

Aspectos Tecnológicos das Fontes de Energia Renováveis (Biomassa)

*Aymoré de Castro Alvim Filho
Eng. Eletricista, Dr.
Especialista em Regulação, SRG/ANEEL*

*10/02/2009
Cartagena de Indias, Colombia*

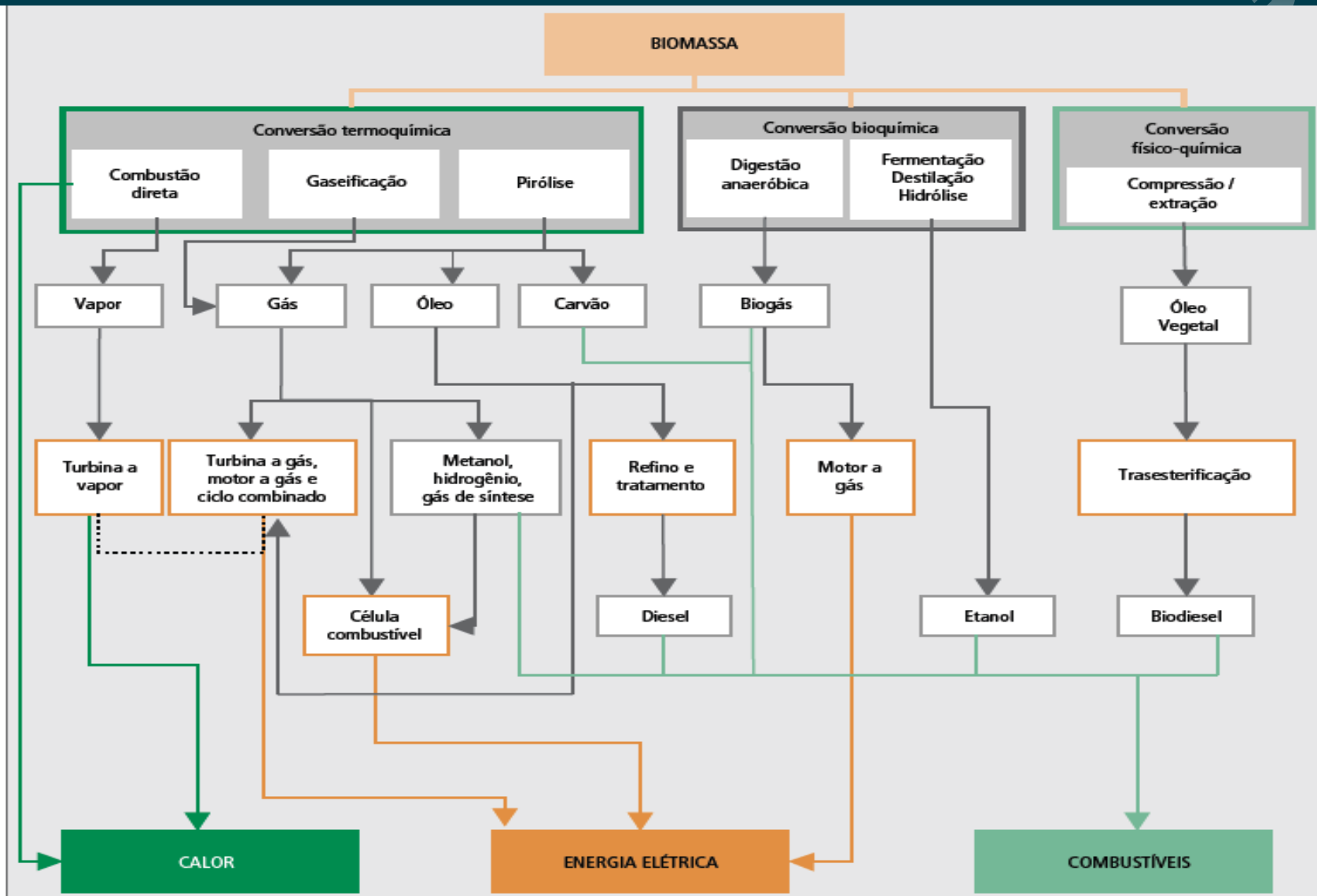
Caracterização da Biomassa

Classificação da Biomassa

- a) Biomassa energética florestal: biocombustíveis oriundos dos recursos florestais. Incluem basicamente biomassa lenhosa produzida de forma sustentável (cultura ou extrativismo). Está associada à indústria de papel e celulose, serrarias, etc. O conteúdo energético refere-se à celulose e lignina contidas na matéria e seu baixo teor de umidade. Rota tecnológica mais comum: combustão direta e pirólise. Rotas mais complexas também são empregadas para a produção de combustíveis líquidos e gasosos (p.ex. licor negro e gaseificação de resíduos de madeira).
- b) Biomassa energética agrícola: biocombustíveis oriundos das plantações não florestais, originados de colheitas anuais. P.ex. cana-de-açúcar, mamona (para produção de biodiesel), casca de arroz, etc.
- c) Rejeitos urbanos: biomassa contida em resíduos sólidos e líquidos urbanos que, a priori, comporia o lixo e o esgoto. O lixo urbano é uma mistura heterogênea de metais, plásticos, vidro e matéria orgânica. As rotas tecnológicas de seu aproveitamento energético são a combustão direta, a gaseificação, pela via termoquímica, após a separação dos materiais recicláveis, e a digestão anaeróbica, na produção de biogás, pela via biológica.

Conversão da Biomassa

Rotas Tecnológicas para Conversão da Biomassa



Conversão da Biomassa

Principais rotas tecnológicas para conversão da biomassa

