



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPT/17

**17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

**GRUPO II
PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - (GPT)**

GÁS DO BAGAÇO DE CANA: UM COMBUSTÍVEL SUBSTITUTO DO GÁS NATURAL

Sérgio Peres*

Universidade de Pernambuco – Escola Politécnica de Pernambuco
CHESF – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

RESUMO

Este trabalho relata os resultados de experimentos de gaseificação de bagaço de cana, utilizando calor indireto, em temperaturas entre 800 e 1000°C. Foi constatada uma produção de 0,65 m³ de gás combustível por quilo de bagaço, com poder calorífico de 12,84 MJ/m³. A safra Nordeste em 95/96, foi de 47.957.667 toneladas de cana, produzindo 14.387.300 toneladas de bagaço. Se todo este bagaço fosse gaseificado, poder-se-ia gerar 4.675.872.500 m³ de gás de bagaço, com uma energia de 60.038.202.900 MJ. Esta energia é energeticamente equivalente à produzida por 1.774.178.573 m³ de gás natural, que corresponde a 41,2 % da produção Nordeste e 17% da produção nacional.

PALAVRAS-CHAVE

Gaseificação, Bagaço de Cana, Cogeração, Gás do Bagaço, Biomassa

1.0 - INTRODUÇÃO

O bagaço de cana é o resíduo mais abundante do processamento da cana de açúcar no Setor Sucroalcooleiro. Porém, a sua utilização energética ainda é feita de forma deficiente, em ciclos de geração de vapor de baixa pressão e temperatura, ocasionando um baixo rendimento térmico do ciclo, devido principalmente a concepção do projeto da usina/destilaria baseado no conceito “bagaço não pode sobrar nem faltar” durante o funcionamento das mesmas. Porém, com a abertura do mercado nacional de energia elétrica, este conceito está sendo substituído

por outro que prima pela eficiência energética com a utilização de bagaço em ciclos térmicos mais modernos e tecnologicamente mais avançados, que procuram maximizar o potencial energético. Porém, para ser utilizado nestes ciclos “mais avançados”, o bagaço precisa ser gaseificado de modo a permitir a sua utilização em turbinas a gás, por exemplo.

A gaseificação é a conversão de um combustível sólido em combustível gasoso. No processo de gaseificação as moléculas poliméricas do bagaço são quebradas, dando origem a gases mais leves como o hidrogênio, monóxido de carbono e metano, além do alcatrão e carvão do bagaço, resíduos da gaseificação.

A gaseificação pode ser processada basicamente de duas maneiras:- através da cessão de calor de forma direta, em processos de combustão sub-estequiométrica; ou pela cessão de calor indiretamente, objeto deste trabalho. A principal diferença entre os dois processos é que no primeiro, o gás formado é diluído em nitrogênio, o que faz com que o seu poder calorífico, tipicamente entre 5 e 6 MJ/m³, seja bem menor que o obtido com aquecimento indireto, uma vez que o mesmo não se processa na presença do ar. O gás assim produzido é de médio poder calorífico, podendo-se obter valores acima de 11 MJ/m³.

Este trabalho apresenta os resultados dos experimentos de gaseificação utilizando calor indireto, realizado pelo autor, no Clean Combustion Technology Laboratory da Universidade da Flórida, em Gainesville, nos Estados Unidos (1). O trabalho relata, também, a potencialidade desta tecnologia, caso ela fosse aplicada no Nordeste Brasileiro, para a obtenção de um combustível gasoso de médio poder calorífico com

* CHESF – COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO
Rua Delmiro Gouveia, 333 Sala C-202 Recife – 50761-901
Tel.: (081) 229-2983 – Fax (081) 229-3292
E-mail : speres@chesf.gov.br e speres@elogica.com.br

aproximadamente 38% do poder calorífico do gás natural.

2.0 BAGAÇO DE CANA

O bagaço de cana é o material fibroso obtido depois da extração do caldo num terno de moendas. Ao sair da moenda, o bagaço possui cerca de 30% do peso da cana, tem um teor aproximado de 50% de umidade. O bagaço é o resíduo sólido mais abundante do Setor Sucroalcooleiro.

