro ciclo ; 2: segundo ciclo

Fonte: USHIMA, 2003e.

Na Tabela 09 são apresentados os valores médios obtidos de consumo de diesel, potências, rendimentos e composição de gases em cada um dos ciclos apresentados.

Note-se que a relação de substituição de diesel por gás pobre, na condição de carga de 100% e com a válvula de gás totalmente aberta, a relação de substituição de diesel ficou em torno de 67,3%. Este valor ficou abaixo do nominal de 80% devido principalmente à perda de carga no filtro de gás no motor. Houve outros ensaios (filtro recém trocado e limpo) em que o consumo de diesel ficou abaixo de 1,2 kg/h.

Os rendimentos do motor na condição de carga de 100%, calculados a partir da potência medida no eixo, dividida pela potência dos combustíveis, apresentados na Tabela 09, indicam valores maiores para a condição de operação dual do que para operação diesel 100%. Na realidade, estes valores são menores levando-se em consideração que o PCS do gás pobre e a potência a ele associada, foram calculados somente a partir dos teores de CO, H₂ e CH₄. Existem outros componentes combustíveis no gás, em pequenas quantidades, como etileno e benzeno (~0,6 % em volume) e que devem aumentar o PCS e a potência associada ao gás pobre. Desta forma, o rendimento real, ao se levar em conta estes gases residuais, deve cair, ficando ligeiramente abaixo da condição 100% diesel. As temperaturas dos gases de escape, ligeiramente maiores na condição dual, corroboram com estes dados.

Nas outras condições de carga os rendimentos no modo dual são todos menores do que com 100% diesel.

Após a conclusão do teste de 100 horas, o motor foi desmontado para verificação da condição das suas partes internas, mais detalhes poderão ser encontrados no Anexo B.

5.4.2 Motor nacional (MWM)

O motor nacional, de marca MWM, foi submetido à uma bateria de testes similar à que o motor indiano, de marca Kirloskar, foi submetido, com a diferença de que, durante os ensaios de avaliação do motor, a biomassa utilizada no gaseificador variou. Foram utilizados três tipos de biomassa ao longo das 100 horas: cavaco de eucalipto, peletes de resíduos de eucalipto e casca de cupuaçu.

Os dados de desempenho do motor, um operando somente com diesel e dois no modo dual, são apresentados na Tabela 10.

O primeiro, com diesel 100 %, serve para efeito de comparação com os ensaios com utilização de gás e diesel. Os resultados obtidos com o motor MWM foram muito similares aos obtidos com o motor indiano, em todos os aspectos. Os níveis de emissão de poluentes gasosos ficaram no mesmo patamar e os rendimentos e relações de substituição de diesel também.

Cabe explicar o porque dos valores de rendimento do motor operando no modo dual, apresentados na Tabela 09, com carga 100 %, serem maiores que o do motor operando com 100 % diesel. A hipótese mais provável para este aumento está no cálculo do poder calorífico do gás, que deve ser menor do que o real, conforme dito anteriormente. A potência referente à corrente de gás deve ser maior do que a apresentada na Tabela 10, e o rendimento real, menor. Um dado que corrobora esta hipótese é a temperatura do gás de combustão na saída do motor. Ela foi tanto maior quanto maior foi o rendimento do motor, quando seria esperado o oposto.

Uma decorrência interessante desta hipótese é que os teores de gases ou vapores combustíveis, além do H₂, CO e CH₄, nos gases gerados a partir de peletes, devem ter sido maiores que nos gases gerados a partir de cavaco, uma vez que o rendimento foi significativamente maior do que com cavaco (39,4 contra 35,5 %).

Tabela 10 - Dados operacionais e rendimentos do motor de marca MWM, operando com diesel e gás pobre gerado a partir de duas biomassas, para vários níveis de carga

x%: porcentagem de carga nominal do sistema; D: somente diesel; DG: diesel e gás

Ensaio	100% Diesel				17/12/2003 Cavaco				20/01/2004 Pelete			
	100%D	75%D	50%D	25%D	100%DG	75%DG	50%DG	25%DG	100%DG	75%DG	50%DG	
Consumo diesel (kg/h)	5,2	4,1	3,1	2,2	1,4	1,3	1,2	1,1	1,3	1,1	1,2	
Consumo gás (kg/h)	0	0	0	0	39,3	29,6	26,3	19,3	34,3	25,5	18,4	
PCS gás (MJ/Nm ³)	0	0	0	0	4,7	4,8	4,8	5	4,6	4,7	4,9	
Potência óleo diesel (kW)	65,7	51,3	38,8	27,5	17,1	16,7	15,6	14	16,5	13,5	14,9	
Potência gás (kW)	0	0	0	0	45,8	35,4	31,4	23,9	39,9	30,9	23,5	
Potência eixo (kW)	22	16,5	11	5,5	22,3	16,7	11,1	5,5	22,2	16,7	11,1	
Rendimento motor (%)	33,5	32,2	28,4	20,0	35,5	32,1	23,6	14,5	39,4	37,6	28,9	
Temperatura saída água (oC)	98	83	83	82	82	82	82	80	83	82	81	
Temperatura óleo (oC)	90	90	93	94	96	96	95	94	98	95	92	
Temperatura gás escape (oC)	420	340	264	200	470	377	300	161	481	377	300	
Teor O ₂ (% vol.b.s.)	9,5	11,6	13,5	15,3	7,6	10,9	12,9	14,9	5,2	7,9	9,7	
Teor CO ₂ (% vol. b.s.)	7,4	5,6	4,1	2,7	12,2	8,6	6,4	4,3	13,5	9,5	6,6	
Teor CO (ppmv)	246	270	390	540	5049	6680	16170	20020	12600	7700	16000	
Teor NO _x (ppmv)	1360	950	570	280	278	156	88	62	321	148	96	
Relação de substituição (%)	-	-	-	-	73,1	68,3	61,3	50,0	75,0	73,2	61,3	

Fonte: USHIMA, 2004f.

A deposição de alcatrão nas partes internas do motor MWM, após o teste de 100 horas, foram bem menores que no indiano. Cabe destacar que o motor indiano teve um período de operação maior do que 100 horas, uma vez que ele foi operado no laboratório do IIS, para efeito de demonstração, em curso oferecido pelo IISc em outubro de 2002. Além disso, a experiência dos operadores com o gaseificador, por ocasião do teste do motor MWM, também era maior, o que pode ter influenciado os resultados.

Detalhes sobre a condição do motor após os testes poderão ser encontrados no Anexo B.

5.4.2.1 Análise do óleo lubrificante

Antes do início dos ensaios de durabilidade realizados nos motores Kirloskar, modelo 3R1040, de 31,65 kW (importado) e MWM, modelo 229/3, de 33,0 kW (nacional), a carga de óleo lubrificante desses motores foi trocada e os respectivos filtros de óleo foram substituídos. Uma amostra do óleo ainda sem utilização foi enviada para análises físico-químicas para comparação futura com resultados obtidos para o óleo coletado do cárter do motor, ao final desses ensaios.

Como dito anteriormente, as propriedades escolhidas para serem avaliadas foram: viscosidade cinemática a 40°C, porcentagens de insolúveis em pentano e tolueno e número de basicidade total (TBN).

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos óleos lubrificantes estão resumidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados de análises de óleo lubrificante

Ensaio		Motor			
		Kirloskar (início)	Kirloskar (término)	MWM (início)	MWM (término)
Viscosidade cinemática a 40°C (mm ² /s)		124,8± 0,3	103,4± 0,2	106,1±0,04	92,7± 0,04
Insolúveis %	em pentano	<0,01	0,06± 0,02	0,03	0,06
	em tolueno	<0,01	0,01± 0,02	0,03	0,06
Número de acidez total mg KOH/g		1,8± 0,1	2,4± 0,1	2,2± 0,1	2,0± 0,1
Número de basicidade total mg KOH/g		1,79	1,71	8,9	5,1

Fonte: USHIMA, 2004f.

Em ambos os casos, observam-se reduções nas viscosidades cinemáticas, provavelmente devidas à diluição do óleo lubrificante por combustível na fase líquida, proveniente de combustão incompleta do óleo diesel. A menos que tenha ocorrido um espessamento por oxidação do óleo, o que só seria detectado a partir de um número maior de ensaios que demonstrassem uma taxa decrescente de redução da viscosidade, a diluição mencionada acima pode ser considerada dentro de limites normais. A hipótese de espessamento por oxidação é de difícil sustentação, considerando que a diferença entre as porcentagens de insolúveis em pentano e tolueno mantiveram-se dentro de valores satisfatórios em ambos os casos; apesar desta diferença ter sido um pouco maior no ensaio do motor Kirloskar, a porcentagem final dos insolúveis em pentano foi igual para ambos, demonstrando que as contaminações totais foram equivalentes.

Quanto à reserva alcalina do óleo, avaliada pelo número de basicidade total (TBN), observa-se uma redução considerável durante o ensaio com o motor MWM, mas ainda dentro de limites considerados aceitáveis. O comportamento antagônico da evolução da acidez não é incomum e os valores obtidos no final dos ensaios de durabilidade não comprometiam a continuidade do uso do óleo lubrificante.

5.5 Avaliação do sistema de limpeza de gases e de água de lavagem

O sistema de limpeza de gases da unidade de geração de potência desenvolvida pelo IIS é composto por um separador de material particulado à quente, envolvendo um ciclone e um recuperador de calor, um sistema de resfriamento e lavagem via úmida, composto por 3 lavadores, os dois primeiros com água à temperatura ambiente e o último com água gelada, e um filtro do tipo manga, instalado na linha de gás, imediatamente antes do ponto de mistura do gás com o ar de combustão do motor.

A limpeza dos gases é um das questões mais importantes neste tipo de equipamento, não somente quanto à sua eficácia mas também quanto à sua operacionalidade, abordadas a seguir.

5.5.1 Avaliação do ciclone e do recuperador de calor

Ao longo dos ensaios de avaliação do gaseificador, a quantidade de material coletado no ciclone foi muito pequena e, em função disso, não pode ser quantificada. No entanto, observou-se a deposição de um material carbonoso na entrada e na saída do ciclone, ao longo de todo o período de teste do equipamento, de cerca de 400 horas, estrangulando as seções de passagem de gases, como mostrado na Figura 65.



Figura 65 - Fotos da entrada do ciclone após o encerramento dos testes no IPT
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 66 - Fotos da saída de gases do ciclone (à esquerda) e do fundo do ciclone (à direita)

Fonte: USHIMA, 2004f.

Observe-se que, principalmente na entrada do ciclone, houve um acúmulo grande de material particulado, estrangulando a seção de passagem de gases. Esta deposição no ciclone, bem como nos demais componentes da linha de gás, tende a aumentar a perda de carga na linha de gases e reduzir a capacidade de geração de gases ao longo do tempo, reduzindo a relação de substituição de diesel por gás no motor. Uma forma de contornar temporariamente este problema é elevar a vazão de água nos bicos ejetores do sistema de lavagem de gases, elevando a tiragem do sistema e compensando a elevação da perda de carga.

A deposição de material particulado não se restringiu somente ao interior do ciclone, tendo se observado uma grande deposição também no interior do preaquecedor de biomassa e de ar de gaseificação, como mostrado na Figura 67.



Figura 67 -Fotos do material depositado na entrada (à esquerda) e na saída do trocador de calor (à direita)

Fonte: USHIMA, 2004f.

Após o trocador de calor existe um dispositivo de coleta de material particulado, do tipo impactador inercial, antes do sistema de lavagem. No interior deste dispositivo também se observou a formação de depósitos, como mostrado na Figura 68.



Figura 68 - Depósitos formados na entrada e saída do dispositivo de coleta inercial, instalado após o trocador de calor

Fonte: USHIMA, 2004f.

O período de teste do gaseificador, antes desta inspeção, foi de cerca de 300 horas. Devido à severidade de formação de depósitos, mostrados nas figuras anteriores, este período também pode ser considerado como limite para a realização de operações de limpeza do ciclone, trocador de calor e impactador inercial, contrariamente ao período de 1000 horas recomendado no Manual de Operação do gaseificador elaborado pelo IISc.

5.5.2 Avaliação do sistema de lavagem de gases por via úmida

Ao contrário do observado nos componentes de limpeza de gases à quente, descritos no item anterior, nos dispositivos de resfriamento e lavagem a úmido, divididos em sistema primário e secundário de lavagem, apresentados esquematicamente na Figura 69, não se observou deposição significativa de alcatrão e/ou material particulado seu no interior.

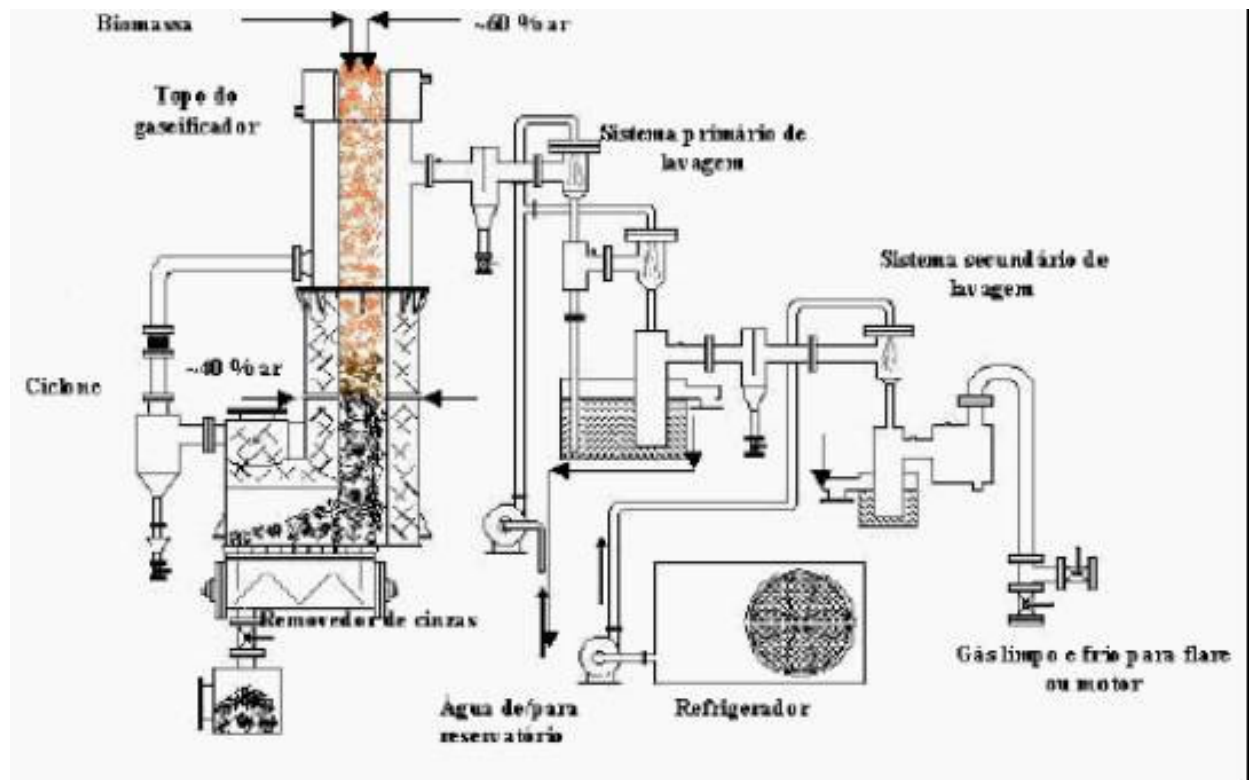


Figura 69 - Esquema do sistema de lavagem a úmido dos gases
 Fonte: USHIMA, 2004f.

Fotos de um dos componentes do sistema de lavagem a úmido e das suas partes internas são apresentadas nas Figuras 70 e 71.