a) Conversão Termoquímica: Conversão da energia química da biomassa em calor. Compreende duas fases:

- 1) Decomposição térmica da carga combustível primária; e
- 2) Combustão dos produtos resultantes da decomposição.

Tipos de conversão Termoquímica:

i) Combustão direta: etapas 1 e 2 ocorrem no mesmo reator. É fornecida uma quantidade de oxigênio suficiente para obtenção da combustão completa da carga combustível.

ii) Gaseificação: etapas 1 e 2 ocorrem em espaços fisicamente separados. A quantidade de oxigênio fornecida não é suficiente para a combustão completa, obtendo-se uma combustão parcial. O gás combustível originado do processo pode ser queimado nas caldeiras, em motores ou em turbinas a gás.

iii) Pirólise: etapas 1 e 2 ocorrem em espaços fisicamente separados. Nenhum, ou muito pouco oxigênio é fornecido. Com o aquecimento da carga combustível primária (a temperaturas relativamente baixas), ocorre a degradação térmica, resultando em produtos combustíveis (p.ex. carvão vegetal).

Conversão da Biomassa



Principais rotas tecnológicas para conversão da biomassa

b) Conversão Bioquímica: Utiliza processos biológicos e bioquímicos que geram subprodutos combustíveis. Exemplos: digestão anaeróbica, fermentação/destilação e hidrólise. Dentre essas a digestão anaeróbica é a mais utilizada para geração de eletricidade, através dos biodigestores, onde a degradação da matéria orgânica produz biogás constituído principalmente de metano (40% a 75%) e dióxido de carbono.

c) Conversão físico-química: Utiliza técnicas de compressão e extração de óleos vegetais para sofrerem, depois, alterações químicas através da esterificação.