Sua composição química varia devido a vários fatores como variedade da cana, tipo de solo, técnicas de colheita e de manuseio. Basicamente, o bagaço é composto de 39,7 a 49 % de carbono, 5,5 a 7,4 % de hidrogênio, oxigênio de 40 a 46 %, 0 a 0,30 % de nitrogênio e cinzas.

A fibra do bagaço consiste de três constituintes principais, em percentuais que variam de 22,7 a 29,7 % para a hemicelulose, 26,6 a 54,3 % de celulose e 14,3 a 24,4 % de lignina (1). Devido a esta grande variação de composição, foi realizado um experimento para determinação do percentual de celulose, hemicelulose e lignina no bagaço utilizado nos experimentos. Este experimento denominado a Análise de Von Soest, forneceu a seguinte composição para os constituintes da fibra do bagaço: 51,8 % celulose, 27,6 % hemicelulose, 19,3 % de lignina e 1,3 % de cinzas. Esta informação é particularmente importante, pois, com a determinação do poder calorífico de cada um dos constituintes, pode saber qual variedade de cana apresenta o maior poder calorífico.

3.0 EQUIPAMENTO DE TESTE

Para realização dos testes de gaseificação e calorimetria foram utilizados um cromatógrafo a gás, Varian 3700; um calorímetro PARR; um computador PENTIUM para processar os resultados e um gaseificador horizontal, projetado e construído pelo autor.

3.1 Gaseificador

O gaseificador, utilizado nos testes, foi um gaseificador do tipo horizontal, composto de uma fornalha elétrica cilíndrica bipartida, com diâmetro externo de 51 mm e interno de 32 mm, no qual passa uma tubulação, que funciona como um reator, conectada a filtros. Estes filtros promovem a limpeza do gás combustível gerado na fornalha, eliminando vapores de alcatrão, umidade e algum outro composto condensável, permitindo, desta forma, a passagem do gás limpo e seco para não

danificar o equipamento de análise à jusante do gaseificador.

3.2 Sistema de Análise do Gás

O sistema de análise dos gases gerados no gaseificador consiste de um Cromatógrafo a Gás (CG) equipado com detector de condutividade térmica, cujos sinais são enviados a um integrador dos sinais Perkin-Elmer LCI-100, que emite um cromatograma. Este cromatograma informa quais os tipos e a quantidade de gases presentes no gás produzido no gaseificador. Para isso, contudo, o cromatógrafo deve ser calibrado com os gases que se fazem presentes na mistura, como o hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, nitrogênio, metano, etano, etileno e o oxigênio, os chamados gases permanentes. Com a obtenção do quantitativo de gases presentes, pode-se obter a composição molar percentual e o poder calorífico do mesmo.

3.3 Calorimetria

A calorimetria é bastante importante, pois, informa o poder calorífico (calor de combustão) dos combustíveis sólidos.

Foi utilizado um calorímetro PARR modelo 1102, composto de aquecedor de água PARR 1541, um resfriador de água PARR 1551, bomba de oxigênio PARR 1102 e um sistema em circuito fechado d'água PARR 1562.

4.1 RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Esta seção relata os resultados obtidos a partir dos testes de gaseificação e de calorimetria com o bagaço de cana.

4.1 Resultados de Calorimetria

Os resultados calorimétricos são importantes à medida que permite a comparação do teor energético do bagaço com o do gás formado quando da sua gaseificação, ou seja, com o do gás do bagaço (GDB).

Os resultados dos experimentos de calorimetria estão ilustrados na Tabela 1.