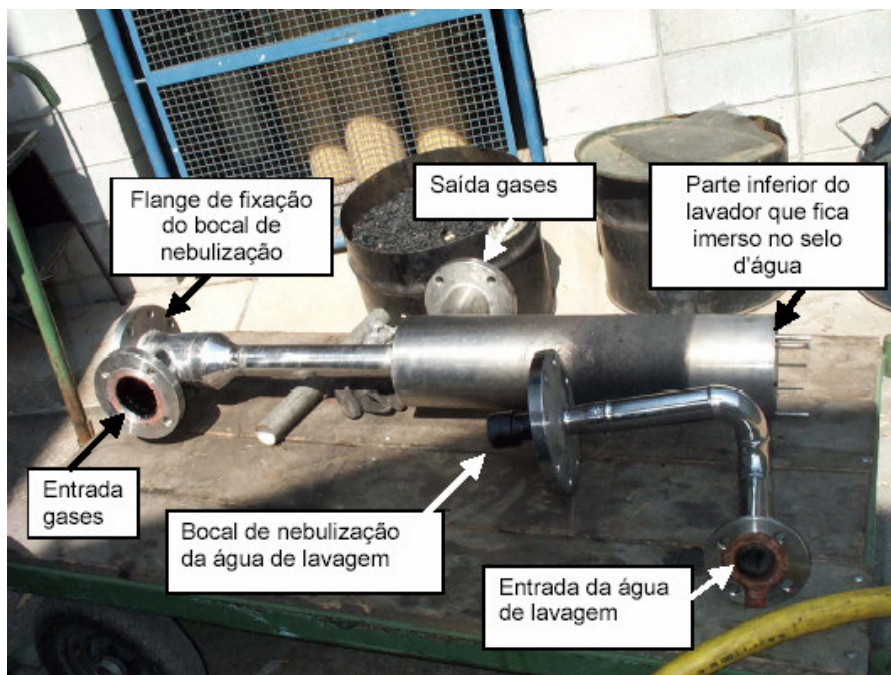


Figura 70 - Fotos de um dos dispositivos de lavagem a úmido dos gases gerados
 Fonte: USHIMA, 2004f.

Como mostrado nas Figuras 70 e 71, o dispositivo de resfriamento e lavagem dos gases é muito simples, consistindo de um bocal de nebulização de 3 furos com jatos convergentes, que tem a função de nebulizar a água de lavagem. O jato de líquido nebulizado se mistura aos gases, transferindo-lhe parte da sua quantidade de movimento e, simultaneamente, promovendo o seu resfriamento e limpeza. A corrente bifásica, resultante da mistura do jato de água com os gases, é arremessada contra um disco metálico, mostrado em detalhe na Figura 71, que promove a separação da corrente líquida da gasosa. A corrente gasosa sai pela parte superior da câmara de separação e a água, pelo selo d'água.



Figura 71 - Fotos da parte interna do dispositivo de lavagem
 Fonte: USHIMA, 2004f.

Como indicado na Figura 69, na saída do sistema primário de lavagem, existe, ainda, um separador de gotas, mostrado na Figura 72, eventualmente arrastadas com os gases dos lavadores. Esse dispositivo é semelhante ao existente na saída do trocador de calor para coleta de material particulado e alcatrão.

O arraste de gotas se torna mais acentuado quanto maior é o nível de contaminação da água de lavagem, devido à formação de espumas no lavador. A remoção da água retida no dispositivo se faz através da abertura da válvula esfera localizada na sua parte inferior, antes do início de operação do gaseificador. Como essa parte do gaseificador fica em depressão, essa operação não pode ser feita com o gaseificador em funcionamento.



Figura 72 - Foto do sistema separador de gotas instalado na saída do sistema primário de lavagem de gases

Fonte: USHIMA, 2004f.

A superfície dos evaporadores de fluido refrigerante do sistema de refrigeração, ou serpentina de refrigeração, ao longo do tempo ficava recoberta por uma camada de alcatrão e finos de carvão, que atuavam como isolante térmico e dificultavam a refrigeração da água de lavagem. Recomenda-se que a cada 100 horas de operação do refrigerador seja feita uma limpeza da superfície da serpentina com uma escova macia (para evitar a perfuração ou desgaste da serpentina de cobre) e um detergente. Com relação à eficácia do sistema de limpeza de gases, o sistema adotado reduziu os teores de alcatrão e material particulado nos

gases entre a saída do gaseificador e a entrada do motor, mas a níveis inferiores aos citados em literatura, principalmente quanto aos alcatrões.

Foram coletadas amostras de gases em dois pontos distintos, um na saída do ciclone, antes do sistema de lavagem, denominado ponto quente (temperaturas da ordem de 400°C) e o outro na saída do sistema secundário de lavagem, denominado ponto frio (temperaturas da ordem de 10°C). Estas amostras tiveram as concentrações de material particulado, água e alcatrões medidas. Esse procedimento foi adotado para avaliar a eficiência do sistema de lavagem na retenção dos contaminantes.

Os alcatrões foram divididos em duas categorias, a primeira denominada BTX, composta por aromáticos leves como o benzeno, tolueno e xileno, e a outra, denominada aromáticos pesados, composta principalmente por estireno, indeno e naftaleno.

Constatou-se que o sistema de lavagem de gases reduz todos os contaminantes, mas não na mesma proporção. O material particulado sofre uma redução da ordem de 10 vezes entre a saída do ciclone e a saída do sistema de lavagem, os aromáticos pesados da ordem de 3 vezes e os aromáticos leves, de 2 vezes. Este último resultado, provavelmente, se deve à elevada pressão de saturação ou de vapor dos aromáticos leves, cujas pressões parciais nos gases gerados ficaram abaixo da pressão de saturação, mesmo às baixas temperaturas na saída do sistema secundário de lavagem, da ordem de 10°C.

Cabe destacar que os teores de alcatrão encontrados nesta avaliação ficaram bem acima dos relatados em literatura (cerca de 10 vezes maior), para este tipo de gaseificador, principalmente quanto aos teores de alcatrões leves. Quanto aos teores de material particulado, os teores encontrados estão da mesma ordem de grandeza dos relatados em literatura.

O teor de umidade dos gases sofre uma queda significativa no sistema de lavagem, caindo cerca de 10 vezes entre a saída do ciclone do gaseificador e a entrada do motor. O teor de umidade medido nos gases, na parte fria, ficou muito próximo da umidade de saturação, na temperatura do gás na saída do sistema secundário de lavagem.

Em dois ensaios com casca de cupuaçu, procurou-se avaliar o efeito do uso da água gelada na lavagem dos gases. No primeiro ensaio, a lavagem foi feita com água gelada e no segundo, sem água gelada, simplesmente desligando-se o refrigerador. Constatou-se que o resfriamento da água de lavagem do sistema secundário praticamente não teve efeito na

remoção de contaminantes, a menos no teor de água nos gases, que foi menor com o resfriamento, haja visto que os gases saem do sistema de lavagem praticamente saturados. No entanto, como o número de amostragem e análises foi muito pequeno, não se pode afirmar com certeza que o sistema de refrigeração não seja necessário ou importante, sendo preciso realizar um maior número de testes para se chegar a uma conclusão mais definitiva.

5.5.3 Avaliação do filtro manga na entrada do motor

Em seqüência ao sistema de lavagem de gases via úmida, existe um filtro de tecido sintético do tipo manga, cuja foto é mostrada na Figura 73. O filtro manga é colocado por fora de um suporte metálico, ao qual é mantido preso através de braçadeiras metálicas. Essas braçadeiras também garantem a estanqueidade do filtro, forçando os gases a atravessarem o tecido do filtro. Na Figura 74 é mostrado uma foto de um filtro preso ao suporte metálico e do suporte em que ele se apóia.



Figura 73 - Foto da parte externa do filtro de manga instalado na entrada do motor
Fonte: USHIMA, 2004f.

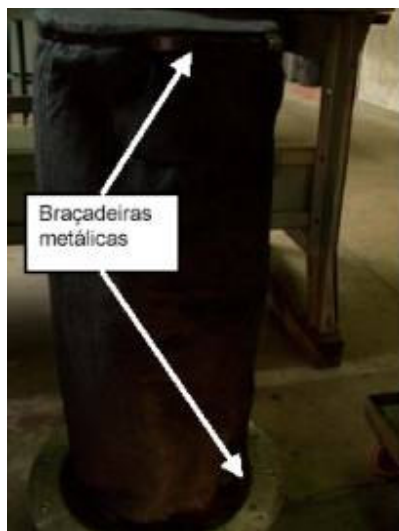


Figura 74 - Fotos das partes internas do filtro manga: filtro preso no suporte metálico (pelo lado externo do suporte) pelas braçadeiras, à esquerda, e o suporte metálico sem o filtro, à direita.

Fonte: USHIMA, 2004f.

O gás entra através da tubulação azul, mostrada na Figura 73, passa pelo filtro manga de fora para dentro e sai pelo topo do suporte do filtro, indo se misturar com o ar de combustão. O suporte do filtro dispõe de um selo de ruptura na sua parte superior que funciona como um dispositivo de segurança em caso de ocorrência de explosão no interior do filtro.

Embora no manual de operações do gaseificador exista a recomendação de troca do filtro a cada 100-200 horas, o período de troca observado nos testes foi bem menor, tendo-se realizado a troca de pelo menos 6 filtros em 200 horas de teste com motor. Observou-se, ainda, que existe uma grande relação entre a frequência de troca do filtro com a umidade da biomassa. Quando ela apresentava baixa umidade, a frequência de troca do filtro e a perda de carga nele eram menores. Isto provavelmente está relacionado com o teor de contaminantes presentes nos gases, que tende a ser maior quanto maior a umidade da biomassa.

Outro parâmetro que aparentemente interferiu na frequência de troca de filtro foi o resfriamento da água de lavagem pelo refrigerador. Em alguns ensaios em que o sistema de refrigeração d'água ficou fora de operação, a temperatura dos gases na saída do sistema de lavagem ficou igual à da água de lavagem (acima de 20°C) e as gotas de água,

eventualmente arrastadas com o gás, foram parar no filtro de manga, bloqueando os poros e elevando rapidamente a perda de carga. Com o sistema de refrigeração em operação, estas gotas evaporam no trajeto entre a saída do sistema de lavagem e o filtro (o gás sofre um ligeiro aquecimento), prolongando o tempo de uso do filtro.

Em função da necessidade de trocas mais freqüentes do filtro, foi necessário adquirir um rolo de tecido sintético no mercado nacional, equivalente ao fornecido com o equipamento, e confeccionar filtros adicionais. A operação para limpeza dos filtros, recomendada no manual de operações original fornecido pelo IISc, que consistia em secar à temperatura ambiente o filtro e soprar com ar comprimido o lado interno do elemento filtrante, não se mostrou viável (o material particulado ficava aderido ao tecido). Para esse fim, desenvolveu-se um método alternativo de lavagem do elemento filtrante com álcool etílico hidratado comercial e secagem ao ar livre. Esse método se mostrou eficaz, permitindo o uso do elemento filtrante por pelo menos mais de uma vez.

5.5.4 Avaliação do sistema de limpeza da água de lavagem

Ao longo de 19 ensaios de gaseificação, com tempo de operação do gaseificador em torno de 115 horas, fez-se o acompanhamento da qualidade da água de lavagem.

Durante este período a água da piscina do reservatório da água de lavagem, com volume aproximado de 7 m³, não foi trocada, havendo somente a troca do carvão utilizado no filtro de água.

O carvão utilizado no sistema de tratamento de água foi o carvão recolhido no sistema de descarga de cinzas do gaseificador em ensaios anteriores, tendo antes passado por processo de peneiramento manual, para eliminação da fração de finos, e lavagem com água corrente, para remoção de parte das cinzas inorgânicas. Neste período o carvão do filtro foi trocado três vezes, resultando numa média de 6 ensaios por troca de carvão. Amostras da água da piscina foram recolhidas ao longo do período de avaliação, filtradas para remoção do material particulado em suspensão e os líquidos resultantes analisados quanto aos índices DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Evolução dos índices DQO e DBO da água de lavagem de gases

Data do ensaio	21/11/2003	05/12/2003	17/12/2003	23/01/2004	27/01/04
N ^o Ensaio após troca água	3	6	9	18	19
DQO (mg/L)	839	922	726	3462	2663
DBO (mg/L)	629	571	570	1904	1704
Observações	O carvão e água foram trocados no ensaio 1		O carvão do filtro foi trocado no ensaio anterior, de n ^o 8.	O carvão do filtro foi trocado no ensaio anterior, de n ^o 17	

Fonte: USHIMA, 2004f.

A partir dos dados apresentados na Tabela 12 pode-se observar que, até o 9^o ensaio, foi possível manter os índices DQO e DBO em patamares estáveis. É possível que o aumento da frequência de troca do carvão utilizado no sistema de filtragem possa manter os índices DQO e DBO em níveis estáveis, sem provocar a formação intensa de espuma no sistema de lavagem de gases e prolongar o período de troca da água de lavagem.

5.6 Avaliação do desempenho do gaseificador com diferentes biomassas

5.6.1 Caracterização da biomassa ensaiada

Cerca de 80 % do cavaco recebido tem dimensões acima de 10 mm e apresenta baixo teor de cinza, conforme Tabela 13. A umidade do primeiro lote foi determinada a partir de secagem de uma amostra representativa do lote, de cerca de 20 kg, até peso constante, em estufa a 104 °C. A umidade, base úmida, ficou em 24,2 % b.u. Como a umidade recomendada no manual é de até 15 % b.u., decidiu-se iniciar os testes com cavacos secos. Eles foram secos em estufa elétrica, de 1,5 m³ de volume, existente no LCG.

A densidade de empilhamento, ou global, do cavaco totalmente seco, ficou em 184,3 kg/m³. Ela foi obtida pesando-se um tambor de 200 litros cheio de cavaco seco. Esta

densidade está abaixo da recomendada no manual de operações, que recomenda densidades acima de 300 kg/m^3 para materiais com umidade de até 15 % b. u. No caso de cavacos com umidade de 15 % b. u., a densidade de empilhamento seria de $216,8 \text{ kg/m}^3$, ainda abaixo do recomendado.

Tabela 13 - Análise imediata e PCS do cavaco

Cinza (% b.s.)	$0,07 \pm 0,01$
Matérias Voláteis (% b.s.)	87 ± 2
Carbono fixo (% b.s.)	$12,93 \pm 2,00$
Enxofre total (% b.s.)	$< 0,1$
PCS (MJ/kg b.s.)	$19,1 \pm 0,4$

Fonte: USHIMA, 2003c.

Foto do cavaco utilizado nos testes iniciais de avaliação do gaseificador é apresentada na Figura 75.



Figura 75 - Fotos de cavaco de eucalipto utilizado nos ensaios de avaliação

Fonte: USHIMA, 2003c.

Durante o período de avaliação do sistema de geração de potência de 20 kWe do IISc no IPT foram empregados quatro tipos diferentes de biomassas: cavaco de eucalipto; peletes de resíduo de eucalipto; casca de cupuaçu; casca de babaçu.

Os cavacos de eucalipto foram fornecidos pela Cia Suzano de Papel e Celulose, correspondendo a cavacos utilizados para a produção de celulose. Os peletes de resíduo de eucalipto foram comprados da empresa Bio Energy Company do Brasil S/A, localizada em São Mateus, Espírito Santo, manufaturados a partir de resíduos de eucalipto plantados para produção de celulose. A casca de cupuaçu veio da comunidade de Aquidabam, Amazonas, e foi coletada na própria comunidade, muito tempo após o fim da safra, apresentando, por essa razão, elevada umidade e contaminações de solo. A casca de babaçu, mais especificamente, endocarpo do coco de babaçu (casca de babaçu sem a camada fibrosa e amido) foi fornecida por um produtor de material cerâmico da região Norte, interessado em utilizar essa biomassa como combustível na sua indústria. Fotos das biomassas empregadas são apresentadas na Figura 76.



Figura 76 – Foto das biomassas ensaiadas
Fonte: USHIMA, 2004f.

