

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Análise de Viabilidade Técnica e Econômica para Implementação de Sistema de Cogeração  
de Energia Elétrica pela Biomassa

Jarson Garcia Arena  
Jose Renato Campanari  
Reinaldo Antonio Bellato

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Programa de Educação Continuada em Economia  
e Gestão do Agronegócio para obtenção do título  
de Especialista em Investimento e Gestão na  
Agroindústria Sucroalcooleira

Piracicaba -SP  
2010

Jarson Garcia Arena  
Engenheiro Mecânico

José Renato Campanari  
Engenheiro Mecânico

Reinaldo Antonio Bellato  
Tecnólogo Químico em Açúcar e Alcool

Análise de Viabilidade Técnica e Econômica para Implementação de Sistema de Co-  
geração de Energia Elétrica pela Biomassa

Orientador: Msc. Jerônimo Alves dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Programa de Educação Continuada em  
Especialização Investimento e Gestão na  
Agroindústria Sucroalcooleira

Piracicaba  
2010

*A Deus que nos deu a vida em sua plenitude e conquista sobre todas as nossas dificuldades  
E que Este permita que nossos esforços não sejam em vão, e que colhamos  
o doce fruto do conhecimento e reconhecimento*  
**OFERECEMOS**

*As nossas famílias pela compreensão de nossa ausência durante o curso e aos colegas  
deste com quem compartilharam esta jornada.*  
**DEDICAMOS**

*A ESALQ/PECEGE por proporcionar o curso com um corpo docente de gabarito e  
competência  
A todos professores do curso que  
nos proporcionaram conhecimento, engrandecendo aos nossos  
Ao orientador Jerônimo Alves dos Santos que não poupou esforços para ajudar e orientar  
A todos os colegas de curso com os quais formamos firmes laços de amizade*  
**AGRADECIMENTOS**

---

**SUMÁRIO**

<b>RESUMO</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTA DE FLUXOGRAMAS</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTAS DE ABREVIATÕES E SIGLAS</b> .....	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1. Hipótese .....	14
<b>2. OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>14</b>
2.1. Objetivos específicos .....	14
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1. Fatores importantes para incremento de cogeração no setor sucroalcooleiro ..	16
3.1.1. Evolução níveis de P/T, com utilização turbinas de extração-condensação	17
3.1.2. Eletrificação de acionamentos e redução de consumo de vapor em processos	21
3.1.3. Aproveitamento de palha/pontas .....	21
3.1.4. Outros incentivos .....	22
3.1.4.1. Crédito de carbono .....	24
3.1.5. Modelo de contrato de compra e venda de energia elétrica .....	24
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
4.1. Estudo de viabilidade econômica .....	24
4.1.1. Valor Presente Líquido- VPL .....	24
4.1.2. Taxa Interna de Retorno- TIR .....	25
4.1.3. Payback Descontado- PBD .....	26
4.2. Análise gráfica .....	27
4.3. Considerações e base de dados .....	27
4.3.1. Opções de investimento .....	28
4.4. Análises sobre investimentos/custos .....	30
<b>5. RESULTADOS E OBSERVAÇÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>57</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>58</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>59</b>

## RESUMO

### **Geração de energia elétrica- Energia renovável- Co-geração por biomassa**

Este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade técnico-econômica de uma fonte produção de energia elétrica limpa e renovável, condição esta necessária para o desenvolvimento sustentável de nosso País e para toda população do Planeta Terra e, para isto estudamos medidas de implementação de melhorias ao setor de produção de energia de uma empresa tradicional de bioenergia com moagem anual de 2.000.000 de toneladas de cana de açúcar, com produção de açúcar, alcoóis e energia elétrica para consumo interno, sem exportação; Para tanto estabelecemos um estudo de inclusão de processo de cogeração visando a exportação de energia elétrica ao Sistema, se utilizando além da fonte usual de energia proveniente do bagaço de cana, também de fonte suplementar proveniente de parte das pontas e palhas que ficam na lavoura no processo de corte mecânico da cana de açúcar. O processo operacional funcional com base anual é projetado para atividades em 8000 horas, sendo 5000 horas, em período/época de safra e 3000 horas, em período/época de entressafra. Foram elencadas, além dos equipamentos convencionais já utilizados na empresa, de mais três opções de investimentos em equipamentos, ambas com apresentação de resultados funcionais e financeiros e com conclusão de opção de maior viabilidade técnica econômica ao projeto.

Palavras-chave: cana-de-açúcar; biomassa; palhiço; energia; bioenergia; viabilidade.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 3.1. EPE 2008- Oferta Interna x Matriz energética disponível .....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3.2. Sistema de co-geração tradicional usado no setor sucroalcooleiro .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 3.3. Evolução e ganhos devido à pressão e temperatura .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3.4. Consumo específico de vapor em função da pressão e temperatura .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3.5. Sistema de co-geração com aumento de temperatura e pressão .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3.6. Sistema de co-geração com turbina de condensação e extração .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5.6.1. Planta esquemática de equipamentos .....</b>	<b>56</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.1. Matriz de energia elétrica no Brasil .....</b>	<b>12</b>
<b>Tabela 3.1. Potencial de geração de bioeletricidade até 2013 .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabela 4.3.1. Modelo explicativo- Itens comparativos realizados em safra .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 4.3.2. Modelo explicativo- Itens comparativos realizados em entressafra .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 5. Resultados do fluxograma 1 .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 6. Resultados do fluxograma 2 .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 7. Resultados do fluxograma 3 .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 8. Resultados do fluxograma 4 .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 9. Resultados do fluxograma 5 .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 10. Resultados do fluxograma 6 .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 11. Resultados do fluxograma 7 .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 12. Itens iniciais para o estudo de viabilidade - opção 1 .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabela 13. Custos consideráveis .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 14. Custos dos novos equipamentos .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabela 15. Resultados da primeira análise .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 16. Itens iniciais para o estudo de viabilidade - opção 2 .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 17. Custos consideráveis .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 18. Custos dos novos equipamentos .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 19. Resultados da primeira análise .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 20. Itens iniciais para o estudo de viabilidade- opção 3 .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 21. Custos consideráveis .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 22. Custos dos novos equipamentos .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 23. Resultados da primeira análise .....</b>	<b>56</b>

**LISTA DE GRÁFICOS**

**Gráfico 4.2.1. Análise de fluxo de caixa de um projeto ..... 27**

**LISTAS DE FLUXOGRAMAS**

<b>Fluxograma inicial 5.1. Operação s/ exportação de energia .....</b>	<b>31</b>
<b>Fluxograma 2. Exportação de energia sem alteração nos acionamentos .....</b>	<b>33</b>
<b>Fluxograma 3. Operação durante período de entressafra .....</b>	<b>35</b>
<b>Fluxograma 4. Exportação de energia alteração nos acionamentos .....</b>	<b>38</b>
<b>Fluxograma 5. Operação durante período de entressafra .....</b>	<b>40</b>
<b>Fluxograma 6. Exportação de energia alteração nos acionamentos .....</b>	<b>44</b>
<b>Fluxograma 7. Operação durante período de entressafra .....</b>	<b>46</b>

**LISTA DE ABREVIATÖES/ SIGLAS**

**BIG/ANEEL**- Banco informações de geração/ Agência nacional de energia elétrica,

**PIB**- Produto interno bruto,

**FIESP**- Federação das indústrias do estado de são Paulo,

**TIR**- Taxa interna de retorno ,

**VPL** – Valor presente líquido,

**PAYBACK**- Termo em inglês que significa retorno de pagamento investimento,

**COGEN SP**- Associação da indústria de cogeração de energia SP,

**Mt/S**- Milhões de toneladas /safra,

**TGM**- Empresa fabricante de turbinas a vapor,

**KWh**- Quilowatt hora,

**MW**- Megawatt,

**Kgv/TC**- Quilos de vapor/tonelada de cana moída,

**ÚNICA**- União das indústrias de cana de açúcar,

**FAPESP**- Fundação de amparo a pesquisa do estado de são Paulo,

**MME**- Ministério de minas e energia,

**BNDES**- Banco nacional de desenvolvimento econômico e social,

**DCP MDL**- Documento concepção de projeto mecanismo de desenvolvimento limpo,

**ENEGEP**- Encontro nacional de engenharia de produção,

**UNFCCC**- United nations framework convention on climate change,

**STAB**- Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil,

**PREPARO**- Setor de preparo da cana com nível de células abertas acima de 85%,

**EXTRAÇÃO** - Setor de extração ou moagem da cana preparada,

**MAPA:** Ministério de agricultura, pecuária e abastecimento;

**ESALQ:** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,

**RETROFIT-** Termo utilizado em otimização e/ou alterações em equipamentos,

**CO-FIRING-** Termo utilizado quando se queima de dois ou mais tipos de biomassa,

**CTC-** Centro de tecnologia canavieira (ex- Copersucar),

**HECTARE** - Unidade de medida de área equivalente a 10.000m<sup>2</sup>,

**RCE's-** Reduções certificadas de emissões

**KWh/TC-** Quilowatt hora/tonelada de cana moída,

**TCH-** Toneladas de cana por hora,

**TC-** Toneladas de cana;

**TBH-** Toneladas de biomassa por hora;

**TCD-** toneladas de cana processada por dia,

**TVH-** toneladas de vapor por hora,

**KVA-** Quilovolt àmpere,

**EPE-** Empresa de pesquisa energética- Ministério de minas e energia,

**PROINFA** – Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica,

## 1- INTRODUÇÃO

A busca permanente por fontes de energias limpas e renováveis deve ser objeto de constantes estudos visando ao aproveitamento máximo de fontes energéticas disponíveis..

No caso do Brasil, o sistema de geração de energia elétrica é caracterizado pela predominância de usinas hidrelétricas. Aproximadamente 80% da capacidade de geração instalada são de origem hidráulica (Tabela 1), isso se deve em grande parte das condições geográficas favoráveis e a presença de grandes extensões de linhas de transmissão de energia elétrica.(MATTOS, 2005).

Além do processo de privatização do setor nos anos noventa, em 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) Em 1998 foi criado o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), e 1999 começou a funcionar o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). No ano 2000 foi criado o Conselho Nacional de Política Energética e mais recentemente, em 2004, foi criada a empresa de pesquisas energética (EPE)

Tabela 1.1- Matriz de energia elétrica no Brasil

Empreendimentos em Operação							
Tipo	Capacidade Instalada			%	Total		%
	N.ºde Usinas	(kW)			N.ºde Usinas	(kW)	
<b>Hidro</b>		800	77.884.639	69,02	800	77.884.639	69,02
<b>Gás</b>	Natural	90	10.599.802	9,39	121	11.844.285	10,50
	Processo	31	1.244.483	1,10			
<b>Petróleo</b>	Óleo Diesel	765	3.985.302	3,53	785	5.548.496	4,92
	Óleo Residual	20	1.563.194	1,39			
<b>Biomassa</b>	Bagaço de Cana	269	4.034.678	3,58	329	5.518.743	4,89
	Licor Negro	14	1.145.798	1,02			
	Madeira	32	265.017	0,23			
	Biogás	7	41.842	0,04			
	Casca de Arroz	7	31.408	0,03			
<b>Nuclear</b>		2	2.007.000	1,78	2	2.007.000	1,78
<b>Carvão Mineral</b>	Carvão Mineral	8	1.455.104	1,29	8	1.455.104	1,29
<b>Eólica</b>		33	414.480	0,37	33	414.480	0,37
<b>Importação</b>	Paraguai		5.650.000	5,46		8.170.000	7,24
	Argentina		2.250.000	2,17			
	Venezuela		200.000	0,19			
	Uruguai		70.000	0,07			
<b>Total</b>		<b>2.078</b>	<b>112.842.747</b>	<b>100</b>	<b>2.078</b>	<b>112.842.747</b>	<b>100</b>

Fonte: BIG/ANEEL-2009

É grande a importância dos investimentos neste setor, principalmente porque existe uma demanda reprimida no País, condição esta que pode ser confirmada com o racionamento de energia elétrica ocorrido entre os anos de 2001 a 2002 (RER, 2006).

A demanda por energia elétrica será um gargalo para o crescimento econômico do Brasil para os próximos anos, o crescimento do PIB não passará de 4% a.a até 2010, resultado da baixa taxa de investimento no setor elétrico (FIESP, 2008).

No caso das empresas de bioenergia nacionais que se utilizam de cana-de-açúcar como matéria prima em seus processos industriais, são auto-suficientes em sua matriz energética em períodos de safra. Além disso, tem também aproveitamento racional de energia disponível no bagaço e no palhicho de cana-de-açúcar no período entre safra.

Mesmo assim a geração de energia elétrica por parte do setor sucroalcooleiro se encontra muito aquém de seu potencial. Mediante a adoção de tecnologias disponíveis de co-geração a partir do bagaço e da palha, apenas a produção de excedente de energia por parte das usinas paulistas seria capaz de suprir o déficit de toda a Região Sudeste, por ocasião do racionamento, durante a crise de 2001-2002 (SOUZA, 2003).

Segundo a MAPA/ESALQ (2008), existem no Brasil 410 empresas de bioenergia de açúcar e/ou álcool em operação, com potencial suplementar de co-geração de energia elétrica ao sistema de 2.100 MW, a média desta produção é equivalente a 15% da capacidade instalada de geração de energia elétrica da Usina de Itaipú.

Com a possibilidade de exportar excedente de energia nos períodos de safra e entre safra, pode-se gerar num primeiro momento maior fator de renda nas empresas e formas de contribuição do setor para o desenvolvimento sustentável no país.

Sob esta ótica, deve-se utilizar como fonte suplementar de combustível para as caldeiras, além do bagaço, o palhicho de cana-de-açúcar proveniente do processo de colheita mecânica. Segundo VIOTTI (2006) a média produzida está entre 9,5 a 15,1 toneladas de palhicho/ha, com umidade entre 15% e 25%. Esta é uma fonte considerável de energia que permanece no campo com baixo aproveitamento orgânico.

Como a energia elétrica é fator fundamental para o desenvolvimento de um país, o processo renovável de geração de energia elétrica a partir da queima de bagaço e palhicho de cana-de-açúcar é uma das alternativas que poderiam ser apresentadas para contribuir com a crescente demanda de energia no Brasil.

## 1.1- HIPOTESE

A cogeração de energia através da queima do bagaço e palhiço da cana-de-açúcar poderão gerar excedentes de energia elétrica suprimindo parte da necessidade da demanda de consumo de energia elétrica brasileira ,

## 2- OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar técnica e economicamente o processo de cogeração de energia elétrica de uma Usina de bioenergia a partir da cana-de-açúcar.

Os objetivos específicos são:

- a) Levantar informações de uma Usina de bioenergia com capacidade 2.000.000 toneladas de cana-de-açúcar/safra, que utiliza em seu processo atual de vapor a pressão de 21bar ;
- b) Fazer levantamento dos custos totais do investimento em motor elétrico ou turbina de múltiplo estágio nos acionamentos mecânicos relativos aos setores de preparo e moagem da cana, visando geração de energia pela Usina;
- c) Analisar a viabilidade desses empreendimentos através dos cálculos da TIR, VPL e Payback,

## 3- REVISÃO DE LITERATURA

Apesar da auto-suficiência em energia elétrica, a geração de excedentes nas usinas sucroalcooleiras é ainda bastante limitada, apenas cerca de 15% da energia gerada é exportada. Isso porque a maior parte das usinas possui instalações relativamente antigas que operam aquém do potencial técnico existente, considerando-se a quantidade de biomassa residual gerada e as novas tecnologias disponíveis e em sendo assim segundo EPE 2008, a oferta interna de energia elétrica por biomassa representa 4,1 % do total, sendo de que segundo EPE 2008,o potencial da matriz energética brasileira para o setor é de 15,9% do total, segundo tabela 3.1.

