

VENDER BAGAÇO OU COMERCIALIZAR ENERGIA GERADA PELA COGERAÇÃO?

Emerson Freitas Jaguaribe

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
ejaguaribe@uol.com.br

Pio Caetano Lobo

Av. Sinésio Guimarães, 1001 – 58040 400. João Pessoa – PB – Brasil
pclobo@nestscape.net

Wilson Luciano de Souza

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
wilsonluciano@yahoo.com.br

Roberto Montargil Rocha

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
robmontargil@yahoo.com.br

Evaldo Torres do Nascimento

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
evaldo.torres@bol.com.br

Resumo. . Na última década, o consumo de energia elétrica no Brasil apresentou um crescimento maior do que a capacidade de geração. Esta situação obrigou o país a uma urgente retomada de investimentos no setor, e a revitalizar a reestruturação do setor elétrico nacional. Nessa circunstância, o uso de fontes renováveis, como a biomassa, passaram a ser uma opção para a geração descentralizada de energia elétrica. Na geração de energia elétrica uma das mais importantes biomassas residual é o bagaço de cana-de-açúcar. O presente estudo discute um caso real de investimento na ampliação do sistema de co-geração de energia em uma indústria sucroalcooleira, considerando o preço sazonal do bagaço, os custos de geração de energia, levando-se em conta um período de 10 anos. Com o novo parque de cogeração a indústria se tornou auto-suficiente em energia, dispendo de 21.240 MWh para comercialização, com uma potência média de exportação de 4.000 kW. Todavia, após a análise econômica efetuada, verificou-se que a melhor opção seria manter a planta na forma original e vender o bagaço a R\$ 26,00/t.

Palavras chave: Biomassa residual, Cogeração de energia, Análise de investimento; Ampliação de uma planta de cogeração.

1. Introdução

A participação da energia hidráulica na matriz energética nacional é da ordem de 42%, correspondendo à cerca de 90% na produção total de energia elétrica (ANEEL, 2002). Esta abundante oferta de energia elétrica, fruto do elevado potencial hidráulico do país, possibilitou durante muitos anos energia farta e barata para o crescimento econômico. Entretanto, na última década, o consumo de energia elétrica apresentou um crescimento médio de 4,2 % ao ano (MME, 2002), enquanto que a capacidade de geração não conseguiu acompanhar este crescimento. Chegou-se então a uma situação de colapso, como o registrado em 2001 no qual o Governo Federal decretou um racionamento envolvendo a redução de 20% no consumo de eletricidade do país, tendo por base o ano 2000. Isto significou retornar aos níveis de consumo do início da década de 90. Esta situação obrigou o país a uma urgente retomada de investimentos e do avanço na reestruturação do setor elétrico nacional. Nesse contexto, tendo em vista que a construção de novas usinas hidroelétricas demanda longos prazos e custos elevados, as fontes não-convencionais, principalmente as renováveis, como a biomassa, apresentam-se técnica e economicamente competitivas como opção para a geração descentralizada de energia elétrica, capazes de complementar, a curto prazo, e a custos reduzidos, a demanda de energia. Além de favorável ao meio ambiente, o uso energético da biomassa promove a geração local e descentralizada de empregos, reduzindo o problema do êxodo rural e a dependência externa de energia, em função da sua disponibilidade local.

Uma das mais importantes fontes energéticas renováveis é o bagaço de cana-de-açúcar. A alta produtividade, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa nas usinas e destilarias de cana-de-açúcar, tem disponibilizado enorme quantidade de bagaço, que é utilizado como combustível no processo de cogeração de excedentes de eletricidade. Por cogeração entende-se a geração simultânea de calor e trabalho a partir de combustíveis

(gás natural, resíduos de madeira, bagaço de cana, etc). A atratividade da cogeração nas usinas sucroalcooleiras reside no alto potencial energético do bagaço de cana-de-açúcar, que tem, via de regra, servido para produzir excedentes de eletricidade. Esses excedentes podem ser inseridos na rede interligada nacional, permitindo atender a grandes centros de consumo. Outra vantagem dessa cogeração está no fato de que o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro.

Entretanto, a implantação de sistemas de cogeração não garante, por si mesmo, vantagens financeiras, e até o retorno de capital. Por isto mesmo, a adoção de programas de cogeração só deve ser feita após criteriosos estudos técnico-econômicos. Deve-se observar, outrossim, que não há uma sistemática genérica para a definição de um programa de cogeração. No caso de uma destilaria de cana-de-açúcar, o projeto da cogeração tem início nos vários questionamentos, direta, ou indiretamente ligados ao aproveitamento do bagaço. Assim, é de suma importância para o êxito do projeto, se conhecer: o volume de bagaço disponível ao longo da safra e o que fazer para tornar a destilaria mais eficiente, de forma a produzir maior sobre de bagaço. Por sua vez, precisa-se determinar corretamente a quantidade de bagaço necessária à geração, tanto do vapor de processo, como de eletricidade para consumo próprio, visando alcançar independência da concessionária. Junte-se a estes ingredientes a compreensão do comportamento do custo da energia e do próprio bagaço, que além de combustível, pode ser usado, ou comercializado como matéria prima na indústria de papel, ração animal e adubo.

Este trabalho busca essencialmente discutir a ampliação do sistema de cogeração da Japungu Agroindustrial S.A.¹, motivada pela escalada nos preços do MWh, que em setembro de 2001 chegaram a ultrapassar os R\$ 680,00/MWh (Gazeta, 2002) e pela sinalização, por parte do governo, em definir os marcos regulatórios do setor elétrico. Nessa tomada de decisão a empresa levou em conta a existência de uma central termelétrica desativada, constituída de um turbogerador de 15 MVA e seus acessórios. Alguns aspectos econômicos e financeiros advindos do novo sistema são comparados ao anteriormente existente, analisando-se os resultados do investimento, tendo em vista os custos de operação, e os preços do bagaço e da energia elétrica.