Fotos das "cinzas" geradas no gaseificador, ainda com elevado teor de carbono fixo, são apresentadas na Figura 77.



Figura 77 – Foto das cinzas geradas no gaseificador
 Fonte: USHIMA, 2004f.

Pode-se observar que todas as "cinzas" geradas apresentam um elevado teor de carbono, e mantêm o formato das biomassas originais, com encolhimento das partículas e geração de finos.

A análise imediata e o PCS das biomassas apresentadas e das respectivas "cinzas" geradas no gaseificador são apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14– Propriedades das biomassas ensaiadas

Propriedades	Cavaco de eucalipto	Peletes de residuos de eucalipto	Casca de cupuaçu	Endocarpo de babaçu
Umidade total (% b. u.) ⁽¹⁾	6	9,4	11,6	14,2
Carbono fixo (% b. s.)	12,9	15,1	16,2	16,9
Cinza (% b. s.)	0,07	0,9	4,8	1,1
Enxofre total (% b. s.)	< 0,1	0,01	0,09	0,02
Matérias voláteis (% b. s.)	87	84	79	82
PCS (MJ/kg b.s.)	19,1	19,5	19,2	20,3

(1) Umidade representativa da amostra enviada para análise e não do lote utilizado

Fonte: USHIMA, 2004f.

Tabela 15 – Propriedades das “cinzas” retiradas do gaseificador

Propriedades	Carvão de cavaco de eucalipto	Carvão de peletes de resíduos de eucalipto	Carvão de casca de cupuaçu	Carvão de endocarpo de babaçu
Umidade total (% b. u.)	11,2	3,9	3,1	3,2
Carbono fixo (% b. s.)	83,7	85,8	68,7	82,6
Cinza (% b. s.)	6,3	6,5	24,6	12,0
Enxofre total (% b. s.)	< 0,01	0,03	0,13	0,03
Matérias voláteis (% b. s.)	10,0	7,7	6,6	5,4
PCS (MJ/kg b. s.)	28,3	30,1	22,6	27,0

Fonte: USHIMA, 2004f.

Verifica-se que, em termos energéticos, as biomassas testadas são praticamente equivalentes, ressalvando-se que os teores de cinza e de enxofre da casca de cupuaçu ficaram mais elevados que os das demais biomassas. Essas diferenças também se refletiram nas "cinzas" geradas.

A avaliação do desempenho do gaseificador com diversas biomassas ficou prejudicada em função da pequena quantidade disponível das biomassas para testes, com exceção do cavaco de eucalipto. Entretanto, para efeito de análise quantitativa são apresentados valores médios de alguns parâmetros operacionais na Tabela 16.

Tabela 16 - Média de alguns parâmetros operacionais do gaseificador operando com diferentes biomassas

Biomassa ensaiada	Cavaco de eucalipto	Peletos de resíduos de eucalipto	Casca de cupuaçu	Endocarpo de babaçu	
Umidade média da biomassa (% massa b. u.)	16,2	9,4	15,4	14,2	
Composição média dos gases (% vol. b. s.)	CO	17,9	19,4	20,0	17,6
	H ₂	15,0	18,4	14,7	12,6
	CH ₄	1,9	2,5	2,2	2,0
	CO ₂	11,0	13,3	11,6	12,7
	N ₂	54,2	46,5	51,5	55,1
Temperatura gás na saída do gaseificador (°C)	475	480	533	588	
Temperatura gás após sistema de lavagem (°C)	8,2	7,0	31,7 ⁽¹⁾	14,6	
Poder calorífico médio do gás (MJ/kg, b.s.)	4,8	5,3	5,1	4,2	
Poder calorífico médio do gás (MJ/Nm ³ , b.s.)	4,9	5,8	5,3	4,6	
Densidade média do gás gerado (kg/Nm ³ , b.s.)	1,09	1,09	1,03	1,09	
Vazão de gás (kg/h)	39,2	31,6	26,2	27,6	
Potência do gaseificador (kW)	46,1	46,7	37,1	31,5	

(1) Sistema de refrigeração desligado

Fonte: USHIMA, 2004f.

5.7 Influência dos parâmetros operacionais no desempenho do gaseificador

O parâmetro que mais afeta o desempenho do sistema de gaseificação é a umidade da biomassa. Ela afeta a composição e o PCS dos gases gerados, o rendimento energético do gaseificador, o teor de alcatrão nos gases e, conseqüentemente, a frequência de manutenção do filtro manga e do motor diesel.

O teor de monóxido de carbono (CO) nos gases gerados no gaseificador do IISc, empregando biomassas com baixo teor de umidade, tende a ser maior do que com biomassa mais úmida e, o de hidrogênio, menor. Isso, provavelmente, está ligado ao maior teor de

vapor d'água nos gases gerados a partir de biomassa mais úmida, que favorece as seguintes reações:



A primeira reação é uma das reações heterogêneas endotérmica, que provoca o resfriamento dos gases de combustão dos voláteis. A segunda reação é uma reação homogênea, ligeiramente exotérmica, também conhecida como reação de "shift", e que pode ser catalisada pelas cinzas (principalmente compostos de sódio e potássio) das biomassas. A elevação da umidade da biomassa tende a favorecer as duas reações apresentadas, resultando numa elevação do teor de hidrogênio nos gases.

A umidade da biomassa também interfere no rendimento do gaseificador, reduzindo-o quanto maior for a umidade. Ela reduz a temperatura dos gases de combustão dos voláteis, cuja energia sensível é convertida em energia química a partir das reações de gaseificação, resultando num gás com PCS menor e numa geração de cinzas com teor de carbono fixo maior.

Apesar de não se poder inferir a influência da umidade da biomassa no teor de alcatrão nos gases, a partir dos teores de alcatrão medidos nos gases, ela teve um papel importante na frequência de troca do filtro de manga instalado antes do motor. Durante os ensaios, observou-se que quanto maior era a umidade da biomassa, maior era a velocidade de entupimento do filtro de manga, levando ao aumento da frequência de troca do elemento filtrante .

A vazão de gás ou a potência de geração do gaseificador aparentemente não interfere na composição do gás. Observe-se que a composição dos gases não sofre variação significativa com a vazão de gases. O PCS dos gases, conseqüentemente, também não é sensível à vazão de gases.

A partir das curvas de composição de gases e da sensibilidade dos operadores, pode-se ainda afirmar que quanto maior for a uniformidade dimensional da biomassa (partículas com dimensões semelhantes e uniformes), como nos casos dos peletes de resíduo de eucalipto e endocarpo de babaçu, menores serão as flutuações observadas na composição dos gases gerados.

5.8 Conclusões dos testes realizados no sistema de gaseificação de 20 kW

O rendimento energético a frio do gaseificador, nos ensaios em que foi possível fazer o balanço energético, ficou próximo dos valores apresentados na literatura. Os valores obtidos ficaram em torno de 72 % contra 79 % apresentados em literatura (MUKUNDA et al., 1994).

O rendimento somente do motor, operando com gás e diesel, na carga nominal do sistema (~20 kWe) e com relação de substituição ao redor de 75 % de diesel, ficou em torno de 35 %, praticamente equivalente ao rendimento do motor operando somente com óleo diesel. Ao acrescentarmos o rendimento do gaseificador ao conjunto, o seu rendimento cai para valores em torno de 20 %, também na condição nominal. No entanto, ao descontarmos da potência gerada no gerador, a potência consumida internamente nos equipamentos elétricos periféricos do gaseificador, como bombas de água, refrigerador e ventilador do secador, a potência líquida gerada pelo sistema cai de 20 para 14 kWe e o rendimento energético do conjunto, levando em conta o consumo de biomassa e diesel, fica em torno de 14 %, metade do rendimento do sistema operando somente com diesel.

Com relação à qualidade dos gases gerados, o teor de material particulado medido em alguns dos ensaios realizados, ficou na mesma ordem de grandeza que os teores reportados em literatura. Na saída do gaseificador, antes do sistema de limpeza, os teores ficaram em torno de 200 mg/Nm³ e, após os sistemas de limpeza (antes do filtro de manga do motor), os teores variaram entre 10 a 100 mg/Nm³.

Já com relação aos teores de alcatrão nos gases gerados, os valores obtidos nos testes realizados ficaram bem acima dos relatados em literatura. Considerando como alcatrão uma mistura de compostos aromáticos leves, como o benzeno, tolueno e xileno (se encontram na fase vapor, com o gás na temperatura ambiente e nas concentrações medidas) e pesados, como naftaleno, estireno e indeno, os teores de alcatrão nos gases, após o sistema de limpeza a úmido, variaram de 1000 a 2800 mg/Nm³. Antes do sistema de limpeza a úmido, após o ciclone, estes teores variaram de 2000 a 4000 mg/Nm³, cerca de duas vezes maiores que os teores encontrados após o sistema de limpeza.

Considerando agora, como alcatrões, somente os compostos aromáticos pesados (excluindo, portanto, o benzeno, tolueno e xileno - BTX), os teores de alcatrão nos gases

variaram de 500 a 1000 mg/Nm³, antes do sistema de lavagem, e de 200 a 500 mg/Nm³, após o sistema de lavagem de gases. Mesmo estes últimos valores ainda ficaram cerca de 5 vezes maiores do que os relatados em literatura. Cabe destacar que parte desta diferença encontrada pode ser conseqüência da diferença entre as metodologias empregadas na determinação dos teores de alcatrão e/ou da definição do que é considerado como alcatrão.

Com relação à necessidade da presença de um sistema de refrigeração de água de lavagem, empregado no sistema de limpeza de gases do modelo testado, os testes realizados não foram conclusivos. O único teste realizado para verificar a influência da água gelada no sistema de lavagem de gases, com casca de cupuaçu, indicou teores semelhantes de alcatrão e material particulado nos gases, com ou sem emprego de água gelada. Baseado nestes números, o emprego de água gelada aparentemente não melhora o grau de limpeza de gases mas reduz a sua umidade (os gases saem saturados do sistema de lavagem) e aumenta o poder calorífico por unidade de volume (maior densidade). No entanto, como estes dados se basearam somente em duas análises, são muitas as variáveis que podem afetar os teores de alcatrão e particulado é muito elevada, considera-se que mais testes deverão ser realizados para verificar a possibilidade de se eliminar o resfriamento de água do sistema atual de lavagem de gases.

Com relação à questão operacional do gaseificador, ele é relativamente simples de operar, exigindo a presença de, no máximo, dois operadores (um técnico e um operacional, um deles com experiência na operação e manutenção de motor diesel).

Com relação à segurança, o sistema pode ser considerado seguro, principalmente quanto a riscos de explosão, devido a ser de topo aberto à atmosfera trabalhar em pressão menor que a pressão atmosférica, e por contar com selos de água distribuídos ao longo do sistema de lavagem de gases. Qualquer elevação brusca de pressão no interior do gaseificador é prontamente aliviada através do topo do gaseificador e dos selos d'água. Com respeito a riscos de intoxicação por CO, eles estão presentes. Ao longo dos testes realizados no IPT, nos selos d'água de lavagem dos gases, observou-se saídas contínuas de bolhas de gases, provocadas pelo arraste de gases pela água de lavagem. O sistema de separação de gases e líquido, existente nos lavadores (disco de impacto inercial, posicionado em frente ao jato de gás e de líquido proveniente do ejetor) não se mostrou muito eficiente. Ao longo de um certo período de testes, o sistema separador de gases da

corrente líquida do lavador de água gelada caiu e o escape de gases no selo de água correspondente se intensificou. Após a correção do problema, o escape foi reduzido, mas não eliminado. Desta forma, para minimizar os problemas de intoxicação por CO, o gaseificador deve ser operado em ambiente aberto e ventilado.

Os desempenhos dos motores indiano e brasileiro, operando com o gás gerado no gaseificador, foram equivalentes em quase todos os aspectos relevantes, exceto na deposição de alcatrão no interior da linha de admissão de ar e gás no motor, incluindo a válvula de admissão. No teste do motor MWM (de fabricação nacional), a deposição foi menor, como pode ser observado nas fotos do interior do motor. Esta menor deposição, no entanto, pode ser atribuída principalmente à melhora no modo de operação do gaseificador e do sistema de limpeza de gases (incluindo o filtro manga) por parte dos operadores, em função da sua maior familiarização com os componentes do sistema. Além disso, esta menor deposição também pode ser atribuída a outros fatores tais como aumento da frequência de troca do filtro de gás, filtragem da água de lavagem com areia e carvão gerado no gaseificador, troca das bombas de água indianas por bombas nacionais, mais eficientes e compactas, e instalação de filtros de água na entrada das bombas. De qualquer forma, mesmo com a melhora da limpeza dos gases nos testes do motor MWM, ainda observou-se a deposição de alcatrão ao longo do sistema de admissão de ar e gases no motor, o que exigirá uma manutenção periódica mais intensiva do motor do que na operação com 100 % de diesel. Estima-se que os serviços de limpeza dos dutos de admissão de ar e gases, válvulas de admissão e bicos injetores do motor devam ser feitos a intervalos regulares de aproximadamente 500 horas.

Com relação à influência da biomassa utilizada no desempenho do gaseificador, em linhas gerais, pode-se afirmar que maior será a eficiência do sistema e menor a frequência de manutenção do motor e do gaseificador quanto:

1. Menor for a umidade da biomassa alimentada;
2. Maior a sua uniformidade dimensional;
3. Maiores forem os cuidados com a limpeza de gases (vazão adequada de água de lavagem, troca frequente do filtro manga do motor).

6. ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA DE GASEIFICAÇÃO INSTALADO NO ASSENTAMENTO AQUIDABAM

Como dito anteriormente e como esperado, uma vez que se trata de equipamento importado, o valor que os moradores pagam pela energia gerada em motor diesel pela CEAM é bem menor que o custo de operação e manutenção do sistema de gaseificação. Abaixo, seguem os cálculos do custo de geração do sistema de gaseificação e do custo de operação e manutenção (O&M). Apesar de não ser a realidade local, os cálculos abaixo foram realizados considerando 24 horas de operação / dia.

Como dados de entrada para esta análise tem-se:

- Valor do equipamento: R\$ 150.000,00 (incluindo os impostos de importação);
- Custo do combustível: R\$ 2,50/l (valor do diesel na comunidade);
- Consumo específico do motor: 5,4 l/h (diesel);
- Potência líquida gerada: 16 kW (descontando as cargas parasitas);
- Consumo específico do motor operando com gás (70% de substituição de diesel)⁸: 1,62 l/h;
- Fator de capacidade: 0,8;
- Meses de operação/ano: 12;
- Horas de operação 24 h/dia;
- Depreciação do equipamento: 15 anos (considerando 24h de operação/dia);
- Dias: 30 dias/mês;
- Salário mínimo: R\$ 300,00/mês;
- Profissional autônomo (20% de encargos): R\$ 360,00/mês.

A **energia gerada** pelo sistema é composta por:

- Potência líquida * fator de capacidade * meses de operação * dias de operação * horas de operação, resultando em 110.592,00 kWh/ano

O custo de operação é calculado como: custo do combustível + custo do operador.

⁸ A substituição máxima permitida pelo sistema de gaseificação para que não existam problemas no motor é de 80%.

Custo do combustível:

- Diesel: custo do combustível * consumo específico do motor operando com gás =
 $9,45 \text{ R\$/h} = \text{R\$ } 34.992,00/\text{ano} = \underline{\text{R\$ } 0,32 /\text{kWh}}$

Como as casca de cupuaçu não apresentam nenhum custo, o custo do combustível é considerado igual ao custo do diesel.