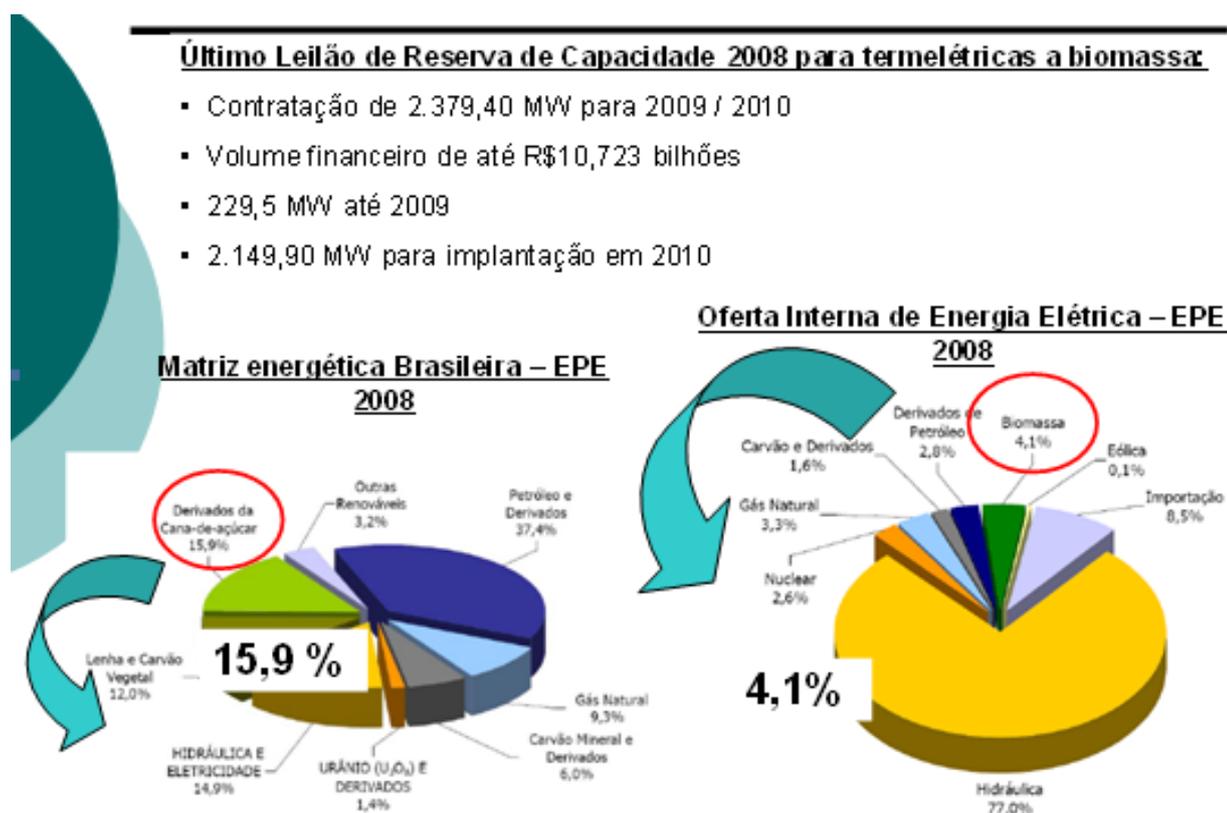


Figura 3.1- EPE 2008- Oferta Interna x Matriz energética disponível

Fonte:MME/ EPE 2008

A tabela 3.2 mostra uma estimativa da COGEN-SP do potencial de geração de bioeletricidade até a safra 2012-2013, considerando a instalação de novas unidades e o retrofit das atuais (COGEN-SP 2007).

Tabela 3.1 – Potencial de geração de bioeletricidade até 2013.

Safra	Número de Usinas	Cana	Bagaço	Instalado	Exportação	Retrofit	Nova
(S)		Mt/S		MW			
2006-2007	251	372	93	3.861	1.490	1.122	368
2007-2008	265	423	106	10.131	2.666	316	860
2008-2009	282	492	123	11.787	4.166	316	1.183
2009-2010	313	556	139	13.331	5.585	316	1.103
2010-2011	343	605	151	14.508	6.742	316	841
2011-2012	349	641	160	15.376	7.678	316	620
2012-2013	351	668	167	16.009	8.447	316	452

Fonte: COGEN-SP 2007

Observa-se que o potencial de energia a contratar até 2013 será da ordem de 7.000 MW, sendo cerca de 27% proveniente de retrofit, o que representa um crescimento de quase 5 vezes se comparado com o valor contratado até a safra 2006-2007.

Estimativas da evolução da produção de cana e da capacidade instalada até a safra 2021-2022 demonstram que o setor sucroalcooleiro espera atingir uma produção de 1 bilhão de toneladas de cana e oferta de 12.000 MW de bioeletricidade, gerando uma demanda potencial de cerca de 400 turbinas a vapor com capacidade de geração de 30 MW a 40 MW cada (COGEN-SP, 2007).

### 3.1 – Fatores importantes para o incremento da co-geração no setor sucroalcooleiro

Diversas são as possibilidades para incremento de eletricidade com a manutenção dos sistemas tradicionais, e todas elas passam pela melhoria da eficiência energética do processo, reduzindo o consumo de vapor por tonelada de cana processada e usando a quantia economizada para produzir mais eletricidade. Na figura 3.2 é ilustrado de um processo tradicional de co-geração d energia elétrica em Usina

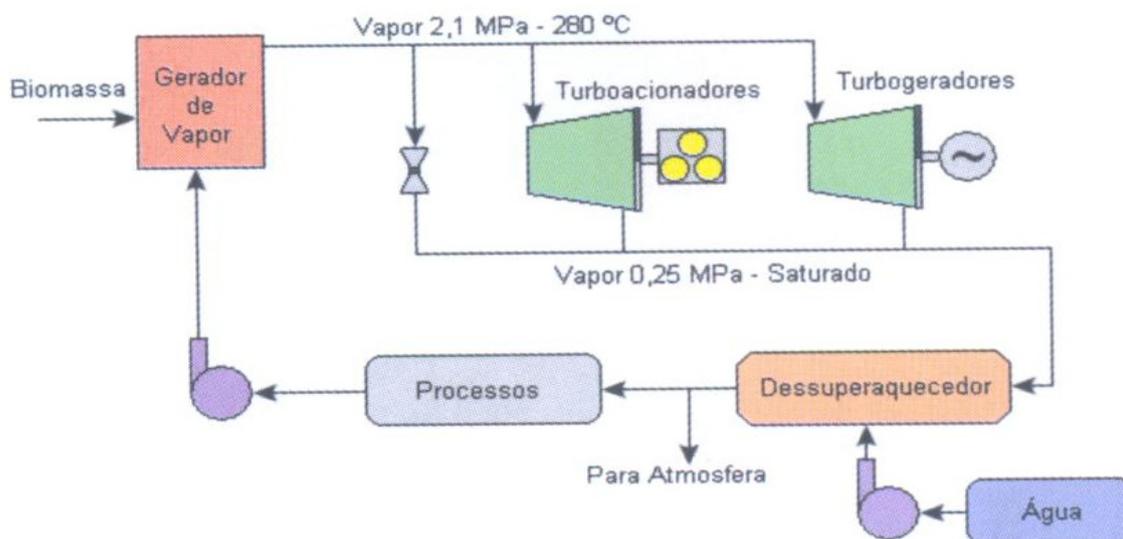


Figura 3.2 – Sistema de co-geração tradicional usado no setor sucroalcooleiro

Fonte: TGM – AZZOLINI ,2007

No fluxograma da figura 3.2, está representado o ciclo de cogeração existente em uma Usina tradicional, que não apresenta produção de energia elétrica para exportação e sim somente para auto consumo.

Neste balanço, as caldeiras geram vapor com pressão de 21 kgf/cm<sup>2</sup> a 300°C (2,1MPa=21 bar) e tem como objetivo de aproveitar os acionamentos turbinados das moendas e de geradores de baixo rendimento que abastecerão a unidade com energia elétrica. Não há neste caso produção de excedente de energia para comercialização.

A interferência mínima possível seria a substituição das atuais turbinas a vapor de simples estágio e baixa eficiência por turbinas de múltiplos estágios e de maior eficiência.

A substituição das atuais caldeiras por outras de maiores pressão e temperatura e, dos turbogeradores de contra-pressão por turbogeradores de extração – condensação, seria uma interferência mais profunda, mas que ainda permitiria a manutenção dos atuais ciclos de contra-pressão (CORREA NETO & RAMON, 2002).

Adicionalmente existem outras tecnologias que também estão sendo implantadas, tais como a eletrificação dos acionamentos e aproveitamento da palha como combustível, por meio de substituição da queimada e coleta manual pela colheita mecanizada.

No entanto, para que ocorra um incremento ainda maior da produção de eletricidade no setor sucroalcooleiro, devem ser utilizadas tecnologias ainda mais avançadas, ainda em desenvolvimento, que permitam um melhor aproveitamento energético do combustível (CORREA NETO & RAMOS, 2002).

Como exemplo pode-se citar a gaseificação do bagaço e/ou vinhaça e até mesmo o uso de gás natural como combustível complementar (co-firing) para elevar o poder calorífico do gás combustível resultante da gaseificação, aumentando assim o potencial para geração de energia.

### **3.1.1 – Evolução dos níveis de pressão e temperatura e utilização de turbinas de extração-condensação**

Com o grande desenvolvimento tecnológico, é crescente o aumento dos níveis de pressão e temperatura nos equipamentos (caldeiras e turbinas a vapor), passando dos modestos valores de 21 kgf/cm<sup>2</sup> e 300°C (21 bar) usados na década de 70 para até 120 kgf/cm<sup>2</sup> e 540°C (120 bar) nos novos projetos em desenvolvimento.

A Figura 3.3 mostra os ganhos energéticos associados ao aumento dos níveis de pressão e temperatura, segundo o fabricante de turbinas TGM (AZZOLINI, 2007).

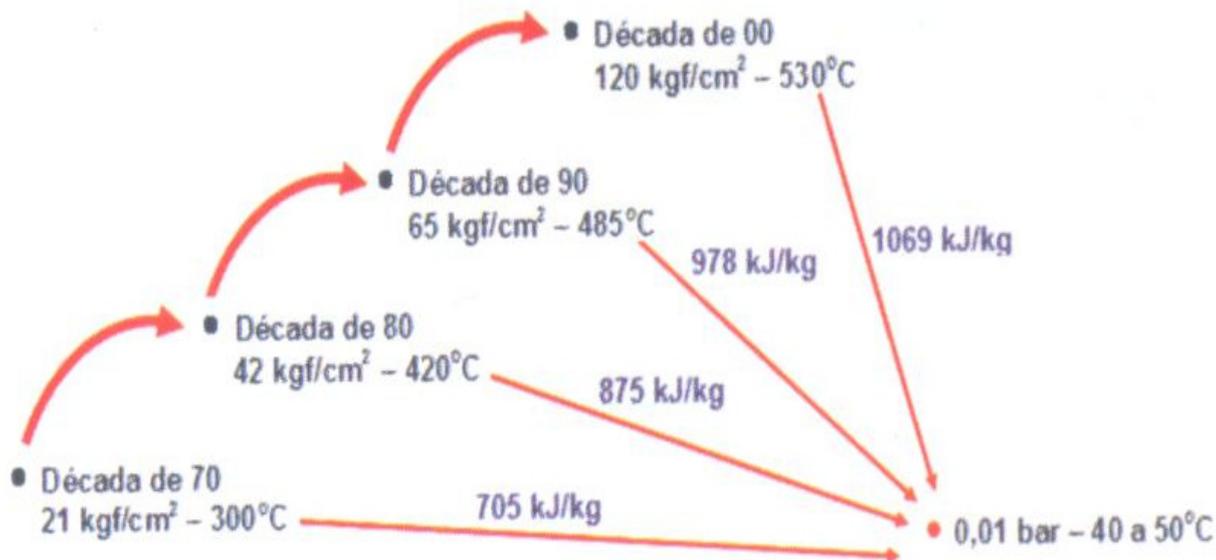


Figura 3.3 – Evolução e ganhos devido à pressão e temperatura

Fonte: AZZOLINI, 2007

Na figura 3.4 é mostrado o consumo específico de vapor em função dos níveis de pressão e temperatura, verificando-se que existe uma redução considerável com o aumento desses parâmetros, com conseqüente aumento da produção de eletricidade (AZZOLINI, 2007).

Nota-se de que se tem o aumento da eficiência das turbinas de acordo com o aumento dos níveis de pressão e temperatura do vapor gerado pela caldeira e utilizado nos flanges de entrada das máquinas, sendo que para os valores maiores de pressão e temperatura, o consumo de vapor pela máquina diminui para cada kWh gerado, por exemplo: para uma turbina que tenha seu acionamento c/ vapor a 120 bar, 530°C, serão consumidos aproximadamente 3,5 kg de vapor por kWh gerado pela máquina. Já para uma turbina que utiliza vapor a 21 bar a 300°C, a máquina deverá consumir 4,5 kg de vapor para geração de mesmo kWh de energia elétrica.

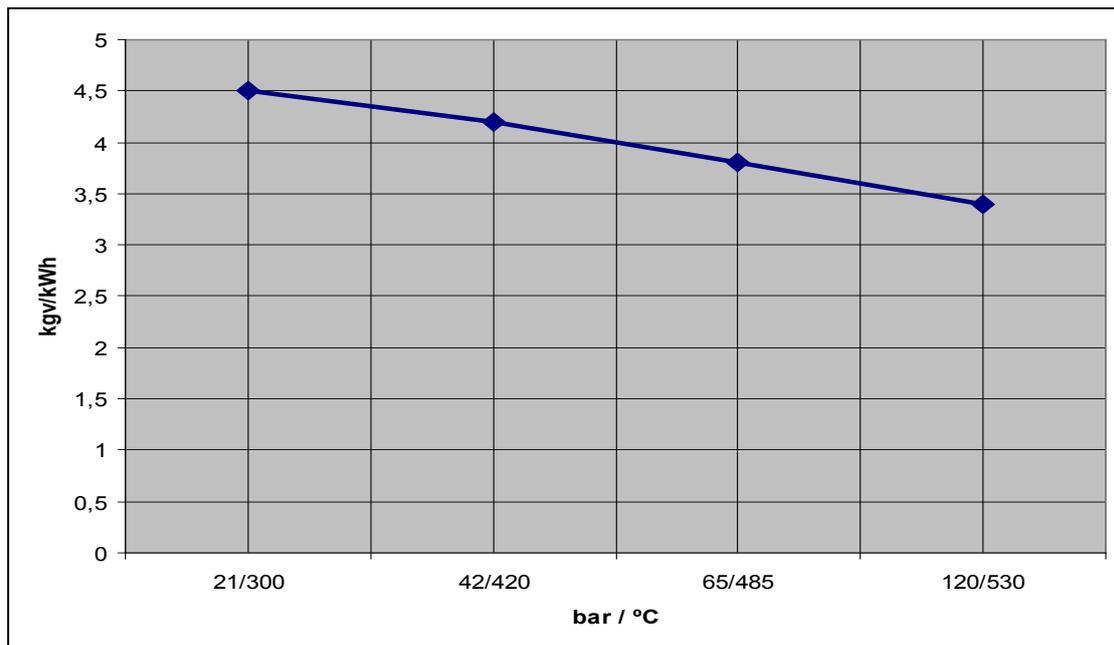


Figura 3.4 – Consumo específico de vapor em função da pressão e temperatura

Fonte: AZZOLINI, 2007;

Na figura 3.5 denota de um sistema de cogeração tradicional modificado, com a substituição da caldeira e a introdução de um turbogerador que operam em níveis de temperatura e pressão superiores, sendo mantidos os outros componentes da Figura 3.1 (CORREA NETO & RAMON, 2002).

