

Otimização Técnica e financeira de uma planta de cogeração de açúcar e álcool trabalhando com cargas variáveis.

Heber Claudius Nunes Silva, heber.nsilva@yahoo.com.br
Fábio Santana Magnani, magnani@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco

Resumo: *Na otimização de projetos, há dois aspectos que são muito importantes, os aspectos financeiro e técnico. Bem como abordar na fase de projeto, condições fora das condições de projetos, analisar o comportamento da planta fora das suas condições normais de operação. A estimativa de custos exatos e características técnicas reais dos equipamentos aumentam o tempo e o custo do projeto. São poucos os estudos que analisam o mesmo projeto pelos dois focos, financeiro e técnico. O objetivo principal desse artigo é analisar a viabilidade da construção de plantas, mais flexíveis do ponto de vista técnico e financeiro, que se adaptem as mudanças de cargas, ou alterações na planta ao longo do tempo. Ou plantas de custos fixos, onde há variações de cargas. Isso foi feito através da análise de índices técnicos (como energético e exergético), e através de parâmetros financeiros tais como VPL e TIR, que permitem fazer uma análise do tempo estimado para o retorno do investimento. Além de variar a carga, varia-se o mix de álcool e açúcar, pra saber qual seria a opção mais interessante e qual dos subprodutos tem maior influência sobre a parte econômica. O objeto de estudo é uma planta de cogeração com potência média de 70MW, composta por uma caldeira, uma turbina de contrapressão, e uma turbina de condensação, que fornecem vapor de seu escape para o processo de fabricação de açúcar e álcool. Foi observada uma redução na potência gerada pelas turbinas quando há um aumento no consumo da fábrica. O Fator de utilização de Energia, que leva em consideração a parte elétrica e térmica da energia não apresentou a mesma tendência do modelo econômico.*

Palavras-chave: *Cogeração, análise financeira, análise energética.*

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados apresentados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Pesquisa) em seus relatórios dos últimos anos, a população brasileira vem crescendo. Com esse aumento populacional, aumenta-se também a necessidade de energia. Pode-se observar este efeito no mercado energético, com o aumento da oferta de energia e da diversificação da matriz brasileira. A oferta de energia interna atingiu no ano de 2008 a marca de 252,2 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), um aumento percentual de 5,6% em relação ao ano anterior. Gás natural e produtos da cana de açúcar tiveram crescimentos de 16,9% e 9,1%, respectivamente segundo o balanço nacional energético (BEN 2009). As plantas à cana de açúcar são uma alternativa sustentável, bastante interessante tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental. Nos últimos anos os governos dos grandes países têm mostrado certa preocupação com essa questão ambiental, uma mostra disso é o protocolo de Quioto. No Brasil há cerca de 250 usinas de cana de açúcar, segundo dados apresentados pela UNICA (União da Agroindústria Canavieira de São Paulo), que utilizam o bagaço da cana como combustível para geração de vapor utilizada no processo de produção de álcool e açúcar. Devido à grande quantidade de bagaço disponível, ainda gera-se vapor necessário para a produção de energia, que supre a necessidade da planta e pode ser vendida para uma concessionária segundo Lora e Andrade(2007). Pode-se valer também da venda de créditos de carbono de acordo com Lora e Andrade (2009).

Foram observados alguns trabalhos relacionados com o tema. Isam H. Aljundi (2008) apresenta a análise energética e exergética de uma planta com 7 turbinas a vapor e 2 turbinas a gás em AL-Hussein na Jordânia, totalizando uma potência instalada de 396 MW, neste artigo são encontrados os principais pontos de irreversibilidade da planta e analisado o efeito da variação da temperatura ambiente nos principais equipamentos. S.C. Kamate a,*, P.B. Gangavati (2008) apresentam uma análise exergética de uma planta de cogeração típica de 2500 toneladas de cana por hora, empregada na avaliação e identificação de perdas termodinâmicas. Neste artigo foram variadas as condições de geração de vapor, e descoberto a partir de quais condições de geração não há um grande aumento no rendimento global da usina. Campo et AL (1998) fazem uma análise termoeconômica de uma usina de cana de açúcar cubana, usando dois tipos diferentes de atribuição de custos são usados, o método da extração e o método da igualdade, para avaliar financeira e exergeticamente os custo de cada fluxo do sistema. Bocci et al (2007) este artigo se investiga as eficiências energéticas da planta, uma planta relativamente antiga, avalia-se possibilidade da alteração da pressão e da temperatura de trabalho,

de melhorias que poderiam ser implementadas no ciclo, de forma a aumentar o rendimento global e energético. Para o rendimento levando em consideração a parte cogenerativa da usina ainda sem melhorias, foi encontrado um rendimento de 56%, enquanto a parte apenas elétrica obteve-se 4,4%. Knight et AL (2004) descreve uma análise termoeconômica feita numa planta de turbina a gás. Há muitos outros trabalhos que se preocupam com o estudo de viabilidade energética, econômica de plantas de geração de energia, além da preocupação ambiental também.

O trabalho apresentado a seguir começa com uma breve descrição da planta estudada, seguida da apresentação dos casos estudados e dos parâmetros considerados nos casos estudados. A seguir tem-se a formulação do problema com a apresentação das principais equações utilizadas na simulação dos casos. Neste artigo será feita a variação de dois parâmetros bem importantes numa usina de cana de açúcar. O primeiro é o consumo de vapor da fábrica de álcool e açúcar e o outro é a safra da cana que pode ser aumentada ou diminuída. A planta acompanhará a variação desses parâmetros, distribuindo de vapor entre suas turbinas e o consumo de bagaço sempre será o máximo disponível. Os preços adotados de venda de álcool e açúcar foram baseados na média dos preços nos últimos disponíveis no site da UNICA.