Custo do operador:

- Número de turnos: 3 (8 horas/turno)
- Número de funcionários/turno: 2

Sendo assim temos: Valor do profissional autônomo * nº turnos * nº funcionários = R\$ 2.160,00/mês = R\$ 25.920,00/ano. Dividido pela energia gerada no ano, teremos: 0,23 R\$/kW

Custo Total de operação: $0,32 + 0,23 = \underline{0,55 \text{ R\$/kWh}}$

Considerando o **custo de manutenção** cerca de 5% do valor do equipamento, temos: R\$ 7.500,00/ano. Dividido pela energia gerada no ano, teremos: R\$ 0,068 R\$/kWh

Depreciação do equipamento: valor do equipamento / nº anos de operação = R\$ 10.000,00/ano. Dividido pela energia gerada no ano, teremos: R\$ 0,09 R\$/kWh

Custo de Geração = custo de operação + custo de manutenção + custo do equipamento = R\$ 0,708/kWh = R\$ 708 / MWh

Custo de O&M: custo de operação + custo de manutenção = R\$ 0,596/kWh = R\$ 596,00/MWh

Como pode-se observar, o custo de operação e manutenção da geração de eletricidade a partir do sistema de gaseificação é bem maior que o valor pago pelos moradores à CEAM. Percebe-se que para viabilizar o uso do sistema de gaseificação no assentamento Aquidabam será necessário atrelar a geração de energia elétrica à atividade

produtiva, pois assim os moradores poderiam arcar com os custos de O&M do sistema e haveria um aumento na renda *per capita* da comunidade, conforme será demonstrado no item a seguir. Além disto, a Conta de Consumo de Combustível (CCC) poderia colaborar na viabilidade econômica do sistema, uma vez que cobriria parte dos custos com diesel.

6.1 Perspectivas de Uso da Conta de Consumo de Combustível (CCC)

A Lei nº 5.899, de 5 de julho de 1973, cujo objetivo era dispor sobre a aquisição dos serviços de eletricidade da Usina Hidroelétrica (UHE) de Itaipu, estabeleceu a base para a criação da CCC ao determinar em seu Art. 13, item III, “que os ônus e vantagens decorrentes do consumo dos combustíveis fósseis, para atender às necessidades dos sistemas interligados ou por imposição de interesse nacional, sejam rateados entre todas as empresas concessionárias daqueles sistemas, de acordo com critérios que serão estabelecidos pelo Poder Executivo”.

O Decreto nº 73.102, de 7 de novembro de 1973, que regulamentou os artigos 12 e 13 da Lei nº 5.899, estabeleceu em seu Art. 29 que “a CCC constituir-se-á em uma reserva financeira para cobertura do custo dos combustíveis fósseis, funcionando como conta de compensação, através da qual, obedecidos os critérios estabelecidos neste Decreto, se realizará o rateio dos ônus e vantagens do consumo daqueles combustíveis nas centrais geradoras termelétricas pertencentes às empresas concessionárias cujos sistemas elétricos estejam, no todo ou em parte, conectados ao sistema interligado Sul/Sudeste”.

A Portaria MMW nº 360, de 17 de março de 1977, através do seu Art. 4º, determinou que as empresas constituintes do sistema eletro-energético da Região Nordeste, enumeradas nesta Portaria, “concorrerão com cotas destinadas à composição de reserva financeira, denominada Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), para cobertura do custo dos combustíveis fósseis e atender ao rateio dos ônus e vantagens do consumo dos mesmos, interligando-se às reservas instituídas pelos artigos 28 e 29 do Decreto nº 73.102, de 7 de novembro de 1973”, estendendo desta forma a CCC também ao sistema interligado do Nordeste.

O decreto nº 774, de 18 de março de 1993, determinou em seu Art. 22, que “o rateio do custo de consumo de combustível abrangerá a totalidade dos concessionários distribuidores e será feito através da Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, a qual

será desdobrada em três subcontas distintas que se constituirão em reservas financeiras para cobertura do custo daqueles combustíveis”, sendo estas subcontas nominadas como CCC Sul/Sudeste/Centro-Oeste, CCC Norte/Nordeste, CCC dos Sistemas Isolados, cuja caracterização foi posteriormente atualizada pela Resolução ANEEL nº 350 de 22 de dezembro de 1999:

I – CCC do Sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste (CCC-S/SE/CO): destinada a cobrir o custo de combustíveis fósseis da geração térmica, indicado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – NOS, e terá como contribuintes todas as concessionárias que atendam a consumidores finais e cujos sistemas elétricos estejam, no todo ou em parte, conectados a este Sistema Interligado;

II – CCC do Sistema Interligado Norte/Nordeste (CCC-N/NE): destinada a cobrir o custo de combustíveis fósseis da geração térmica, indicado pelo NOS e terá como contribuinte todas as concessionárias que atendam a consumidores finais e cujos sistemas elétricos estejam, no todo ou em parte, conectados a este Sistema Interligado;

III – CCC dos Sistemas Isolados (CCC-ISOL): destinada a cobrir o custo de combustíveis da geração térmica, indicado pelo Grupo Técnico Operacional da Região Norte n- GTON, e terá como contribuintes todas as concessionárias do País que atendam a consumidores finais.

Desta forma a CCC foi estendida a todo o território nacional, abrangendo os três sistemas elétricos brasileiros.

Entretanto, com a quebra da igualdade tarifária e a tomada de decisão sobre a privatização do setor elétrico, tornou-se imprescindível a extensão da CCC, sua regulamentação rigorosa e o estabelecimento de seu cronograma de extinção (SILVA et al., 2001).

Ainda na Resolução 350 foi determinado o custo de geração térmica nos Sistemas Isolados, estabelecendo que a “CCC-ISOL só reembolsará os dispêndios com combustíveis que excederem os montantes correspondentes ao respectivo custo de energia hidráulica equivalente, entendida esta como o montante de geração hidráulica que poderia substituir a totalidade da geração térmica caso os sistemas estivessem completamente interligados” (art. 20), excetuando os casos de substituição de geração térmica ao amparo da Resolução nº

245, de 11 de agosto de 1999, cujos empreendimentos devem ser considerados quando do cálculo das quotas de rateio da CCC-ISOL.

No Art. 21 são definidos os critérios para o cálculo das quotas de rateio:

I – o Grupo Técnico Operacional da Região Norte (GTON) deverá realizar um balanço energético entre os requisitos de geração e as disponibilidades de recursos hídricos e térmicos, para cada sistema isolado pertencente às concessionárias das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, utilizando, para tanto, os resultados das simulações provenientes do Planejamento da operação Energética de Médio Prazo;

II – a ANEEL definirá, até 15 (quinze) do mês subsequente ao de referência, mediante resolução, a tarifa de energia que deverá valorizar a energia hidráulica equivalente para cada concessionária dos sistemas isolados;

III – a diferença entre o custo de geração térmica e o custo da energia hidráulica equivalente será rateada entre todas as concessionárias que atendam a consumidores finais, com base na proporção da energia vendida aos respectivos consumidores no ano anterior ao da elaboração do Planejamento da Operação Energética de Médio Prazo.

A ELETROBRÁS é responsável pela elaboração do Plano Anual de Combustíveis do Sistema Interligado e dos Sistemas Isolados, que estabelece as quantidades de combustíveis necessárias ao atendimento da geração termelétrica prevista e, com base em uma série de critérios, determina o aporte financeiro necessário à cobertura das despesas em cada uma das subcontas.

Para o caso dos Sistemas Isolados, a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, estabeleceu um prazo de 15 anos para o sistema de rateio da CCC-ISOL, sendo assim a data prevista de extinção é no ano de 2013.

A Resolução ANEEL nº 245, de 11 de agosto de 1999, definiu as conduções e os prazos para a sub-rogação dos benefícios do rateio da CCC aos projetos a serem estabelecidos em sistemas elétricos isolados em substituição à geração termelétrica que utilize derivados de petróleo.

As justificativas de tal medida foram no sentido de “estabelecimento de medidas efetivas que assegurem a oferta de energia elétrica a áreas de renda e densidade de carga baixas, urbanas e rurais, de forma a promover o desenvolvimento econômico e social e a redução das desigualdades regionais”, levando em conta que “a implantação de Pequenas

Centrais Hidroelétricas e outras fontes de energia renovável, nos sistemas elétricos isolados, tem compatibilidade com as características socioeconômicas dos mercados a serem atendidos, induzindo formas de geração de energia elétrica que proporcionem a redução de problemas ambientais e de custos”, e ainda que “a implantação de projetos que proporcionem a redução dos dispêndios da CCC contribui para a modicidade das tarifas aos consumidores finais, tanto dos sistemas isolados pela implantação de projetos eficientes, quanto dos consumidores do restante do país pela redução da CCC”.

Assim sendo, em seu Art. 2º esta resolução estabelece quais os empreendimentos que poderão se beneficiar deste incentivo:

I – aproveitamento hidrelétrico de potência superior a 1.0000 kW e igual ou inferior a 30.000 KW, mantidas as características de pequena central hidrelétrica, de conformidade com o estabelecido na Resolução nº 394, de 4 de dezembro de 1998;

II – outros empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas que façam uso dos recursos naturais renováveis.

O Art. 8º determina o valor mensal dos recursos da CCC a ser destinado aos benefícios de acordo com a seguinte fórmula:

$$V_i = E_{ci} * K * (1000 * \rho * PC_i - TEH)$$

Onde:

V_i = Valor do benefício a ser pago no mês i , expresso em R\$;

Energia medida = energia medida no ponto de entrega ou o valor máximo mensal, expressa em MWh;

K = fator aplicado de acordo com a data de início de operação comercial do respectivo projeto, sendo igual a nove décimos para entrada em operação até o final do ano de 2007 e a sete décimos para entrada em operação após essa data;

ρ = consumo específico da geração termelétrica substituída, sendo limitado a 0,30 l/kWh para centrais térmicas que utilizam óleo diesel e 0,38 kg/kWh para centrais térmicas que utilizam óleo combustível. Para projetos que visem o atendimento a novos mercados o valor será de 0,34 l/kWh;

PC_i = preço CIF do combustível substituído, no mês i , expresso em R\$/l ou R\$/kg;

TEH = Tarifa de Equivalente Hidráulico, publicada pela ANEEL, expressa em R\$/MWh.

Quanto ao prazo de pagamento deste benefício, o Art. 9º estabelece que eles serão pagos durante 72 meses consecutivos para o aproveitamento hidroelétrico definidos no inciso I do Art. 2º e 96 meses para empreendimentos definidos no inciso II do mesmo artigo, sendo que o primeiro pagamento, em ambos os casos, ocorrerá no mês subsequente à entrada em operação comercial do empreendimento e os demais até o dia 20 do mês subsequente ao da operação, sendo que o número de parcelas a serem pagas com recursos da CCC poderá ser inferior ao estipulado quando (I) findar o prazo de vigência da sistemática de rateio da CCC, em maio de 2013, ou (II) o valor dos pagamentos previstos com recursos da CCC, na data de abertura do processo, atingir o percentual de 75% do custo de implantação definido no projeto aprovado.

Com base na regulamentação da CCC, descrita acima e pelo fato de grupo gerador utilizar óleo diesel para operar em conjunto com o sistema de gaseificação, percebe-se que a comunidade tem o direito a requerer a CCC, referente ao consumo de diesel no motor (cerca de 30% do consumo específico do motor, que é de 5,4 l/h).

Conforme descrito no item 6, o valor gasto que seria gasto com combustível é de R\$ 320/MWh, considerando 24 horas por dia de operação.

O cálculo do rateio da CCC é feito da seguinte maneira: tem-se como base o equivalente hidráulico de R\$ 42,19/MWh. A partir deste valor é subtraído o valor gasto pelo empreendedor/gestor com combustível. O valor resultante é subsidiado, ou seja, R\$ 277,81/MWh.

Com base nos cálculos do item anterior, o custo de geração diminuiria para R\$ 378,19/MWh e o custo de O&M ficaria em R\$ 318,19/MWh.

Com relação à Resolução ANEEL nº 245, que regulamenta a sub-rogação de 75% do valor do investimento, como o projeto GASEIFAMAZ foi financiado pelo governo, não será discutida a lei em questão, pois não será subsidiado com próprio recurso do governo.

7. CONCLUSÕES E PROPOSTA DE POLÍTICAS

A tecnologia de gaseificação de biomassa surge como uma alternativa para a geração de energia elétrica em comunidades isoladas da região amazônica, tendo em vista que as tecnologias comerciais, de fabricação nacional, como o ciclo a vapor, não estão disponíveis para potências menores que 200 kW. Daí a importância no desenvolvimento dos sistemas de gaseificação, que estão disponíveis a partir de pequenas potências, como 1 kW.

Após a realização dos testes no sistema de gaseificação de 20 kW, importado do Indian Institute of Science, percebeu-se que, apesar da operação do gaseificador ser relativamente simples, ela apresentou problemas operacionais, que dificultam sua instalação e operação em localidades isoladas, mas que poderão ser solucionados ao longo do tempo.

Entre os problemas encontrados, pode-se destacar o sistema de descarga de cinzas. No projeto atual o tambor de coleta de cinzas é preso ao corpo do gaseificador através de uma flange com parafusos. Como o tambor tem de ser esvaziado diariamente, essa operação se torna muito trabalhosa e pode exigir a troca freqüente dos parafusos de fixação, que não são projetados para este tipo de operação. A introdução de duas válvulas de tipo face, com elementos de vedação, no lugar da válvula esfera, pode facilmente agilizar a operação de descarga de cinzas, sem prejudicar o desempenho do gaseificador (USHIMA, 2004f).

O trocador de calor existente no topo do gaseificador, ainda que recupere parte do calor sensível do gás, aumentando o seu rendimento energético, trás uma dificuldade operacional adicional que muito provavelmente não justifica o ganho energético. No interior do trocador se formam depósitos de alcatrão e de material particulado que, ao longo do tempo, vão aumentando a perda de carga no sistema, reduzindo a capacidade de geração de gás. Por ser um trocador do tipo casco/tubo, sem flanges de acesso ao seu interior, apresenta regiões de difícil acesso e manutenção. A simples passagem direta do gás da saída do ciclone para o sistema de lavagem de gás eliminaria o problema de perda de carga no trocador, simplificando a operação de manutenção do gaseificador (USHIMA, 2004f).

O sistema de limpeza de gases por via úmida, adotado no sistema projetado pelo IISc, é de difícil operação, envolvendo um sistema de refrigeração com consumo elevado de potência, e gera efluentes líquidos contaminados com compostos aromáticos, mesmo com a adoção do sistema de tratamento de águas desenvolvido no IPT, que minimiza a necessidade de troca de água de lavagem, mas não a elimina totalmente. O ideal é desenvolver sistemas de limpeza de gases a seco, que gerem somente resíduos sólidos, de mais fácil disposição que resíduos líquidos, e que utilizem materiais disponíveis na região, como fibras vegetais, no lugar de fibras sintéticas. Em passado recente, diversos sistemas a seco de limpeza de gás foram desenvolvidos e podem ser adaptados para o gaseificador do IISc (RIBEIRO, 2005; MAGRINE, et al. 2001; LARSON, et al., 2000) .

Finalmente, a operação de alimentação de biomassa ao gaseificador também pode ser simplificada, mediante a construção de um silo com capacidade para um dia de operação e que consiga alimentar, continuamente, a biomassa ao gaseificador, sem depender da atuação do operador. A operação atual, manual, exige a atuação do operador pelo menos uma vez a cada hora. A operação contínua, no entanto, não é simples, uma vez que o topo do gaseificador é aberto, e o silo e o sistema de descarga do silo a serem projetados devem servir para diversos tipos de biomassa e, se possível, sem necessidade de acionamentos mecânicos. As propriedades de escoamento das correntes sólidas variam muito em função do formato das partículas, da sua granulometria, densidade etc. e, em função disso, o sistema a ser desenvolvido muito provavelmente servirá somente para uma família de biomassa, com uma tolerância relativamente estreita quanto ao formato e tamanho de partículas.

O desenvolvimento de um novo sistema de gaseificação (de 20 kW), com as alterações citadas acima, entre outras, é alvo de novo projeto “Nacionalização da Tecnologia de Gaseificação de Biomassa *in natura* e Formação de Recursos Humanos na Região Norte – GASEIBRAS”⁹.