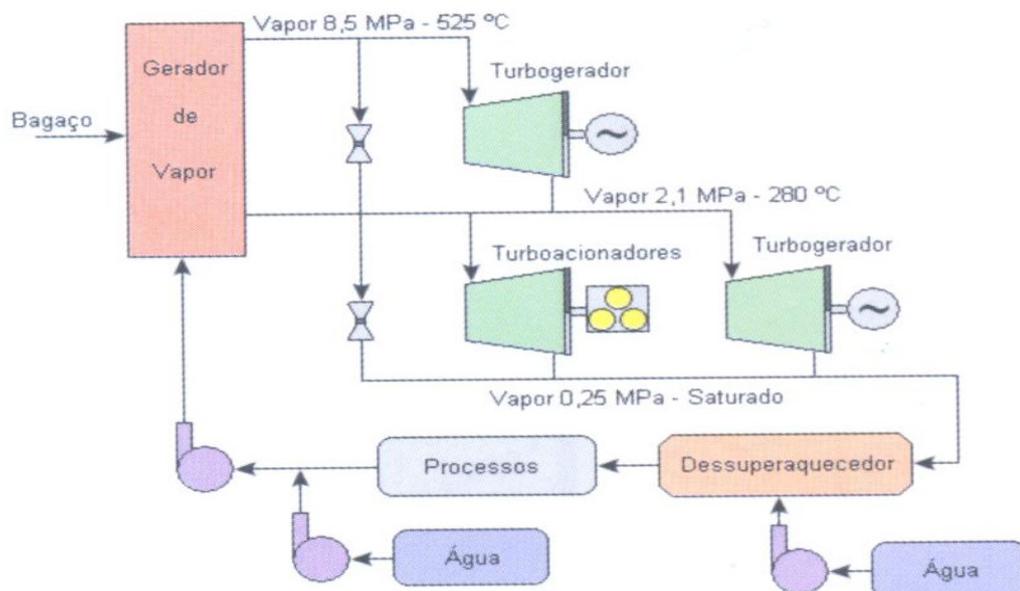


Figura 3.5 – Sistema de cogeração com aumento de temperatura e pressão

Fonte: AZZOLINI, 2007

Na figura 3.5 é representado um ciclo de cogeração com a implantação de uma turbina de alto rendimento e caldeira de alta capacidade de geração de vapor a alta pressão e temperatura.

O vapor de escape da turbina é utilizado para o acionamento das turbinas ligadas às moendas e aos geradores de baixa capacidade. Nesta figura, diferentemente da Figura 1, há a geração de energia para consumo interno da unidade e para exportação do excedente de energia pela produção da turbina de alta eficiência.

Quando o objetivo principal é adequar a planta para produção e venda de excedente de eletricidade, o uso de turbinas de extração/condensação é mais viável. Além de altos índices de desempenho, tais máquinas se justificam também pela capacidade de satisfazer a relação energia térmica e elétrica, que pode variar em uma ampla faixa.

Este sistema normalmente possui turbinas de extração dupla, sendo a primeira no nível de pressão em que o vapor é requerido pelas turbinas de acionamento mecânico, e a segunda na pressão em que o vapor é consumido no processo produtivo. Comumente, o vapor de escape das turbinas de acionamento mecânico soma-se ao fluxo da segunda extração, visando satisfazer a demanda de vapor de processo.

Na figura 3.6, mostra-se a utilização de uma turbina de extração/condensação numa planta de co-geração de energia em uma usina sucroalcooleira (CORREA NETO & RAMON, 2002).

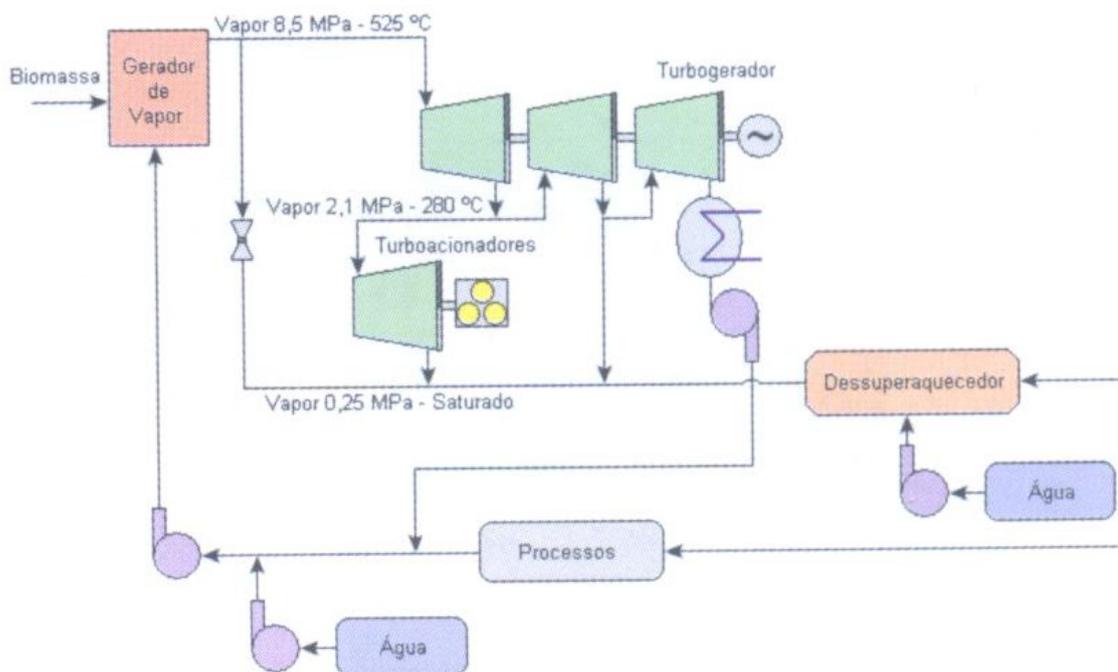


Figura 3.6 – Sistema de cogeração com turbina de condensação e extração

Fonte: CORREA NETO & RAMON, 2002

Para esta situação, existe a implantação de uma turbina de alto rendimento com dois pontos de extração: o primeiro para alimentação de vapor em pressão de 21bar, 300°C que será utilizado para alimentação das turbinas que acionam as moendas.

O segundo ponto de extração será responsável pela alimentação de vapor em baixa pressão necessária para as necessidades de processo, uma vez que neste caso a unidade substituiu os turbo geradores de baixo rendimento. O vapor de escape da turbina será condensado e bombeado diretamente para o retorno de água da caldeira.

### **3.1.2 – Eletrificação dos acionamentos e redução de consumo de vapor nos processos**

Existe nas usinas sucroalcooleiras uma série de equipamentos que possuem acionamento mecânico por meio de turbinas a vapor, e dentre eles podem ser citados: bombas de água, ventiladores/exaustores, niveladores, picadores, desfibrador e moendas, que podem ser substituídos por motores elétricos modernos e eficientes.

Segundo estimativas do fabricante de turbinas TGM, a eletrificação dos acionamentos permite um consumo de 10% da energia com relação à utilização de sistemas modernos, o que pode chegar a uma economia maior se comparada com sistemas mais antigos.

Por outro lado, a redução do consumo de vapor de processo resulta em um maior excedente de eletricidade no caso de um sistema de cogeração com turbina de condensação.

O consumo médio da maioria das usinas antigas é da ordem de 500 kgv/TC. Com o uso de sistemas combinados de destilação à alta pressão, de evaporadores de cinco efeitos e de sangrias de vapor no evaporador para aquecimento do caldo, pode-se reduzir bastante esse consumo. Vale destacar que a maioria das novas usinas apresenta consumo entre 340 e 400 kg de vapor por tonelada de cana moída, para a produção de álcool apenas ou açúcar e álcool, respectivamente, segundo dados da DEDINI (2007) e D'ÁVILA (2009).

### **3.1.3 – Aproveitamento de Palha**

A cana de açúcar é constituída por colmos, dos quais é extraído o caldo e produzido o bagaço, e pelas pontas e palha, geralmente denominada apenas palha.

A queima da palha da cana-de-açúcar sempre foi uma prática generalizada no setor sucroalcooleiro para facilitar a colheita, mas em 2002, no estado de São Paulo, foi promulgado um decreto para a eliminação gradual dessa prática, despertando o interesse em sua recuperação para uso como combustível adicional ao bagaço.

Mais recentemente, em Julho de 2007, foi assinado o Protocolo Verde (ÚNICA - Governo Estado de SP), o qual determina que a queimada seja totalmente abolida em todas as áreas com declividade até 12%, para minimizar os efeitos da poluição; com isso, os investimentos para a colheita mecanizada e a recuperação da palha para a geração de energia tendem a se multiplicar.

Vale destacar que a produtividade da palha em base seca é em média 14% da cana, cuja produtividade média é de 82,4 toneladas por hectare. Estudos mostram que cerca de 24% da palha inicial é transportada com a cana para a usina, após a colheita mecanizada sem queima; do restante da cana que fica no campo, consegue-se recuperar mais cerca de 64% da palha inicial, a qual pode ser transportada em fardos para a usina, permanecendo os outros 12% da quantidade inicial no campo para adubação e proteção do solo (CTC, 2007).

Em termos de potencial energético, a palha representa quase 1/3 da energia total da cana, sendo o restante distribuído de maneira mais ou menos equilibrada entre caldo, que produzirá o açúcar e o álcool, e o bagaço, que produzirá eletricidade. A umidade relativa da palha é a cerca de 15%, e a do bagaço é a cerca de 50%, conferindo-lhe assim um maior poder calorífico inferior (PCI), de 3060 kcal/kg, contra 1800 kcal/kg do bagaço (CORREA NETO & RAMON, 2002

De acordo com VIOTTI (2006), considerando uma média de 10 toneladas da palha por hectare, um canavial com produtividade da ordem de 85 toneladas de cana por hectare e o poder calorífico acima especificado, conclui-se que o potencial energético da palha é cerca de 430 kWh/TC.

Vale destacar também que existem pesquisas em andamento para a produção de álcool a partir da palha e do bagaço por meio do processo de hidrólise, não havendo ainda uma previsão de quais seriam as quantidades ideais destinadas à geração de eletricidade e à produção de álcool.

### **3.1.4 – Outros incentivos existentes e/ou necessários para o incremento da cogeração de energia no setor sucroalcooleiro**

Algumas ações têm sido desenvolvidas para incrementar a co-geração de energia no setor sucroalcooleiro, principalmente no Estado de São Paulo, onde se encontra a maior parte das usinas.

Dentro destas ações pode ser destacada a da Secretaria de saneamento e energia, que está iniciando um trabalho sobre a matriz energética paulista, que identifica, realiza levantamentos e avalia todos os fatores relacionados com a geração de energia elétrica, com destaque para a geração distribuída baseada na co-geração por meio de bioenergia.

Em abril de 2007, foi constituída a comissão especial de bioenergia do Estado de São Paulo, cujo objetivo é dar subsídios para a elaboração de um plano de ação do governo.

Destaca-se também no Estado de São Paulo o apoio da FAPESP e da DEDINI, por meio da assinatura de um convênio, em Julho de 2007, no valor de 100 milhões de reais, para o desenvolvimento de atividades de pesquisas científicas e tecnológicas de interesse do setor sucroalcooleiro paulista, com o intuito de duplicar a quantidade de energia cogenerada até 2010.

No entanto, para que haja um incremento maior da cogeração de energia no setor sucroalcooleiro, seriam importantes as seguintes ações (CORREA NETO & RAMON, 2002):

Redução da carga tributária, principalmente nas compras e importações de equipamentos e nas vendas da energia elétrica;

- Captação da indústria brasileira de máquinas e equipamentos para atendimento das necessidades emergentes e liberação das importações em condições competitivas, se necessário;
- Facilitação do licenciamento ambiental, bem com da tramitação das licenças junto ao MME e da habilitação dos leilões;
- Melhoria do suporte na regulação setorial para acesso ao sistema elétrico, buscando um equilíbrio entre as concessionárias e os novos investidores do setor de cogeração;
- Estabilização das regras para cálculo das estimativas dos preços de venda na energia elétrica cogenerada;
- Revisão das condições de financiamento do BNDES com relação a prazos, perfil de garantias e agilização do processo;

Com o advento da Lei estadual nº. 11241/2002 e também do protocolo de intenção entre a Secretaria de Meio Ambiente/Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo e a União das Indústrias de Cana de Açúcar os produtores paulistas (UNICA) em 06/2007, a condição de utilização e aproveitamento voluntário, passa a ter condição necessária e estratégica por legislação, regulamentação esta que já vem sendo alvo de estudo e utilização por outros estados produtores de bioenergia a partir da cana-de-açúcar.

### **3.1.4.1- Créditos de carbono - RCE's**

Como o processo de geração de energia elétrica proposto vem de uma fonte de energia limpa, através do bagaço de cana + pontas e palhas devem obedecer às normativas de projeto DCP MDL- Documento de concepção de projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo a ser implantado no projeto com custo inicial do projeto e contrapartidas de recebimento de créditos, base anual.

O processo de cogeração de energia elétrica com bagaço de cana mais pontas e palhas é importante para matriz energética do país, sendo esta uma alternativa que permite prolongar a instalação e/ou despacho de eletricidades produzidas por unidades de geração com combustíveis fósseis.

A venda de RCE's gerados pelo projeto ajudar no processo de viabilidade econômica dos projetos de co-geração, corroborando também com as metas estabelecidas de diminuição de poluentes na atmosfera (Protocolo de Kyoto-1997).

Como os dados obtidos de custo inicial na fase de consultoria do projeto DCP MDL não foram rastreáveis e, por conseguinte de falta de análise confiável de final investimento e retorno, em sendo assim consideramos de que na "Opção" vencedora, se poderá em outra fase ser implementada esta alternativa de negócio, além de ser boa ferramenta de marketing para a empresa.

### **3.1.5- Modelo de contrato de compra e venda de energia elétrica**

O modelo de contrato padrão de compra e venda de energia elétrica, por fonte de biomassa segue a uma minuta estabelecida pela Eletrobrás- Proinfa (2004), constando de várias cláusulas contratuais a serem estabelecidos entre as partes, contratantes e contratada e que, devido ao número de páginas, será colocada ao item nº 8.5,

## **4- Metodologia**

### **4.1- Estudo de viabilidade econômica**

#### **4.1.1- Valor Presente Líquido- VPL**

O valor presente líquido - VPL, também conhecido como valor atual líquido – VAL é o critério mais recomendado por especialistas em finanças para decisão de investimento (ROSS et alii (1995: 68).

Esta recomendação está fundamentada no fato de que o VPL considera o valor temporal do dinheiro (um recurso disponível hoje vale mais do que amanhã, porque pode ser investido e render juros), não é influenciado por decisões menos qualificadas (preferências do gestor, métodos de contabilização, rentabilidade da atividade atual), utiliza todos os fluxos de caixa futuros gerados pelo projeto, refletindo toda a movimentação de caixa.

Além disso, permite uma decisão mais acertada quando há mais de um modelo/tipo de investimentos, pois, ao considerar os fluxos futuros a valores presentes, os fluxos podem ser adicionados e analisados conjuntamente, evitando a escolha de um mau projeto só porque está associado um bom projeto.

