

# MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO ENERGÉTICO NA ETAPA DE EXTRAÇÃO DE CALDO EM INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS

A. L. VIEIRA<sup>1</sup>, C.M.G. ANDRADE<sup>1</sup>, W.A.S. CONCEIÇÃO<sup>2</sup> e L.F. LIMA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Mecânica

<sup>3</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Química

E-mail para contato: pg51297@uem.br

**RESUMO** – O Brasil passou, e passa, por problemas na geração de energia elétrica. O governo brasileiro tem promovido políticas para implementação de outras formas de energia para, de modo rápido, suprir esta necessidade energética. A produção de energia elétrica a partir de biomassa (energia renovável) tem fornecido 15,4% (2012) à cadeia energética do país. Dentro deste cenário, este trabalho visa comparar eficiências energéticas de equipamentos geradores e transformadores de energia na indústria sucroalcooleira, no setor de extração de caldo, por meio de um ambiente gratuito de simulação no estado estacionário, Cape Open to Cape Open (COCO). Conclui-se por meio de comparações entre os resultados do simulador e dados reais de processo de indústrias sucroalcooleiras, que os equipamentos que trabalham a vapor apresentam eficiência energética muito baixa se comparadas àqueles acionados por motores elétricos, sendo assim, necessárias suas corretas manutenções ou, de preferência, sua substituição.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil passou por interrupções e falta na distribuição de energia elétrica “apagão” no início do século XXI (2001 e 2002) e, por conseguinte, iniciou-se uma crise energética, onde o governo federal precisou atuar numa atitude emergencial. Esta interrupção ocorreu devido aos baixos índices pluviométricos (baixos níveis de água nos principais reservatórios do país) e falta de planejamento e investimentos em geração e distribuição de energia elétrica. A partir de 2004, o governo federal instituiu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) com objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimento concebido com base em fonte eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

Contudo, este Programa não conseguiu acompanhar o crescimento industrial e populacional do Brasil durante o período compreendido entre 2004 e 2014, provocando novamente uma nova crise energética. A matriz energética brasileira ainda é predominantemente hídrica (80,55%, segundo dados do IEA, 2011). Porém, a energia gerada pela força da água está mudando. Devido ao rigor de leis ambientais recentes, usinas com reservatório – que têm altos impactos ambientais e sociais – não devem mais existir no país. A maioria das novas hidrelétricas será a fio d’água. “É dentro desse marco que o Brasil construiu as usinas de Santo Antônio, Girau, Belo Monte e que

vai construir outras, sempre respeitando o meio ambiente, porque é a fonte mais barata que se pode ter nesse momento”, explica o coordenador da UFRJ, (Castro, 2013).

A produção de cana-de-açúcar transformou-se nos últimos anos em uma das principais culturas da economia brasileira. Ela conquista espaço de destaque no cenário do agronegócio brasileiro, alcançando, segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a segunda posição em valor de produção, respondendo por 20,1% do valor total dos produtos agrícolas brasileiros entre o período de 2010 e 2011 (IBGE, 2012).

A agroindústria canavieira do Brasil distingue-se das dos outros países por produzir em escala industrial tanto açúcar quanto álcool e, mais recentemente, energia elétrica cogerada de bagaço de cana. A característica de aproveitamento múltiplo de cana-de-açúcar, cujos produtos intermediários e finais são dotados de grande versatilidade, torna bastante complexa o planejamento e a organização dessa cadeia produtiva. O tamanho, grau de integração entre agricultura e indústria, volume de produção e de exportação, além do poder político e econômico dos agentes envolvidos, dão peculiar característica à agroindústria canavieira brasileira (Moraes e Shikida, 2002).