TABELA 1 – PODER CALORÍFICO DO BAGAÇO

MATERIAL	PODER CALORÍFICO
Bagaço de Cana	18,5 MJ/kg
Celulose	17,0 MJ/kg
Hemicelulose	17,5 MJ/kg
Lignina	20,1 MJ/kg
Carvão do Bagaço	35,7 MJ/kg

Alcatrão	26,0 MJ/kg
----------	------------

Analisando os resultados da Tabela 1, verifica-se que o carvão do bagaço apresenta o maior teor energético dos constituintes, enquanto a celulose apresenta o menor poder calorífico entre os constituintes da fibra do bagaço. Portanto, com a execução da análise de Soest., ou seja, com a determinação do percentual de celulose, hemicelulose e lignina, pode-se determinar o teor energético das variedades da cana. Notadamente, a variedade da cana que contiver o maior percentual de lignina, é aquela que apresenta o maior poder calorífico.

4.2 Resultados de Gaseificação

Foram conduzidos experimentos de gaseificação em temperaturas entre 800 e 1000°C para obtenção de gases combustíveis e verificar o efeito da temperatura na qualidade e quantidade de gases produzidos.

A Tabela 2 mostra os resultados do poder calorífico e produção dos gases combustíveis obtidos na gaseificação do bagaço de cana, com 5% de umidade.

TABELA 2 – CARACTERISTICAS DOS GASES

TEMP. (°C)	800°	900°	1000°
PCS ¹ (MJ/m ³)	12,3	13,2	13,8
PCI ² (MJ/m ³)	11,4	12,2	12,8
GPB ³ (m ³ /kg)	0,42	0,55	0,65

¹ – Poder Calorífico Superior;

² – Poder Calorífico Inferior;

³ – Gás Produzido por quilo de Bagaço.

Pela tabela acima verifica-se que a temperatura do reator exerce um efeito muito grande sobre a qualidade dos gases e na quantidade de gases produzida por quilo de bagaço. O poder calorífico do gás do bagaço aumentou em cerca de 20% e a produção em quase 55% ao passar a temperatura do reator de 800 para 1000 °C. De modo a explicar o porquê deste aumento significativo do PCS e PCI, foram analisados os percentuais dos gases constituintes do gás do bagaço, que estão relatados na Tabela 3.

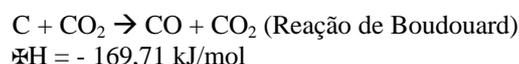
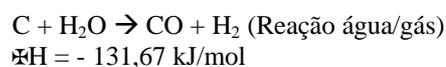
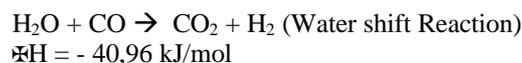
TABELA 3 – PERCENTUAL DOS GASES NO GDB

GÁS\ TEMP.	800°C	900°C	1000°C
Hidrogênio	19,3	22,5	22,5
Monóxido de Carbono	36,2	37,8	40,7
Dióxido de Carbono	29,5	24,0	20,5

Metano	11,6	11,8	12,1
Compostos C2 ¹	3,4	3,9	4,2

¹ – Compostos C2 = acetileno, etileno e etano.

Observando a Tabela 3, verifica-se que houve uma redução da produção de CO₂ e um aumento na produção de monóxido de carbono, metano e do C2. Provavelmente, os gases que foram produzidos primariamente na gaseificação, reagiram com o carvão e/ou entre si, de acordo com uma ou mais das seguintes reações químicas:



Estas reações são altamente endotérmicas, isto é, necessitam de bastante energia para serem processadas; por isso, é que só ocorrem em altas temperaturas. Em alta temperatura ocorre também uma maior reatividade do carvão do bagaço e craqueamento do alcatrão formado na gaseificação.

Os resultados quantitativo e qualitativo da gaseificação do bagaço, quando analisados em separado, não fornecem dados suficientes para uma análise mais detalhada do potencial energético do gás. Porém, se for feita uma análise contemplando a quantidade de gás produzido por quilo de bagaço gaseificado, em m³/kg, e a energia disponível neste gás, PCI, em MJ/m³, será obtida a energia total, em MJ, na gaseificação por quilo de bagaço, como mostra a Tabela 4.