Este índice servirá como comparativo entre alternativas avaliadas neste projeto, sendo de que a alternativa de maior VPL será a proposta com maior viabilidade. Segundo LAPPONI (1996), o Valor Presente Líquido do projeto deverá ser calculado da seguinte forma, conforme a equação (1);

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (1)$$

Em que:

VPL= Valor presente líquido,

N= Número de períodos projetados,

i = taxa de juros reais para o período considerado

FC<sub>j</sub>= Fluxo de caixa no período J,

J= Período de tempo analisado,

#### **4.1.2- TIR - Taxa Interna de Retorno:**

Segundo PERINA (2009); É uma taxa intrínseca ou taxa efetiva de rentabilidade do projeto, dependendo apenas dos fluxos de caixa projetados. É a taxa de desconto que remunera o investimento e que torna o VAL - Valor Atual Líquido do investimento igual a zero, esta também chamada como taxa interna efetiva de rentabilidade. o valor presente líquido dos fluxos de caixa.

A TIR encontrada deverá ser comparada com a taxa de desconto no momento da decisão do investimento ou financiamento. Para aceitar o investimento, a TIR deverá ser maior do que taxa mínima de atratividade- TMA, ao caso esta adotada em 17%

A equação (2) utilizada para o cálculo da TIR é a seguinte :

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1 + TIR)^j} - FC_0 = 0 \quad (2)$$

Em que :

VPL= Valor presente líquido,

FC<sub>j</sub>= Fluxo de caixa no período J,

n= Número de períodos projetados,

TIR= Taxa interna de retorno,

#### 4.1.3- Payback descontado- PBD:

O Payback descontado- PBD refere-se ao tempo necessário para se estabelecer o retorno financeiro sobre o capital investido em um determinado projeto. Para estudo deste projeto será considerado o PBD, uma vez de que será considerado a taxa de juros presente no fluxo de caixa do projeto durante o período compreendido deste (PERINA 2009) esta forma será determinado o período em tempo necessário para recuperação do capital financeiro investido no projeto,

As equações (3) e (4) em abaixo indicam como o cálculo ser efetuado:

$$PBD = m + f \quad (3)$$

Em que:

PBD= payback descontado,

m= No. de períodos onde as entradas são menores que o valor FC<sub>0</sub> (parte inteira do PB),

f= Fração do payback

$$f = \frac{\sum_{t=0}^m FC_t}{FC_{m+1}} \quad (4)$$

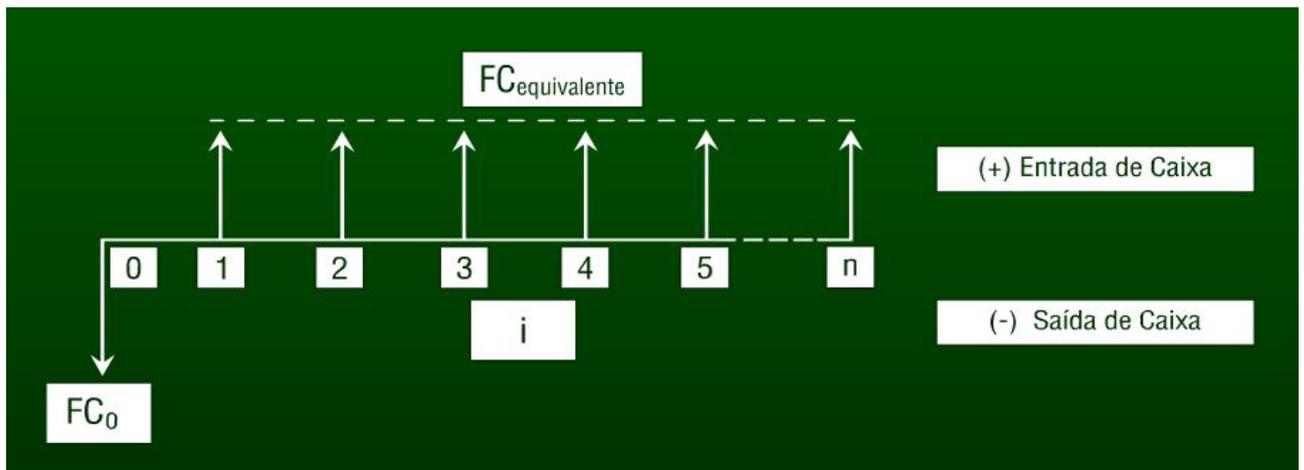
Sendo de que:

FC= Fluxo de caixa no período t

#### 4.2- Análise Gráfica

Após a elaboração das planilhas de fluxo de caixa através da análise de investimento de cada alternativa do projeto, será elaborado gráficos de análise de entradas e saídas para identificação do tempo para retorno do capital investido (PERINA 2009), conforme modelo de gráfico 4.2.1 :

Gráfico 4.2.1 – Análise de fluxo de caixa de um projeto



Fonte: PERINA (2009)

Sendo de que:

$FC_0$  = Fluxo de caixa tempo 0 equivalente aos investimentos iniciais e considerado como saída caixa,

Os valores positivos são considerados com entradas de caixa e serão correspondentes aos valores de venda de energia elétrica em R\$/MWh .

#### 4.3- Considerações e Base de dados

Para a análise de viabilidade dos sistemas de cogeração propostos, será considerado como modelo, de uma unidade industrial de uma usina de bioenergia, com safra média efetiva de 5.000 horas anuais.

Os dados utilizados como base para os cálculos foram coletados base em estudos realizados pelo CTC- Centro de Tecnologia Copersucar atual Canavieira e pelas publicações da STAB.

#### 4.3.1- Opções de Investimento

O estudo será objetivado em planilhas eletrônicas, conforme Anexos A, B, C e D através de simulações e diagramas unifilares de consumo e geração de energia elétrica para três modelos, sendo estes:

- Opção 1-Investimentos em co-geração de energia, mantendo os acionamentos com turbinas de simples estágio aos setores de preparo e extração,
- Opção 2- Investimentos em co-geração de energia, considerando melhorias aos acionamentos do setor de preparo e extração passando para turbinas para múltiplo estágio,
- Opção 3- Investimentos em co-geração de energia, considerando melhorias aos acionamentos dos setores de preparo e extração e passando para motores elétricos.

Para as simulações, será adotado para todas opções, atividades de funcionamento da unidade por período funcional de 8.000 horas por ano, sendo considerado como período de safra as primeiras 5.000 horas e as demais 3.000, em período de entre safra da Usina, ambos com utilização de biomassa adicional ao bagaço de cana, pontas e palhas de cana.

A todas as simulações está considerando o consumo específico de vapor para os processos de fabricação de açúcar e álcool em 500 kgv/TC – quilos de vapor/tonelada de cana moída, valor médio estabelecido em unidades similares em operação (CTC 2007).

O fator de eficiência de operação percentual no processo será utilizado de 90%, sendo este uma média obtida nas Usinas em operação e considerando em um consumo específico interno de energia elétrica pela Usina em processo convencional, de 14,5 KWh/TC (CTC 2007).

Os custos totais de equipamentos serão baseados em recentes projetos implantados entre os anos de 2007 e 2009 (Grupo Cosan e MCE- Engenharia e Sistemas), onde equipamentos similares aos especificados neste estudo foram adquiridos e implantados e conotados a esta pesquisa.

Os itens avaliados em cada simulação estão descritos conforme modelo de tabela 4.3.1 e apresentada nos diagramas para períodos de safra e 4.3.2, apresentada nos diagramas para períodos respectivos de entressafra, sendo :

Tabela 4.3.1- Modelo explicativo- Itens comparativos para as simulações realizadas em safra:

<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE SAFRA</b>	
<b>Item avaliado</b>	<b>Unidade em</b>
Total de dias disponíveis para safra	Dias
Total de horas efetivas por safra	Horas
Moagem horária da Usina	TCH
Moagem total Anual da Usina	TC
Biomassa total disponível (bagaço e palhiço)	TBH
Consumo específico de vapor pelo processo	kgv/TC
Consumo específico de energia pela Usina	kWh/TC
Moagem diária de cana de açúcar	TCD
Produção Total de vapor em 21 bar	TVH
Consumo Total de bagaço pelas caldeiras	TBH
Biomassa consumida durante partidas e paradas de moagem	TBH
Sobra de Biomassa durante a safra	TBH
Sobra de Biomassa Total do período	t
Potência Elétrica Total Gerada	kW
Potência Elétrica Total consumida pela Usina	kW
Potência Elétrica Total disponível para venda no período	kW
Energia elétrica produzida durante as horas efetivas no período	MWh
Adicional de palhiço necessário c/ equivalência energética em bagaço	t
Adicional de palhiço a ser recuperado por dia pela Usina	t

**Fonte:** Elaborado pelos Autores(2009)

Tabela 4.3.2- Modelo explicativo- Itens comparativos para as simulações realizadas durante a entressafra:

OPERAÇÃO – PERÍODO DE ENTRESSAFRA	
Item avaliado	Unidade
Horas disponíveis para operação no período	h
Vapor Total Gerado em alta pressão pela Caldeira	TVH
Biomassa total disponível	t
Consumo de biomassa pela caldeira de alta pressão	TBH
Horas de operação do período	h
Consumo de biomassa durante o período	t
Potência Elétrica Gerada	kW
Potência consumida pela própria planta	kW

Fonte: Elaborado pelos autores(2009)

#### 4.4 - Análise sobre investimentos/custos

O projeto escolhido será aquele que apresentar melhor TIR e VPL, considerando-se também menor tempo para retorno do investimento.

Para os estudos de viabilidade econômica, os seguintes itens serão avaliados:

- Investimentos em novos equipamentos (Caldeira, Turbo geradores, etc.).
- Investimentos em engenharia,
- Investimentos em obras civis,
- Investimentos em materiais,
- Investimentos de consultoria em projeto DCP-MDL,
- Custos operacionais e manutenção,
- Custos de transporte de biomassa até a área industrial da Usina,
- Depreciação de equipamentos e materiais
- Retorno do investimento- venda de energia e RCE's,
- TIR (taxa interna de retorno)
- VPL (valor presente líquido)
- PBD (payback descontado)

Desta forma serão avaliadas as opções de projeto durante um período padrão de até 12 anos, contando a partir do início de implantação.

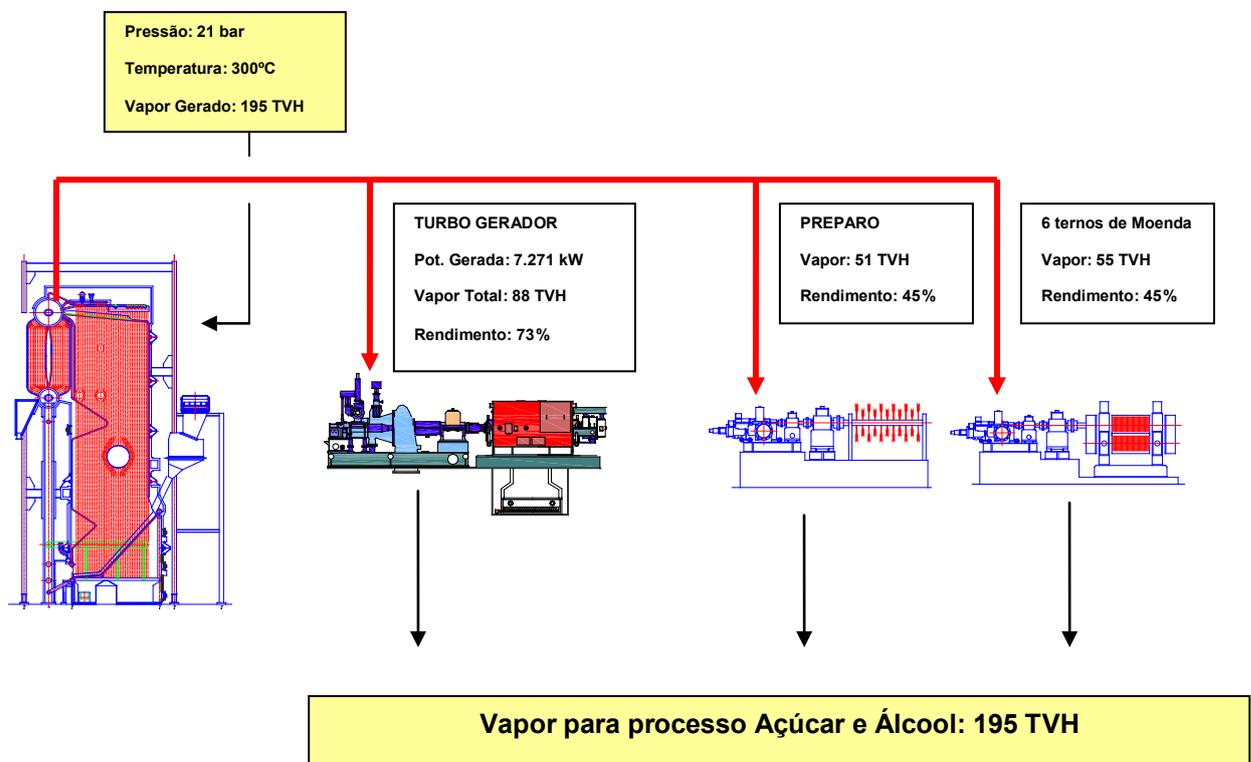
Para as entradas de capital, será considerada a venda do MWh exportado c/ o valor de R\$ 150,00/MWh utilizado durante o último leilão de energia (BRASIL/2009 ).

## 5 – RESULTADOS E OBSERVAÇÕES

Dentro das premissas propostas pela metodologia, quatro fluxogramas de processo foram elaborados para determinação das principais condições técnicas de cada alternativa, avaliando-se as principais vantagens técnico econômicas.

### 5.1 – Fluxograma Inicial: Operação s/ Exportação de Energia:

Neste primeiro fluxograma, apresentamos o sistema de operação da unidade, sendo auto suficiente, sem exportação de energia elétrica conforme colocado abaixo:



Fluxograma 1 – Operação Normal sem projeto de exportação de energia:

**Fonte:** Os autores/MCE(2010)

As turbinas de acionamento dos sistemas de preparo e moagem de cana são de simples estágio, com rendimento considerado em 45%.

A partir da elaboração do fluxograma acima obtemos os seguintes dados operacionais da Unidade Produtora sem considerarmos o sistema de exportação de energia.

Tabela 5: Resultados do Fluxograma 1

<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE SAFRA</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Total de dias disponíveis para safra	231	Dias
Total de horas efetivas por safra	5.000	Horas
Moagem horária da Usina	400	TCH
Moagem total Anual da Usina	2.000.000	TC
Biomassa total disponível (somente bagaço)	104	TBH
Consumo específico de vapor pelo processo	500	kgv/TC
Consumo específico de energia pela Usina	14,5	kWh/TC
Moagem diária de cana de açúcar	9.600	TCD
Produção Total de vapor em 21 bar	195	TVH
Consumo Total de bagaço pelas caldeiras	82,92	TBH
Biomassa consumida durante partidas e paradas de moagem	5,2	TBH
Sobra de Biomassa durante a safra	15,88	TBH
Sobra de Biomassa Total do período	79.405	t
Potência Elétrica Total Gerada	7.271	kW
Potência Elétrica Total consumida pela Usina	5.800	kW

**Fonte:** Dados calculados pelos Autores(2009)

A elaboração e análise dos resultados acima permite traçar os objetivos e resultados desejados para as futuras propostas de exportação de energia. Tendo a situação atual da Usina sem a implantação de sistema para exportação de energia, inicia-se as próximas alternativas para implantação do projeto, bem como as especificações técnicas dos equipamentos a serem instalados. O diagrama unifilar de vapor detalhado desta opção encontra-se ao item 8.1- Anexo A deste trabalho.