2. DESCRIÇÃO DA PLANTA

A planta estudada foi uma planta planejada e projetada para gerar 70MW nominal. Localizada no sudeste brasileiro, onde há muitas usinas de cana de açúcar. A figura (1) mostra esquematicamente o ciclo térmico da planta. Nela há duas turbinas, uma de contrapressão de 50 MW, que geraram energia e o vapor de seu escape é destinado a moagem, e mais uma de condensação, destinada totalmente a geração de energia, com 20 MW nominal. Há uma caldeira com capacidade de 400 toneladas de vapor por hora. Parte do vapor utilizado na turbina de contrapressão é utilizada nas moendas e no processo de fabricação de álcool e açúcar. A estimativa da moagem horária é de 734 toneladas de cana por hora e que o consumo de vapor da fábrica atualmente seja de 420 quilogramas de vapor por tonelada de cana. Na caldeira há uma parte do fluido bombeado que é rejeitado para manter os níveis de sólidos no condensado, esse descarte representa aproximadamente 4% da vazão gerada de vapor da caldeira.

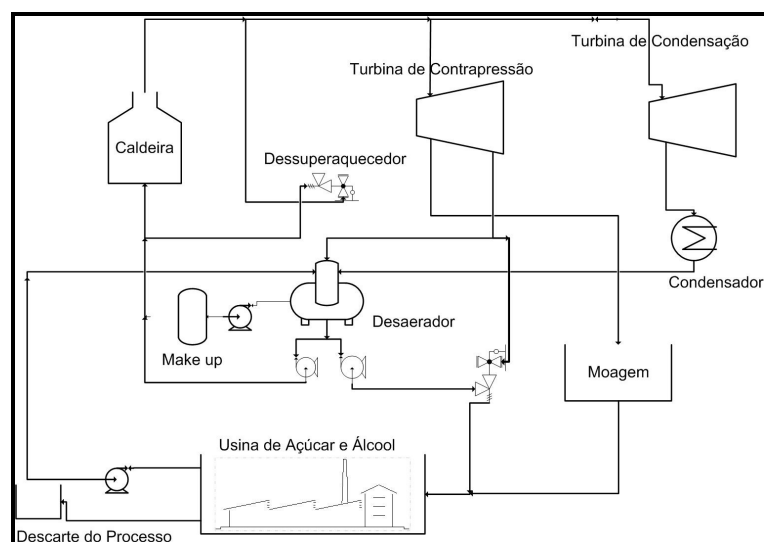


Figura 1 – Fluxograma da Planta

O combustível utilizado no processo é o bagaço da cana moída no processo de moagem, as principais características do combustível são listadas na tabela (1).

Tabela 1. Combustível – Bagaço de Cana de açúcar

Composição do Combustível (% Peso)	Carbono (C)	47
	Hidrogênio (H ₂)	6,5
	Oxigênio (O ₂)	44
	Cinzas	2,5
Faixa de Umidade	(%)	48/54
Fibra	(%)	24 ⁽¹⁾
Poder Calorífico Inferior Médio	(kJ/kg)	7398,6
Poder Calorífico Superior Médio	(kJ/kg)	9405,0

(1) Na região Sudeste 24% da cana de açúcar é fibra, em média, este valor foi informado pelo proprietário da usina.

Na tabela (2), os principais parâmetros dos equipamentos do ciclo estudado são apresentados. A caldeira trabalha a uma pressão de 67 bar (a) e uma temperatura de 515°C. No desaerador foi adotada uma temperatura média de saída de 110°C. A temperatura de saída das turbinas de contrapressão é estimada em torno de 320°C. A pressão de saída delas é bem alta, devido à necessidade de altas pressões nas turbinas da moagem, a pressão demandada pelo processo é a mesma de saída das turbinas, 23 bar (a). A Temperatura da água das torres de resfriamento têm um aumento de 10°C após o condensador.

Tabela 2. Dados de Equipamentos

Ponto do Equipamento	Vazão Mássica (t/h)	Pressão (bar (a))	Temperatura (°C)	Estado do Fluido
Entrada Caldeira	405	90	110	Água Quente
Saída Caldeira	405	67	515	Vapor Superaquecido
Entrada Turbina de Contrapressão	328	65	510	Vapor Superaquecido
Extração Turbina de Contrapressão	178	23	320	Vapor Superaquecido
Escape Turbina de Contrapressão	150	2,5	150	Vapor Superaquecido
Entrada Turbina de Condensação	70	65	515	Vapor Superaquecido
Extração da Turbina de Condensação	0	2,5	190	Vapor Superaquecido
Escape da Turbina de Condensação	70	0,1	Temperatura de Saturação (Título \approx 92%)	Vapor Saturado
Torre de Resfriamento	4000	5	29	Água Fria

3. EQUAÇÕES

As equações de (1) a (9) foram usadas no processo de análise financeira, energética e exergetica da planta selecionada.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (1)$$

ψ é a exergia específica [kJ/kg]

h é a entalpia específica [kJ/kg]

s é a entropia específica [kJ/kg.K]

h_0 é a entalpia específica do estado morto [kJ/kg]

s_0 é a entropia específica do estado morto

T_0 é a temperatura do estado morto [25°C]

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \quad (2)$$

\dot{m}_i é a vazão mássica do estado i [kg/s]

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_s h_s - \sum \dot{m}_e h_e \quad (3)$$

\dot{Q} é a taxa de calor transferida para/pelo sistema [kW]