TABELA 4 – ENERGIA DO GÁS DO BAGAÇO

Temp. (°C)	PCI (MJ/m ³)	Produção (m ³ /kg)	Energia do Gás (MJ/kg)
800	11,4	0,42	4,8
900	12,2	0,55	6,7
1000	12,8	0,65	8,3

Pelos dados da Tabela 4, verifica-se que ao aumentar a temperatura do reator de 800 para 900 °C, o teor energético em forma de gás de um quilo de bagaço, aumentou em cerca de 40%, enquanto que ao aumentar para 1000 °C, houve ainda um outro acréscimo de cerca de 24%. Portanto, quando maior a temperatura maior é a energia disponível do bagaço. Em

contrapartida, maior será o custo de confecção do reator, já que terá que resistir a uma maior temperatura, o que poderá também encurtar o tempo de vida do reator.

Este tipo de análise permitirá determinar o quantitativo de energia que poderá estar disponível em forma de gás a partir de uma certa quantidade de bagaço, por exemplo na safra.

5.0 GÁS DO BAGAÇO E O POTENCIAL NORDESTINO

O gás do bagaço é um gás de médio poder calorífico produzido através da gaseificação do bagaço de cana utilizando calor indireto.

A safra nordestina de cana de açúcar de 95/96 foi de aproximadamente 47.957.667 toneladas, e com 14.387.300 toneladas de bagaço com 50% de umidade. Retirando-se a umidade, fica-se com um quantitativo de 7.193.650 toneladas de bagaço seco. Se a totalidade deste bagaço fosse utilizada para a geração de GDB a 1000 °C, produzir-se-ia cerca de 4.675.872.500 m³ com um poder calorífico inferior de 12,84 MJ/m³, perfazendo um total de energia disponível em forma de gás de 60.038.202.900 MJ. Este quantitativo de energia disponível equivale à produzida por 1.774.178.573 m³ de gás natural (GN). Como a produção nordestina de gás natural média, onshore e offshore, é de aproximadamente 4.305.394.000 m³ de GN por ano, a energia do GDB equivale a 41,2 % de todo o gás natural produzido no nordeste. Uma vez produzido o GDB, este poderá ser utilizado localmente ou distribuído através de gasoduto para localidades fora do local de produção, como substituto energético do gás natural.

O GDB tem a vantagem de ser um combustível renovável e disponível localmente, podendo ser ainda um fator de desenvolvimento regional e de fixação do homem no campo.

O GDB pode vir a ser um substituto do GN em aplicações onde ele é utilizado diretamente, como por exemplo, para fornecimento de calor, ou seja, como combustível para caldeiras e fornalhas, com adaptações dos queimadores para queima de um gás mais pobre, energeticamente falando. Também necessita regular a quantidade de oxigênio necessária à sua queima, já que precisará de menos combustível para queimá-lo. E o excesso de oxigênio, neste caso, fará com que a temperatura da chama seja menor que nas aplicações que originalmente utilizavam gás natural, daí a necessidade de regular o excesso de ar.

Em aplicações para geração de energia elétrica, o GDB pode ser utilizado como combustível em motores de combustão interna (MCI), com um rendimento aproximado de 40%, ou injetado na câmara de combustão de uma turbina a gás para geração de energia elétrica, sendo o calor rejeitado pela turbina utilizado para geração de vapor adicional numa caldeira de recuperação de calor., como mostra a Figura 1.

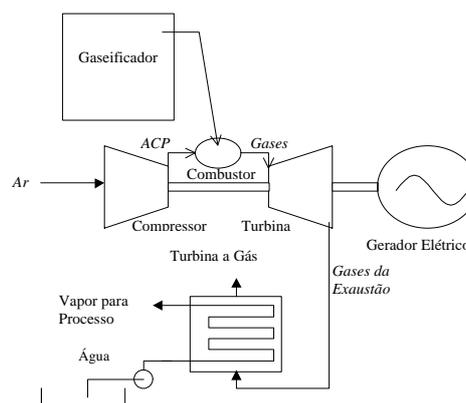


FIGURA 1 – Turbina a Gás, com Caldeira de Recuperação de Calor e Gaseificador

O vapor produzido pode ser utilizado para processo, aquecimento ou ainda para acionamento mecânico de algum dispositivo mecânico, num ciclo de cogeração, ou ainda ser utilizado para acionar uma turbina a gás, gerando um adicional de energia elétrica, num ciclo combinado.