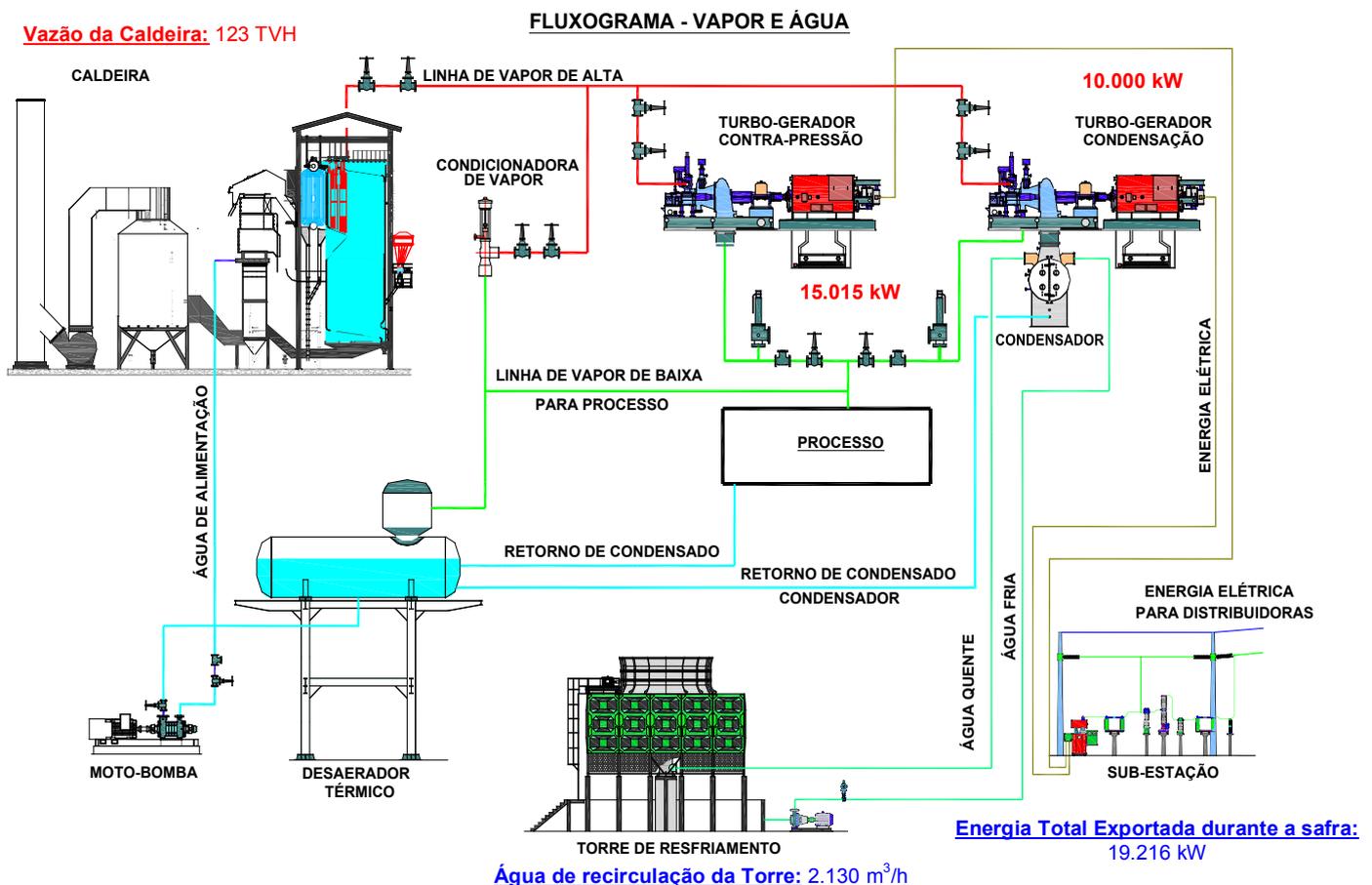
### 5.2 – Operação c/ Exportação de Energia durante a safra (OPÇÃO 1):

A primeira alternativa de implantação do sistema de cogeração com exportação de energia.

Neste primeiro estudo, denomina-se OPÇÃO 1, consideramos os seguintes itens:

- Implantação de sistema de exportação utilizando vapor a 67 bar, 520°C;
- Instalação de duas turbinas para acionamento de geradores, sendo uma de contra-pressão e a outra de condensação;
- Manutenção dos acionamentos de simples estágio dos sistemas de preparo e moagem de cana;
- Aproveitamento de Palhiço de cana para atingirmos total operacional de 8.000 h durante o ano;

Abaixo segue representação do fluxograma elaborado, o qual se encontra detalhado no anexo B- Opção 1 deste trabalho.



Fluxograma 2: Exportação de energia sem alteração nos acionamentos de preparo e moenda;

Fonte: Os Autores/MCE(2010)

Através da análise do balanço de massa e energia realizado durante o período de safra, se obteve aos seguintes resultados demonstrados na tabela 6 abaixo:

Tabela 6: Resultados do Fluxograma 2

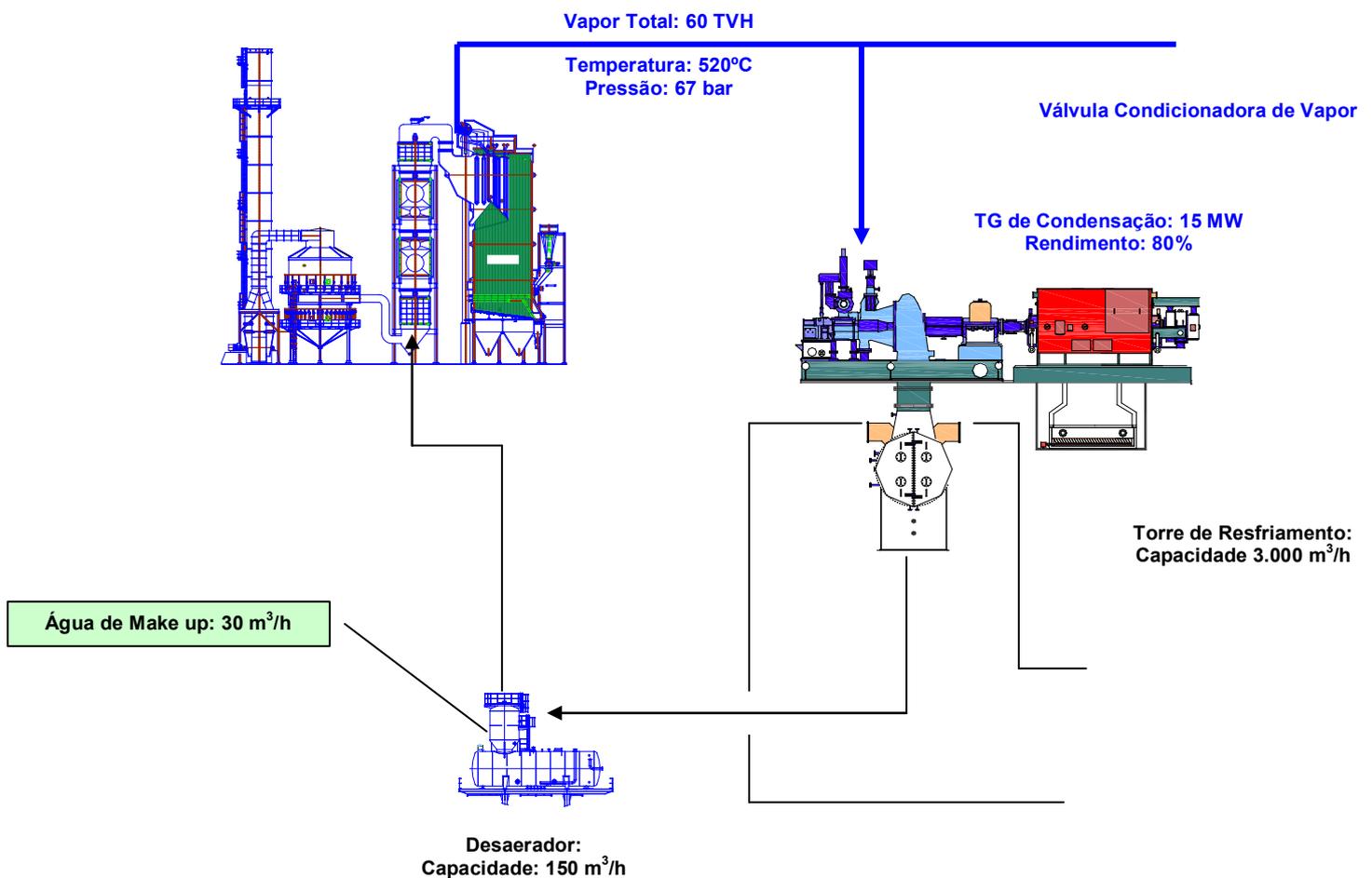
<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE SAFRA (OPÇÃO 1)</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Total de dias disponíveis para safra	231	Dias
Total de horas efetivas por safra	5.000	Horas
Moagem horária da Usina	400	TCH
Moagem total Anual da Usina	2.000.000	TC
Biomassa total disponível (inclui palhiço da cana)	104	TBH
Consumo específico de vapor pelo processo	500	kgv/TC
Consumo específico de energia pela Usina	14,5	kWh/TC
Moagem diária de cana de açúcar	9.600	TCD
Produção Total de vapor em 67 bar	123	TVH
Consumo Total de bagaço pelas caldeiras	82,92	TBH
Biomassa consumida durante partidas e paradas de moagem	5,2	TBH
Sobra de Biomassa durante a safra	15,88	TBH
Sobra de Biomassa Total do período	79.405	t
Potência Elétrica Total Gerada	25.015	kW
Potência Elétrica Total consumida pela Usina	5.800	kW
Potência Elétrica Total disponível para venda durante a safra	19.216	kW
Energia Elétrica produzida para exportação durante a safra	96.078	MWh
Adicional de palhiço necessário c/ equivalência energética em bagaço	135.931	t
Adicional de palhiço a ser recuperado por dia pela Usina	326	t

**Fonte:** Os Autores(2009)

**5.2.1 – Fluxograma de operação durante período de entressafra (OPÇÃO 1):**

Para a alternativa acima especificada também foi elaborado balanço de massa e energia para o período de entressafra, simulando a operação da Caldeira gerando vapor apenas para a turbina de condensação.

Em seguida segue o fluxograma para demonstração de operação durante 3.000 h de entressafra:



Fonte: Os Autores/MCE(2010)

Fluxograma 3: Operação durante período de entressafra;

Com o fluxograma acima apresentado, obtém-se para análise os resultados de exportação de energia durante o período de entressafra demonstrado na tabela 7 :

Tabela 7: Resultados Fluxograma 3

<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE ENTRESSAFRA</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Horas disponíveis para operação no período	3.000	h
Vapor Total Gerado em alta pressão pela Caldeira	70	TVH
Biomassa total disponível	89.514	t
Consumo de biomassa pela caldeira de alta pressão	28	TBH
Horas de operação do período	3.000	h
Consumo de biomassa durante o período	84.614	t
Sobra de Biomassa para início de safra	5.000	t
Potência Elétrica Gerada	15.000	kW
Potência consumida pela própria planta	2.250	kW
Energia Total disponível para exportação	38.250	MWh

**Fonte:** Os Autores(2009)

Totalizando os períodos de safra e entressafra obteve-se um total de 8.000 h de operação da unidade, com energia total disponível para comercialização de 134.328 MWh.

Para esta opção necessitou-se de 75.517 t de palhiço de cana como complementação de biomassa para geração de energia por até 8.000 h efetivas durante o ano.

### **5.2.2 - Especificação dos equipamentos – Implantação da OPÇÃO 1**

Para implantação da OPÇÃO 1, tem-se os seguintes equipamentos especificados para instalação na unidade:

a) Geração de Vapor - Caldeira:

- Alta pressão, 67 bar e temperatura de 520°C;
- Vazão de Vapor nominal de 150 TVH
- Pressão de Projeto 78 bar;
- Modelo Monodrum – somente balão de vapor
- Eficiência ao PCI de 85%
- Consumo de biomassa de 61 TBH

b) Geração de Energia – Turbo Gerador de Contrapressão:

- Potência nos Bornes do Gerador: 15.000 kW
- Eficiência do Redutor: 98,5%
- Eficiência do Gerador: 97,5%
- Consumo específico de vapor: 5,72 kgv/kW
- Pressão de entrada: 65 bar (abs)
- Pressão de Escape: 2,5 bar (abs)

c) Geração de Energia – Turbo Gerador de Condensação:

- Potência nos Bornes do Gerador: 15.000 kW
- Eficiência do Redutor: 98,5%
- Eficiência do Gerador: 97,5%
- Consumo específico de vapor: 3,8 kgv/kW
- Pressão de entrada: 65 bar (abs)
- Pressão de Escape: 0,14 bar (abs)

d) Válvulas e Acessórios:

- Válvula Gaveta Classe 1500 lbs de acionamento manual – quantidade 6 peças
- Válvula Gaveta Classe 1500 lbs de acionamento elétrico – quantidade 2 peças
- Tubulação de vapor em material A-335 P22, Diâmetro 12”, SCH120
- Transportadores de Bagaço em esteira e corrente com capacidade para 180 TBH (capacidade de projeto)
- Galpão de Estocagem de Biomassa – capacidade para 15.000 t

e) Tratamento de Efluentes da Caldeira:

- Sistema de Decantação de fuligem proveniente dos pontos de descarga da caldeira
- Capacidade 250 m<sup>3</sup>/h de água c/ fuligem

f) Tratamento de água de alimentação da Caldeira:

- Sistema de desmineralização por Osmose Reversa
- Capacidade 50 m<sup>3</sup>/h

g) Sistema de Resfriamento:

- 3 células com capacidade para 1.100 m<sup>3</sup>/h de água
- Perdas por evaporação de 1,35% (máxima)
- Sistema de bombeamento de água para condensador composto por 4 bombas, sendo 3 em operação e 1 em stand by;