\dot{W} é a taxa de trabalho realizado para/pelo sistema [kW]

$$\dot{X}_{calor} - \dot{W} = \sum \dot{m}_s \psi_s - \sum \dot{m}_e \psi_e + \dot{I} \quad (4)$$

\dot{X} é a taxa de exergia transferida em forma de calor [kW]

\dot{I} é a irreversibilidade do sistema [kW]

$$FUE_{I,CICLO} = \frac{\sum \dot{W}_{SAIDA} + \sum \dot{H}_{PROCESSO}}{\dot{E}_{COMB}} \quad (5)$$

$FUE_{I,CICLO}$ é o fator de utilização de energia do ciclo levando em consideração primeira lei [adimensional]

\dot{E}_{COMB} é a taxa de energia do combustível que está entrando no sistema [kW]

$$FUE_{II,CICLO} = \frac{\sum \dot{W}_{SAIDA} + \sum \dot{X}_{PROCESSO}}{\dot{X}_{COMB}} \quad (6)$$

$FUE_{II,CICLO}$ é o fator de utilização de energia do ciclo levando em consideração segunda lei [adimensional]

\dot{X}_{COMB} é a taxa de exergia do combustível que está entrando no sistema [kW]

$$FC(j) = \sum_{j=0}^N \text{entradas}(j) - \sum_{j=0}^N \text{despesas}(j) \quad (7)$$

$$VPL = \text{Investimento Inicial} + \sum_{j=0}^N \frac{FC(j)}{(1+i)^j} \quad (8)$$

$$\sum_{j=0}^N \frac{FC(j)}{(1+TIR)^j} + \text{Investimento inicial} = 0 \quad (9)$$

$FC(j)$ fluxo de caixa do ano j [R\$]

N é o número de anos simulados.

VPL é o valor presente líquido do investimento [R\$]

TIR é a taxa interna de retorno do investimento [%]

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Para as análises e discussão dos casos estudados, foram feitos estudos baseados nas leis da termodinâmica e na análise financeira. Todos os estados termodinâmicos do ciclo foram determinados, bem como seus fluxos exergéticos e energéticos. Já foram listadas as principais equações utilizadas durante a análise, nas equações de (1) à (9), que fazem parte da modelagem do sistema. Na equação (1) tem-se a definição usada para exergia específica do estado. Também foram usadas a equação da conservação de massa, a primeira lei da termodinâmica, segunda lei da termodinâmica e um balanço exergético. Através desses parâmetros pode-se calcular os rendimentos energéticos e exergéticos, tanto do ciclo completo, quanto de cada equipamento. Nas equações (5) e (6) estão definidos os fatores de utilização de energia, FUE, que é a razão da energia que sai em forma de calor e energia elétrica, pela energia de combustível, o FUE também foi calculado em forma exergética, dado pela razão entre a exergia que sai e que entra no sistema. Para o cálculo da exergia do combustível foi utilizada a equação do livro do Kotas (1985).

Foram selecionados dois parâmetros para análise financeira desse projeto, a TIR (taxa interna de retorno) e o VPL (valor presente líquido). A primeira etapa desse processo foi o levantamento dos custos fixos e variáveis do processo como um todo, e dos possíveis rendimentos com as vendas dos subprodutos da planta. Feito isso foi calculado o Fluxo de caixa, que é a soma das diferenças mensais entre despesas e receitas. O VPL representa o valor atual da dívida. Já a TIR é uma taxa comparativa, que é geralmente comparada com a taxa de mercado ou a TMA (Taxa mínima de atratividade), se a TIR estiver abaixo desse valor, o investimento é considerado não interessante do ponto de vista comercial. A taxa de mercado adotada neste trabalho foi de 10%. Todos os parâmetros citados estão definidos nas equações (7), (8) e (9).

Na tabela (3) estão descritos os casos considerados no estudo. Na primeira etapa serão estudados vinte e oito casos diferentes, variando-se dois parâmetros da planta. O coeficiente de expansão da safra, que indica se a planta está produzindo mais ou menos cana de açúcar. Para um coeficiente menor que um, há redução na safra, maior que um, há expansão da mesma. O outro é o consumo específico de vapor da fábrica. Ao longo dos anos as plantas de açúcar e álcool precisam de mais vapor para produzir a mesma quantidade de seus produtos, esse parâmetro indica o aumento da necessidade de vapor da fábrica. Na tabela a seguir os casos estão indicados matricialmente, casos (i,j) , com i variando

de 1 à 7 e j variando de 1 à 4. O termo i refere-se ao coeficiente da safra. Já o j refere-se ao consumo específico, quanto maior o consumo maior o índice. Por simplificação foram usadas as seguintes siglas para representar as variáveis analisadas, CES para Coeficiente de Expansão da Safra e CVU para Consumo de Vapor da Usina

Tabela 3. Casos Estudados

Caso (i; j)		j			
		1	2	3	4
i	1	CES = 0,7 CVU = 380	CES = 0,7 CVU = 400	CES = 0,7 CVU = 420	CES = 0,7 CVU = 450
	2	CES = 0,8 CVU = 380	CES = 0,8 CVU = 400	CES = 0,8 CVU = 420	CES = 0,8 CVU = 450
	3	CES = 0,9 CVU = 380	CES = 0,9 CVU = 400	CES = 0,9 CVU = 420	CES = 0,9 CVU = 450
	4	CES = 1,0 CVU = 380	CES = 1,0 CVU = 400	CES = 1,0 CVU = 420	CES = 1,0 CVU = 450
	5	CES = 1,1 CVU = 380	CES = 1,1 CVU = 400	CES = 1,1 CVU = 420	CES = 1,1 CVU = 450
	6	CES = 1,2 CVU = 380	CES = 1,2 CVU = 400	CES = 1,2 CVU = 420	CES = 1,2 CVU = 450
	7	CES = 1,3 CVU = 380	CES = 1,3 CVU = 400	CES = 1,3 CVU = 420	CES = 1,3 CVU = 450