⁹ Este projeto é financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) / Ministério de Minas e Energia (MME), coordenado pelo Prof. Dr. José Goldemberg. Os objetivos deste projeto são: desenvolver um sistema de gaseificação, de fácil operação e manutenção, adaptado à realidade das comunidades isoladas brasileiras, com tecnologia totalmente nacional e instalar em uma comunidade isolada, bem como definir o modelo de gestão que mais se adapte a realidade da comunidade (início em 2005).

O novo sistema de gaseificação que está sendo desenvolvido será instalado na comunidade Timbó, localizada também no município de Manacapuru, estado do Amazonas. Esta comunidade fica a apenas 7 km de distância do assentamento Aquidabam. Pretende-se assim, continuar o acompanhamento do projeto GASEIFAMAZ, tendo em vista a pequena distância entre as duas comunidades.

Além disso, caso seja viabilizado o financiamento e a instalação da agroindústria em Aquidabam, as duas comunidades poderão se favorecer do beneficiamento do cupuaçu.

Atualmente, a equipe técnica do CENBIO busca, insistentemente, recursos para financiar a agroindústria, apesar de não ser o objetivo do projeto, pois se sabe a importância que ela terá para a continuação do projeto GASEIFAMAZ e principalmente para os moradores de Aquidabam, que poderão ter melhores condições de vida.

O uso do sistema de gaseificação biomassa na geração de energia elétrica no Assentamento Aquidabam pode representar uma redução no consumo de combustíveis fósseis de até 80%, principais responsáveis pela emissão dos gases de efeito estufa. Além disso, proporciona a produção de energia renovável e limpa, que utiliza a biomassa disponível nas comunidades isoladas para geração de energia elétrica.

O aproveitamento de biomassa como fonte energética primária para geração de eletricidade é uma alternativa completamente condizente com a realidade de hoje, principalmente quando se trata de comunidades isoladas. Ela apresenta balanço global de gás carbônico (CO₂) nulo, geração de apenas 1% de cinzas que podem ser aproveitadas ou recicladas, emissão de dióxido de enxofre quase nula, assim como de outros óxidos provenientes da combustão (COLHO, 1999).

Com o aproveitamento dos resíduos de biomassa, regionalmente disponíveis, é possível atender a todos os pressupostos que, direta ou indiretamente, conduzem a um modelo de sociedade onde o crescimento e o desenvolvimento, com base nos recursos naturais e seu gerenciamento ambiental racional, respeitem limites técnicos, econômicos e legais. Tudo isso sem penalizar fatias sociais de menor poder de pressão ou politicamente desagregados, até porque a divulgação e implantação das melhorias materiais, que acompanham tal geração, terão igualmente um papel educativo que não deverá ficar restrito à comunidade em que o sistema for instalado.

Com relação aos ganhos sociais do projeto, tem-se que considerar a redução dos gastos com diesel para geração de energia elétrica, o desenvolvimento sustentável da comunidade, já que a geração de eletricidade é baseada em um recurso disponível localmente, resultado de uma atividade produtiva, o surgimento de novas atividades produtivas, como a venda das sementes do cupuaçu, o aumento do valor agregado do cupuaçu, já que ele poderá ser congelado e vendido na entressafra, bem como qualificação técnica dos moradores da comunidade na operação e manutenção do sistema de gaseificação, que se tornam capazes de operá-lo sem ajuda dos técnicos do projeto, dando maior autonomia de trabalho.

Entretanto, para que as concessionárias se interessem em replicar o projeto são necessárias modificações na legislação e regulação.

- Regulação: o órgão regulador, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), deve flexibilizar exigências para o sistema isolado, que possui características diferentes do sistema interligado. Não há necessidade de o número diário de horas de operação do sistema ser 24, bastando cerca de 6 à 8 horas por dia, uma vez que os moradores da comunidade passam grande parte do dia na roça. Os índices de interrupção (DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora e FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) devem ser flexibilizados para as energias renováveis e para o sistema isolado;
- Legislação: alteração para que a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) para cobrir os custos de geração com energias renováveis, em particular os empreendimentos de baixa potência, que são característicos das comunidades isoladas.

Considerando o Programa Luz para Todos do Governo Federal, que prevê o atendimento do sistema isolado até 2008, tais alterações são indispensáveis.

8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em 14 de Janeiro 2004.

ANGULO, M. B. B; SANCHES, C. G; FERNANDES, M. C. **Searching parameters to improve efficiency on fluidized bed gasification of rice-husk**. In: Seventh International Conference on Energy for a Clean Environment. Lisboa, Portugal, Julho de 2003.

BANCO DE DADOS DA AMAZONIA – BADAM. Disponível em: <http://badam.ada.gov.br/index.csp>. Acesso em 07/12/2005.

BEN – BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2003.

CENBIO - CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA. (2001a). **Proposta Projeto GASEIFAMAZ** (FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos). São Paulo. Dezembro de 2001.

____ 2002b. **Estado da Arte da Gaseificação**, São Paulo, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Setembro de 2002.

____ 2002c. **Relatório Técnico Viagem à Índia**. São Paulo, Dezembro de 2002.

____ 2003d. **Relatório Técnico – Viagem às Comunidades Seis de Janeiro e Boa Esperança**. São Paulo, Junho de 2003.

____ 2003e. **Relatório Técnico – Viagem ao Assentamento Aquidabam**. São Paulo, 2003.

_____2003f. **Proposta Projeto GASEIBRAS** (CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). São Paulo, Dezembro de 2003.

_____2004g. **Relatório técnico – Instalação do sistema de gaseificação no Assentamento Aquidabam**. São Paulo, Junho de 2004.

_____2004h. **Relatório técnico – Inauguração do sistema de gaseificação de 20 kW, importado do IISc, no Assentamento Aquidabam, no município de Manacapuru, no estado do Amazonas**. São Paulo, Novembro de 2004.

COELHO, S. T. **Avaliação da cogeração de eletricidade a partir de bagaço de cana em sistemas de gaseificador/turbina a gás**. São Paulo, 1992. Tese (Mestrado) - Programa Interunidades de pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo (mimiografada).

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o estado de São Paulo**. São Paulo, 1999. Tese (Doutorado) - Programa Interunidades de pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M.; FREITAS, M. A. V. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Trabalho em colaboração: ANEEL, CENBIO, BUN, MCT e PNUD. Brasília, 2000.

COELHO, S. T.; VARKULYA JUNIOR, A.; PALETA, C. E. M.; SILVA, O. C. **A importância e o potencial da cogeração de energia a partir da biomassa**. In: SEMINÁRIO COGERAÇÃO DE ENERGIA, 2001, São Paulo. São Paulo, Gazeta Mercantil, 2001. p. painel /1-4.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. Disponível em: http://www.cemig.com.br/institucional/alternativas_energeticas.asp. Acesso em 03.01.2006.

CORTEZ, L.A .B., LORA, E.S. (coord.). **Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa**. Série Sistemas Energéticos, volume.II, EDUA/EFEI, Manaus, 1997.

FEDRIZZI, M. C. **Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão**. São Paulo, 2003. 174p. Tese (Doutorado em Energia) – Programa Interuniidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo.

FERNANDES, M. C; SANCHES, C. G; FIGUEIREDO, F. A. B. **Results on rice-husk gasification in a 400 mm diameter fluidised bed gasifier in Brazil**. In: 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy. Roma, Itália, Maio de 2004.

FROTA, W. M.; BAJAY, S. V. **Especificidades dos Sistemas Elétricos Isolados da Amazônia**. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2004. Proceedings. Volume II. p.1115.

GOLDEMBERG, J. **O Passado e o Futuro da Biomassa**. Revista Brasileira de Bioenergia, nº 1. São Paulo, 2002.

GOLDEMBERG, J., COELHO, S.T.C. **Renewable Energy – Traditional Biomass vs. Modern Biomass**. Energy Policy; p. 711-714; 2003.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; LUCON, O. **How Adequate Policies can Push Renewables**. Energy Policy; p. 1.141-1.146; 2003.

GOLDEMBERG, J.; LA ROVERE, E. L.; COELHO, S. T.; PEREIRA, O. S.; MUYLAERT, M. S.; SIMÕES, A.; ZILLES, R.; GUARDABASSI, P. M.; PALETTA, C. E. M. **Expanding the Access to Electricity**. In: Brazil report prepared to GNESD - Energy Access I Working Group, 2003.

GÓMEZ, E. O.; CORTEZ, L. A. B.; PÉREZ, J. M. M. *et al.* **Projeto de pirólise rápida contínua de biomassa com ar em reator de leito fluidizado atmosférico**. In *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*, 2000, Campinas (SP, Brazil). Disponível: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200020&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 26/01/2006.

HASSUANI, S.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. **Biomass Power Generation – Sugar Cane Bagasse and Trash**. Série Caminhos para a Sustentabilidade 01. 2005.

HOFFMANN, R. **Método Avaliativo da Geração Regionalizada de Energia, em Potências Inferiores a 1 MWe, a partir da Gestão dos Resíduos de Biomassa - O Caso da Casca de Arroz**. Rio Grande do Sul, 1999, Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HORTA, L.N. **Uso da biomassa florestal para geração elétrica em grande escala: O projeto “WBP-SIGAME” brasileiro**. Disponível em: Acesso em 03/01/2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/popul/default.asp?z=t&o=4>. 20 de Setembro 2004.

ITURRA, A. R. **Oportunidades Oferecidas pela Conta de Consumo de Combustíveis ao Desenvolvimento de Energia Renováveis**. Brasília, 2004, Artigo destinado a subsidiar o Grupo Interministerial do Biodiesel.

KAREKESI, S.; LATA, K.; COELHO, S. T. **Traditional Biomass Energy: Improving its Use and Moving to Modern Energy Use.** Thematic Background Paper. International Conference for Renewable Energy. Bonn, 2004.

KESS, W. K.; KNOEF, H. **Status of Gasification in countries participating in the IEA and GasNet activity.** September, 2002.

KINTO, O. S.; GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M. **Energia da gaseificação de biomassa um recurso não convencional para o desenvolvimento limpo.** Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE. São Pedro, 2003. Disponível: polimillennium.poli.usp.br/Organizacao/Departamentos/shownamedoc.asp?codpes=30689. Acesso em 20/01/06.

LARSON, E.D., MACDONALD, G.W., YANG, W., FREDERICK, W.M.J., IISA, K., KREUTZ, T.G., MALCOLM, E.W., BROWN, C.A. **A Cost-Benefit Assessment of BLGCC Thecnology.** TAPPY JOURNAL. v. 83, N^o 6, p. 1-16. 2000.

LORA, E. E. S; NASCIMENTO, M. A. R. (coord.). **Geração Termelétrica Planejamento, Projeto e Operação.** Rio de Janeiro, 2004.

MAGRINE, A.; ROSA, L. P.; XAVIER, E. E.; SANTOS, M. A. **Monitoração de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Usinas Termoelétricas no Brasil – Fase de Diagnóstico.** Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia – COPPE/UFRJ. Dezembro de 2001. Acesso: <http://www.mct.gov.br/clima/brasil/pdf/coppe.pdf>. Acesso em: 01/02/2006.

MANIATIS, K. **Progress in biomass gasification: an overview.** Progress in Thermochemical Biomass Conversion; Volume 1; IEA Bioenergy; 2001, edited by ^a V. Bridgwater.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA. **Situação Atual e Perspectivas.** Disponível em: http://ftp.mct.gov.br/clima/comunic_old/sigame02.htm. Acesso em

02/01/2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Disponível em:
<http://www.mme.gov.br/LuzParaTodos/programa.shtml>. Acesso em 30/08/2004.

MUKUNDA, H.S.; DASAPPA, S.; PAUL, P. J.; RAJAN, N. K. S.; SHRINIVASA; U.; **Gasifiers and Combustors for Biomass – Technology and Field Studies**. Energy for Sustainable Development; Volume 1; No 3; September, 1994.

NIESSEN, W. R; MARKS, C. H.; SOMMERLAND, R. E. **Evaluation of Gasification and Novel Thermal Process for the Treatment of Municipal Solid Waste**. National Renewable Energy Laboratory. August 1996.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2003. 2ª Edição. Editora Interciência.

ONS – OPERADO NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Disponível:
<http://www.ons.org.br/ons/sin/>. 12/05/05.

PRETZ, Ricardo, 1996. **Papel da biomassa energética no desenvolvimento de comunidades**. II Fórum de Energia e Meio Ambiente, Santa Maria, anais pp. 175-182.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Atlas do desenvolvimento humano no mundo**. 2002. Disponível em www.pnud.org.br/atlas. Acesso em 07/01/2006.

RIBEIRO, A. P. R. A. **Estudo da Eficiência de Coleta em um Lavador Venturi com injeção de Líquido por Multi-Orifícios**. São Carlos – São Paulo, 2005. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

REED, T. B.; DAS, A. **Handbook of Biomass Gasifier Engine Systems**. The Biomass

Energy Foundation Press.

REED, T. B.; GAUR, S. **A survey of biomass gasification 2000 – Gasifier Projects and Manufacturers Around the World**. The National Renewable Energy Laboratory and The Biomass Energy Foundation, Inc, Setembro 1999.

REED, T. B.; GRABOSKI, M. S.; LEVIE, B. **Fundamentals, development & scale up of the air-oxygen stratified downdraft gasifier**. The biomass Energy Foundation Press; 1994.

SILVA, E. P.; CAVALIERO, C. K. N.; WALTER, A. C. S.; CANAVARROS, O. B.; MORET, A. S.; KUWAHARA, N. **Regulação Energética e Meio Ambiente: Propostas para a Região Amazônica Isolada**. Campinas: NIPE / UNICAMP, 2001.

SOUSA, M. C. S. **Diagnóstico e cenarização macro-social da Amazônia Legal: Condições sócio econômicas dos municípios da Amazônia Legal**. Projeto BRA/96/025 – Acordo SUDAM/PNUD. Ministério da Integração Nacional. Disponível em: www.badam.ada.gov.br/index.csp. Belém 2000.

TOLMASQUIM, M. T. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil** (2004a). Rio de Janeiro, 2004 p. 267-268.

_____. (2004b) **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro, 2004 p. 68.

USHIMA, A.H. **Modelagem e simulação de pirólise e secagem de biomassa em um gaseificador de leito movente contracorrente** (1996a). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Tese de Mestrado, 1996, 2 vol., pp. 158.

_____.(2002b) **Aspectos Tecnológicos de Gaseificadores e Sistema de Limpeza de**

Gases. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Abril 2002.

_____.(2003c) **Testes de sistema de geração termelétrica para comunidades remotas baseado na gaseificação de biomassa.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Setembro de 2003.

_____.(2003d) **Geração de Energia Elétrica Distribuída a partir de Gaseificação de Biomassa.** VDI Associação Técnica Brasil-Alemanha. 3º Simpósio Internacional sobre Energia. Novembro, 2003.

_____.(2003e) **Testes de sistema de geração termelétrica para comunidades remotas baseado na gaseificação de biomassa.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Dezembro de 2003.

_____. (2004f) **Testes de sistema de geração termelétrica para comunidades remotas baseado na gaseificação de biomassa.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Outubro de 2004.

_____.(2004g) **Serviço de apoio técnico na montagem, treinamento de operadores e posta em marcha de gaseificador de biomassa de pequeno porte no amazonas.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Dezembro de 2004.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass Power Generation – Sugar cane bagasse and trash.** Piracicaba: PNUD-CTC, 2005. (Série Caminhos para Sustentabilidade)

VERGOLINO, J. R; NETO, A. M; BARROS, M. A. **Cenários Sociais para a Amazônia Legal.** Projeto BRA/96/025 – Acordo SUDAM/PNUD. Ministério da Integração Nacional. Disponível em: www.badam.ada.gov.br/index.csp. Belém 2001.