2. A indústria antes da ampliação

O fluxograma do sistema anterior de cogeração pode ser observado na Fig. 1. Para efeito de análise os equipamentos constantes neste fluxograma, que merecem destaque, compreendem: uma caldeira aquotubular Zanini de 3,24 MPa (33 kgf/cm² - absoluta) e 340 °C, com capacidade de geração de vapor de 60 t/h, um desaerador de pratos com balão cilíndrico metálico, uma estrutura redutora de pressão, dois turbogeradores de contrapressão de 3,04 MPa (31 kgf/cm²) e 340 °C na entrada e 0,245 MPa (2,5 kgf/cm²) e 134 °C na saída, e por último uma instalação de abrandamento para a água de alimentação da caldeira. Os dois turbogeradores de contrapressão fornecem uma potência total de 4.800 kW, sendo que um deles gera 3.500 kVA, e o outro 2.500 kVA. E como a demanda média de energia da fábrica, era de cerca de 5.300 kW, a empresa arcava com um déficit de 500 kW, que era suprido com energia da concessionária local.

Há dois períodos distintos de atividade nessa indústria: o da safra e aquele da entressafra. A safra, em geral, ocorre entre julho e março, correspondendo à época da colheita da cana. Já na entressafra, há o processamento do melaço e o reprocessamento do álcool hidratado para anidro. Após esse último período, toda a fábrica entra em um drástico esquema de manutenção. Na entressafra a demanda de energia da empresa cai para cerca de 1.800 kW, porque não há mais extração da cana, mantendo apenas em funcionamento a turbina 1.

A capacidade de extração dos quatros tandem de moagem de cana é limitada a 4.000 t/dia, o que corresponde a uma média horária de 166 t/h.

2.1. Parâmetros técnicos considerados na ampliação da central de geração de energia

Um dos requisitos necessários a ampliação da capacidade de cogeração da Japungu recai no aumento da produção de vapor d'água. Isto poderia ser conseguido, ampliando-se a caldeira já existente, ou adquirindo-se uma outra. Estudos para o aumento da capacidade da caldeira², concluíram que a vazão máxima de vapor que poderia ser alcançada seria de 80 t/h, isto se fosse mantida a pressão de 3,24 MPa (33 kgf/cm²) e temperatura de 340 °C. Nestas condições se limitaria, de certa maneira, a oferta, tornando-se mais difícil a produção de excedentes de energia. Essa constatação fez com que se optasse pela segunda alternativa. Também com vistas a se minimizar os custos do sistema de cogeração, buscou-se empregar um gerador turboelétrico, e uma turbina de 15 MVA de condensação/extração, que foram comprados de segunda mão, e que se encontravam no pátio da destilaria. A partir daí considerando a limitada capacidade de extração da indústria, poderia haver falta de bagaço caso se pretendesse alimentar duas caldeiras e suprir as três turbinas previstas no projeto. Em sendo assim, estimou-se que seria mais viável se optar pela compra de uma nova caldeira que produzisse mais do que 80 t/h de vapor, com disponibilidade de energia mais alta..

¹ A Japungu Agroindustrial S. A., localiza-se em Santa Rita, a 40 km de João Pessoa, na Paraíba.

² O custo desta ampliação foi orçado em R\$ 300.000,00

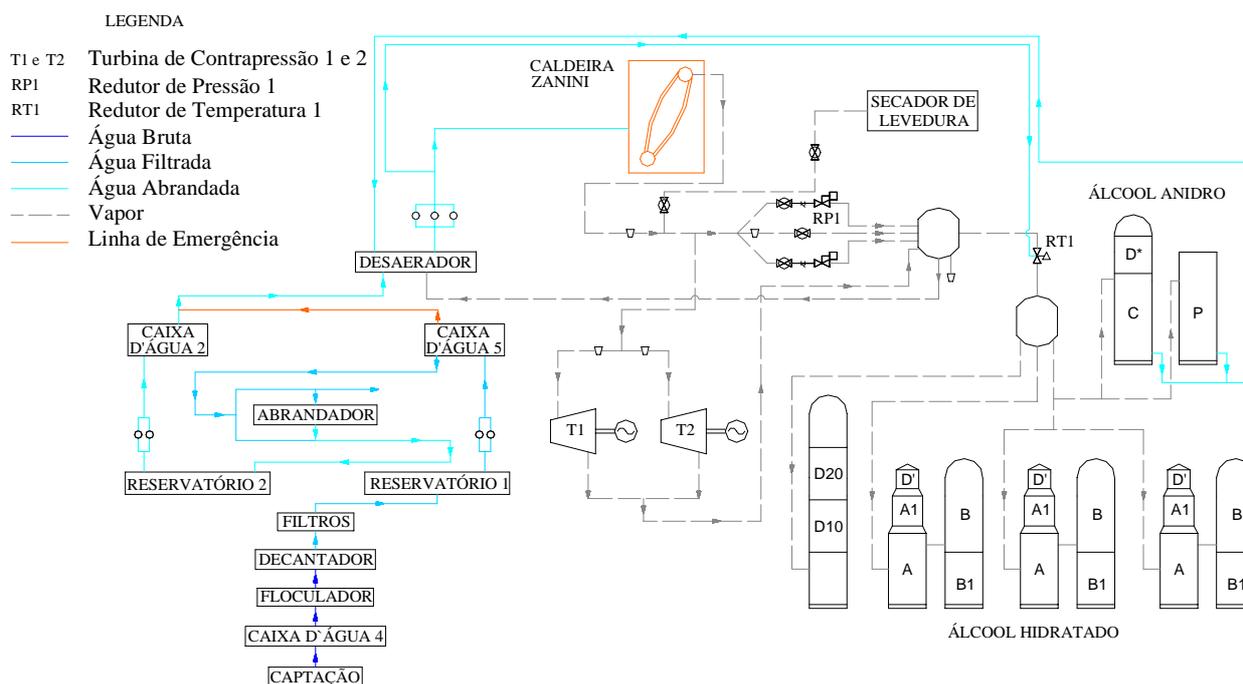


Figura 1. Esquema geral da planta de cogeração da Japungu Agroindustrial S/A, antes da modificação.