Para os casos (4;j) a moagem horária da cana é de 734 toneladas de cana por hora. Para o caso base, caso (4;3) a potência gerada é de aproximadamente 70MW. Nos casos (i;1) a planta está com seu consumo reduzido, imagina-se uma planta nova e bem projetada para esses números no caso (7;1) esta mesma planta atinge o máximo de produção de cana de açúcar dentro os casos de sua família. O máximo de consumo e produção de cana dá-se no caso (7;4). A potência é sempre um dado de saída desses problemas, ou seja, para cada caso diferente prevê-se uma potência gerada diferente.

Na segunda parte da simulação, foram utilizados os dados energéticos já adquiridos da primeira parte, foi feita simulação da variação dos produtos da usina, para o mesmo vapor entregue. Como seria financeiramente falando, se a empresa produzisse apenas álcool e energia ou apenas açúcar e energia para venda. A segunda parte visa mais a parte econômica do processo. Esse estudo de viabilidade é bastante complicado, pois os preços tanto do açúcar como álcool são muito variáveis. O ideal seria um cálculo *online*, sempre que necessário fosse feito que os preços atuais. Nesta simulação foi feita a média dos preços dos últimos anos da saca de açúcar e do álcool anidro disponíveis no site da UNICA. A figura (2) mostra uma idéia de como variam os preços do álcool ao longo do tempo. Nos eixos x das figuras (1) e (2) estão apresentadas as datas dos dados apresentados, o número é composto por 6 números os 4 primeiros representam o ano e os dois últimos o mês em que ocorreu o determinado preço.

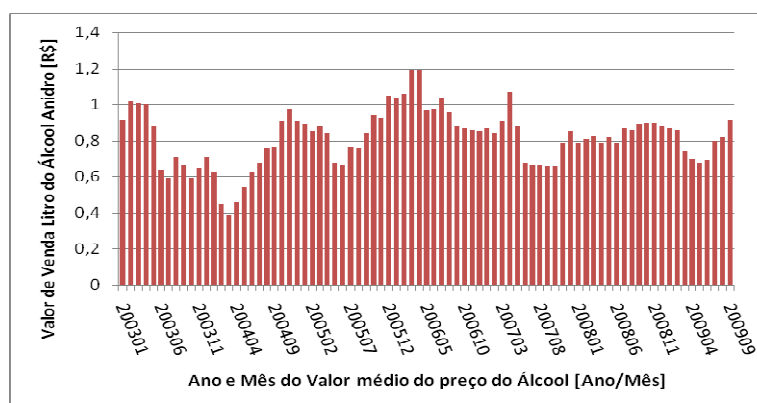


Figura 2. Variação do Preço do álcool ao longo dos anos. [Fonte: www.unica.com.br]

Feita a média desses valores obteve-se os seguintes preços médios para álcool e açúcar respectivamente, R\$ 0,82 por litro e R\$ 26,23 por saco.

Da primeira para a segunda análise apenas os parâmetros financeiros foram alterados, todos os parâmetros energéticos foram mantidos. Devido a isso todos os rendimentos e eficiências calculados se mantiveram. Na figura (4) estão mostradas as potências atingidas alguns casos. Nota-se que a potência elétrica gerada mais alta foi atingida no caso (7;1), onde o consumo da fábrica ainda é baixo e a safra tem o seu maior coeficiente, atingindo aproximadamente 100MW de energia bruta.

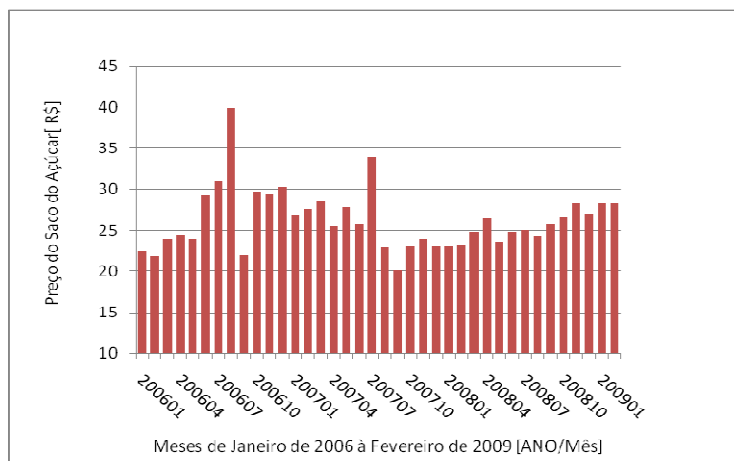


Figura 3. Variação do Preço do açúcar ao longo dos anos. [Fonte: www.unica.com.br]

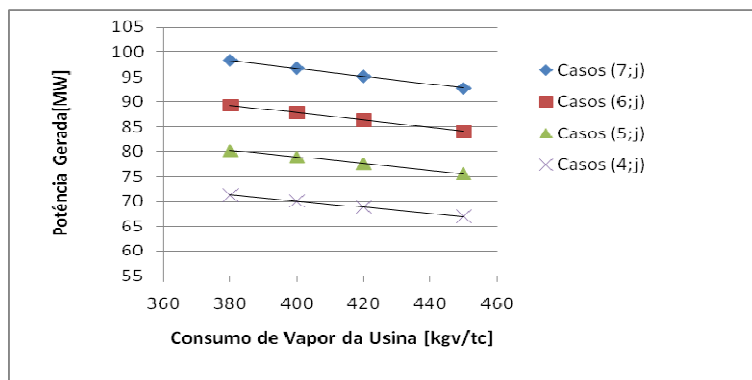


Figura 4. Potência gerada pelo consumo da usina.