As usinas no Brasil são autossuficientes em termos energéticos, utilizando o bagaço da cana-de-açúcar como combustível em sistemas de cogeração para produzir a energia térmica, mecânica e elétrica necessárias ao processo produtivo. Por meio de uma correta integração energética dos processos, é possível gerar um excedente de energia elétrica para injetar no sistema de distribuição local. Esta possibilidade de exportar energia elétrica levou as usinas sucroalcooleiras a aprimorar suas tecnologias de produção, no sentido de diminuir o consumo energético da planta e maximizar a eletricidade gerada. Tal medida teve como resultado, excedentes de energia elétrica, que chegaram a alcançar dois terços da energia gerada (Neto, 2001).

Nos últimos anos, o setor sucroalcooleiro tem demonstrado um grande potencial de geração elétrica aportando 7,2 GW à matriz energética nacional, que corresponde a 5,8% de toda a matriz energética em operação, com uma perspectiva de crescimento de 17GW de potência instalada até 2015/2016, esta potência é superior se comparada à potência nominal da Usina Hidroelétrica de Itaipu (UNICA, 2012).

Desta forma, uma preocupação inexistente com relação à economia de energia elétrica, pois a indústria sucroalcooleira era autossuficiente, começou a se tornar necessária. Equipamentos mais econômicos e eficientes começaram a ser mais interessantes, mesmo possuindo um custo maior.

Na indústria sucroalcooleira, o processo de extração tem mostrado um alto consumidor de energia dentro da cadeia de produção de açúcar, álcool, energia e subprodutos, necessitando novas tecnologias para os equipamentos de extração, otimização do processo e aprimoramento dos equipamentos existentes.

Este trabalho vem auxiliar na análise do desempenho energético dos equipamentos acionadores dos ternos de moenda nas indústrias sucroalcooleiras, mostrando a sua real situação com auxílio do simulador COCO (CAPE-OPEN TO CAPE OPEN) que dentre todas as vantagens, trata-se de um software gratuito.

## 1.1. Processo de Extração de Caldo da Cana-de-açúcar

A extração do caldo da cana consiste no processo físico de separação da fibra (bagaço), sendo feito, fundamentalmente, por meio de dois processos: moagem (Figura 1) ou difusão (Figura 2), (Alcarde, 2014).



Figura 1 – Conjunto de extração por meio de ternos de moendas



Figura 2 – Conjunto de extração por meio de difusores

Nesta fase de processamento da cana, o objetivo principal é extrair ao máximo o açúcar contido na cana através da remoção de seu caldo. Esta remoção é conseguida por meio de sucessivos esmagamentos da camada de bagaço à medida que esta camada passa pelos ternos de moenda (GVO, 2007).

Na extração por moagem, a separação é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre a camada de cana desfibrada. Na difusão, a separação é feita pela lavagem da sacarose absorvida na camada de cana, (Alcarde, 2014).

## 1.2. Simuladores de Processos

Simulação consiste na utilização de determinadas técnicas que permitem a geração de cenários reais, a partir dos quais se pode: orientar o processo de tomada de decisão, proceder a análises e avaliações de sistemas e propor soluções para a melhoria de desempenho. Sendo que, todos estes procedimentos podem ter por conotação técnicos e, ou, econômicos, (Silva, 2005).

## 2. METODOLOGIA

Primeiramente, foi criada no simulador COCO (ambiente gratuito de simulação no estado estacionário) uma representação do cenário real dos equipamentos transformadores de energia (turbinas) na extração de caldo da cana-de-açúcar de uma unidade sucroalcooleira, conforme Figura 3.

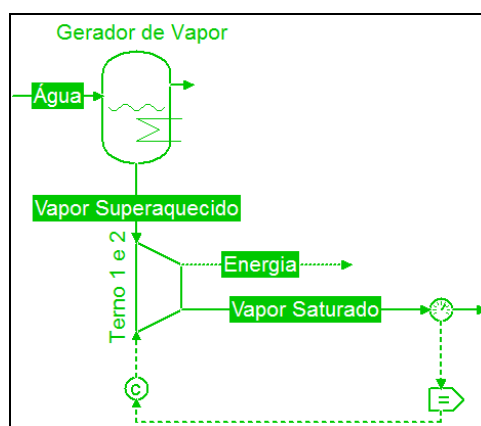


Figura 3 – Gerador e Turbina da Moenda

Foram utilizados dados reais de quatro unidades sucroalcooleiras reais, sendo que suas identificações são mantidas em anonimato como forma de proteção industrial.