3. O novo sistema de geração de energia

A direção da indústria, juntamente com consultores na área, concebeu o projeto esquematizado na Fig. 2, como o novo sistema de geração de energia, atualmente em funcionamento. Para efeito de análise, os equipamentos constantes neste fluxograma, que merecem destaque para o nosso estudo compreendem uma caldeira aquotubular Equipálcool, com capacidade de 100 t/h de vapor, com pressão de 4,22 MPa (43 kgf/cm²) e temperatura de 420 °C, um desaerador de pratos com balão cilíndrico metálico, duas estruturas redutoras de pressão e uma de temperatura, dois turbogeradores de contrapressão e um de condensação, e uma instalação de desmineralização e abrandamento (inativa nesta planta).

Dois cenários serão considerados no presente estudo:

a) a planta opera buscando suprir a sua demanda de energia, vendendo o bagaço excedente (na verdade este é o quadro adotado atualmente pela indústria, devido ao baixo preço da energia paga e a indefinição dos marcos regulatórios). Todos os parâmetros associados à tal situação serão referidos ao longo do texto, pela letra, ou índice “a”;

b) a planta consome todo o bagaço para a geração e comercialização do excedente de energia elétrica (quadro hipotético). Todos os parâmetros associados a essa situação serão representados pela letra, ou índice “b”.

A caldeira aquotubular Equipálcool trabalhará (no modo “a”, ou no “b”), a 4,22 MPa (43 kgf/cm²) e 440 °C. No que concerne às turbinas de contrapressão, elas operarão, na entrada a 350 °C e 3,04 MPa (31 kgf/cm²), sendo que na saída, no modo “a” a temperatura será de 184,5 °C, enquanto no modo “b” ela será reduzida a 142,4 °C. Em ambas situações a pressão se limitará a 2,5 kgf/cm². Já a turbina de condensação apresenta na entrada os mesmos parâmetros da caldeira, e na saída a temperatura será de 44 °C e a pressão 1,01 kgf/cm². Na Tab. 1, se pode observar, entre outros parâmetros, as potências dos geradores do novo sistema. Na entressafra a turbina de contrapressão fica inativa por não haver mais bagaço disponível, e a planta volta a operar com a caldeira antiga, por causa do elevado custo da água desmineralizada (1,20 R\$/m³), em relação ao da água abrandada (0,08 R\$/m³). Desta forma, na entressafra, o sistema “a” volta a funcionar como no sistema antigo, e no sistema “b” as duas turbinas de contrapressão passam a gerar 4.800 kW.

A Tab. 1, com dados de performance das turbinas a vapor, foi obtida a partir do boletim dos turbogeradores (Japungu, 2003), e de equacionamentos facilmente encontrados na literatura especializada, (Bejan, 1988; Jones, 1986; Sonntag, 1998; Kotas, 1995; Hugot, 1969 e Camargo et al., 1990).

Tabela 1. Performance das Turbinas a Vapor

Variáveis	Unidades	Turbinas						Entressafra	
		1a	1b	2a	2b	3a	3b	1a ³ e 1b	2b
Potência Adotada	kW	1.000	2.000	1.000	2.000	2.400	5.400 ¹	2.000 ²	2.000
Fluxo de vapor	t/h	23,13	27,41	12,85	19,58	16,95	26,92	27,85	19,89
Consumo específico vapor	kg/kWh	12,85	9,79	12,85	9,79	4,98	4,98	9,95	9,95
Eficiência	%	53,0	69,58	53,0	69,58	53,0	53,0	69,58	69,58
Eficácia	%	60,97	75,49	60,97	75,49	51,81	51,81	75,43	75,43
Irreversibilidade	kW	1.152,1	908,97	640,06	649,33	3.163,55	5.024,46	911,96	651,4

¹ Potência adotada com vistas a consumir todo o bagaço
² Incremento de 1.000 kW para atender a irrigação
³ Turbina 2a inativa

Na Tab.1, é importante destacar que no modo “a” desacoplou-se 1800 kW de carga, anteriormente gerados pelas turbinas de contrapressão. Este fato é explicado pela configuração buscada pela direção da empresa de se servir das duas turbinas de contrapressão e da de condensação, para atingir a auto-suficiência. Em tal configuração foram inseridas duas novas estruturas: uma de redução de pressão e outra de temperatura, (ver na Fig. 1 os dispositivos RP2 e RT2), para que as duas turbinas de contrapressão pudessem ser acopladas com a nova caldeira de 4,12 MPa (42 kgf/cm²) e 420 °C. Analisando-se a Tab. 1, verifica-se que com aquela escolha, as duas turbinas de contrapressão passaram a trabalhar a 1800 kW e 1000 kW. Essas turbinas produzindo os 4800 kW, como ocorria no sistema anterior, induziria a turbina de condensação a gerar apenas 1400 kW, o que implicaria em uma drástica redução de sua eficiência e até no prejuízo de seu próprio funcionamento.

Entendendo-se que no caso b, o efeito das estruturas redutoras de pressão e de temperatura buscou adaptar o patamar de energia da caldeira nova, ao da caldeira antiga, os resultados produzidos pelas turbinas de contrapressão no caso b, foram, obviamente, semelhantes ao do sistema anterior, como comprovam os dados da Tab. 1.