Foi observada a redução da potência gerada, com o aumento do consumo de vapor da usina. A cada 10 kgv/tc acrescido no consumo há uma redução de 734 kW na potência para os casos da família (6;j). Quanto maior a quantidade de cana a ser moída, maior a queda da produção energética, atingindo nos casos da família (7;j) uma queda de 795kW a cada 10 kgv/tc. Chegando ao nível mínimo da safra a queda de 428 kW, na mesma proporção do aumento do consumo para os outros casos.

O aumento do consumo específico de vapor da fábrica desvia a maior parte do fluxo de vapor para as turbinas de contrapressão, que são menos eficientes do que as turbinas de condensação. Isso faz com que haja um aumento na geração por parte da contrapressão e uma redução na geração das turbinas de condensação. Essa redução na condensação é maior do que o aumento nas turbinas de contrapressão, gerando assim a redução na produção de energia.

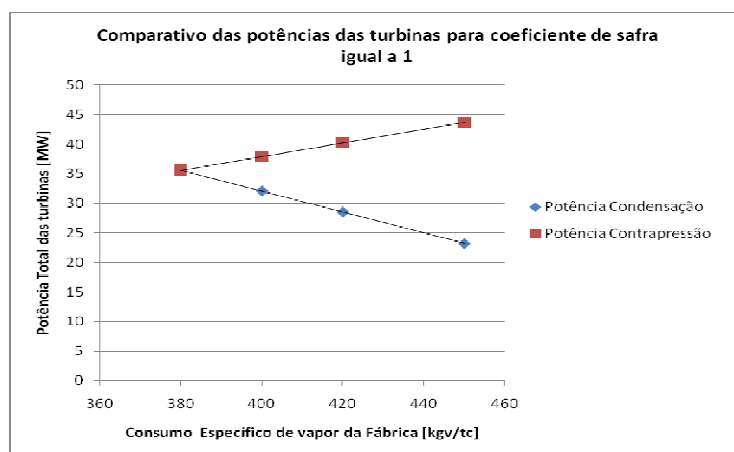


Figura 5. Comparativo entre as Potências geradas nas turbinas de contrapressão e condensação

Isso fica bem claro na figura (5), que mostra o comparativo entre as potências geradas nas turbinas de contrapressão e condensação para o coeficiente de safra nominal (CES=1). Este evento ocorre em todos os casos, independente da quantidade cana disponível para a moagem. Caso seja levada em consideração apenas a parte da energia elétrica para cálculo dos rendimentos, nota-se uma nítida queda do rendimento para uma mesma classe de casos, onde o coeficiente da safra é o mesmo, sofre-se uma redução de rendimento. Como pode ser observado na figura (6), com o aumento da

safra, aumenta-se o rendimento para um mesmo consumo de vapor da fábrica. Mas caso seja observado do ponto de vista do FUE (fator de utilização de energia), ilustrado na figura (7), nota-se o crescimento do fator com o aumento do consumo de vapor da fábrica, pois uma parcela maior de energia em forma de calor está sendo utilizada.

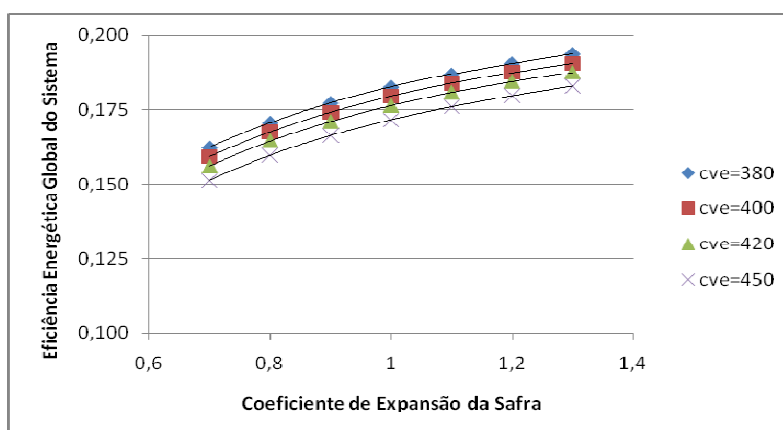


Figura 6. Gráfico da Eficiência Energética do Sistema pelo coeficiente de Expansão da Safra da Usina

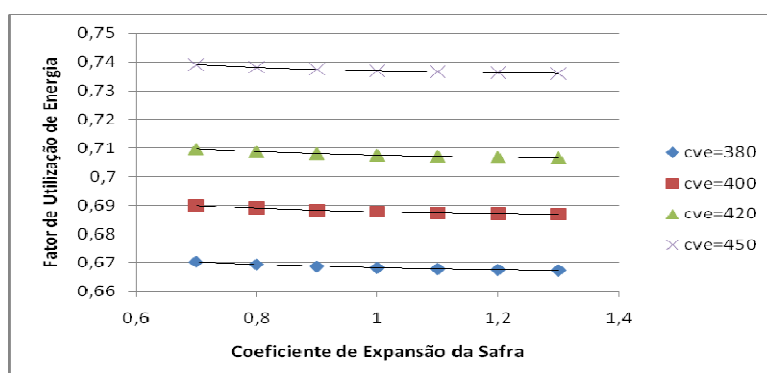


Figura 7. Gráfico do Fator de Utilização de Energia pelo coeficiente de Expansão da Safra da Usina

Como já havia sido mostrado em Oliveira, Silva e Magnani (2009) tanto os fatores de utilização energética e exergética apresentam uma mesma tendência, logo para as condições apresentadas no problema proposto só seria necessária uma análise dentre as duas feitas. Na figura (8) isso é mostrado claramente que ambas as análises levam em consideração o fator $cve=380$.