VELÁZQUEZ, S. M. S. G. A Cogeração de Energia no Segmento de Papel e Celulose: Contribuição à Matriz Energética do Brasil. São Paulo, 2002, Tese (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA), Universidade de São Paulo.

WALDHEIM, L. Overview of Gasification of Biomass 2005. In: Alternativas Energéticas a partir de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/php/pagina.php?doc=eventos-gef>. São Paulo, setembro de 2005.

WALTER, A. C. S. Viabilidade e Perspectivas da Co-geração e Geração Termelétrica no Setor Sucroalcooleiro. (Tese de Doutorado). UNICAMP, Campinas, 1994.

ANEXO A
RELATÓRIO TÉCNICO VIAGEM À ÍNDIA

Relatório Técnico da Viagem à Índia

De 21 de Outubro a 03 de Novembro de 2002

M. Sc. Osvaldo Stella Martins – CENBIO

Eng. Sandra Maria Apolinario dos Santos – CENBIO

1. Introdução

O Programa de Treinamento Internacional “Modern Biomass Utilisation Technologies” ministrado pelo Indian Institute of Science – IISc, realizou-se entre os dias 21 e 31 de Outubro em Bangalore, Índia nas dependências do CGPL – Combustion, Gasification & Propulsion Laboratory e contou com a participação de 20 pessoas dos seguintes países: Áustria, Brasil, Camboja, Cuba, Nepal, Sudão e Tailândia.

O programa de treinamento foi composto basicamente por aulas teóricas, aulas práticas dadas nos laboratórios do CGPL, além de visitas a campo. Todas as atividades foram supervisionadas pelos técnicos do CGPL.

A equipe do Projeto *“Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte do País”* era composta por: M.Sc. Osvaldo Stella Martins - Centro Nacional de Referência em Biomassa - CENBIO, Eng^a. Sandra M. Apolinario dos Santos – CENBIO, M. Sc. Ademar Ushima – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Para um melhor aproveitamento, esse relatório de viagem será dividido em duas partes, uma feita pelos membros do CENBIO e a outra pelo M. Sc. Ademar Ushima do IPT, voltada especificamente às questões técnicas dos sistemas analisados.

2. Objetivo:

Os principais objetivos dessa missão à Índia foram participar do Programa de Treinamento Internacional “Modern Biomass Utilisation Technologies” e realizar os testes no gaseificador de 20kW que está sendo comprado pelo BUN – Biomass Users Network do Brasil como parte integrante do projeto “*Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte*”, convênio Finep / Cetenerg 23.01.0695.00.

3. Principais Atividades

As principais atividades realizadas durante a missão a Índia foram participar das aulas do Programa de Treinamento Internacional e testar o gaseificador de 20kW. Dentro do programa de treinamento estavam incluídas as visitas à comunidade isolada Hosahalli, usina Arasi Hi Tech Bio Power Ltd e a fundição Tahafet.

4. Contatos

Indian Institute of Science, Departamento de Engenharia Aeroespacial

Prof. H. S. Mukunda – Chefe do Programa Executivo, ABETS – Laboratório de Combustão, Gaseificação e Propulsão (CGPL) – Bangalore.

E-mail: mukunda@aero.iisc.ernet.in

<http://cgpl.iisc.ernet.in>

Dr. S. Dasappa – Laboratório de Combustão, Gaseificação e Propulsão (CGPL) – Bangalore

E-mail: dasappa@cgpl.iisc.ernet.in

L. Chowthrikuppusamy – Laboratório de Combustão, Gaseificação e Propulsão (CGPL) – Bangalore

E-mail: chowthri@cgpl.iisc.ernet.in

5. Programa Geral de Atividades

Dia / Mês	Atividades Desenvolvidas
21 a 23 de Outubro	Curso no CGPL
24 de Outubro	Visita a comunidade isolada Hosahalli
25 de Outubro	Curso no CGPL
26 e 27 de Outubro	Visita a Arasi Hi Tech Bio Power Ltda
28 de Outubro	Curso no CGPL
29 de Outubro	Curso no CGPL e visita a Tahafet
30 de Outubro a 01 de Novembro	Curso no CGPL

5.1 Descrição das Atividades

5.1.1 Aulas no CGPL – Laboratório de Combustão, Gaseificação e Propulsão

A parte teórica do Internacional Training Program on Modern Biomass Technologies foi ministrada nas instalações do CGPL (Combustion, Gasification & Propulsion Laboratory) do IISc (Indian Institute of Science). Esta parte do curso foi constituída de 32 aulas teóricas, 4 aulas de laboratório e uma apresentação de um estudo de caso feita por cada uma das equipes que participaram do curso.

Dia 21 de Outubro

Manhã – Durante o período da manhã foi feita uma apresentação de como o curso seria conduzido e das equipes que participariam do mesmo.

Tarde – As duas primeiras aulas teóricas do programa foram ministradas pelo Prof. Mukunda e trataram de apresentar uma visão geral das energias renováveis e das tecnologias para a conversão de biomassa em energia térmica e eletricidade. Durante estas apresentações foram destacadas as diversas formas

em que a biomassa se apresenta como energético (combustíveis líquidos como óleos vegetais e álcool, sólidos como resíduos agrícolas e madeira e os derivados como o gás de gaseificação). No bloco seguinte foi dada ênfase às tecnologias de conversão de biomassa em energia térmica (combustão direta na maioria das vezes) e energia elétrica (motores, turbinas e turbo geradores).

Dia 22 de Outubro

Manhã – Durante o período da manhã foram ministradas duas palestras pelo Prof. P. J. Paul que trataram dos fundamentos dos processos de combustão enfatizando o conceito de estequiometria, fundamental para a compreensão do processo de gaseificação. O tema das duas aulas seguintes estava relacionado com os fundamentos do processo de gaseificação e a mesma foi ministrada pelo Prof. Dasappa. Durante estas palestras além da descrição do processo de gaseificação em si foram introduzidos conceitos relacionados ao sistema de gaseificação desenvolvido pelo IISc.

Tarde – Dando continuidade ao programa foi ministrada uma aula, pelo Prof. Sridhar, sobre os motores de combustão interna distinguindo os fundamentos entre os motores de ignição por centelha e por compressão, assim como as características de funcionamento de cada um deles e como cada um se adapta a utilização do gás de gaseificação. Ainda durante o período da tarde foi feita uma visita aos laboratórios do CGPL. Durante esta visita tivemos o primeiro contato com o gaseificador de 20 kW que seria enviado para o IPT e estava sendo montado para a realização dos testes. Ainda durante esta visita foi possível observar outros equipamentos semelhantes com capacidades que variavam de 1kW a 100kW. Vimos também uma densificadora de biomassa, o processo é semelhante a uma extrusora, o resíduo passa por uma rosca resfriada a água e o calor do atrito promove a aglutinação da biomassa que em geral é palha, farelo, casca de arroz.

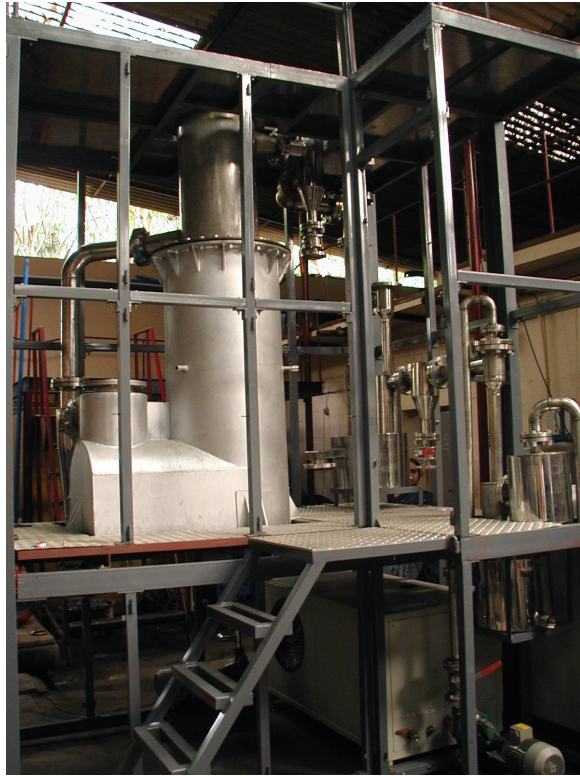


Figura 1. Gaseificador de 20 kW



Figura 2. Densificador de Biomassa



Figura 3. Gaseificador de 1 kW



Figura 4. Gaseificador de 80 kW

Dia 23 de Outubro

Manhã – As duas primeiras aulas do período foram ministradas pelo Prof. Dasappa e trataram da tecnologia de gaseificação dando ênfase ao sistema desenvolvido pelo IISc. Em seguida o Prof. Sridhar deu continuidade às considerações sobre os motores de combustão interna e as considerações sobre a utilização deste tipo de tecnologia para a conversão do gás de gaseificação em energia elétrica. Ainda durante o período da manhã foi feita uma palestra sobre a experiência do grupo em eletrificação rural. Esta palestra foi proferida pelo Prof. Ravindranath e focalizou a comunidade Hosahalli que durante o programa do curso seria visitada.

Tarde – Os trabalhos do período da tarde foram iniciados com a apresentação do Prof. Sridhar sobre a operação do sistema de gaseificação no regime dual mode. Operar em dual mode significa a utilização conjunta de gás de gaseificação e diesel em um motor de ignição por compressão. Ainda no período da tarde foram

desenvolvidas atividades práticas no laboratório, operando um gaseificador de pequeno porte (1kW).

Dia 24 de Outubro – Visita à comunidade de Hosahalli (no item 5.1.2 mais detalhes da visita).

Dia 25 de Outubro

Manhã - Durante o início do período da manhã foram discutidas questões referentes ao projeto Hosahalli, que havia sido visitado no dia anterior. Em seguida uma palestra sobre métodos de preparação de biomassa para gaseificação foi ministrada pelo Prof. Sridhar. Um ponto importante destacado nesta palestra é a grande influência das propriedades da biomassa no processo de gaseificação. Alguns sistemas tiveram sérios problemas porque a biomassa estava contaminada por terra e outros resíduos agregados no processo de alimentação do sistema.

Tarde – O período da tarde foi dedicado à apresentação de alguns experimentos relacionados à combustão e ao processo de gaseificação.



Figura 5. Aparelho para medir a velocidade de chama

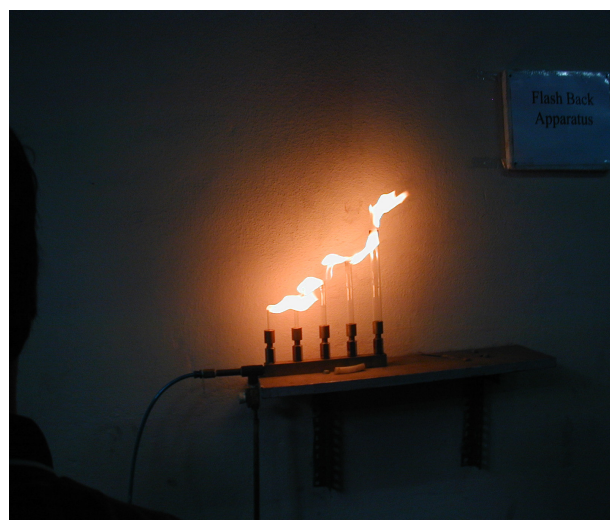


Figura 6. Equipamento Flash Back (engolidor de chama)

Dia 26 e 27 de Outubro – Visita à Arasi Hi Tech Bio Power (no item 5.1.3 mais detalhes da visita)

Dia 28 de Outubro

Manhã – A equipe do Prof. Rajan apresentou todo processo de elaboração do “Electronic Biomass Resource Atlas“. Trata-se de um levantamento georreferenciado da produção de biomassa em todo território indiano. Além de dados específicos sobre cada tipo de biomassa o sistema ainda agrega informações meteorológicas, demográficas, de infra-estrutura entre outras. Esta apresentação merece destaque tanto pela dimensão quanto da qualidade do projeto desenvolvido. Ainda durante o período da manhã foi apresentada uma palestra pelo Prof. Mukunda sobre os estudos do grupo referentes a fornos domésticos. A aula foi acompanhada de demonstrações no laboratório.



Figura 7. Gaseificador - fogão



Figura 8. Casca de arroz densificada para alimentar o gaseificador - fogão



Figura 9. Gaseificador - fogão em funcionamento



Figura 10. Cinzas do gaseificador - fogão

Tarde – a primeira palestra do período da tarde foi apresentada pelo Prof. Mukunda. Durante a palestra foram apresentadas novas tecnologias de gaseificação com ênfase nos gaseificadores pressurizados para alimentar turbinas. Em seguida foram conduzidos testes de operação nos gaseificadores instalados no laboratório.

Dia 29/10/02

Manhã – O período da manhã foi reservado para discussão e preparação dos estudos de caso que seriam apresentados por cada grupo. Ainda durante o período da manhã foram discutidas questões referentes à valoração comercial de subprodutos do sistema de gaseificação. O principal produto em questão é o carvão ativado residual extraído na forma de cinza no gaseificador (aproximadamente 500m²/g). Esta etapa foi coordenada pelo Prof. Paul. Ainda durante o período da manhã foram analisados de maneira comparativa os padrões de emissão de alguns combustíveis fósseis comparadas com as emissões da combustão da biomassa.

Tarde – Visita a Tahafet (no item 5.1.4 mais detalhes sobre a visita).

Dia 30/10/02

Manhã – Foi feita uma apresentação sobre um sistema de tratamento de gás de digestão pelo Prof. Ravindranath. A peculiaridade a respeito deste sistema é que ele permite a obtenção de enxofre em pó, que pode ser comercializado. Dando seqüência às atividades foi apresentada uma palestra sobre a produção de energia elétrica utilizando biogás. Finalizando o programa foi apresentada a experiência do Prof. Chanakya com o aproveitamento do biogás proveniente do tratamento de água residual do processo de beneficiamento de café.

Tarde – Foram conduzidos testes finais no equipamento que seria embarcado para o Brasil.

Dia 31/10/02

O dia foi reservado para a conclusão e apresentação dos estudos de caso. Durante a tarde foi feita a entrega dos certificados de conclusão do curso.

Durante o período de desenvolvimento do curso ainda tivemos a apresentação de um técnico da Agro Bio-Chem Pvt. Ltd, empresa indiana que adquiriu dois gaseificadores, um de 250kW e outro de 500kW, usados para fins térmicos. Contamos também com a participação do Ph. D. Pradeep Monga (p.monga@unido.org), conselheiro técnico sênior da United Nations Industrial Development Organization - UNIDO que fez uma apresentação sobre os projetos atualmente em desenvolvimento na UNIDO e os seus principais objetivos.

Professores do CGPL	Email
H. S. Mukunda	mukunda@cgpl.iisc.ernet.in
P. J. Paul	paul@cgpl.iisc.ernet.in
S. Dasappa	dasappa@cgpl.iisc.ernet.in
G. Shidhar	gsridhar@cgpl.iisc.ernet.in
H. V. Sridhar	hvsridhar@cgpl.iisc.ernet.in
N. K. S. Rajan	nksr@cgpl.iisc.ernet.in
Homepage	http://aero.iisc.ernet.in

5.1.2 Visita a Vila Hosahalli

Dados da Vila Hosahalli

A vila Hosahalli fica a aproximadamente 110 km de Bangalore, nela residem 218 habitantes em 35 casas. O índice pluviométrico da região é de aproximadamente 700mm/ano o que caracteriza uma região semi-árida. A floresta de eucaliptos de 4 hectares foi plantada especialmente para o projeto e a produtividade da região é de aproximadamente 10 ton/ha/ano segundo informações dos pesquisadores do IISc. Na comunidade, atualmente, existem 35 casas, um moinho de farinha e sistema de irrigação que atende 8 hectares.