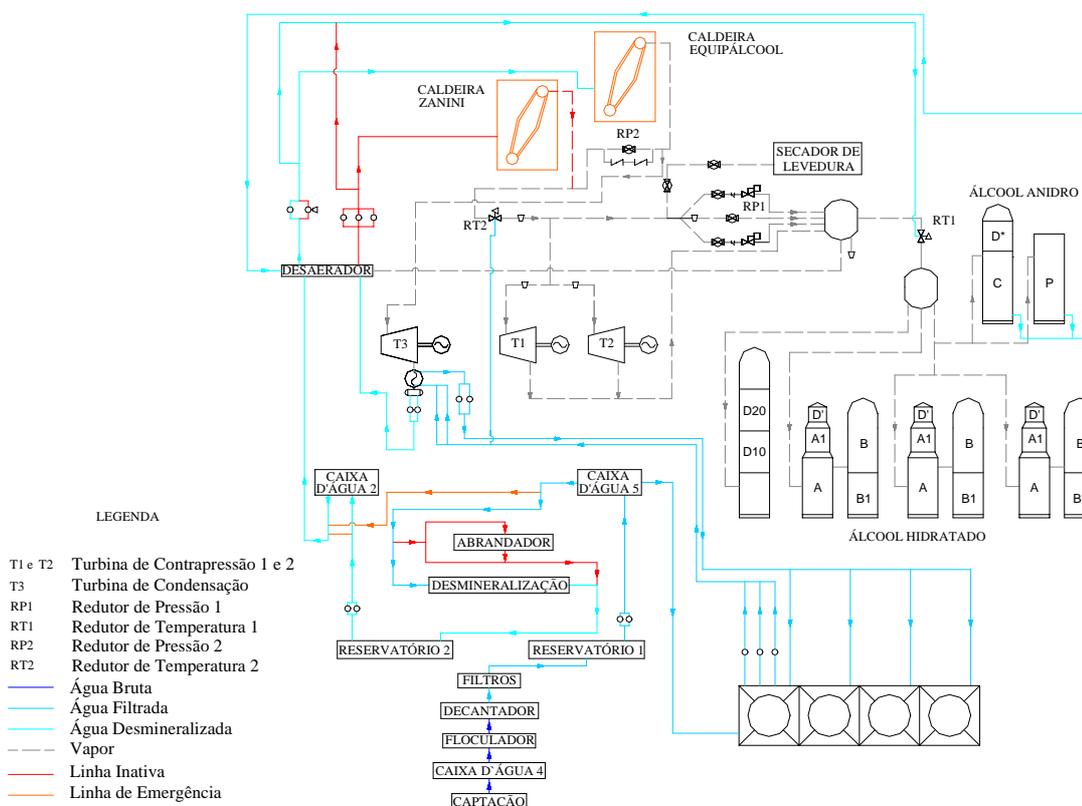


Figura 2. Esquema geral da planta de cogeração adotada pela Japungu Agroindustrial S/A.

4. Custos de implantação do novo sistema de cogeração

Os custos totais da reforma na Japungu ficaram acima de R\$ 8.000.000,00. Com o investimento se adquiriu, entre outros os seguintes componentes: a caldeira aquatubular vertical modelo tipo 100-V-2-S, circulação natural, com

fornalha para queima de bagaço de cana e sistemas de alimentação de combustível pneumático e de tiragem bala; quatro torres de refrigeração alpina; uma estação de desmineralização de água; uma subestação de 69 kV.

5. Equacionamento dos principais parâmetros desse estudo

5.1. Consumo de bagaço

O consumo de bagaço, B , em t, para manter a planta operando durante a safra, B_{sf} , ou a entressafra, B_{ef} , é dado pelo produto do fluxo de bagaço consumido, \dot{m}_b , em t/h, pela duração do período, N , em horas, h (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$B = \dot{m}_b \cdot N \quad (1)$$

5.2. Bagaço excedente

O bagaço excedente, B_{exc} , em t, é calculado subtraindo-se do bagaço total produzido, B_T , as parcelas correspondentes ao consumo do bagaço durante a safra, B_{sf} , e a entressafra, B_{ef} , e uma parcela correspondente a um estoque de segurança, B_{est} , em t (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$B_{exc} = B_T - B_{ef} - B_{sf} - B_{est} \quad (2)$$

5.3. Potência média fornecida pelas máquinas de contrapressão

A potência média das máquinas de contrapressão, \dot{W}_{cp} , em kW, é dado pela soma da potência média produzida pelo turbogerador 1, \dot{W}_1 , em kW, e o turbogerador 2, \dot{W}_2 :

$$\dot{W}_{cp} = \dot{W}_1 + \dot{W}_2 \quad (3)$$

5.4. Energia produzida pelas máquinas de contrapressão

A energia produzida pelas máquinas de contrapressão, E_{cp} , em MWh ($E_{cp,sf}$ para a safra e $E_{cp,ef}$ para a entressafra), é o produto da potência média produzida, $\dot{W}_{cp,sf}$ no caso da safra e $\dot{W}_{cp,ef}$ na entressafra, pela duração do período, N , em h (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$E_{cp} = \dot{W}_{cp} \cdot N \quad (4)$$

5.5. Potência média fornecida pela máquina de condensação

A potência média da máquina de condensação, \dot{W}_{cp} , em kW, é dada pela soma da potência média produzida pelo módulo de extração, $\dot{W}_{3,ex}$, em kW, e pelo módulo de condensação, $\dot{W}_{3,cd}$:

$$\dot{W}_{cd} = \dot{W}_{3,ex} + \dot{W}_{3,cd} \quad (5)$$

O módulo de extração, para o caso em estudo, não esta operando, desta forma podemos adiantar que $\dot{W}_{3,ex} = 0$.

5.6. Energia produzida pela máquina de condensação

A energia produzida pela máquina de condensação, E_{cd} , em MWh ($E_{cd,sf}$ para a safra e $E_{cd,ef}$ para a entressafra), é o produto da potência média produzida, $\dot{W}_{cd,sf}$ no caso da safra e $\dot{W}_{cd,ef}$ na entressafra, pela duração total do período, N (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$E_{cd} = \dot{W}_{cd} \cdot N \quad (6)$$

5.7. Energia total produzida

A energia total produzida, E_T , em MWh, é a soma da energia produzida pelas máquinas de contrapressão, E_{cp} , com a energia produzida pela máquina de condensação, E_{cd} :

$$E_T = E_{cp} + E_{cd} \quad (7)$$

5.8. Consumo elétrico da fábrica

O consumo elétrico da fábrica, E_F , em MWh, é dado pelo produto da demanda elétrica média da fábrica, \dot{W}_F , em kW, pela duração total do período, N (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$E_F = \dot{W}_F \cdot N \quad (8)$$