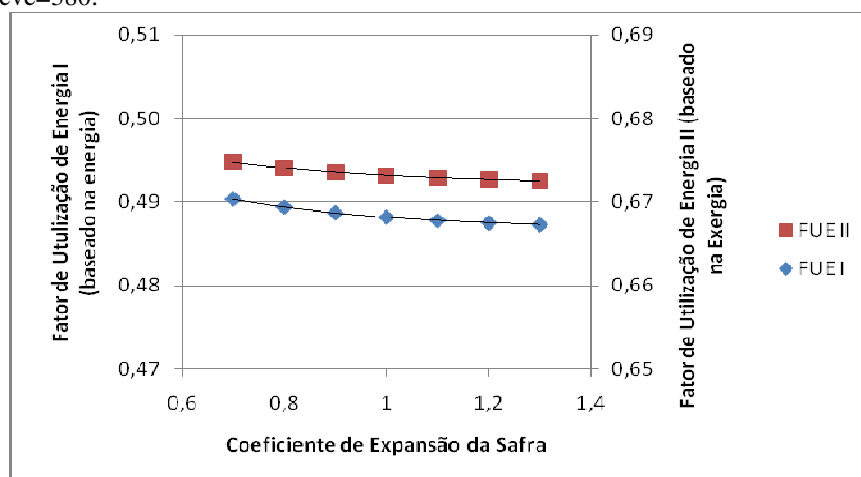


Figura 8. Comparativo em os Fatores de Utilização Energética utilizando a primeira e segunda lei para sua determinação.

Outro fator estudado foi o fator econômico. Uma característica desse tipo de produtos vendidos pelas usinas é a imensa flutuação do preço, como já foi mostrado nas figuras (2) e (3). Salvo petróleo e seus derivados onde o governo consegue impor sua autoridade sobre os preços, no mercado sucroalcooleiro os preços flutuam livremente em função das variações de demanda e oferta. Fazendo a hipótese inicial de que a usina irá destinar a produção de açúcar e álcool metade da vazão do processo para um e a outra metade para outro, foi obtido o gráfico a seguir da figura (9), onde são mostrados os valores presentes líquidos para todos os casos estudados. Revela-se bastante importante o aumento da

produção de cana, pois o VPL aumenta bastante com o crescimento e expansão da safra. Nota-se também o papel importante na venda dos subprodutos da usina, pois mesmo com o aumento do consumo de vapor, há uma compensação nos rendimentos pela manutenção da produção dos mesmos. Os lucros de venda são bastante competitivos, comparativamente aos rendimentos obtidos através da exportação de energia, porém não são receitas muito confiáveis, pois a variação de preços é bastante grande.

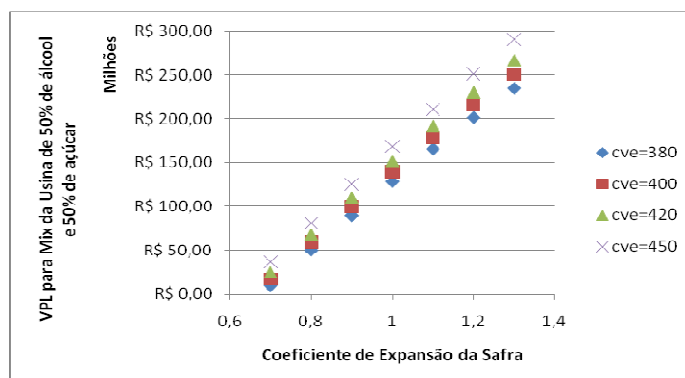


Figura 9. Gráfico do VPL em função do coeficiente de Expansão da Safra.

Como já havia sido notado em Oliveira, Silva e Magnani (2009), os parâmetros financeiros, TIR e o VPL, apresentam a mesma tendência, logo neste caso é necessário mostrar apenas um dos fatores. Na figura (10) é mostrado como o VPL varia com a safra, apenas produzindo álcool. Como o álcool apresenta um menor consumo de vapor para sua produção do que o açúcar, Castro e Andrade (2006), para uma mesma vazão de vapor disponível na usina pode-se produzir mais álcool, assim aumentando o VPL. É preciso salientar que esta análise foi feita com preços constantes.

O preço do açúcar foi variado, aumentando seu valor até que os VPL's da produção apenas de álcool e apenas de açúcar se iguallassem, quando se chegou ao valor de 51 pelo saco de açúcar, os valores dos VPL's ficaram muito próximo um do outro e ao atingir 52 reais por saco de açúcar, o valor do VPL só para açúcar ultrapassou o valor só para álcool. O preço nunca atingiu tal taxa de valores nos últimos anos, o valor mais alto atingido foi de 40 reais em agosto de 2006. Só é interessante do ponto de vista do produtor a fabricação apenas de açúcar caso haja uma significativa queda no valor de venda do álcool. Um estudo de produção em função dos valores de venda é necessário para a maximização dos lucros do empreendimento. E dosar pra saber qual o mix ideal para a fábrica sucroalcooleira.