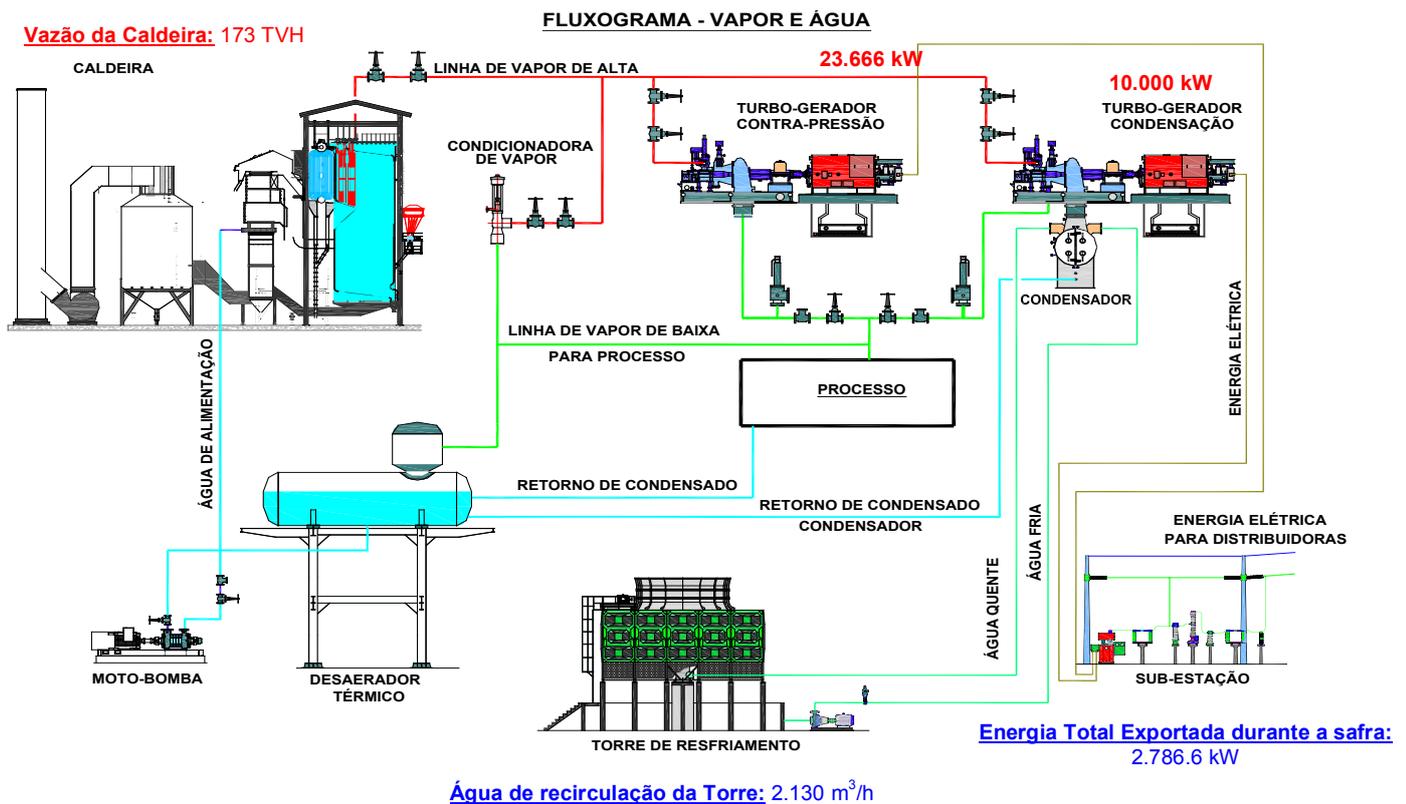
### 5.3 – Operação c/ exportação de energia durante a safra (OPÇÃO 2):

A primeira alternativa de implantação do sistema de cogeração com exportação de energia,

Neste primeiro estudo, denominado OPÇÃO 2, considero-se os seguintes itens:

- Implantação de sistema de exportação utilizando vapor a 67 bar, 520°C;
- Instalação de duas turbinas para acionamento de geradores, sendo uma de contra-pressão e a outra de condensação;
- Instalação de turbinas de múltiplo estágio para o acionamento dos sistemas de preparo e moagem de cana;
- Aproveitamento de palhiço de cana para atingirmos total operacional de 8.000 h durante o ano;

A seguir segue representação do fluxograma elaborado, o qual se encontra detalhado no anexo C- Opção 2 deste trabalho.



Fluxograma 4: Exportação de energia sem alteração nos acionamentos de preparo e moenda;  
 Fonte: Os Autores/MCE(2010)

Através da análise do balanço de massa e energia realizado durante o período de safra, obtemos os seguintes resultados demonstrados na tabela 8 abaixo:

Tabela 8: Resultados do Fluxograma 4

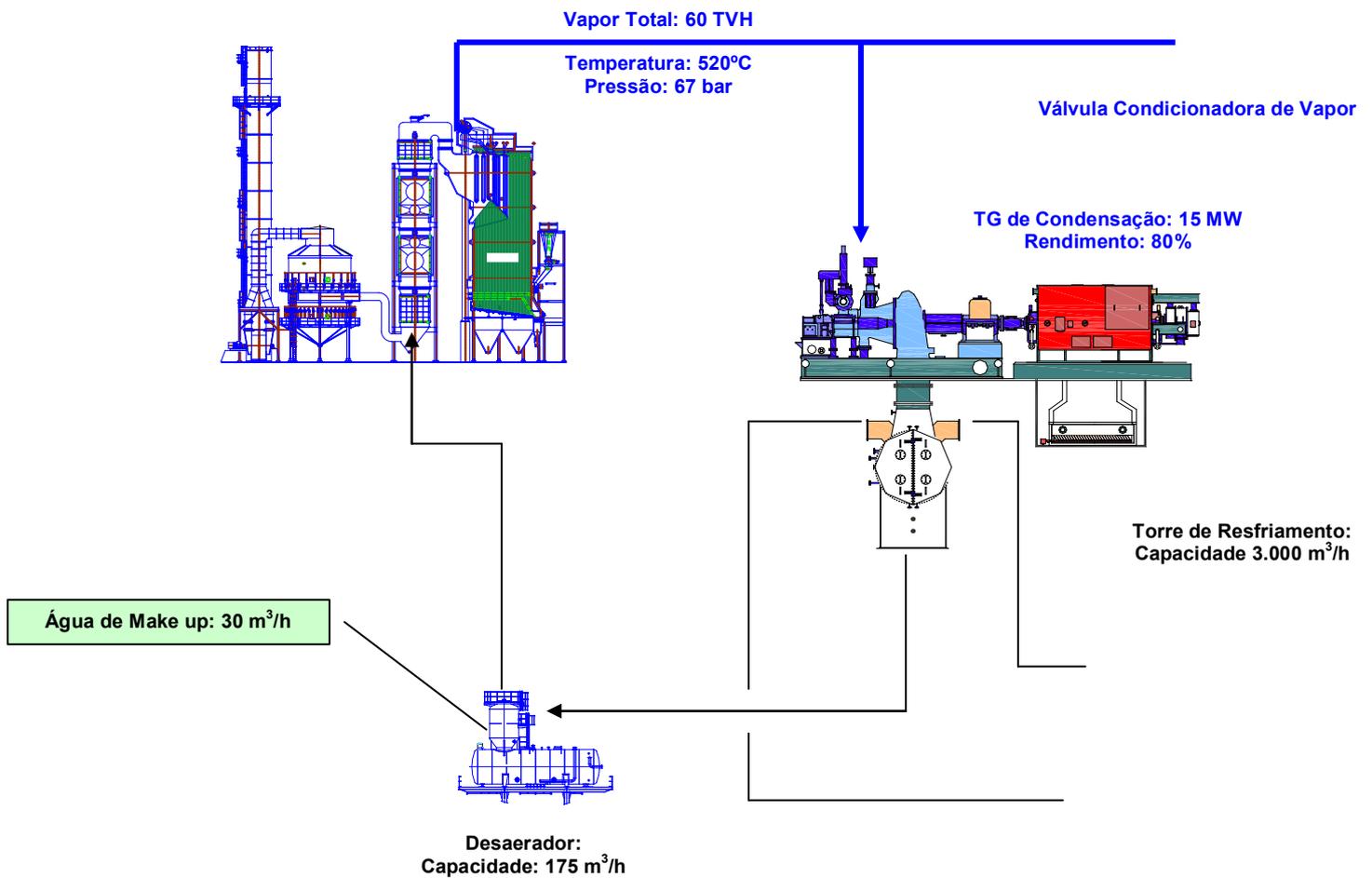
<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE SAFRA (OPÇÃO 2)</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Total de dias disponíveis para safra	231	Dias
Total de horas efetivas por safra	5.000	Horas
Moagem horária da Usina	400	TCH
Moagem total Anual da Usina	2.000.000	TC
Biomassa total disponível (inclui palhiço da cana)	144,43	TBH
Consumo específico de vapor pelo processo	500	kgv/TC
Consumo específico de energia pela Usina	14,5	kWh/TC
Moagem diária de cana de açúcar	9.600	TCD
Produção Total de vapor em 67 bar	173	TVH
Consumo Total de bagaço pelas caldeiras	119,3	TBH
Biomassa consumida durante partidas e paradas de moagem	7,22	TBH
Sobra de Biomassa durante a safra	17,92	TBH
Sobra de Biomassa Total do período	89.614	t
Potência Elétrica Total Gerada	33.666	kW
Potência Elétrica Total consumida pela Usina	5.800	kW
Potência Elétrica Total disponível para venda durante a safra	27.866	kW
Energia Elétrica produzida para exportação durante a safra	139.330	MWh
Adicional de palhiço necessário c/ equivalência energética em bagaço	202.171	t
Adicional de palhiço a ser recuperado por dia pela Usina	485	t

**Fonte:** Os Autores (2009)

### 5.3.1 – Fluxograma de operação durante período de entressafra (OPÇÃO 2):

Para esta opção foi especificada também foi elaborado balanço de massa e energia para o período de entressafra, simulando a operação da Caldeira gerando vapor apenas para a turbina de condensação.

Em seguida segue o fluxograma para demonstração de operação durante 3.000 h de entressafra:



Fluxograma 5: Operação durante período de entressafra;

Fonte: Os Autores/MCE(2010)

Com o fluxograma acima apresentado, obtemos para análise os resultados de exportação de energia durante o período de entressafra demonstrados na tabela 9:

Tabela 9: Resultados Fluxograma 5

<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE ENTRESSAFRA</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Horas disponíveis para operação no período	3.000	h
Vapor Total Gerado em alta pressão pela Caldeira	60	TVH
Biomassa total disponível	89.514	t
Consumo de biomassa pela caldeira de alta pressão	28	TBH
Horas de operação do período	3.000	h
Consumo de biomassa durante o período	84.614	t
Sobra de Biomassa para início de safra	5.000	t
Potência Elétrica Gerada	15.000	kW
Potência consumida pela própria planta	2.250	kW
Energia Total disponível para exportação	38.250	MWh

**Fonte:** Os Autores(2009)

Totalizando os períodos de safra e entressafra obtemos um total de 8.000 h de operação da unidade, com energia total disponível para comercialização de 177.580 MWh.

Para esta opção necessitamos de 112.317 t de palhiço de cana como complementação de biomassa para geração de energia por até 8.000 h efetivas durante o ano.

### **5.3.2 - Especificação dos Equipamentos – Implantação da OPÇÃO 2**

Para implantação da OPÇÃO 2, temos os seguintes equipamentos especificados para instalação na unidade:

a) Geração de Vapor - Caldeira:

- Alta pressão, 67 bar e temperatura de 520°C;
- Vazão de Vapor nominal de 175 TVH
- Pressão de Projeto 78 bar;
- Modelo Monodrum – somente balão de vapor
- Eficiência ao PCI de 85%
- Consumo de biomassa de 86 TBH

b) Geração de Energia – Turbo Gerador de Contrapressão:

- Potência nos Bornes do Gerador: 24.000 kW
- Eficiência do Redutor: 98,5%
- Eficiência do Gerador: 97,5%
- Consumo específico de vapor: 5,69 kgv/kW
- Pressão de entrada: 65 bar (abs)
- Pressão de Escape: 2,5 bar (abs)

c) Geração de Energia – Turbo Gerador de Condensação:

- Potência nos Bornes do Gerador: 15.000 kW
- Eficiência do Redutor: 98,5%
- Eficiência do Gerador: 97,5%
- Consumo específico de vapor: 3,8 kgv/kW
- Pressão de entrada: 65 bar (abs)
- Pressão de Escape: 0,14 bar (abs)

d) Válvulas e Acessórios:

- Válvula Gaveta Classe 1500 lbs de acionamento manual – quantidade 6 peças
- Válvula Gaveta Classe 1500 lbs de acionamento elétrico – quantidade 2 peças
- Tubulação de vapor em material A-335 P22, Diâmetro 12”, SCH120
- Transportadores de Bagaço em esteira e corrente com capacidade para 180 TBH (capacidade de projeto)
- Galpão de Estocagem de Biomassa – capacidade para 15.000 t

e) Tratamento de Efluentes da Caldeira:

- Sistema de Decantação de fuligem proveniente dos pontos de descarga da caldeira
- Capacidade 250 m<sup>3</sup>/h de água c/ fuligem

f) Tratamento de água de alimentação da Caldeira:

- Sistema de desmineralização por Osmose Reversa
- Capacidade 50 m<sup>3</sup>/h
- Sistema de Resfriamento:
- 3 células com capacidade para 1.100 m<sup>3</sup>/h de água
- Perdas por evaporação de 1,35% (máxima)
- Sistema de bombeamento de água para condensador composto por 4 bombas, sendo 3 em operação e 1 em stand by;

g) Instalação de Turbinas múltiplo estágio para os acionamentos de moenda e preparo:

- Consumo específico: 14,6 kgv/TC
- Rendimento: 60%
- Pressão de entrada: 21 bar (abs)
- Pressão de escape: 2,5 bar (abs)

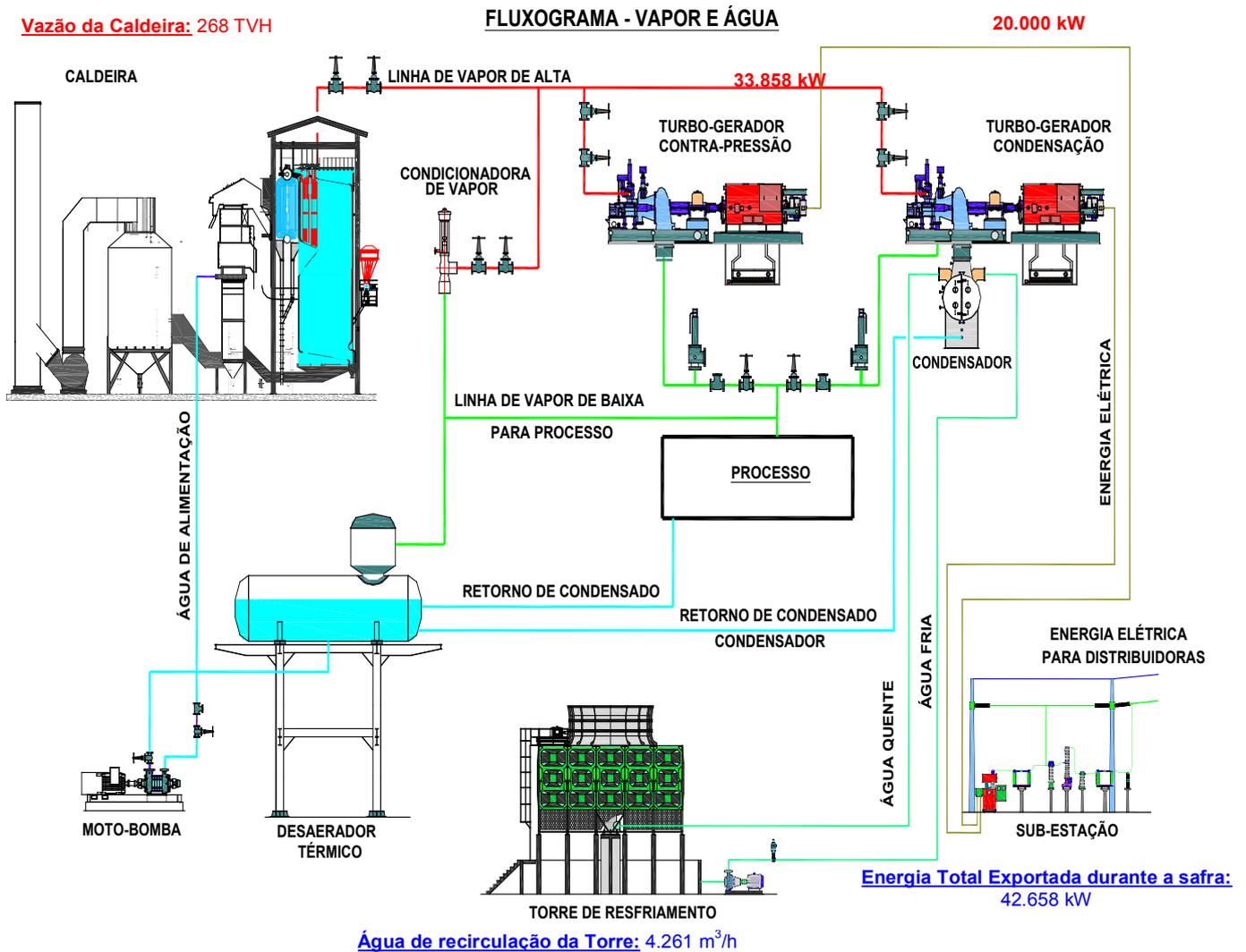
**5.4 – Operação c/ Exportação de Energia durante a safra (OPÇÃO 3):**

A primeira alternativa de implantação do sistema de cogeração com exportação de energia.