Conversão da Biomassa

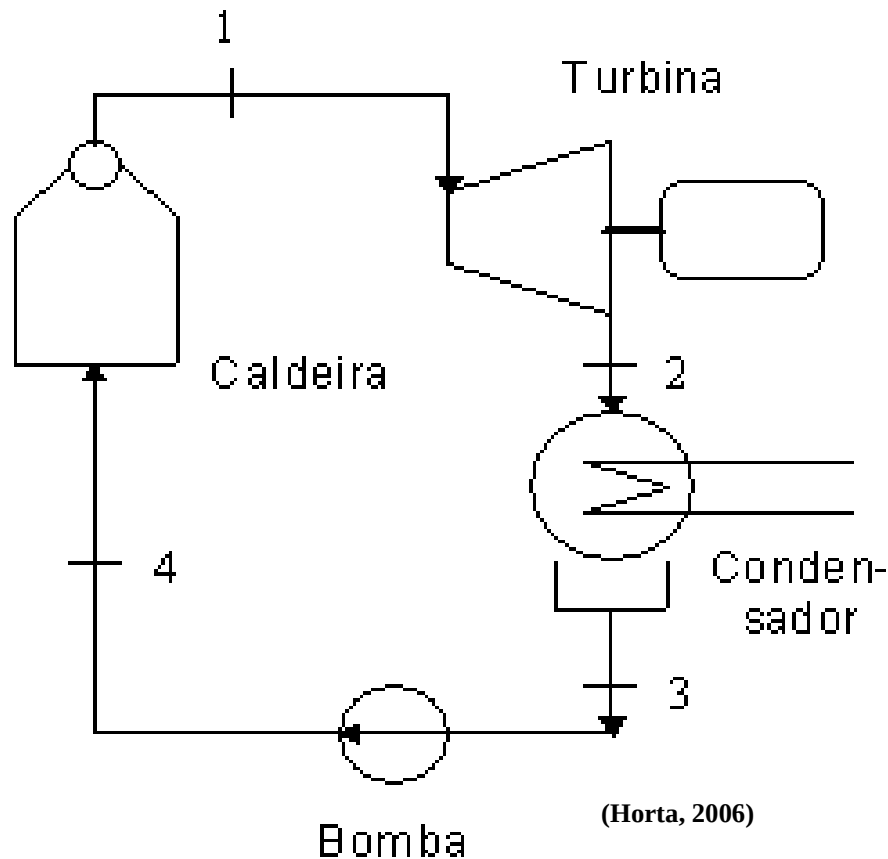


Tecnologias para co-geração de energia elétrica utilizando biomassa:

- a) Ciclo a vapor com turbina de contrapressão: nesse caso, a produção de energia elétrica está vinculada aos processos produtivos, inviabilizando a produção de energia elétrica na entre-safra.
- b) Ciclo a vapor com turbinas de condensação: Nesse caso, existe um condensador na exaustão da turbina, o que proporciona flexibilidade à geração de eletricidade que pode ser desacoplada do processo produtivo, podendo gerar, então, na entresafra.
- c) Ciclo combinado integrado à gaseificação da biomassa: No ciclo combinado, aproveita-se a energia térmica dos gases de exaustão da turbina a gás para gerar vapor e utilizá-lo para geração de eletricidade em uma turbina a vapor, elevando a eficiência global do ciclo.

Conversão da Biomassa

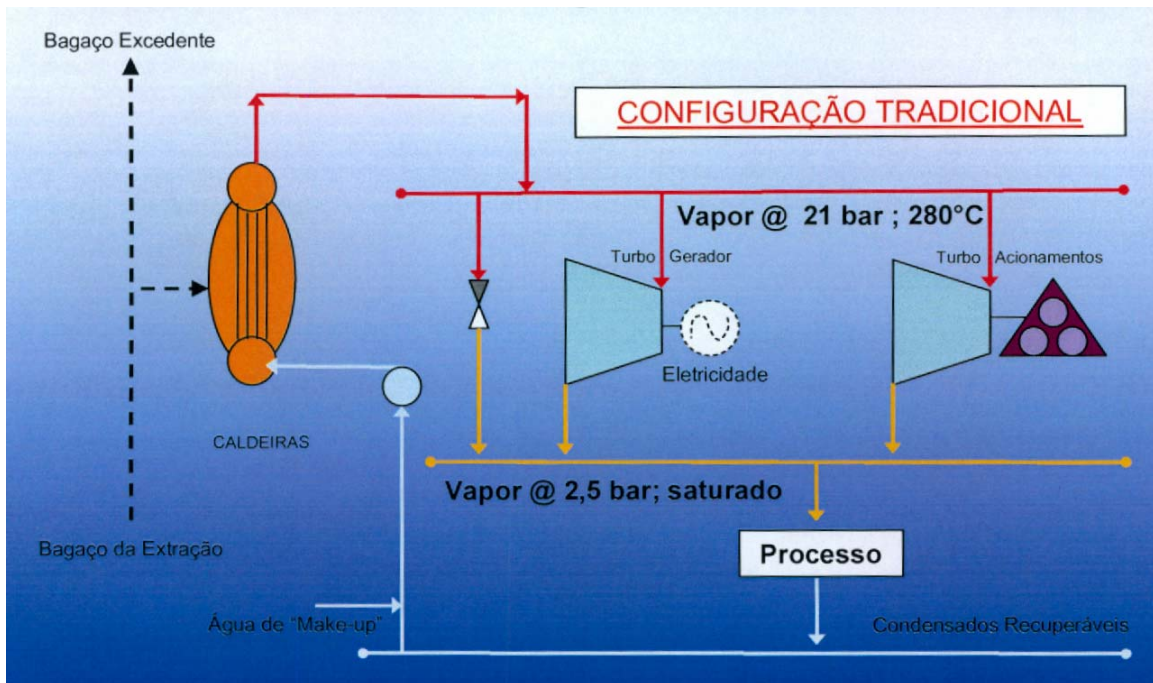
Ciclo a Vapor Rankine (Esquema Básico):