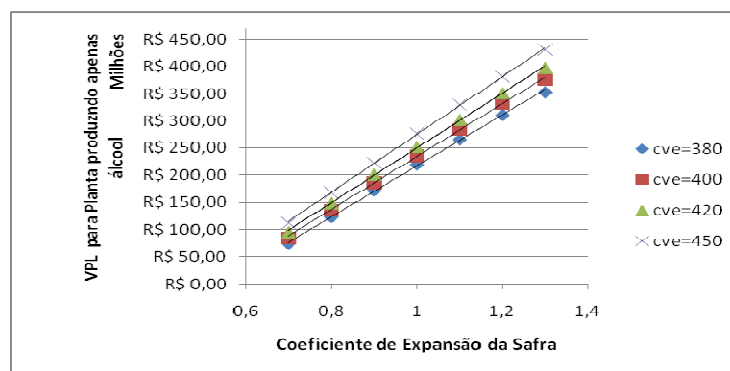


Figura 10. Gráfico VPL para planta produzindo apenas álcool versus coeficiente de expansão da Safra

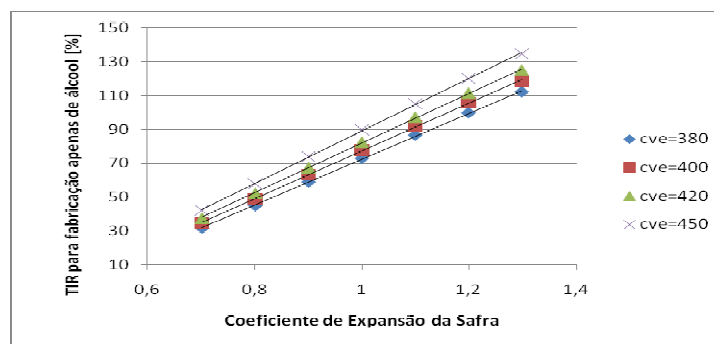


Figura 11. Gráfico TIR para planta produzindo apenas álcool versus coeficiente de expansão da Safra

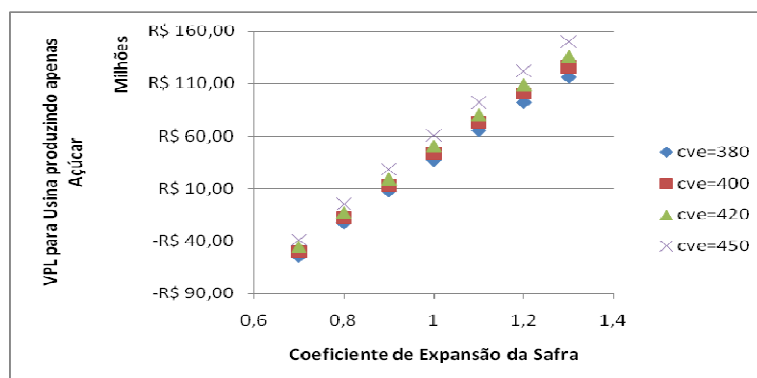


Figura 12. Gráfico VPL para planta produzindo apenas açúcar versus coeficiente de expansão da Safra

Foi feito também um estudo comparativo entre o Fator de utilização de energia e o VPL. Observa-se que há diferenças entre as linhas de tendências para as mesmas variações dos parâmetros. Ou seja, a análise deste termo não representa bem o fator econômico do processo. Se fosse avaliado pelo fator de utilização de energia o comportamento financeiro do sistema, teríamos uma informação errônea. Pode-se observar isso no gráfico apresentado na figura (13). Já na figura (14) é apresentado para as mesmas condições da figura (13), mas observa-se no eixo secundário do gráfico o rendimento elétrico global da planta. Na figura os dois parâmetros analisados apresentam uma tendência crescente com o aumento da safra, mas no caso do rendimento global nota-se uma tendência a estabilização, ao longo de sua curva o seu crescimento vai sendo lentamente reduzido.

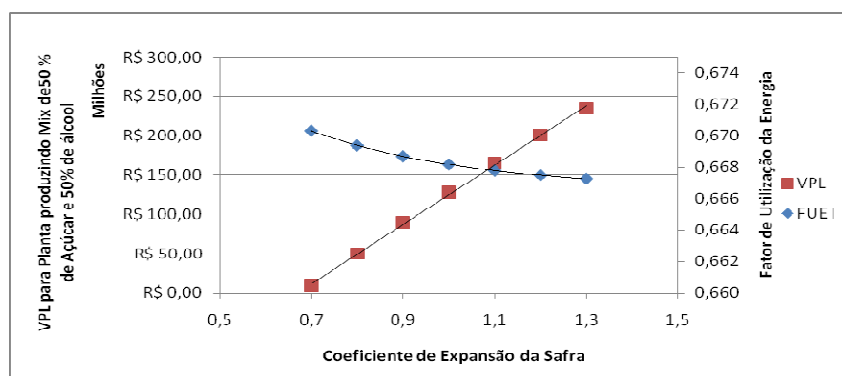


Figura 13. Gráfico do VPL e Fator de Utilização de Energia em função do Coeficiente de Expansão da Safra

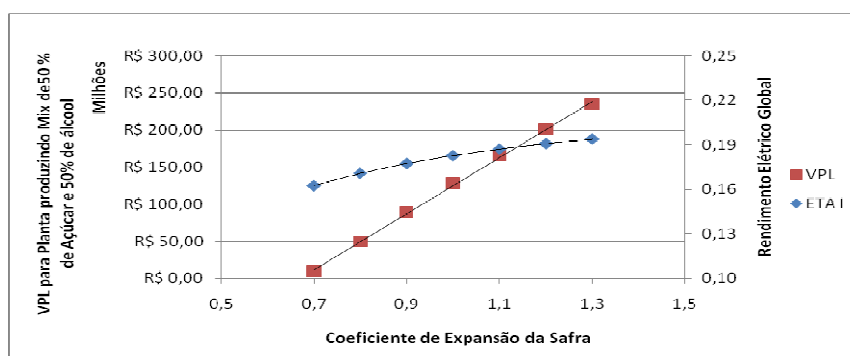


Figura 14. Gráfico do VPL e Rendimento Elétrico Global em função do Coeficiente de Expansão da Safra