Se todo o GDB produzido no Nordeste, fosse utilizado para gerar energia elétrica, num ciclo combinado com rendimento esperado de 45 a 50%, poder-se-ia gerar cerca de 3426,84 GWh-ano, equivalente a produção de 1057 MW médios, com um fator de capacidade de 90%. Esta energia seria equivalente à energia assegurada da Usina Hidrelétrica de Itaparica da CHESF (3).

6.0 CONCLUSÃO

Tecnicamente, a produção de GDB é uma alternativa viável e de grande perspectiva de utilização no futuro, como um provável substituto do gás natural. Pode ser dado um melhoramento (upgrade) energético ao GDB, retirando de sua composição os combustíveis de baixo ou nenhum poder calorífico. Porém, esta tecnologia, embora utilizada atualmente nas plantas de processamento de gás natural, é uma alternativa cara e poderá tornar o GDB economicamente inviável.

Mesmo que comprovada a sua eficiência na escala laboratorial, se faz necessária a implantação de um projeto piloto para fazer um estudo detalhado da viabilidade econômico-financeira para produção do GDB, ou ainda para geração de eletricidade usando-o como combustível, inclusive para estudar as questões operacionais.

Uma vez comprovada a sua viabilidade de produção, o GDB representará um grande ganho para a região Nordeste, uma vez que seu potencial hidrelétrico competitivo se encontra esgotado, e a busca de novas fontes de energia locais é de extrema importância para a garantia do desenvolvimento nordestino.

Além do seu potencial energético, o fato de ser um recurso renovável, de baixo impacto ambiental em relação ao gás natural, pois, o dióxido de carbono gerado na combustão do GDB, é consumido pelo canavial na sua fase de crescimento, no processo de fotossíntese. Adicionalmente, o fato do número de empregos criados ser bastante superior ao gerado por uma refinaria ou unidade de produção de gás natural, torna o bagaço de cana e o GDB importantes vetores para o desenvolvimento econômico e social da região Nordeste.

7.0 AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de expressar o seu agradecimento ao Dr. Alex Green, diretor do Clean Combustion Technology Laboratory da Universidade da Florida, por sua supervisão e apoio durante os seus estudos de doutoramento realizados naquele laboratório. O CNPq por ter concedido a bolsa de doutorado no exterior; A CHESF e a Universidade de Pernambuco - Escola

Politécnica por terem permitido que o autor se ausentasse pelo período do seu doutorado.

8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) PERES, S.,. Catalytic Indirectly heated Gasification of Bagasse, Ph.D. Thesis, Universidade da Florida, Gainesville , Estados Unidos, 1997.
- (2) REVISTA BRASIL ENERGIA –Nº 249, - Produção Mensal de Óleo e Gás (onshore e offshore) ,Página 64, 1999.
- (3) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Resolução nº453 – Anexo I, de 30 de Dezembro de 1998.

9.0 DADOS BIBLIOGRÁFICOS

Sérgio Peres Ramos da Silva, nascido em Recife em 1959. Graduado em Engenharia Mecânica pela UFPE, Recife, em Julho de 1981; Ph.D. em Engenharia Térmica pela Universidade da Flórida, Gainesville – Estados Unidos, em 1997. Mestre em Mecânica Aplicada e Especialista em Tecnologia de Turbinas a Gás, pelo Cranfield Institute of Technology, Cranfield – Inglaterra,1987 e 1990. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco desde 1989 e Engenheiro da CHESF, desde 1981, na Divisão de Estudos e Planejamento da Expansão da Geração. Publicou mais de 30 artigos técnicos na área de geração de energia.