5.9. Energia disponível para a venda

A energia disponível para a venda, E_{exc} , em MWh, é obtida subtraindo-se da energia total produzida, E_T , a energia consumida pela fábrica, E_F :

$$E_{exc} = E_T - E_F \quad (9)$$

5.10. Potência média exportada na safra

A potência média exportada na safra, $\dot{W}_{exc,sf}$, em kW, é dada pela soma das potências fornecida pelas máquinas de contrapressão, $\dot{W}_{cp,sf}$, e pela máquina de condensação, $\dot{W}_{cd,sf}$, menos a demanda elétrica média da fábrica, $\dot{W}_{F,sf}$, ou seja:

$$\dot{W}_{exc,sf} = \dot{W}_{cp,sf} + \dot{W}_{cd,sf} - \dot{W}_{F,sf} \quad (10)$$

5.11. Potência média exportada na entressafra

A potência média exportada na entressafra, $\dot{W}_{exc,ef}$, em kW, é dada pela potência fornecida pelas máquinas de contrapressão, $\dot{W}_{cp,ef}$, menos a demanda elétrica média da fábrica, $\dot{W}_{F,ef}$, ou seja:

$$\dot{W}_{exc,ef} = \dot{W}_{cp,ef} - \dot{W}_{F,ef} \quad (11)$$

5.14. Despesa com água de alimentação da caldeira

A despesa com água de alimentação da caldeira, D_{ag} , em R\$, é dada pelo produto: do fluxo de água de reposição, Q_{ag} , em m^3/h , com o custo da água tratada, C_{ag} , em $R\$/m^3$, e com a duração total do período, N .

$$D_{ag} = Q_{ag} \cdot C_{ag} \cdot N \quad (12)$$

5.15. Despesa com energia elétrica

A despesa com energia elétrica, D_{en} , em R\$, é dada pelo produto: da energia comprada da concessionária, E_{exc} , em MWh, com o custo da energia elétrica, C_{en} , em $R\$/MWh$ (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$D_{en} = E_{exc} \cdot C_{en} \quad (13)$$

5.16. Despesa total de operação

A despesa total de operação, D_T , em R\$, é a soma da despesa com água de alimentação, D_{ag} , com a despesa com energia elétrica, D_{en} :

$$D_T = D_{ag} + D_{en} \quad (14)$$

5.12. Receita com a venda do bagaço

A receita com a venda do bagaço, R_b , em R\$, é o produto do bagaço excedente, B_{exc} , pelo valor de venda do bagaço, Y_b , em R\$ (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$R_b = B_{exc} \cdot Y_b \quad (15)$$

5.13. Receita com a venda de energia elétrica

A receita com a venda da energia, R_{en} , em R\$, é o produto da energia disponível para a venda, E_{exc} , pelo valor de venda da energia elétrica, Y_{en} , em R\$ (Jaguaribe, et al., 2002; Lobo, et al., 2002 e Souza, 2004):

$$R_{en} = E_{exc} \cdot Y_{en} \quad (16)$$

5.17. Receita líquida

A receita líquida, R_{liq} , em R\$, é a receita bruta, R , em R\$ (R_b para a venda do bagaço e R_{en} para a venda de energia), menos a despesa total de operação, D_T :

$$R_{liq} = R - D_T \quad (17)$$

5.18. Taxa interna de retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR), i , de um investimento, ou seja, a taxa de juros que anula o valor presente das receitas líquidas resultantes do projeto, quando comparados com o valor presente dos desembolsos, é dada pela relação entre o valor presente, P , e a série uniforme de recebimento, R_{liq} , isto é

$$P = R_{liq} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}, \quad (18)$$

onde $\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = (P/R_{liq}; i; n)$, que é chamado de fator de valor atual para uma série uniforme e significa que podemos achar P dado R_{liq} , para uma taxa de juros i no período n .

De posse desses conceitos, pode-se definir a forma de cálculo da TIR a partir da equação abaixo (Casarotto, et al., 1998 e Marim, 1980):

$$-P + R_{liq}(P/R_{liq}; i; n) = 0 \quad (19)$$

5.19. Valor presente líquido

Entende-se por Valor Presente Líquido (VPL) a atualização de todos os termos do fluxo de caixa (receitas e despesas), somados ao investimento inicial de cada alternativa. A taxa utilizada para descontar o fluxo (trazer ao Valor Presente) é a TMA (taxa mínima de juros que leva o investidor a optar por determinado projeto de investimento).

O cálculo do Valor Presente Líquido é obtido diretamente pela Eq. (20) (Casarotto, et al., 1998 e Marim, 1980):

$$VPL = -P + R_{liq}(P/R_{liq}; i; n) \quad (20)$$

6. Resultados

A Tab. 2, obtida a partir das Eqs. (1) a (13) e do relatório de safra (Japungu, 2003), apresenta dados de capacidades de moagem, de geração de energia, e de custos operacionais, antes da modificação e posteriormente às mudanças, e distinguem os modos e resultados operacionais como modos "a", e "b", já definidos anteriormente.

Tabela 2. Parâmetros de Comparação e Avaliação da Performance das Plantas de Cogeração

Parâmetros	Unid.	Plantas de Cogeração					
		Antiga	Safr		Entressafra		
			a	b	Antiga	a	b
Cana colhida	t	700.000	800.000				
Cana processada	t	672.000	768.000				
Bagaço total produzido	t	215.575	246.372				
Excedente de bagaço – Eq. (2)	t	51.266	29.406	0			
Potência média fornecida – Eqs. (3) e (5)	kW	4.800	6.200	10.200	1.800	2.800	4.800
Produção de energia – Eqs. (4) e (6)	MWh	24.000	32.922	54.162	2.160	3.360	5.760
Demanda elétrica da fabrica	kW	5.300	6.200		0	2.800	
Potência complem. requerida	kW	500	0		0	0	
Consumo de energia elétrica – Eq. (8)	MWh	26.500	32.922		2.160	3.360	
Demanda energia complem.	MWh	2.500	0		0	0	
Potência excedente – Eqs. (10) e (11)	kW	0	0	4.000	0	0	2.000
Energia excedente – Eq. (9)	MWh	0	0	21.240	0	0	2.400
Despesa com água abrandada – Eq. (12)	R\$	17.368,35			3.167,22	4.139,42	
Despesa com água desminer. – Eq. (12)	R\$		274.760,94				
Despesa com energia elétrica – Eq. (13)	R\$	224.650,00	0		0	0	

Verifica-se a partir da Tab. 2, que no sistema atual o volume de cana colhida durante a safra, 800.000 t, é maior do que o processado pela planta anterior. Esse valor se constitui na meta mínima projetada para as safras futuras.