Neste primeiro estudo, denominado OPÇÃO 3, considerou-se os seguintes itens:

- Implantação de sistema de exportação utilizando vapor a 67 bar, 520°C;
- Instalação de duas turbinas para acionamento de geradores, sendo uma de contrapressão e a outra de condensação;
- Instalação de acionamentos eletromecânicos para os sistemas de preparo e moagem de cana;
- Aproveitamento de Palhiço de cana para atingirmos total operacional de 8.000 h durante o ano;

Segue a representação do fluxograma elaborado, o qual se encontra detalhado no anexo D- Opção 3 deste trabalho.



Fluxograma 6: Exportação de energia sem alteração nos acionamentos de preparo e moenda;  
**Fonte:** Os Autores/MCE(2010)

Através da análise do balanço de massa e energia realizado durante o período de safra, obtém-se os seguintes resultados demonstrados na tabela 10 a seguir:

Tabela 10: Resultados do Fluxograma 6

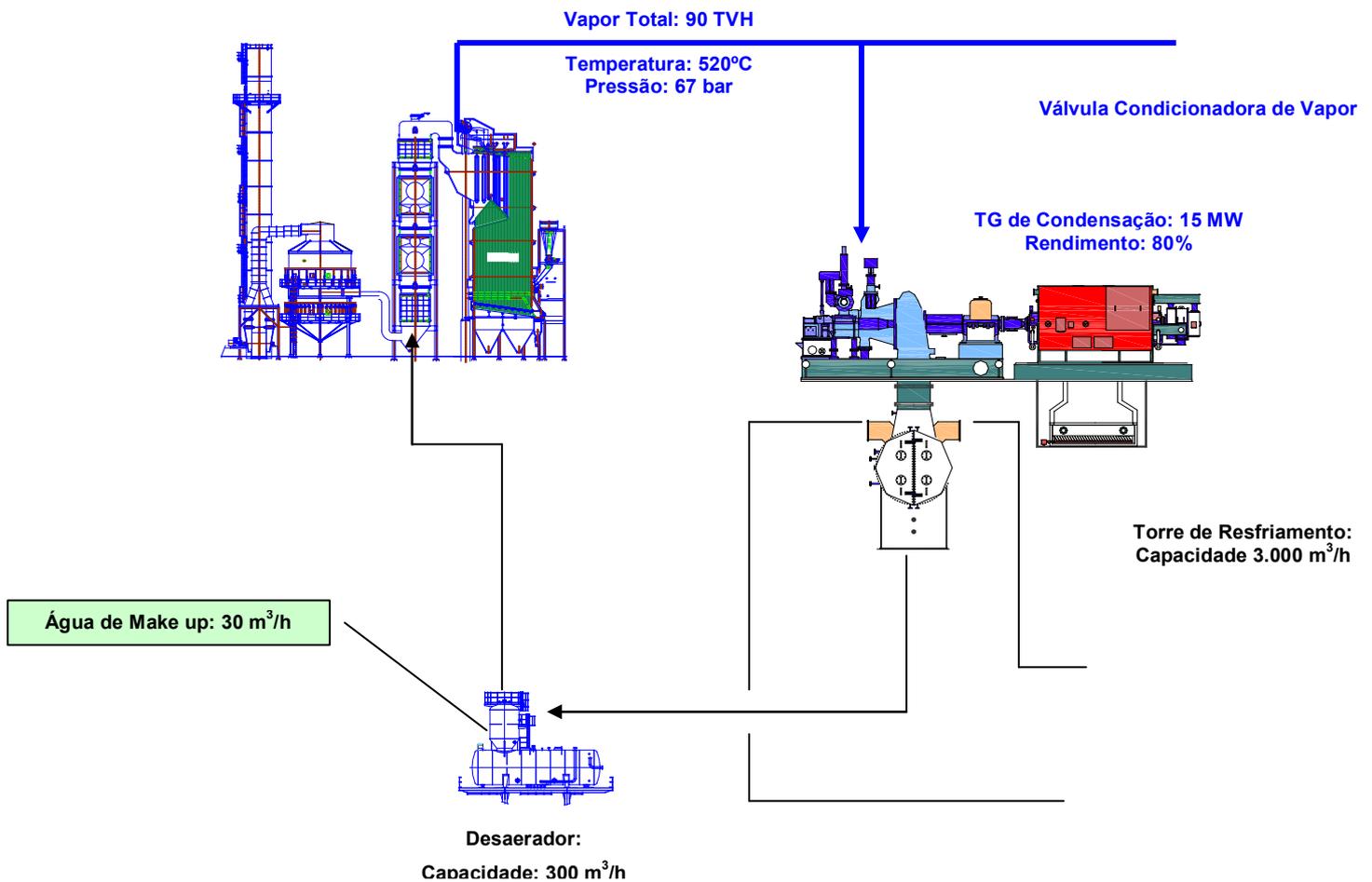
<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE SAFRA (OPÇÃO 3)</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Total de dias disponíveis para safra	231	Dias
Total de horas efetivas por safra	5.000	Horas
Moagem horária da Usina	400	TCH
Moagem total Anual da Usina	2.000.000	TC
Biomassa total disponível (inclui palhiço da cana)	171,07	TBH
Consumo específico de vapor pelo processo	500	kgv/TC
Consumo específico de energia pela Usina	28,0	kWh/TC
Moagem diária de cana de açúcar	9.600	TCD
Produção Total de vapor em 67 bar	268	TVH
Consumo Total de bagaço pelas caldeiras	133,35	TBH
Biomassa consumida durante partidas e paradas de moagem	8,55	TBH
Sobra de Biomassa durante a safra	29,17	TBH
Sobra de Biomassa Total do período	145.842	t
Potência Elétrica Total Gerada	53.858	kW
Potência Elétrica Total consumida pela Usina	11.200	kW
Potência Elétrica Total disponível para venda durante a safra	42.658	kW
Energia Elétrica produzida para exportação durante a safra	213.290	MWh
Adicional de palhiço necessário c/ equivalência energética em bagaço	335.370	t
Adicional de palhiço a ser recuperado por dia pela Usina	805	t

**Fonte:** Os Autores(2009)

### 5.4.1 – Fluxograma de operação durante período de entressafra (OPÇÃO 3):

Para a alternativa acima especificada também foi elaborado balanço de massa e energia para o período de entressafra, simulando a operação da Caldeira gerando vapor apenas para a turbina de condensação.

Em seguida segue o fluxograma para demonstração de operação durante 3.000 h de entressafra:



Fluxograma 7: Operação durante período de entressafra;

Fonte: Os Autores/MCE(2010)

Com o fluxograma 7, obtemos para análise os resultados de exportação de energia durante o período de entressafra demonstrados na tabela 11:

Tabela 11: Resultados Fluxograma 7

<b>OPERAÇÃO – PERÍODO DE ENTRESSAFRA</b>		
<b>Item avaliado</b>	<b>Resultados</b>	
Horas disponíveis para operação no período	3.000	h
Vapor Total Gerado em alta pressão pela Caldeira	90	TVH
Biomassa total disponível	145.842	t
Consumo de biomassa pela caldeira de alta pressão	47	TBH
Horas de operação do período	3.000	h
Consumo de biomassa durante o período	140.842	t
Sobra de Biomassa para início de safra	5.000	t
Potência Elétrica Gerada	25.000	kW
Potência consumida pela própria planta	3.750	kW
Energia Total disponível para exportação	63.750	MWh

**Fonte:** Os Autores(2009)

Totalizando os períodos de safra e entressafra obtém-se um total de 8.000 h de operação da unidade, com energia total disponível para comercialização de 277.040 MWh.

Para esta opção necessita-se de 186.317 t de palhiço de cana como complementação de biomassa para geração de energia por até 8.000 h efetivas durante o ano.

#### **5.4.2 - Especificação dos Equipamentos – Implantação da OPÇÃO 3**

Para implantação da OPÇÃO 3, temos os seguintes equipamentos especificados para instalação na unidade:

##### **h) Geração de Vapor - Caldeira:**

- Alta pressão, 67 bar e temperatura de 520°C;
- Vazão de Vapor nominal de 300 TVH
- Pressão de Projeto 78 bar;
- Modelo Monodrum – somente balão de vapor
- Eficiência ao PCI de 85%
- Consumo de biomassa de 133 TBH

i) Geração de Energia – Turbo Gerador de Contrapressão:

- Potência nos Bornes do Gerador: 35.000 kW
- Eficiência do Redutor: 98,5%
- Eficiência do Gerador: 97,5%
- Consumo específico de vapor: 5,69 kgv/kW
- Pressão de entrada: 65 bar (abs)
- Pressão de Escape: 2,5 bar (abs)

j) Geração de Energia – Turbo Gerador de Condensação:

- Potência nos Bornes do Gerador: 25.000 kW
- Eficiência do Redutor: 98,5%
- Eficiência do Gerador: 97,5%
- Consumo específico de vapor: 3,8 kgv/kW
- Pressão de entrada: 65 bar (abs)
- Pressão de Escape: 0,14 bar (abs)

k) Válvulas e Acessórios:

- Válvula Gaveta Classe 1500 lbs de acionamento manual – quantidade 6 peças
- Válvula Gaveta Classe 1500 lbs de acionamento elétrico – quantidade 2 peças
- Tubulação de vapor em material A-335 P22, Diâmetro 16”, SCH120
- Transportadores de Bagaço em esteira e corrente com capacidade para 250 TBH (capacidade de projeto)
- Galpão de Estocagem de Biomassa – capacidade para 15.000 t

l) Tratamento de Efluentes da Caldeira:

- Sistema de Decantação de fuligem proveniente dos pontos de descarga da caldeira
- Capacidade 300 m<sup>3</sup>/h de água c/ fuligem

m) Tratamento de água de alimentação da Caldeira:

- Sistema de desmineralização por Osmose Reversa
- Capacidade 50 m<sup>3</sup>/h

n) Sistema de Resfriamento:

- 3 células com capacidade para 1.500 m<sup>3</sup>/h de água
- Perdas por evaporação de 1,35% (máxima)
- Sistema de bombeamento de água para condensador composto por 4 bombas, sendo 3 em operação e 1 em stand by;

o) Instalação de Acionamento Eletromecânico para os sistemas de preparo e moagem de cana:

- Eletrificação de 6 ternos de moenda com acionamento individual e eletrificação do sistema de preparo de cana para moagem de 400 TCH;

**5.5 – Estudo de viabilidade dos investimentos em cada OPÇÃO:**

Concluídos os resultados e avaliações técnicas de cada opção de projeto, necessita-se estimar os custos de implantação das alternativas em questão.

Serão estimados os valores de investimento de fabricação e montagem de todos os equipamentos especificados. Para avaliação do retorno do capital investido será contabilizado apenas o valor do MWh exportado.

Todos os custos fixos, variáveis e de investimento foram estimados conforme os preços praticados no mercado nos últimos 3 anos.

**5.5.1 – OPÇÃO 1: Análise de viabilidade:**

Segue itens iniciais para o estudo de viabilidade econômica da OPÇÃO 1:

Tabela 12: Itens iniciais para o estudo de viabilidade:

Período de funcionamento por ano (h)	8.000
Produção de vapor por hora (TVH)	123
Potência total instalada - (kW)	30.000
Potência para auto consumo na UTE	5.800
Potência Disponível para venda	24.200
Energia total disponível para venda – MWh	134.328

Fonte: Os Autores(2009)

## a) Custos consideráveis:

- Custos fixos de O & M – Operação e manutenção da planta,
- Custo do combustível (palhiço e bagaço de cana);
- Custos variáveis de O & M,

Tabela 13: Custos consideráveis:

Custo do Bagaço (R\$/ton)	R\$ 10,00
Custo da Palha (R\$/ton)	R\$ 40,00
Custo fixo operacional O & M (R\$/ano)	R\$ 1.012.500,00
Custo variável operacional O& M (R\$/ano)	R\$ 63.892,69

Fonte: Grupo Cosan (2009)

Sendo o consumo anual de bagaço da Usina de 520.000 t e o consumo de palha de 75.516 t encontra-se um custo total anual de combustível de R\$ 8.220.640,00.

a. Investimento considerando as especificações de cada equipamento a ser implantado para o sistema de co-geração c/ exportação de energia:

Tabela 14: Custos dos novos equipamentos:

Equipamento	Capacidade	unidade	Custo - R\$
Caldeira	150,0	TVH	R\$ 23.000.000,00
Turbina - redutor	30.000,0	MW	R\$ 11.075.000,00
Gerador	30.000,0	KVA	R\$ 4.000.000,00
Tratamento de água	50,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 1.450.000,00
Decantação - fuligem	250,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 1.700.000,00
Ponte rolante	75,0	ton	R\$ 500.000,00
Transportadores - TC	48,0	polegadas	R\$ 8.000.000,00
Torres de Resfriamento	3.100,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 800.000,00

Fonte: - Cosan, Dedini, WEG motores, MCE(2007/2008)

b. Custo previsto c/ tubulações, acessórios e interligações eletromecânicas: (\*)

- Válvulas e acessórios para tubulação: R\$ 450.000,00
- Interligações Eletromecânicas: R\$ 10.000.000,00
- Tubulação de Vapor de alta pressão: R\$ 352.000,00
- Tubulação de baixa pressão: R\$ 760.000,00

(\*) Vide item 6

c. Entradas de Capital:

Para este empreendimento foi considerada como entrada de capital somente a comercialização de energia elétrica, desconsiderando em princípio de outras possibilidades como crédito de carbono e venda de vapor para fábricas de açúcar e álcool.

Considerando-se o valor médio comercializado da energia elétrica nos últimos 3 anos fixado em R\$ 150,00 / MWh, tem-se o faturamento anual em energia elétrica estimado em R\$ 20.149.200,00.

d. Interpretação dos Resultados:

Para análise dos resultados obtidos estipulou-se para todas opções de projeto um período de doze anos entre implantação e operação da planta para estabelecer um comparativo entre os estudos.

Utilizando os dados de viabilidade citados, têm-se os seguintes resultados quanto ao estudo da OPÇÃO 1:

Tabela 15: Resultados da primeira análise:

<b>VPL</b>	R\$ 5.257.648
<b>TIR</b>	10,26%
<b>VAUE</b>	- R\$ 848.778
<b>PBS</b>	6,73
<b>PBD</b>	-

Fonte: Os Autores (2010)

Este primeiro investimento não atingiu o patamar de taxa interna de retorno estipulado em 17% para as opções de projeto. O PBD (Pay back descontado) não é satisfatório dentro do período estudado de 12 anos. O projeto é considerado inviável para ser implantado em uma unidade deste porte.