5. CONCLUSÕES

Uma típica planta de uma usina de cana de açúcar com cogeração foi estudada e foram analisados alguns parâmetros importantes de seu desempenho. Foi variado o consumo específico de vapor da usina e a quantidade de cana produzida pela usina, bem como o que seria produzido com o vapor destinado a fábrica de açúcar e álcool.

Uma conclusão vista tanto nesse, como em outro artigo já publicado, Oliveira, Silva e Magnani (2009), foi que os rendimentos e os fatores de utilização, tanto energético quanto exergético apresentam uma mesma tendência, ou seja, um comportamento qualitativo semelhante. O mesmo acontece para o VPL e a TIR. Observa-se que o aumento do consumo de vapor da fábrica diminui a potência total gerada para uma mesma quantidade de cana disponível. O Rendimento elétrico aumenta com o volume de cana disponível para moagem e com a redução do consumo de vapor da usina. O aumento da produção de cana, para um mesmo consumo da fábrica, gera uma pequena queda no fator de

utilização de energia. O VPL apresenta uma tendência crescente com o aumento da safra de cana da usina. Para as atuais médias de preços simuladas, seria mais interessante do ponto de vista financeiro produzir apenas álcool na usina. Devido as grandes flutuações de preço de álcool e açúcar é necessária uma análise sempre atualizada dos preços desses subprodutos para saber qual o melhor mix de produção, financeiramente falando. Comparativamente o rendimento elétrico apresentam uma linha de tendência mais semelhante a Curva do VPL do que o fator de utilização de energia.

Para pesquisas futuras pretende-se ampliar a faixa de estudo das cargas de processo, do produção de cana e sucroálcooleira, e estudar o comportamento das variáveis financeiras, exergéticas e energéticas variando outros parâmetros da planta estudada. Também um estudo de aprimoramento do mix de álcool e açúcar produzido na usina, para atingir o máximo VPL possível.

6. REFERÊNCIAS

Alijundi, I. H., “Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan”. Applied Thermal Engineering 29 (2009) 324–328

Balanço Nacional Energético - <http://www.mme.gov.br/mme> - acessado no dia 02/02/2010

Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M. “Thermal Design and Optimization” book. Editora: JOHN WILEY PROFESSIO, 1ª Edição – 1995.

Beltrão, S. C., Andrade, S. A.C., “Engenharia e Tecnologia Açucareira” Editora: Universitária UFPE

Bocci, E., DiCarlo, A., Marcelo, D., “Power plant perspectives for sugarcane mills”. Energy 34 (2009) 689–698

Kamate, S.C., Gangavati, P.B., “Exergy analysis of cogeneration power plants in sugar industries”. Applied Thermal Engineering 29 (2009) 1187–1194

Knight, R., Linder, U., Markworth, N., Perz, E., 2004. “Thermo-economic Optimization of Whole Gas Turbine Plant (GTPOM)”. Applied Thermal Engineering 24 (11-12) (2004) 1725-1733.

Kotas, T. J., “Exergy Method Of Thermal Plant Analysis” book. Editora: KRIEGER PUBLISHING, 1ª Edição – 1995.

Lora, E.S. ,Andrade R.V., “Biomass as energy source in Brazil”, Renewable & Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 777–788

Oliveira, G.L.B., Silva, H.C. N., Magnani, F.S., “Technical and financial optimization of a cogeneration plant in a sugar and alcohol plant working with variables loads”. (2009). 20th International Congress of Mechanical Engineering.

Szklo, A. S., Tolmasquim, M. T., “Analysis of Brazil’s Cogeneration legal framework”. Energy Conversion and Management 44 (2003) 369-380

THECHNICAL AND FINACIAL OPTIMIZATION OF A COGENERATION PLANT IN A SUGAR AND ALCOHOL PLANT WORKING WITH VARIABLES LOADS

Heber Claudius Nunes Silva, heber.nsilva@yahoo.com.br

Fábio Santana Magnani, magnani@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco

Abstract. *On design optimization, there are two aspects that are very important, the technical and financial aspects. As well to approach in the design phase, conditions out of design conditions. Analyze the behavior of a plant when operating off-design. The exact cost estimative and real technical features of equipments increase the time and the design cost. There is a few alternative to a good design but performing both studies, technical and financial. The main aim of this paper is to analyze the viability of construction of plants, more flexible of technical and financial point of view. That adapts themselves the changes of loads or changes in the plant over time. Will be done through analysis of technical indexes (as energetic and exergetic efficiencies) and through financial parameters, like NPV and IRR, that allow to do an analyze of estimated time of investment return. Beyond change the loads, it's changed the alcohol and sugar production, to know what would be the option most interesting and by-products which has greater influence over the economic part. The object of study is a cogeneration plant with 70 MW of net power, composed of a boiler, a backpressure turbine, and a condensing turbine, that provide steam necessary to manufacture process of sugar and alcohol. There was a reduction in power generated by the turbines when there is an increase in consumption of the plant. The utilization factor of Energy, which takes into account the electrical and thermal energy did not show the same trend of the economic model.*

Keywords: *cogeneration, financial analyses and energetic analyses.*