Figura 11. Vila Hosahalli



Figura 12. Floresta de Eucalipto

O gaseificador de 20kW foi instalado na vila em 1990, segundo informações dos técnicos do IISc no início do projeto era dada assistência aos moradores da comunidade diariamente, hoje em dia essa assistência é dada semanalmente.



Figura 13. Foto do gaseificador de 20 kW instalado na vila Hosahalli

No ano de 1991, o sistema operou por 1800 horas (sendo 1000 horas luz, 600 horas água e 200 horas farinha), consumindo 800 litros de diesel e 6000 kg de madeira. A retifica do motor foi feita com 3500 horas.

Input	Atividades		
	Iluminação	Água	Farinha
Diesel (ml)	450	600	880
Madeira (kg)	4,2	4,5	5,0
Substituição (%)	62,5	60	56
Nº de horas / dia	3,5	2,0	2,0
Potência Instalada (kW)	3,5	4,0	5,6

Pelos dados da tabela acima é possível observar que para cargas maiores a substituição de diesel é menor o que indica baixa performance do sistema. Isso está ligado ao fato do motor perder potência em regimes de funcionamento onde a substituição do diesel seja alta.



Figura 14. Moinho de Farinha



Figura 15. Sistema de irrigação

A baixo segue alguns dados referentes a estudos conduzidos pelo grupo do professor N. H. Ravindranath ao longo dos últimos dez anos na comunidade. Mais detalhes sobre esse estudo podem ser encontrados (S.N. Srinivas, N.H. Ravindranath, S. Dasappa, U Shrinivasa, and H.S. Mukunda Wood gasifier rural power generation system: a case-study. ASTRA, Indian Institute of Science, Bangalore – 560 012. 1992. Pacific and Asian Journal of Energy 2 (new series): 81-91.

Figura 16. Número de dias do sistema gaseificador biomassa operando nas modalidades diesel e duplo-combustível durante os anos de 1998 e 1999.

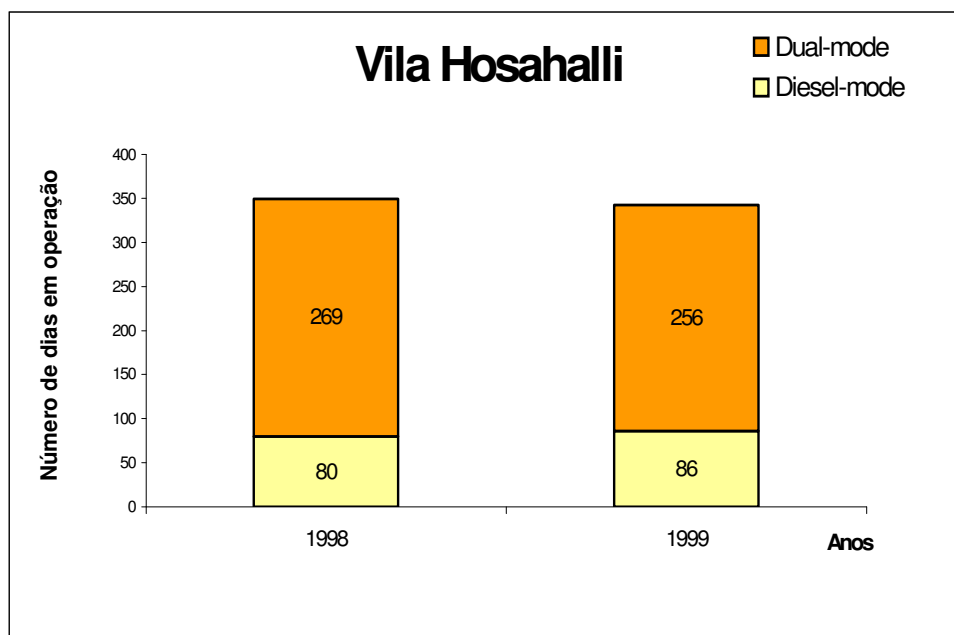


Figura 17. Número de dias que foram supridas as necessidades com iluminação, o bombeamento de água para servir as casas e o moinho de farinha.

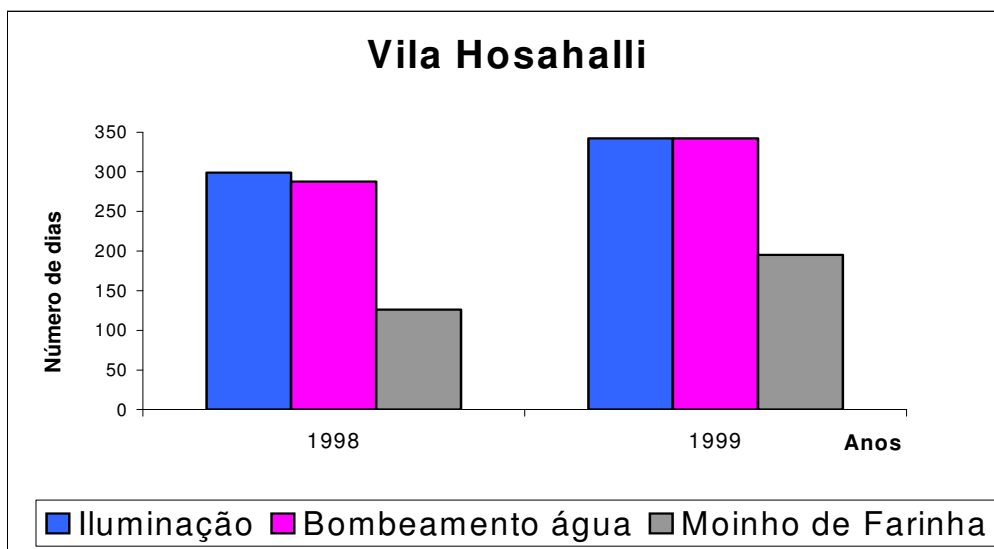


Figura 18. Substituição do diesel (%) entre os anos de 1998 e 1999

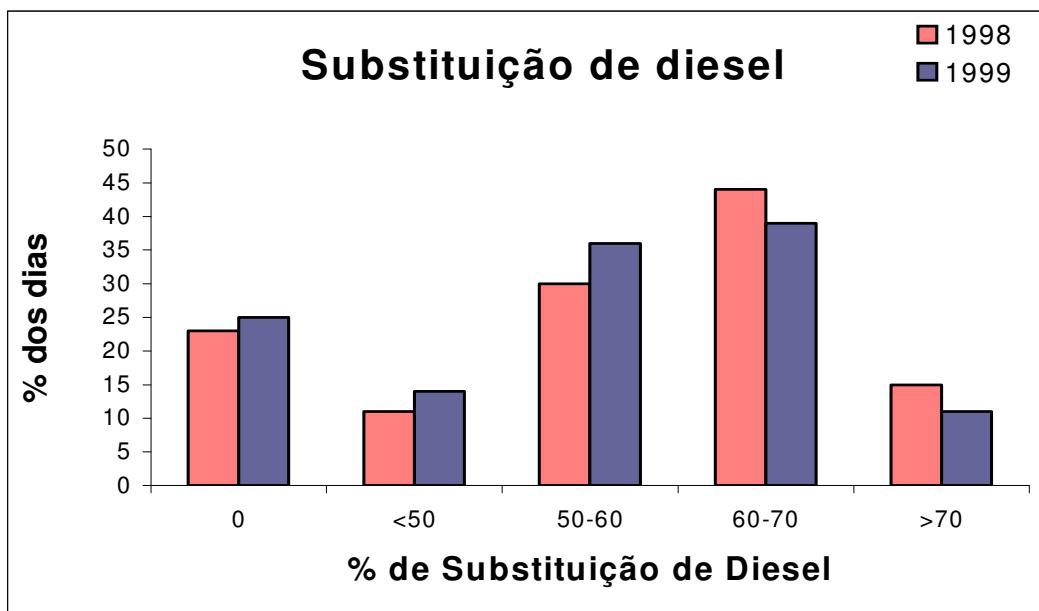
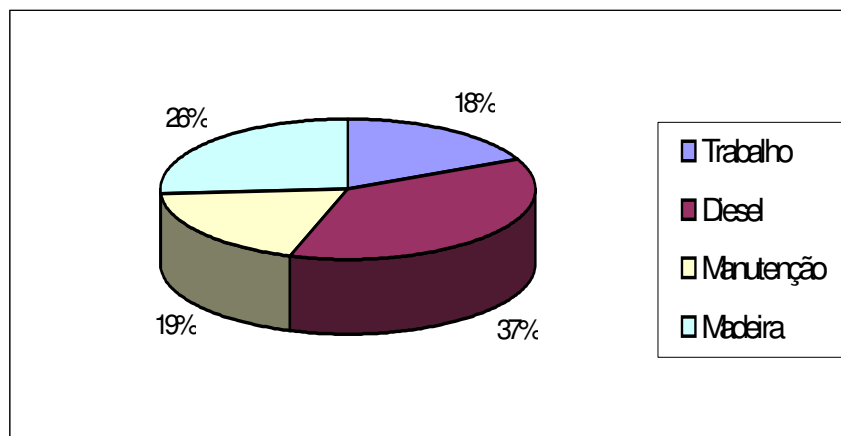


Figura 19. Custos de Operação e Manutenção na Vila Hosahalli em porcentagem (%)



Conclusões

A visita à comunidade foi bastante ilustrativa. A comunidade em questão fica 110 km do IISc, aproximadamente 2 horas de carro. Este fator é determinante para o sucesso do projeto, à medida que as operações de manutenção, freqüentes, podem ser realizadas com facilidade. É visível a melhoria da qualidade de vida da população da vila já que, entre outros fatores, não precisam caminhar horas por dia para buscar água ou levar o milho para o moinho.



Figura 20. Casa que está instalado o sistema de gaseificação

Uma questão curiosa, e que não foi esclarecida durante a visita, é o fato de a linha de transmissão de energia de baixa tensão terminar a aproximadamente 500m da comunidade. O prolongamento da linha de transmissão seria uma alternativa mais simples e barata para o fornecimento de energia elétrica para a comunidade.

Em relação ao sistema propriamente dito o que mais chamou atenção é a dependência do operador para o funcionamento correto. A quantidade de gás que pode ser introduzido no motor, causando a redução do consumo de diesel está vinculada à carga de operação. Quanto maior a carga menor a substituição de diesel. O motor utilizado para acionar o alternador é de rotação constante assim sendo o aumento da potência é função do aumento da injeção de combustível. A determinação da quantidade de gás injetado no sistema é feita pela análise do barulho do motor. Assim sendo, é o operador que determina, manualmente em função do barulho do motor, quanto de gás é injetado no sistema.

Toda a implantação do sistema de eletrificação da vila foi feita em regime de cooperativa, desde a coleta da biomassa até o recolhimento dos pagamentos

pelos serviços energéticos. Concluí-se que o sucesso deste tipo de projeto está diretamente ligado a vocação cooperativa da comunidade.

Outras questões específicas do sistema como o tratamento de água residual tem de ser analisadas com mais cuidado. No caso da comunidade visitada existe contaminação do solo causada pela água utilizada para lavar o gás antes do mesmo ser injetado no motor. As cinzas do gaseificador, embora menos poluentes, são disposta diretamente no solo sem qualquer proteção.



Figura 21. Água de lavagem do gás



Figura 22. Cinza do gaseificador

5.1.3 Visita a Arasi Hi Tech Bio Power Ltd

Dados da Usina Arasi Hi Tech Bio Power Ltd

A Usina Arasi Hi Tech Bio Power Ltd é constituída por um sistema de gaseificação de 1 MWe, o gaseificador de leito fixo de 850 kg/h é alimentado pelo topo, possui dupla entrada de ar, sistema de extração de cinzas e sistema de resfriamento / tratamento da água.

O gaseificador é alimentado com casca de coco proveniente da própria região. Um trator pega a casca de coco e leva até um equipamento que tem a função de uniformizar o tamanho da biomassa que irá alimentar o gaseificador e também retirar o excesso de material particulado, conforme mostram as Figuras 23 e 24.



Figura 23. Trator retirando a biomassa



Figura 24. Equipamento responsável pela uniformização da biomassa

Após esse processo a biomassa é levada até o topo do gaseificador por um alimentador de esteira.



Figura 25. Sistema de alimentação do gaseificador



Figura 26. Topo do Gaseificador sendo alimentado com biomassa

Conclusão

A visita a Arasi Hi Tech Bio Power foi realizada no final de semana, devido às péssimas condições de uso e conservação da estrada o trajeto até a usina que é de 400km demorou cerca de dez horas para ser percorrido.

Durante a visita constatamos que o máximo que o sistema conseguiu produzir foi 400 kWe, conforme Figura 28, bem abaixo da capacidade instalada de 1 MWe. Notamos também que as condições de trabalho eram péssimas, na área do manuseio da biomassa havia muito material particulado no ar e o ruído era altíssimo. O motor apesar de ter ficado 15 dias parado e ter iniciado seu funcionamento apenas 6 horas antes do início da visita apresentava vazamento de óleo pelos bicos injetores e pela tampa do cabeçote, apresentando um ruído bastante peculiar. Existia também um vazamento no coletor de admissão antes do turbo-compressor o que colaborava também com o baixo desempenho do sistema.



Figura 27. Quadro da saída de força da usina

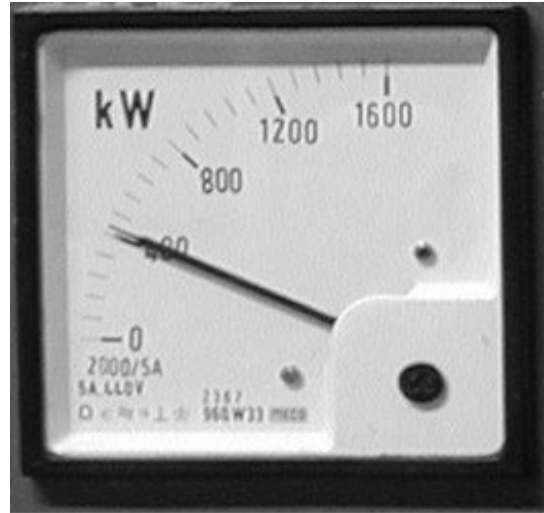


Figura 28. Em destaque, a potência que estava sendo gerada.

Na área onde se encontrava instalado o sistema de tratamento de água havia um forte odor possivelmente provocado pela evaporação de aldeídos nas torres de resfriamento.



Figura 29. Sistema de Tratamento de água

O padrão de emissões dos gases de escape, onde é possível observar o alto teor de CO (mais de 17.000 ppm) pode ser visto na Figura 30, esta foto foi tirada do painel do sistema de análise de gases de exaustão do motor.

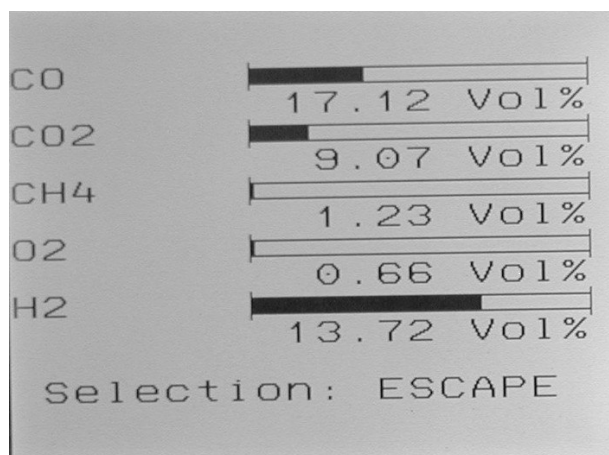


Figura 30. Emissões dos gases de escape

5.1.4. Visita a fundição Tahafet

Dados da Tahafet

A fundição Tahafet possui um gaseificador de capacidade 300 kg/h leito fixo co-corrente (downdraft) com sistema de alimentação pelo topo, dupla entrada de ar, sistema de extração de cinzas, sistema de limpeza / resfriamento da água, visando à produção de aproximadamente 1,2 MWth.