A Figura 3 representa a receita líquida obtida para cada valor de venda do bagaço.

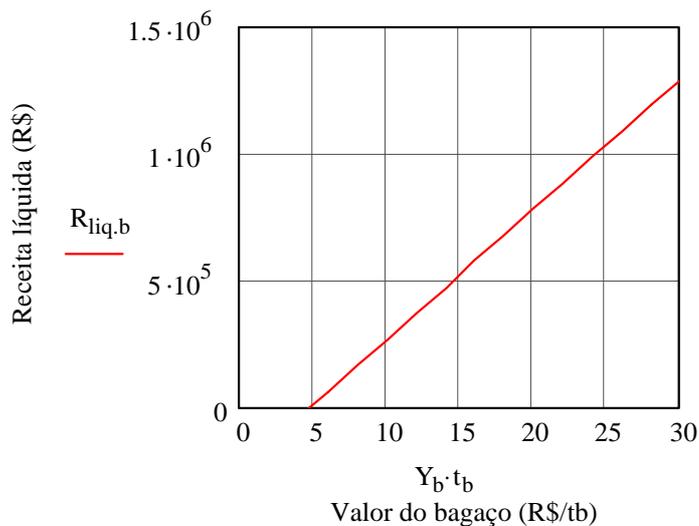


Figura 3. Receita líquida obtida para uma faixa de valor de venda do bagaço.

A Figura 4 apresenta a evolução da receita líquida em termos dos possíveis valores de venda da energia elétrica.

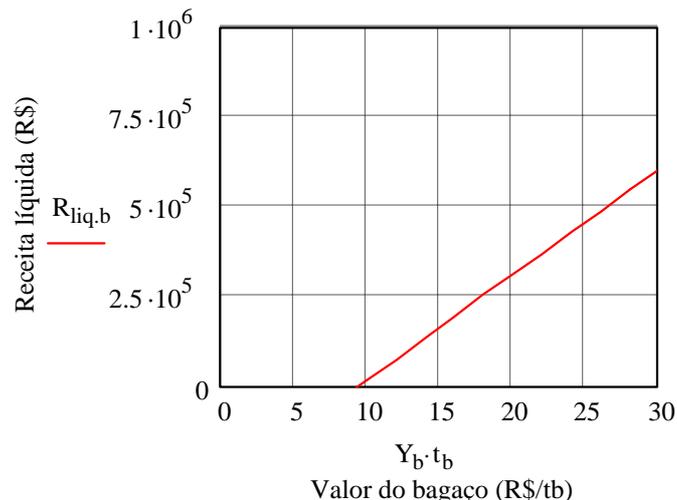


Figura 4. Receita líquida obtida para uma faixa de valor de venda do bagaço, correspondente ao sistema operando no modo “a”.

A Figura 5 representa a receita líquida obtida para cada valor de venda da energia elétrica.

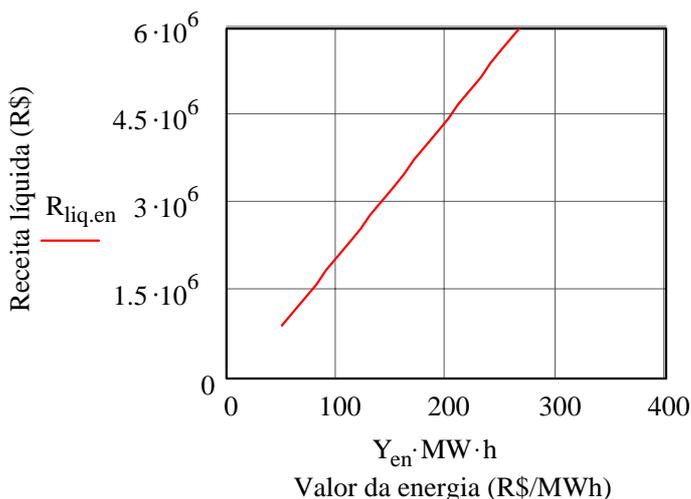


Figura 5. Receita líquida obtida para uma faixa de valor de venda da energia elétrica, correspondente ao sistema operando no modo “b”.

As Figuras 6 e 7 apresentam, respectivamente, o comportamento da taxa de retorno para a planta operando no modo “a” (foi adotado uma receita líquida de R\$ 479.479,35 obtida com a venda do bagaço no valor de R\$ 26 por tonelada), e no modo “b” (que teve como base uma receita líquida de R\$ 1.848.699,54 obtida com a venda de energia elétrica no valor de R\$ 89,89 por MWh) (ANEEL, 2002). Para a construção destas figuras partiu-se das Eqs. (19) e (20), adotando-se uma taxa de atratividade mínima, TMA, igual à taxa de juros de 8 % ao ano, avaliada em um período de 10 anos. Para a planta operando tanto no modo “a”, como no modo “b”, o VPL(i,0) presente nas Figs. 6 e 7, indica apenas que o investimento inicial na montagem desta planta foi de cerca de R\$ 8.000.000,00.

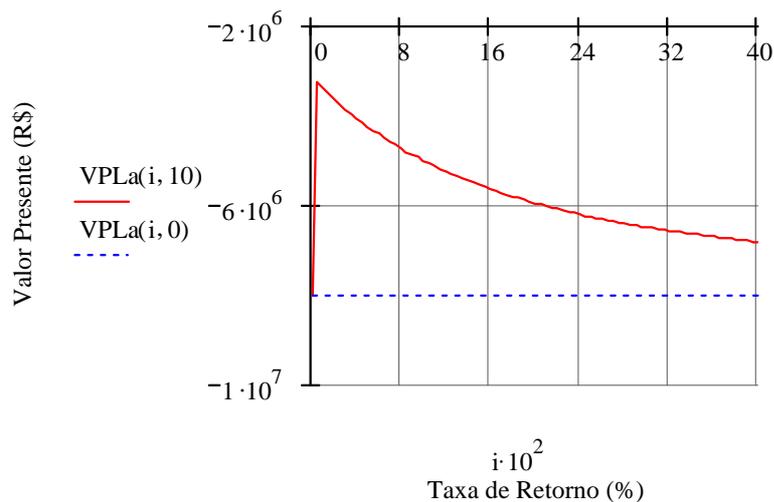


Figura 6. Taxa de retorno para o sistema operando no modo “a”.