Conversão da Biomassa

Evolução Tecnológica

Configuração Tradicional na indústria sucro-alcooleira (Contrapressão, operação na safra)



(Procknor Engenharia, 2008)

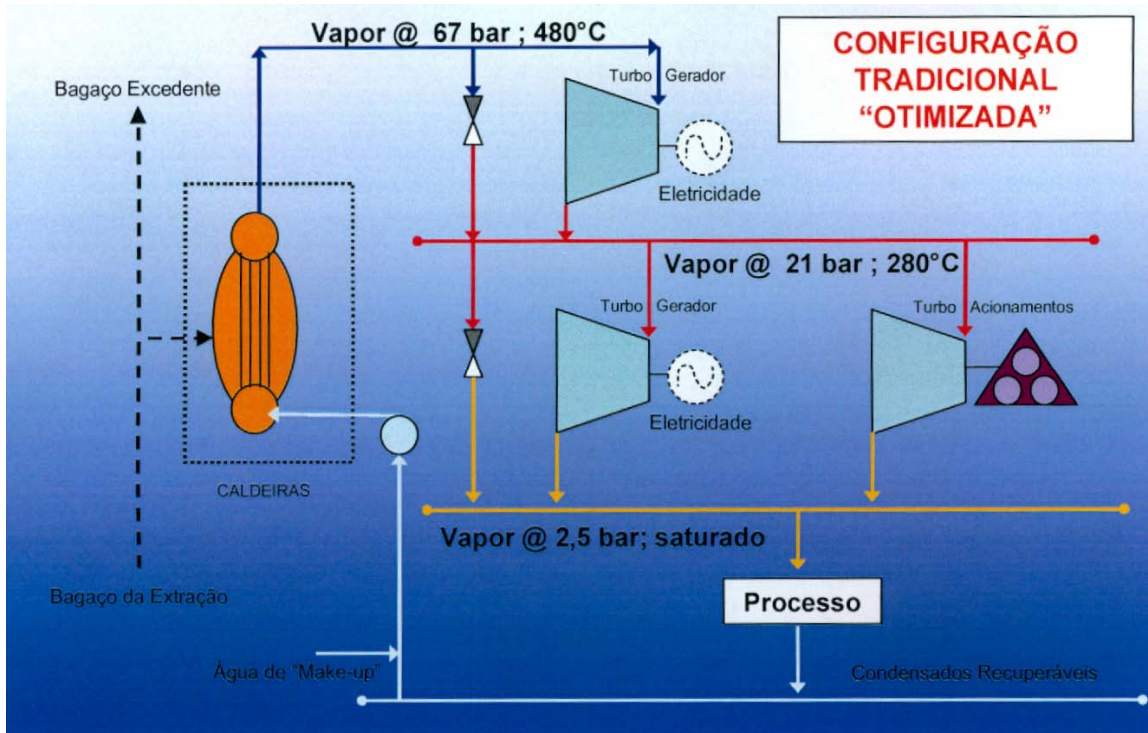
Características:

- a) sem aproveitamento do bagaço excedente (incineração do bagaço);
- b) caldeiras de baixa eficiência;
- c) compra de eletricidade;
- d) Uso intensivo de acionamento mecânico de baixa eficiência;

Conversão da Biomassa

Evolução Tecnológica

Configuração Tradicional "Melhorada" na indústria sucro-alcooleira (Contrapressão, operação na safra)



Características:

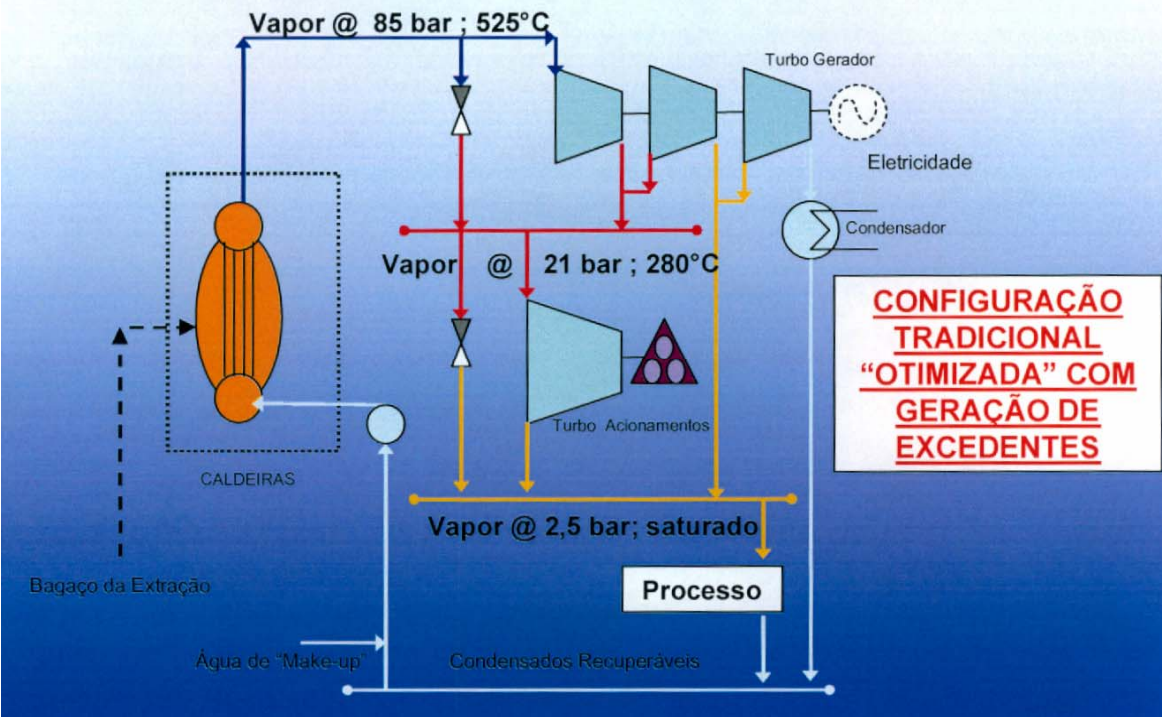
- a) Caldeiras com média eficiência;
- b) incineração do bagaço excedente;
- c) acionamento mecânico de baixa eficiência;

(Procknor Engenharia, 2008)

Conversão da Biomassa

Evolução Tecnológica

Configuração Tradicional "Otimizada" com geração de excedente de energia elétrica (Contrapressão, operação na safra)



Características:

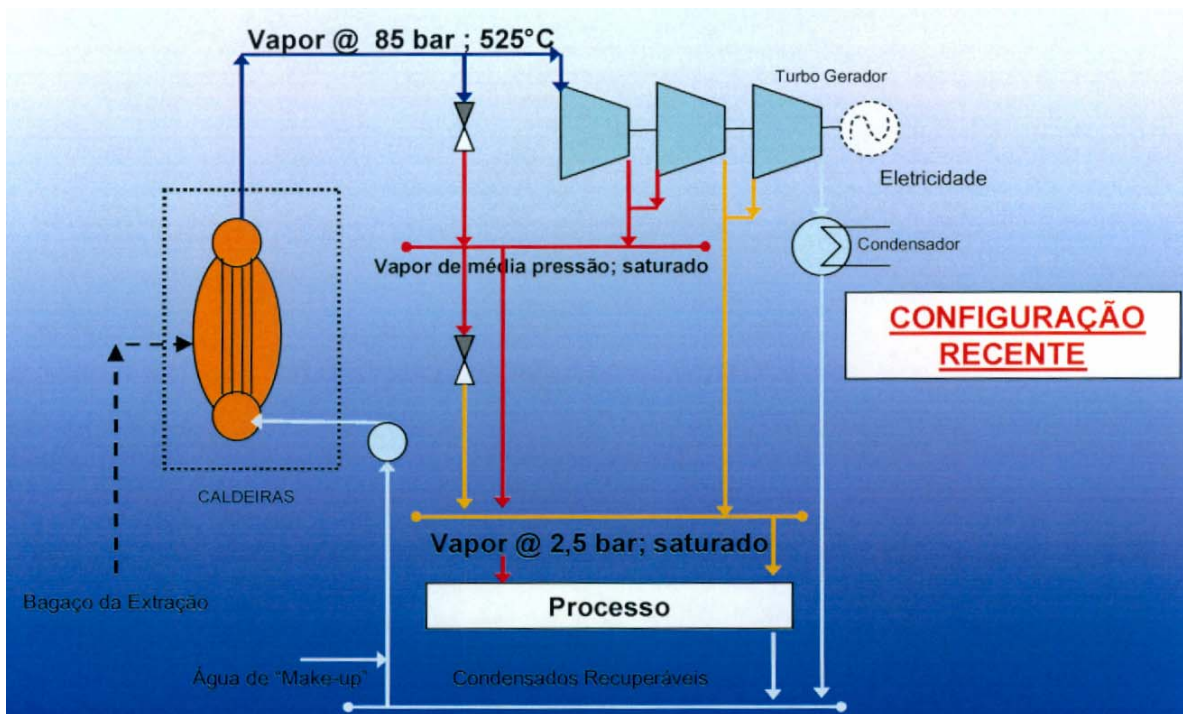
- a) Caldeiras com melhor eficiência, inclusive com controle de emissões;
- b) acionamento mecânico de eficiência superior ou substituição por motores elétricos;