### 5.5.2 – OPÇÃO 2: Análise de viabilidade:

Segue itens iniciais para o estudo de viabilidade econômica da OPÇÃO 2:

Tabela 16: Itens iniciais para o estudo de viabilidade:

Período de funcionamento por ano (h)	8.000
Produção de vapor por hora (TVH)	173
Potência total instalada - (kW)	40.000
Potência para auto consumo na UTE	5.800
Potência Disponível para venda	27.866
Energia total disponível para venda – MWh	177.580

Fonte: Os Autores (2009)

e. Custos consideráveis:

- Custos fixos de O & M – Operação e Manutenção da Planta;
- Custo do combustível (palhiço e bagaço de cana);
- Custos variáveis de O & M

Tabela 17: Custos consideráveis:

Custo do Bagaço (R\$/ton)	R\$ 10,00
Custo da Palha (R\$/ton)	R\$ 40,00
Custo fixo operacional O & M (R\$/ano)	R\$ 1.181.250,00
Custo variável operacional O& M (R\$/ano)	R\$ 84.464,90

Fonte: Autores/Grupo Cosan (2009)

Sendo o consumo anual de bagaço da Usina de 520.000 t e o consumo de palha de 89,616 t, têm-se um custo total anual de combustível de R\$ 8.784.640,00.

f. Investimento considerando as especificações de cada equipamento a ser implantado para o sistema de co-geração c/ exportação de energia:

Tabela 18: Custos dos novos equipamentos:

<b>Equipamento</b>	<b>Capacidade</b>	<b>unidade</b>	<b>Custo - R\$</b>
Caldeira	170,0	TVH	R\$ 26.000.000,00
Turbina - redutor	35	MW	R\$ 11.075.000,00
Geradores	35.000	KVA	R\$ 4.000.000,00
Tratamento de água	50,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 1.450.000,00
Decantação - fuligem	250,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 1.700.000,00
Ponte rolante	75,0	ton	R\$ 500.000,00
Transportadores - TC	48,0	polegadas	R\$ 6.000.000,00
Torres de Resfriamento	3.100,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 800.000,00
Turbinas ME - Moendas	400,0	TCH	R\$ 2.000.000,00

**Fonte:** Dedini/Grupo Cosan/WEG motores/MCE (2007/2008)

g. Custo previsto c/ tubulações, acessórios e interligações eletromecânicas: (\*)

- Válvulas e acessórios para tubulação: R\$ 450.000,00
- Interligações Eletromecânicas: R\$ 10.000.000,00
- Tubulação de Vapor de alta pressão: R\$ 352.000,00
- Tubulação de baixa pressão: R\$ 760.000,00

(\*) Vide item 6,

h. Entradas de Capital:

Para este empreendimento foi considerada como entrada de capital somente a comercialização de energia elétrica, desconsiderando em princípio de outras possibilidades como crédito de carbono e venda de vapor para fábricas de açúcar e álcool.

Considerando-se o valor médio comercializado da energia elétrica nos últimos 3 anos fixado em R\$ 150,00 / MWh, temos o faturamento anual em energia elétrica estimado em R\$ 26.636.850,00.

i. Interpretação dos Resultados:

Utilizando os dados de viabilidade citados, têm-se os seguintes resultados quanto ao estudo da OPÇÃO 2:

Tabela 19: Resultados da primeira análise:

<b>VPL</b>	R\$20.724.545
<b>TIR</b>	18,07%
<b>VAUE</b>	R\$ 3.345.704
<b>PBS</b>	4,78
<b>PBD</b>	7,54

**Fonte:** Os Autores (2009)

Esta opção apresentou Taxa Interna de Retorno acima que o estipulado por este trabalho, atingindo 18,07%. O Pay back descontado está em 7 anos e meio e o valor presente líquido está positivo. Esta opção de investimento é válida e apresenta retornos acima dos praticados no mercado.

### 5.5.2 – OPÇÃO 3: Análise de viabilidade:

Segue itens iniciais para o estudo de viabilidade econômica da OPÇÃO 3:

Tabela 20: Itens iniciais para o estudo de viabilidade:

Período de funcionamento por ano (h)	8.000
Produção de vapor por hora (TVH)	300
Potência total instalada - (kW)	60.000
Potência para auto consumo na UTE	11.800
Potência Disponível para venda	48.800
Energia total disponível para venda – MWh	277.039

Fonte: Os Autores/MCE (2009)

j. Custos consideráveis:

- Custos fixos de O & M – Operação e Manutenção da Planta;
- Custo do combustível (palhiço e bagaço de cana);
- Custos variáveis de O & M

Tabela 21: Custos consideráveis:

Custo do Bagaço (R\$/ton)	R\$ 10,00
Custo da Palha (R\$/ton)	R\$ 40,00
Custo fixo operacional O & M (R\$/ano)	R\$ 2.025.000,00
Custo variável operacional O& M (R\$/ano)	R\$ 131.772,74

Fonte: Grupo Cosan (2009)

Sendo o consumo anual de bagaço da Usina de 520.000 t e o consumo de palha de 186.317 t, teremos um custo total anual de combustível de R\$ 12.652.680,00.

k. Investimento considerando as especificações de cada equipamento a ser implantado para o sistema de co-geração c/ exportação de energia:

Tabela 22: Custos dos Novos equipamentos:

Equipamento	Capacidade	unidade	Custo - R\$
Caldeira	300,0	TVH	R\$ 46.000.000,00
Turbina - redutor	60	MW	R\$ 20.000.000,00
Gerador	60.000,0	KVA	R\$ 4.000.000,00
Tratamento de água	50,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 1.450.000,00
Decantação - fuligem	300,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 3.000.000,00
Ponte rolante	75,0	tonf	R\$ 500.000,00
Transportadores - TC	48,0	polegadas	R\$ 10.000.000,00
Torres de Resfriamento	4.500,0	m <sup>3</sup> /h	R\$ 1.200.000,00
Motores - Moendas	400,0	TCH	R\$ 10.000.000,00

**Fonte:** Dedini/Grupo Cosan/WEG motores/MCE (2007/2008)

l. Custo previsto c/ tubulações, acessórios e interligações eletromecânicas: (\*)

- Válvulas e acessórios para tubulação: R\$ 450.000,00
- Interligações Eletromecânicas: R\$ 15.000.000,00
- Tubulação de Vapor de alta pressão: R\$ 352.000,00
- Tubulação de baixa pressão: R\$ 760.000,00

(\*) Vide item 6,

n. Entradas de Capital:

Para este empreendimento foi considerada como entrada de capital somente a comercialização de energia elétrica, desconsiderando em princípio de outras possibilidades como crédito de carbono e venda de vapor para fábricas de açúcar e álcool.

Considerando-se o valor médio comercializado da energia elétrica nos últimos 3 anos fixado em R\$ 150,00 / MWh, temos o faturamento anual em energia elétrica estimado em R\$ 41.555.850,00.

o. Interpretação dos Resultados:

Utilizando os dados de viabilidade citados, temos os seguintes resultados quanto ao estudo da OPÇÃO 3:

Tabela 23: Resultados da primeira análise:

<b>VPL</b>	R\$28.958.147
<b>TIR</b>	17,08%
<b>VAUE</b>	R\$ 4.674.911
<b>PBS</b>	4,97
<b>PBD</b>	8,01

Fonte: Os Autores (2009)

Esta opção apresentou Taxa Interna de Retorno pouco acima que o estipulado por este trabalho, atingindo 17,08%. O Pay back descontado está em 7 anos e meio e o valor presente líquido está positivo. Esta opção de investimento é válida e apresenta retornos dentro dos praticados no mercado.

### 5.6- Planta de cogeração de energia elétrica por biomassa

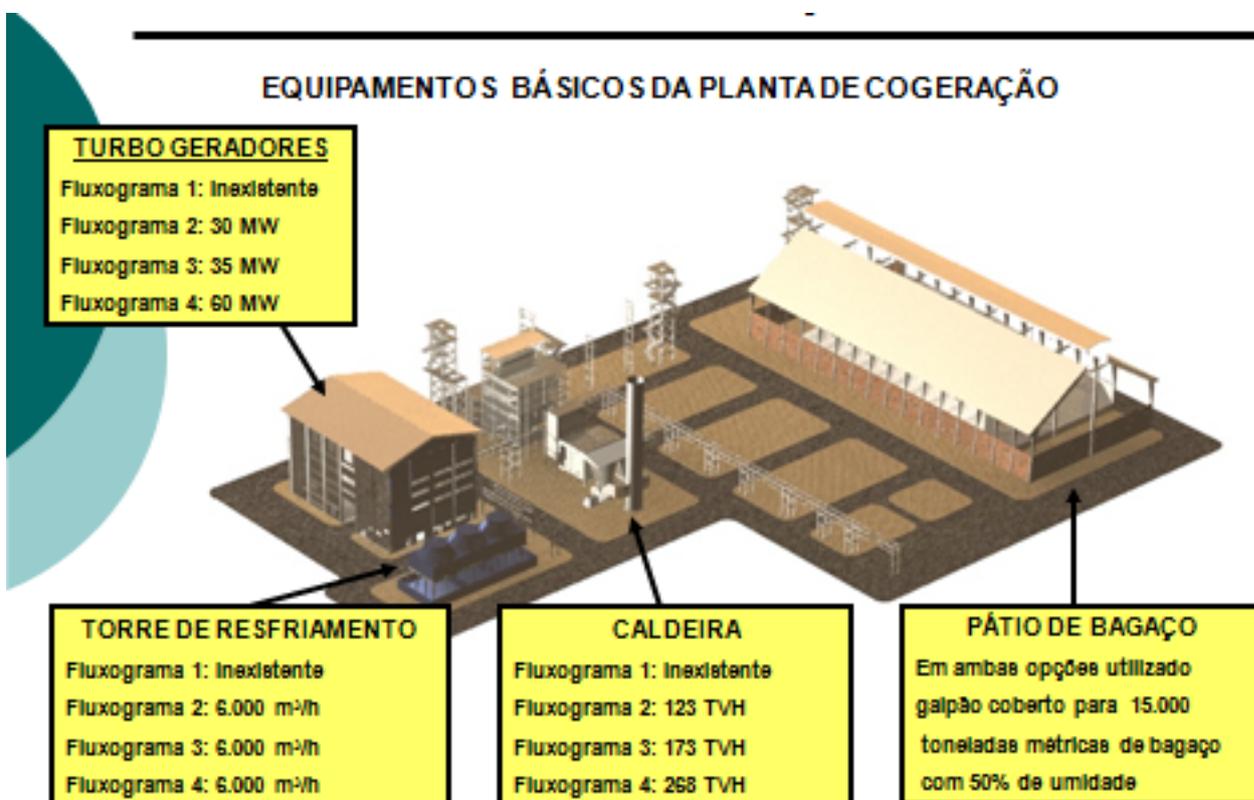


Figura 5.6.1 – Planta esquemática de equipamentos

Fonte: Os Autores (2009)

## 6. CONCLUSÕES:

Estabelecendo um comparativo entre as opções de investimentos, aquela que apresenta o melhor retorno financeiro é a OPÇÃO 2. Os custos relativos a O & M e equipamentos praticamente se equivalem a 1ª alternativa de investimento, porém gerando maior quantidade de energia elétrica voltada para exportação. A quantidade de combustível utilizado também se equivale, representando uma diferença de aproximadamente 14.000 t de pontas e folhas de cana, incrementando aproximadamente R\$ 500.000,00 ao investimento.

A terceira alternativa de implantação, apesar de apresentar boa taxa de retorno, é inferior a Opção 2, pois depende de investimentos iniciais maiores que a alternativa vencedora e uma grande quantidade de pontas e folhas de cana, o que poderia tornar inviável o projeto sem uma reformulação agrícola para coleta de até 805 t de palhico por dia durante o período de safra.

Mais do que buscar uma alternativa ideal para implantação de projetos de cogeração, o principal objetivo desta pesquisa é mostrar ao setor diversas possibilidades e alternativas para o segmento, o qual demonstra-se altamente rentável para o setor sucroalcooleiro. A energia elétrica é hoje, sem dúvida o terceiro produto das Usinas Sucroalcooleiras e deverá ganhar ainda mais importância num futuro próximo.

(\*) Nas opções adotadas no processo de cogeração está incluso correlatos eletromecânicos, mas não sendo parte integrante do custo e estudo de viabilidade econômica, da implantação da linha de transmissão da geradora - Usina até a linha de transmissão da concessionária devido a grande variabilidade desta distância usina a usina. Em face a esta condição foi verificado o custo médio estabelecido há uma implantação levando-se em consideração de um trecho de até 20 Km e com topografia com declividade média entre 10 %, o valor por km gira em torno de R\$ 100.000,00 (MCE 2008),

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL** (Brasil) *Energia Assegurada / Agência Nacional de Energia Elétrica*. Brasília : ANEEL, 2008,

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL**. *Banco de Informações de Geração – BIG*. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**AZZOLINI, Paulo César-** *TGM Turbinas- 4º. Congresso Brasileiro de eficiência energética e cogeração de energia da ABESCO-* São Paulo, 2007

**CANO MARTIN, Nilton ; JOSÉ GINÇALVES, Celso-** *Taxa de desconto para avaliação de empresa de capital fechado pelo método do fluxo de caixa descontado-* XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006,

**CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC)**. *Palha proteção do solo-* CTC. Disponível site <http://www.ctc.com.br> , 2007

**CORREA NETO,V ; RAMON,D** - 2002- *Análise de opções tecnológicas para projetos de cogeração de energia no setor sucroalcooleiro*. Setap.Brasilia, 2002,

**D'ÁVILA, Antônio C.R.-** *Anais de aula sobre processos de recepção, moagem de matéria prima-* Pecege- Piracicaba, 2009,

**ELETOBRÁS- Proinfra** (Brasil)- *Minuta de contrato de compra e venda de energia – fonte biomassa(2010)*. Disponível site [www.eletobras.com/ELB/.htm](http://www.eletobras.com/ELB/.htm)

**LAPPONI, Juan Carlos-** *Projetos de Investimento, construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel-*São Paulo- Laponi Treinamento e editora 2000,

**KITAYAMA, Onório-** *Bioeletricidade: Perspectivas e desafios* In: Seminário Internacional do setor de energia elétrica- GESEL/IE/UFRJ- Rio de Janeiro. 2008,

**RIPOLI, T. C. C.** *Utilização do material remanescente de colheita de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) : equacionamento dos balanços energético e econômico*. 1991. 150 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991 ,

**SÃO PAULO** (estado) Lei no. 11.241 de 19 de setembro de 2002 *que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar* D.O. E., 20 de set., 2002.

**SOUZA, Zilmar-** *Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro*. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia de Produção/UFSCAR- São Carlos ,2003

**PERINA, Ricardo A.** Valor de Empresas do Setor Sucroalcooleiro. São Paulo: *Dissertação de Mestrado apresentada à USP* - São Paulo, 2002

**VIOTTI, A.V.-** *Situação atual e perspectivas futuras de geração de energia a partir de bagaço e palha de cana*. In: VI Fórum de Energia, 2006, São Paulo. São Paulo: IRR,2006.

## **8. ANEXOS:**

### **8.1. ANEXO A- Opção existente**

Planilha com diagrama unifilar com dados de processo de geração de energia para consumo próprio da Usina,

### **8.2. ANEXO B- Opção 1**

Planilha com diagrama unifilar, com dados de processo de geração de energia para consumo próprio da Usina em período de safra) e também de cogeração de energia em ambos períodos, de safra e entressafra

### **8.3. ANEXO C- Opção 2**

Planilha com diagrama unifilar, com dados de processo de geração de energia para consumo próprio da Usina em período de safra e também de cogeração de energia em ambos períodos, de safra e entressafra

### **8.4. ANEXO D – Opção 3**

Planilha com diagrama unifilar, com dados de processo de geração de energia para consumo próprio da Usina em período de safra e também de cogeração de energia em ambos períodos, de safra e entressafra

### **8.5- Proinfa- Minuta de contrato de compra e venda de energia- Fonte biomassa**

Modelo de contrato proposto pela Eletrobrás entre as partes Contratante e Contratada