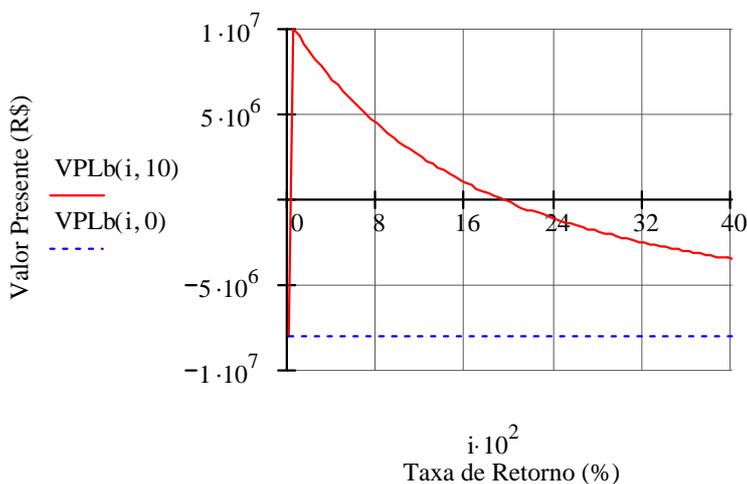


Figura 7. Taxa de retorno para o sistema operando no modo “b”.

7. Análise do investimento

Pela concepção do sistema “a”, haverá sempre sobra de bagaço para a comercialização. Portanto, as discussões econômicas nessa configuração implicarão em considerações sobre a venda do bagaço. Em sendo assim, pela Fig. 6, constata-se que o VPL (Valor Presente Líquido) é sempre negativo. No caso “b” apenas haverá comercialização de energia. Desta forma, levando-se em conta a Fig. 7, se constata que a TIR equivale a 19 %, revelando-se superior a TMA adotada.

Deve-se observar que as análises financeiras aqui efetuadas se prenderam ao horizonte de dez anos, período de amortização bancária do investimento. Não houve preocupação de se impor limites para os lucros, estabelecendo-se como critério de viabilidade, a opção onde a Taxa Interna de Retorno (TIR), seja maior do que a Taxa Mínima de Atratividade, TMA, aqui considerada como 8 % ao ano. O modelo adotado foi simplificado, tendo-se admitido que o efeito da taxa de inflação, nos insumos e na venda de energia, fosse a mesma, e desprezado o efeito do imposto de renda sobre os lucros do investimento, também não foi considerado os custos com manutenção. Estas restrições, todavia, não impedem que, de forma clara, se possa formular comparações realistas entre as situações examinadas ao longo desse trabalho. Dessa maneira, da Fig. 8, percebe-se que no horizonte examinado, as curvas relacionadas com o sistema modificado estão abaixo daquela do sistema anterior. Pela tendência da curva do sistema simulado verifica-se que há uma perspectiva, fora do domínio dos dez anos, dessa curva vir a interceptar a do sistema anterior. Contudo, considerações adicionais teriam que ser levadas em conta para se afirmar que tal opção justificaria o investimento.

A Fig. 8 permite comparar o Valor Presente Líquido para os casos a, VPLa, b, VPLb, e para o sistema anterior, VPL.

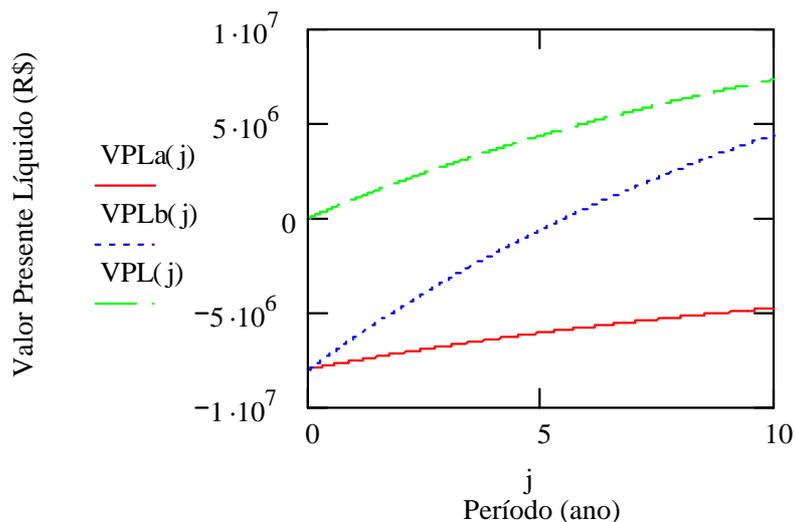


Figura 8. Gráfico comparativo para os VPL's.

8. Conclusão

Ao se examinar os resultados desse estudo, percebe-se que a Japungu explorou no passado e continua a explorar de várias formas, o potencial do bagaço de cana-de-açúcar, seja como combustível, ou comercializando-o, in natura, como ração animal, adubo, ou através da exportação de energia elétrica gerada desse insumo energético. Essa diversidade de opções de gerar riqueza, que o bagaço, ou seus derivados oferecem, em meio às crises energéticas enfrentadas pelo Brasil, leva indústrias sucroalcooleiras, como a Japungu, a ampliar os parques de geração de energia, seja para garantir sua autonomia energética, seja, para exportar energia, através, sobretudo do uso da cogeração. Constata-se, todavia, que promover a cogeração industrial não quer dizer que se garanta o êxito financeiro, sobretudo no caso do setor sucroalcooleiro, dada as opções mercantis fornecidas pelo bagaço. Assim, o ideal é que se estude, amplamente, qualquer projeto de instalação de um novo sistema, ou mesmo de uma ampliação de um sistema de cogeração, antes de executá-lo. Na Japungu não parece ter havido um estudo prévio rigoroso, e nessa avaliação posterior da planta já em funcionamento pode-se inferir que:

1. O novo sistema, concebido com a instalação de uma nova caldeira de 4,12 MPa (42 kgf/cm²) e a turbina de condensação, está sendo servido por um volume de cana colhida, já registrado em anos anteriores, de onde se induz que não houve preocupação com a ampliação do setor de extração da empresa.