(Procknor Engenharia, 2008)

Conversão da Biomassa

Evolução Tecnológica

Estágio atual (Contrapressão, operação na safra):



(Procknor Engenharia, 2008)

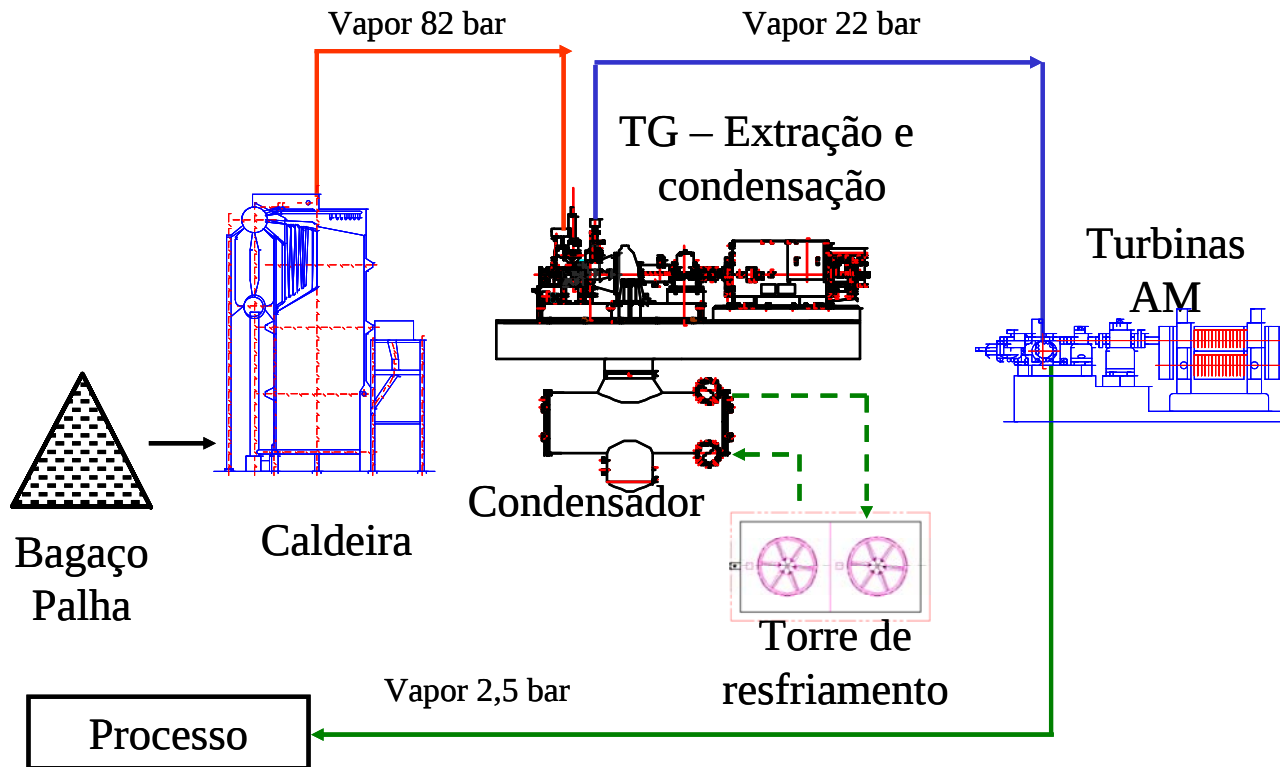
Características:

- a) Eletrificação dos acionamentos;
- b) Maior excedente de energia elétrica, com o aumento de sua importância na receita;