A partir dos dados reais da indústria sucroalcooleira e dos dados obtidos do simulador foi realizada a discussão e chegada às respectivas conclusões.

Unidade A apresenta uma moagem horária de 300 toneladas de cana-de-açúcar com 12,5% de fibra e todos os acionamentos são a vapor. A moenda é composta por 6 ternos sendo que uma turbina aciona 2 ternos.

Usina B apresenta uma moagem horária de 250 toneladas de cana-de-açúcar com 12,5% de fibra e todos os acionamentos são a vapor. A moenda é composta por quatro ternos sendo que uma turbina aciona dois ternos.

Usina C apresenta uma moagem horária de 235 toneladas de cana-de-açúcar com 13% de fibra e todos os acionamentos são a vapor. A moenda é composta por quatro ternos sendo que uma turbina aciona dois ternos.

Usina D apresenta uma moagem horária de 245 toneladas de cana-de-açúcar com 12,5% de fibra e todos os acionamentos são a vapor. A moenda é composta por seis ternos individuais

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 são apresentados os dados reais das quatro indústrias, que foram identificadas como A, B, C e D.

Tabela 1 – Dados reais da unidade A

Turbinas	Entrada		Saída		Vazão (ton/h)
	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	
Terno 1 e 2	302	21	220	1,5	9,75
Terno 3 e 4	305	21	220	1,5	9,75
Terno 5 e 6	304	21	218	1,5	9,75

Tabela 2 – Dados reais da unidade B

Turbinas	Entrada		Saída		Vazão (ton/h)
	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	
Terno 1 e 2	320	21	225	1,5	11,33
Terno 3 e 4	320	21	224	1,5	11,33

Tabela 3 – Dados reais da unidade C

Turbinas	Entrada		Saída		Vazão (ton/h)
	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	
Terno 1 e 2	300	21	205	1,45	11,5
Terno 3 e 4	300	21	210	1,45	16,2

Tabela 4 – Dados reais da unidade D

Turbinas	Entrada		Saída		Vazão (ton/h)
	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Pressão (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	
Terno 1	290	21,94	180	1,55	13,2
Terno 2	290	21,94	179	1,55	13,2
Terno 3	290	21,94	190	1,55	13,2
Terno 4	290	21,94	191	1,55	13,2
Terno 5	290	21,94	193	1,55	13,2
Terno 6	290	21,94	183	1,55	13,2

Nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 são apresentados os dados de eficiência isentrópica calculados a

partir do simulador para as quatro unidades.

Tabela 5 – Eficiência isentrópica através do simulador da unidade A

Turbinas	Eficiência isentrópica (%)
Terno 1 e 2	48,94
Terno 3 e 4	51,59
Terno 5 e 6	52,41

Tabela 6 – Eficiência isentrópica através do simulador da unidade B

Turbinas	Eficiência isentrópica (%)
Terno 1 e 2	60,14
Terno 3 e 4	60,98

Tabela 7 – Eficiência isentrópica através do simulador da unidade C

Turbinas	Eficiência isentrópica (%)
Terno 1 e 2	62,71
Terno 3 e 4	58,49

Tabela 8 – Eficiência isentrópica através do simulador da unidade D

Turbinas	Eficiência isentrópica (%)
Terno 1	76,46
Terno 2	77,41
Terno 3	67,01
Terno 4	66,06
Terno 5	64,18
Terno 6	65,12

Nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 são apresentados os dados de temperaturas e potências tanto reais quanto os simulados para as quatro unidades.