2. Do modo como a Japungu vem operando, não há maneira de recuperar o investimento feito, uma vez que o Valor Presente Líquido, sempre se mostrará negativo. No caso "b", considerando-se que a Taxa Interna de Retorno seja igual a 19 %, e que o preço da energia elétrica permanece em R\$ 90/MWh, tampouco se terá retorno de capital, pelo menos no cenário dos 10 anos, que corresponde ao do pagamento do empréstimo tomado pela empresa. É patente, todavia, que o caso hipotético "b", pode ser viabilizado com êxito, dependendo do cenário energético futuro, enquanto que, pode-se inferir que não há esperanças para a concepção atual. Melhor opção teria sido, pois, ter mantido a planta anterior como era, e se vender a sobra de bagaço a R\$ 26,00/t.

9. Agradecimentos

Ao CNPq, pelo apoio financeiro através da concessão de bolsas, para realização desse estudo.

10. Referências

- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002, "Atlas de energia elétrica do Brasil", Brasília.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2002, "Resolução nº 488, de 29 de agosto de 2002", Brasília.
- Bejan, Adrian, 1998, "Advanced Engineering Thermodynamics", A Wiley-Interscience Publication, New York.
- Camargo, Carlos A., et al., 1990, "Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e Alcool: manual de recomendações", Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo.
- Casarotto Filho, Nelson., Kopittke, Bruno H., 1998, "Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial", 8ª ed., Atlas, São Paulo.
- Hugot, Emile, 1969, "Manual da Engenharia Açucareira", Ed. Mestre Jou, São Paulo, Vol. I e II.

- Jaguaribe, E. F., Lobo, P. C., Lima Neto, J. R., Souza, W. L., Rocha, F. A. A., 2002, "Ampliação de uma planta de cogeração de uma destilaria de cana de açúcar visando a auto-suficiência energética – estudo de um caso", Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2002, trabalho CPB0130, João Pessoa-PB.
- Jaguaribe, E. F., Lobo, P. C., Lima Neto, J. R., Souza, W. L., Rocha, F. A. A., 2002, "Estudo termoeconômico da ampliação de um sistema de cogeração de energia em uma destilaria de cana de açúcar", Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas, ENCIT 2002, trabalho CIT02-0240, Caxambu, 2002.
- Japungu Agroindustrial S/A, 2003, "Relatório geral da safra e comparativo de safras: 02/03", Santa Rita-PB.
- Japungu Agroindustrial S.A., 2003, "Boletins de operação: turbo alternadores. Safras 01/02 e 02/03", Santa Rita-PB
- Jones, J. B., Hawkins, G. A., 1986, "Engineering Thermodynamics – an introductory textbook", John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Jornal Gazeta Mercantil, 22/02/2002, "Caderno Agronegócios", www.gazeta.com.br, São Paulo.
- Kotas, T. J., 1995, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Krieger Publishing Company, Reprint edition, Florida, USA.
- Lobo, P. C., Jaguaribe, E. F., Lima Neto, J. R., Rocha, F. A. A., Souza, W. L., 2002, "Comparison Between two Cogeneration Schemes in Sucro-Alcohol Plants", Proceeding of the 15th International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2002, v. III, pp 1448-1454. Edited by G. Tsatsaronis, M. J. Moran, F. Czesla and T. Bruckner. ISBN 3-00-009533-0. Berlin, Germany.
- Lobo, P. C., Jaguaribe, E. F., Lima Neto, J. R., Rocha, F. A. A., Souza, W. L., 2002, "Análise comparativa de sistemas de cogeração usados em duas diferentes plantas sucro-alcooleiras", Anais do II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2002, trabalho CPB0131, João Pessoa-PB.
- Marim, Walter C., 1980, "Análise de alternativas de investimento: uma abordagem financeira", 2^a ed., Atlas, São Paulo.
- MME, Ministério de Minas e Energia, 2001, "Balanço Energético Nacional", Brasília.
- Sonntag, Richard E., Borgnakke, Claus, Wylen, Gordon J. Van, 1998, "Fundamentos da Termodinâmica" Edgard Blücher, 5^a ed., São Paulo.
- Souza, Wilson L., 2004, "Comparações Termo-Energéticas e Econômicas de Opções de Cogeração de uma Destilaria", Dissertação de Mestrado, João Pessoa-PB

VENDER BAGAÇO OU COMERCIALIZAR ENERGIA GERADA PELA COGERAÇÃO?

Emerson Freitas Jaguaribe

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
ejaguaribe@uol.com.br

Pio Caetano Lobo

Av. Sinésio Guimarães, 1001 – 58040 400. João Pessoa – PB – Brasil
pclobo@nestscape.net

Wilson Luciano de Souza

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
wilsonluciano@yahoo.com.br

Roberto Montargil Rocha

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
robmontargil@yahoo.com.br

Evaldo Torres do Nascimento

DTM/CT – Campus I da UFPB – 58059 900. João Pessoa – PB – Brasil
evaldo.torres@bol.com.br

Abstract. In Brazil electrical power consumption in the last decade was higher than the generation capacity, urging the country to increase investment in the electrical area, and to regulate the national policy for the sector. The situation has also motivated the use of alternative sources, such as biomass, to fuel the decentralized electricity generation. The most important residual biomass used to generate electricity is the sugarcane bagasse. The present work discusses a real case of investment to restructure and expand an existing cogeneration plant in a distillery, considering the value of surplus bagasse and electricity in the market, during a ten-year period. With the new plant the distillery became self-sufficient in energy, having also 21240 MWh of electricity for commercialisation. However, economical analysis indicates that the best option would have been not to change the previous plant, and sell bagasse at R\$ 26.00/t.

Keywords: Biomass residue; Energy cogeneration; Investment analysis; Expanding a cogeneration plant..