Conversão da Biomassa

Evolução Tecnológica

Alternativa (Condensação, operação também na entre-safra):



Características:

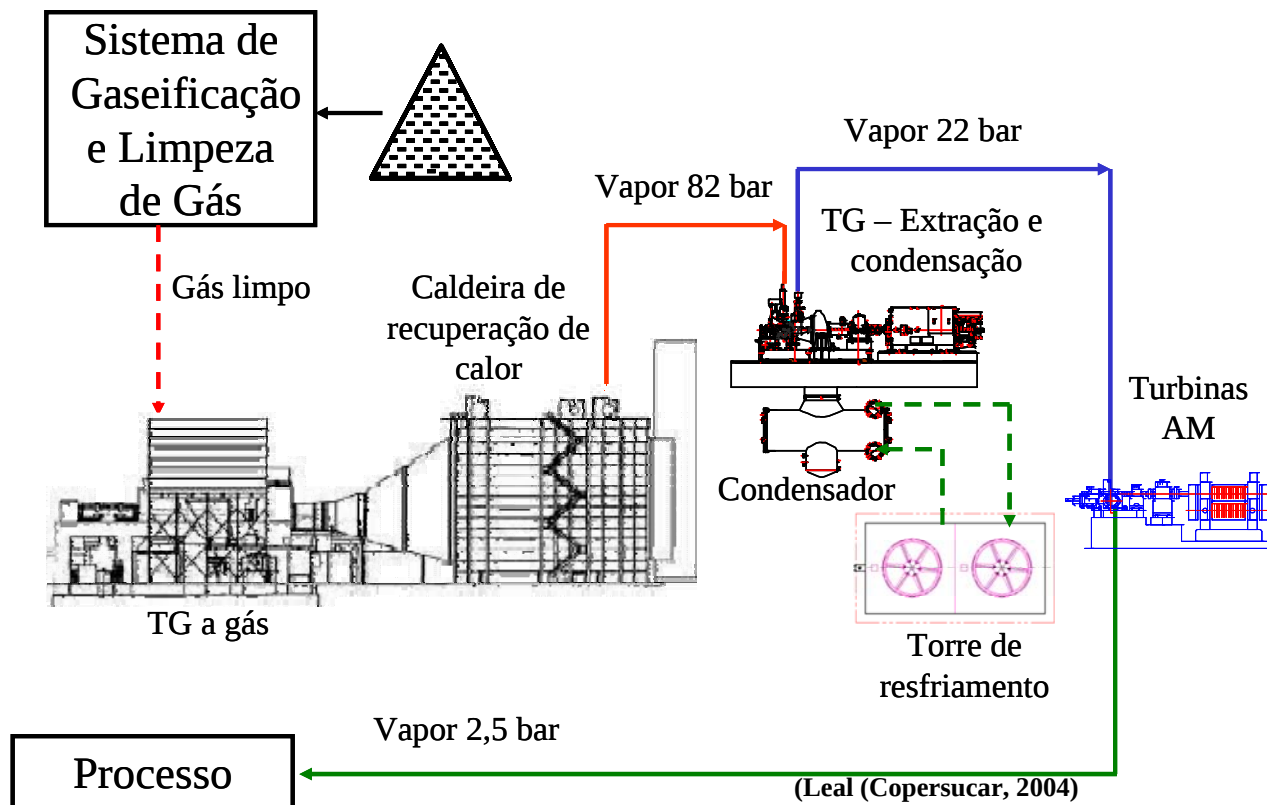
- a) Energia elétrica desacoplada do processo produtivo, possibilitando geração em todo o ano, dependendo, apenas da disponibilidade de combustível.

(Leal (Copersucar, 2004))

Conversão da Biomassa

Evolução Tecnológica

Alternativa (Ciclo Combinado com Gaseificação da biomassa (também com condensação (ciclo vapor) e operação na entre-safra):



Características:

- a) Energia elétrica desacoplada do processo produtivo, possibilitando geração em todo o ano, dependendo, apenas da disponibilidade de combustível.
- b) Aumento na eficiência total da planta

Conversão da Biomassa

Características e custos



Composição típica dos custos diretos de investimento de uma central termelétrica a vapor

Item de custo	Participação
Equipamentos eletromecânicos	60%
Planta da caldeira	27%
Planta da turbina	21%
Tubulação e acessórios	6%
Subestação	3%
Outros equipamentos	3%
Montagem dos equipamentos	12%
Construção	21%
Obras civis	15%
Circuito de água	6%
Outros custos	7%
Terreno, benfeitorias	3%
Projeto, organização	4%

Fonte: LORA, 2004.