Tabela 9 – Comparativo entre variáveis simuladas e variáveis reais da unidade A

Turbinas	Temperatura Simulada (°C)	Temperatura real (°C)	Potência Simulada (HP)	Potência Real (HP)
Terno 1 e 2	187	220	415	650

Tabela 9 – Comparativo entre variáveis simuladas e variáveis reais da unidade A (continuação)

Turbinas	Temperatura Simulada (°C)	Temperatura real (°C)	Potência Simulada (HP)	Potência Real (HP)
Terno 3 e 4	191	220	440	650
Terno 5 e 6	190	218	446	650

Tabela 10 – Comparativo entre variáveis simuladas e variáveis reais da unidade B

Turbinas	Temperatura Simulada (°C)	Temperatura real (°C)	Potência Simulada (HP)	Potência Real (HP)
Terno 1 e 2	198	225	615	839
Terno 3 e 4	198	224	623	839

Tabela 11 – Comparativo entre variáveis simuladas e variáveis reais da unidade C

Turbinas	Temperatura Simulada (°C)	Temperatura real (°C)	Potência Simulada (HP)	Potência Real (HP)
Terno 1 e 2	138	205	634	1210
Terno 3 e 4	179	210	832	1210

Tabela 12 – Comparativo entre variáveis simuladas e variáveis reais da unidade D

Turbinas	Temperatura Simulada (°C)	Temperatura real (°C)	Potência Simulada (HP)
Terno 1	180	180	814
Terno 2	179	179	824
Terno 3	190	190	713
Terno 4	191	191	703
Terno 5	193	193	683
Terno 6	192	183	693

## 4. CONCLUSÃO

As eficiências se mostraram muito baixas se comparadas com a capacidade total de produção de cada equipamento.

A partir dos dados calculados de eficiência isentrópica através do simulador COCO, conclui-se que em todas as usinas há uma perda energética que pode ser otimizada através de substituição



das turbinas a vapor por acionamento com motores elétricos ou melhoria no desempenho das turbinas a vapor.

Com esta melhora no desempenho energético das indústrias, consegue-se otimizar o balanço de energia e com isto há um acréscimo na energia elétrica disponível e com isto aumento da demanda para o sistema elétrico.

## 5. REFERÊNCIAS

ALCARDE, A. R. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2005. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_103\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_103_22122006154841.html)>. Acesso em: 05 maio 2014, 18h18min.

CASTRO, N. Produção de energia no Brasil segue concentrada nas hidrelétricas. GloboNews, 2013. Disponível em: <<http://m.g1.globo.com/globo-news/noticia/2013/06/producao-de-energia-no-brasil-segue-concentrada-nas-hidreletricas.html>>. Acesso em: 05 maio 2014, 17h57min.

GVO. GVO Extração do Caldo, 2007. Disponível em: <[http://www.mecatronica.eesc.usp.br/wiki/index.php?title=GVO\\_Extra%C3%A7%C3%A3o\\_do\\_Caldo&redirect=no&printable=yes](http://www.mecatronica.eesc.usp.br/wiki/index.php?title=GVO_Extra%C3%A7%C3%A3o_do_Caldo&redirect=no&printable=yes)> Acesso em 05 maio 2014, 18h38min.

<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?&country=BRAZIL&year=2011&product=ElectricityandHeat>. Acesso em: 05 maio 2014, 18h39min.

IBGE. Área cultivada no Brasil alcança 68 milhões de hectares, 2012. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/geral/noticias/detalhe/area-cultivada-no-brasil-alcanca-68-milhoes-de-hectares/25307>>. Acesso em 05 maio 2014, 18h35min.

MORAES, M. A. F. D.; SHIKIDA, P. F. A. *Agroindústria Canavieira no Brasil*. São Paulo: Atlas S.A., 2002.

NETO, V. C. “Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural.” *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Março de 2001.

SILVA, L. C. Simulação de Processos. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: <<http://www.agais.com/simula.htm>>. Acesso em: 05 maio 2014, 17h55min.

Unica. União da Indústria de Cana-de-açúcar. 2012. Disponível em: <http://www.unica.com.br/content/default.asp?cchCode=%7bC2B8C535-736F-406B-BEB2-5D12B834EF59%7d>. Acesso em 03 out. 2012, 9h50min.