Figura 31. Biomassa usada na alimentação do gaseificador

A companhia trabalha de 250 a 300 dias por ano, 24 horas por dia. Existem 8 fornalhas que são usadas no tratamento térmico e trabalham na faixa de temperatura entre 600 e 920°C.

A indústria usava 2000 litros de diesel por dia como combustível nas fornalhas, o gaseificador de 300 kg/hora tem capacidade para substituir o combustível líquido por completo.

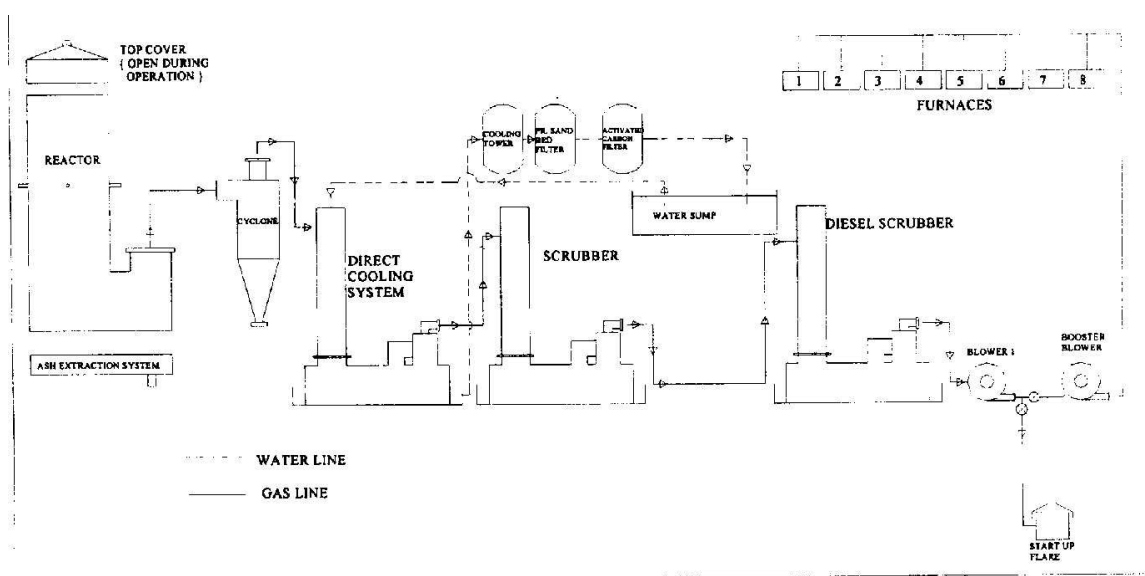


Figura 32. Esquema do sistema de fornalhas operando com gaseificador

Segue tabela abaixo com a performance do sistema nos meses de março a setembro no ano de 2001.

Mês	Horas em Operação	Biomassa Consumida (ton)	Número de fornalhas	Número de horas acumulativo
Março	165	11,2		164,75
Abril	68	8,5	5	232
Maio	72	10,2	6	304
Junho	421	84	5	725
Julho	627	117	6	1352
Agosto	470	105	8	1821,5
Setembro	501	107	5	2322,5

Segue abaixo tabela com os detalhes da performance das fornalhas usando óleo diesel e gás como combustível.

	Temperatura máxima (°C)	Tempo usando óleo diesel (horas)	Tempo usando gás (horas)	Combustível usado (litros)	Taxa de Consumo (litros/hora)	Óleo diesel usado por dia (litros)
F1	900	1,45	2,15	20	9,3	97,0
F2	600	0,45	1,05	50	47,6	303,8
F3	900	1,45	2,05	50	24,4	242,4
F4	900	1,45	2,15	20	9,3	97,0
F5	600	0,45	1,05	75	71,4	455,7
F6	1060	1,15	3,30	70	21,2	297,3
F7	650	0,45	1,05	50	47,6	303,8
F8	900	1,45	2,15	60	27,9	290,9
	Total					2087,9

Conclusão

Apesar da substituição do diesel pelo gás do gaseificador não ser completa, o uso de gaseificadores para fins térmicos surge como uma ótima alternativa.



Figura 33. Fornalha

A secagem da biomassa era feita com o calor das peças saídas dos fornos, o sistema é bastante simples, a biomassa é disposta sobre uma grelha e essa é colocada sobre as peças recém saídas das fornalhas. As cinzas provenientes do gaseificador, assim como na comunidade isolada Hosahalli, eram dispostas no solo sem qualquer proteção, conforme mostra a Figura 34.



Figura 34. Disposição das cinzas do gaseificador no solo.

6. Conclusão

A partir dos conhecimentos e experiências obtidas durante a missão foi possível identificar algumas questões de relevante importância a respeito da utilização deste tipo de tecnologia para o fornecimento de energia elétrica em comunidades isoladas.

- A economicidade do sistema está diretamente ligada à distância do local de instalação até o ponto de distribuição do diesel. Quanto mais longe do ponto de distribuição, melhor a competitividade econômica do sistema. Isto se deve ao fato de que, quanto maior a distância, maior o custo final do diesel e assim sendo, a substituição do mesmo pelo gás de biomassa tem maiores vantagens financeiras. Por outro lado, o custo de manutenção tende a crescer com a distância. Se o sistema operar com baixa manutenção ele será economicamente viável, caso contrário não. Pelo que foi observado durante a missão, principalmente na fase de implantação, a necessidade de acompanhamento técnico e manutenção é bastante freqüente.
- Na maioria dos casos observados a substituição de diesel foi em média de 50%. O que ocorre é que com a diminuição da porcentagem de diesel alimentada, o funcionamento do motor é bastante irregular, em alguns casos com forte vibração e combustão espontânea no cano de escape. A operação do sistema com taxa de substituição superior a 50% compromete a vida útil do motor.
- Existe uma questão tecnológica na concepção do sistema de geração de energia elétrica com utilização de gás de gaseificação. Quanto melhor a qualidade do gás maior é a taxa de substituição de diesel e melhor é o funcionamento do motor. Porém, para proporcionar a melhoria da qualidade do gás, é necessário introduzir vários componentes no sistema. O principal deles é um “chiller” para refrigerar a água de tratamento do gás. Além de consumir algo em torno de 15% da potencia gerada no sistema, a introdução de um equipamento deste tipo torna a manutenção mais cara e freqüente, à medida que adiciona vários outros componentes como um compressor, bomba, etc. A tendência lógica de concepção de projeto, para as necessidades que o presente projeto pretende

atender, seria de reduzir o número de sistemas e componentes, reduzindo as probabilidades de ocorrência.

- Frente a este conjunto de considerações e a partir de discussões com o IPT, concluiu-se que o sistema talvez deva ser simplificado no seu conjunto, com a retirada do “chiller” e das bombas de pressão.
- Os critérios para a escolha da comunidade em que o projeto piloto será implantado devem ser, nesta ordem :
 1. A disposição da comunidade em participar de um projeto de eletrificação.
 2. A existência de sistema de geração de energia elétrica a diesel no local.
 3. A menor distância possível entre a comunidade e a Universidade do Amazonas, que será responsável pelo acompanhamento técnico do projeto
- A implantação de um sistema de eletrificação em uma comunidade deve ser feita como se o sistema reproduzisse as condições de uma comunidade que esteja conectada à rede de distribuição de energia elétrica. Isto é, as pessoas devem receber pelas horas trabalhadas na operação e manutenção do sistema e pagar pelos serviços fornecidos pela energia gerada. Este tipo de envolvimento é essencial para a longevidade do sistema.
- O sistema de gaseificação se apresenta como uma ótima alternativa para a produção de calor. O gás para ser queimado em caldeira, por exemplo, não precisa de uma qualidade tão boa quanto a do gás que será queimado em um motor de combustão interna. O aproveitamento desta tecnologia poderá ser feito em regiões onde exista o fornecimento de energia elétrica para substituir outros combustíveis na geração de calor, como foi constatado na visita a Tahafet, talvez até substituir o GLP.

7. Participantes do Programa

País	Nome	Email
Áustria	Vladmir Stehlik	stehlik@aon.at
Brasil	Ademar Hakuo Ushima	adidas@ipt.br
	Brígida Ramati Pereira da Rocha	brígida@ufpa.br
	Sandra M. Apolinario	sandra@iee.usp.br
	Osvaldo Stella Martins	osvaldov8@yahoo.com
Camboja	Chan Narith	edc.nw@forum.org.kh
	Seng Thuy	edc.nw@forum.org.kh
	Sok Bun Heng	bunheng67@hotmail.com
Cuba	Carmen Rico Lopez	
	Maximo Miguel Martinez Fernandez	
	Oscar L. Jimenez	oscar@geprop.cu
Nepal	Manoj Kumar Mishra	turecast@mail.com.np
	Sushil Bajracharya	turecast@mail.com.np
Sudão	El. Moeiz Mohamed Gumma	ERI@sudanmail.net
Tailândia	Chaiwat Muncharoen	c.mncharoen@lycos.com
	Wichien Ungskulrat	wichien@efe.or.th
	Jaijin Plywej	jaijin@efe.or.th
	Thirapote Puthikitakawiwong	thirapote.p@msu.ac.th

São Paulo, Novembro de 2002.

M. Sc. Osvaldo Stella Martins

Coordenador do Projeto *“Comparação entre Tecnologias de Gaseificação de Biomassa Existentes no Brasil e no Exterior e Formação de Recursos Humanos na Região Norte”* Convênio Finep / Cetenerg 23.01.0695.00

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa

Universidade de São Paulo

osvaldov8@yahoo.com

Eng. Sandra M. Apolinario dos Santos

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa

Universidade de São Paulo

sandra@iee.usp.br

ANEXO B
ARQUIVO FOTOGRÁFICO DOS TESTES DOS MOTORES INDIANO E
NACIONAL REALIZADO NO IPT

Arquivo Fotográfico dos Testes dos Motores Indiano e Nacional Realizado no IPT

A seguir serão demonstradas as fotos dos motores nacional (MWM) e indiano, após o período de testes no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

1. Motor indiano

Nas sedes e sobre as três válvulas de admissão a deposição de alcatrão se mostrou intensa, como pode ser observado nas Figuras 01 e 02. Na sede e sobre as válvulas de exaustão, por sua vez, não ocorreu deposição de alcatrão, tendo-se observado um depósito muito fino de fuligem, normal para motores diesel.

Após a remoção dos depósitos formados sobre as válvulas, constatou-se corrosão por “pit” nas regiões cobertas pelo depósito, nas três válvulas de admissão, mostradas nas Figuras 03 e 04. As válvulas de exaustão não apresentaram sinais de corrosão.



\Figura 01 - Deposição de alcatrão na sede da válvula de admissão de um cilindro
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 02 - Deposição de alcatrão sobre a válvula de admissão de um cilindro
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 03 - Corrosão por “pit” numa das válvulas de admissão, observada após a remoção do depósito

Fonte: USHIMA, 2004f.

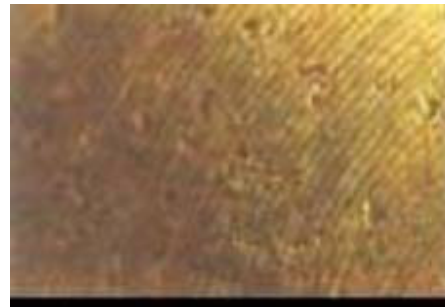
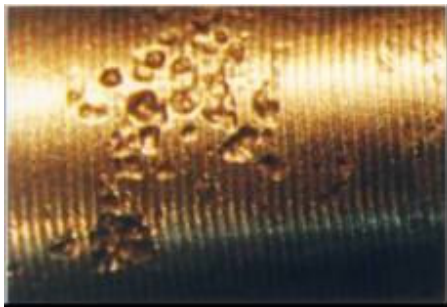


Figura 04 - Detalhes das regiões corroídas: (a) haste da válvula; (b) base da válvula
Fonte: USHIMA, 2004f.

Sobre os bicos de injeção de óleo diesel observou-se ligeira deposição de fuligem, como pode ser observado na Figura 05.



Figura 05 - Estado dos bicos ejetores de óleo diesel após 100 horas de operação com gás
Fonte: USHIMA, 2004f.

Esta deposição aparentemente não afetou o desempenho dos bicos. A pressão de ejeção de óleo diesel, após as 100 horas, permaneceu o mesmo, indicando manutenção da qualidade de nebulização e ausência de desgaste.

No interior das câmaras de combustão do motor e nos cilindros não se observou a formação de depósitos ou desgastes, como pode ser observado na Figura 06.



Figura 06 - Fotos dos cilindros e das câmaras de combustão após 100 horas de operação em modo dual

Fonte: USHIMA, 2004f.

2. Motor nacional (MWM)

A seguir fotos do motor nacional, marca MWM, modelo D229-3, aspiração natural, 1800 rpm, após os testes realizados no IPT.



Figura 07 - Fotos de uma das válvulas de admissão (esquerda) e exaustão (direita)
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 08 - Vista das válvulas e das respectivas sedes
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 09 - Detalhes das válvulas de admissão e exaustão
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 10 - Detalhe das sedes das válvulas (admissão à esquerda e exaustão à direita)
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 11 - Foto de um dos bicos injetores de diesel após as 100 horas
Fonte: USHIMA, 2004f.



Figura 12 - Vista superior dos cilindros

Fonte: USHIMA, 2004f.

A partir das fotos apresentadas pode-se constatar que a deposição de alcatrão foi bem menor do que a observada com o motor indiano. A título de comparação, na Figura 13, são apresentadas as fotos das válvulas de admissão e exaustão do motor indiano (à esquerda) e MWM (à direita).



Figura 13 - Comparação do estado das válvulas de um dos cilindros dos motores indiano e MWM, após 100 horas de operação no modo dual

Fonte: USHIMA, 2004f.

Como se pode observar, na Figura 13, a deposição de alcatrão na válvula de admissão do motor MWM foi bem menor do que no indiano. Nas válvulas de exaustão, por sua vez, a formação de depósitos foi pequena em ambos os motores.

Para verificar o estado da superfície das válvulas e dos cilindros após o teste, elas foram limpas e são mostradas na Figura 14.



Figura 14 - Fotos de um par de válvulas e de um cilindro após a limpeza

Fonte: USHIMA, 2004f.

Essas peças, após a operação de limpeza, não apresentaram nenhum sinal de corrosão por “pitting”, como ocorrido nas válvulas de admissão do motor indiano. Provavelmente a corrosão por “pitting” observada no motor indiano, se deveu ao longo tempo de inatividade do motor entre os testes no IISc, ocorrido em novembro de 2002, e no IPT, em julho de 2003.

Os bicos injetores de diesel não apresentaram desgastes, uma vez que a pressão de injeção de diesel, após as 100 horas de teste no modo dual, não apresentou alteração em relação ao bico sem uso. A operação dos bicos com vazões de óleo diesel na faixa de 1,2 kg/h (valor médio de diesel utilizado nas 100 horas de teste) aparentemente não provocou superaquecimento dos bicos e pode ser considerado uma vazão segura de operação. Vazões menores, além de provocar instabilidade no motor, podem levar a um superaquecimento dos bicos.

Apesar da deposição de alcatrão sobre alguns dos componentes internos do motor, principalmente sobre a parede interna do duto de admissão, a sede de válvula e a válvula de admissão, ter sido bem menor do que a observada no motor indiano, ela ocorreu e estima-se que exigirá manutenção, na forma de limpeza do cabeçote e das válvulas, a cada 500 horas de operação do motor (O fabricante recomenda manutenção preventiva a cada 1.000 horas – Manual de Operação e Manutenção, Motor MWM Brasil – série 229). Cabe destacar que esta estimativa é muito grosseira (pode ser tanto maior como menor) na medida em que esta avaliação foi feita a partir de apenas 100 horas de operação. Além do mais, a taxa de deposição de alcatrão é função de uma série de outros fatores como a habilidade dos operadores na operação do gaseificador e do sistema de limpeza de gases, da umidade da biomassa alimentada etc.