(apud EPE, 2008)

Conversão da Biomassa

Características e custos



Características técnicas para plantas com turbinas de contrapressão

Parâmetro	Valores
Temperatura de operação (°C)	480
Pressão de operação (MPa)	6,0
Produção de vapor (kgVapor/ton.Biomassa)	1.607
Eficiência das caldeiras - Base PCSu (%)	67%
Extração de vapor em co-geração (kgVapor/ton.Biomassa)	1.600
Geração de energia elétrica	
Co-geração (kWh/ton.Biomassa)	215
Geração pura (kWh/ton.Biomassa)	-
Eficiência das turbinas (%)	60,0
Eficiência da geração termelétrica	
Co-geração (%)	7,0
Escala até (MW)	50

Fonte: CAMARGO et al. (1990), LEITE et al. (2005) (apud EPE, 2008)

Conversão da Biomassa

Características e custos



Características técnicas para plantas com turbinas de condensação

Parâmetro	Valores
Temperatura de operação (°C)	530
Pressão de operação (MPa)	8,5
Produção de vapor (kgVapor/ton.Biomassa)	3.000
Eficiência das caldeiras - Base PCSu (%)	85
Extração de vapor em co-geração (kgVapor/ton.Biomassa)	1.150
Geração de energia elétrica	
Co-geração (kWh/ton.Biomassa)	340
Geração pura (kWh/ton.Biomassa)	530
Eficiência das turbinas (%)	75,0
Eficiência da geração termelétrica	
Co-geração (%)	12,7
Geração pura (%)	20,0
Escala até (MW)	100

Fonte: BAIN, et al. (1997); LEITE et al. (2005) (apud EPE, 2008)

Conversão da Biomassa

Características e custos



Características técnicas para plantas com gaseificação da biomassa (Ciclo Combinado)

Parâmetro	Valores
Temperatura de operação do gaseificador(°C)	850 - 950
Pressão do vapor gerado (MPa)	6
Temperatura do vapor gerado (°C)	470
Produção de vapor (kgVapor/ton.Biomassa)	5.000
Extração de vapor em co-geração (kgVapor/ton.Biomassa)	1.050
Potencia do ciclo a vapor (%)	35
Potencia do ciclo a gás (%)	65
Geração de energia elétrica	
Co-geração (kWh/ton.Biomassa)	1.050
Geração pura (kWh/ton.Biomassa)	1.150
Eficiência da geração termelétrica	
Co-geração (%)	38,0
Geração pura (%)	42,0
Escala até (MW)	150

Fonte: BAIN et al. (2003) (apud EPE, 2008)

Conversão da Biomassa

Características e custos

Custos Típicos

Parâmetro	Valores adotados
Custo da instalação ⁽¹⁾ (US\$/kW)	830
Custo fixo anual O&M ⁽²⁾ (US\$/kW)	20
Custo variável ⁽²⁾ (10^{-3} US\$/kWh)	1,5

Fonte: (1) GOLDEMBERG et al., (2001), AZOLA, et al. (1999) (apud EPE, 2008)

(2) MAZZONE e HAYASHI (1997) e Office of Energy Efficiency and Renewable Energy – USDOE (REVIEW, 1999)

Parâmetro	Valores Adotados
Custo da instalação ⁽¹⁾ (US\$/kW)	1.100
Custo fixo anual O&M ⁽²⁾ (US\$/kW)	20
Custo variável ⁽²⁾ (10^{-3} US\$/kWh)	2,0

Fonte: (1) GOLDEMBERG et al.;

(apud EPE, 2008)

(2) BAIN, et al. (1997); OGDEN et al. (1990)

Parâmetro	Valores adotados
Custo da instalação (US\$/kW)	1.500
Custo fixo anual O&M (US\$/kW)	55
Custo variável (10^{-3} US\$/kWh)	6,0

Fonte: BAIN et al. (2003)

(apud EPE, 2008)

Contrapressão

Condensação

Gaseificação da
biomassa (c/
ciclo combinado)



OBRIGADO!

Agência Nacional De Energia Elétrica - Aneel

Superintendência de Regulação dos Serviços de Geração - SRG

aymore@aneel.gov.br

55 61 2192-8853