

## VIABILIDADE DO USO DO PALHIÇO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA NA ENTRESSAFRA EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA

Luiz Cunali Defilippi Filho  
Mestre em Agroenergia – EESP/ FGV  
[defilippi@usinaipiranga.com.br](mailto:defilippi@usinaipiranga.com.br)

Angelo Costa Gurgel\*  
Professor – EESP/FGV  
[angelo.gurgel@fgv.br](mailto:angelo.gurgel@fgv.br)

### Grupo de Pesquisa 4: Sistemas Agroalimentares e Cadeias Agroindustriais

#### Resumo

O estudo analisa a viabilidade financeira de aproveitar a capacidade ociosa de uma unidade de geração de energia elétrica durante a entressafra, através do estudo de caso de uma usina de cana-de-açúcar no interior do estado de São Paulo. Consideram-se os investimentos necessários para o processamento do palhiço na safra, armazenagem e movimentação do bagaço e custos de operação e manutenção do sistema de geração de energia. As análises financeiras do estudo valem-se dos métodos do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). São feitas também análises de sensibilidade quanto ao custo do palhiço posto na usina e o valor da energia elétrica vendida. As análises são apresentadas em três cenários variando o total de dias efetivos de geração na entressafra, sendo de 30, 60 e 90 dias. Os resultados indicam que o aproveitamento da capacidade ociosa do parque de geração de energia a partir da biomassa da cana-de-açúcar na entressafra tem potencial e viabilidade financeira conforme: o período de geração na entressafra; a disponibilidade de biomassa residual (palhiço) a custos competitivos; e o preço de venda da bioeletricidade.

**Palavras-chave:** bioenergia, cana-de-açúcar, palhiço, cogeração, análise de viabilidade

#### Abstract

*This study examines the economic feasibility of using the idle capacity of electricity generation units during the off crop, through the case study of a sugarcane mill in the countryside of São Paulo state. The study presents the necessary investments for processing the trash during the harvest season, for storage and handling of bagasse, and the operation and maintenance costs of the power generation system. The financial analysis are performed using the methods of Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). Also, sensitivity analysis is made using the two main factors that impact the profitability: the cost of trash at the plant and the amount of electricity sold. The analysis considers three scenarios varying the total days of effective bioelectricity generation during off crop: 30, 60 and 90 days. The results indicate that there is financial feasibility of additional power generation during the off crop, taking advantage of the mill's idle capacity, which is dependent on: the generation period; the availability of residual trash at competitive costs; and the bioelectricity price to the seller.*

**Key words:** bioenergy, sugarcane, trash, cogeneration, feasibility analysis

---

\* Bolsista do CNPq.

## 1. Introdução

O mundo vem estudando novas fontes e tecnologias para produção de energia de forma renovável e sustentável em busca de alternativas para substituição dos combustíveis fósseis, não renováveis. A cana-de-açúcar vem se destacando no cenário mundial como uma importante matéria-prima para produção de energia renovável de diferentes formas e para diferentes usos, tais como o açúcar, o etanol e a bioeletricidade.

Neste contexto, o Brasil, com suas características edafoclimáticas, disponibilidade de áreas agrícolas, domínio das tecnologias de produção e manejo amparado por competentes centros de pesquisa e desenvolvimento, é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Segundo levantamentos de 2011 da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (2012), o Brasil foi responsável por 40,9% da produção mundial dessa biomassa, seguido pela Índia com 19,1%, menos da metade da produção brasileira.

Nos últimos anos, além da produção de açúcar e etanol, a utilização da biomassa da cana-de-açúcar, principalmente a do bagaço, para a geração de energia elétrica excedente para comercialização, vem chamando a atenção devido ao seu grande potencial em quantidade e qualidade. Isso se deve à abundância de biomassa existente na cultura, ainda pouco aproveitada, e também ao seu aspecto renovável e de baixo impacto ambiental, o que auxilia nas reduções das emissões de gases causadores do efeito estufa.

A geração de bioeletricidade pelas usinas vem se tornando não somente um produto e fonte de receita adicional da industrialização da cana-de-açúcar, mas um ponto chave à viabilidade financeira para a instalação de novos projetos e também para o aumento da rentabilidade financeira. E a ausência de sistemas de cogeração, capazes de gerar e comercializar energia elétrica excedente à rede, pode se tornar um fator limitante para a permanência de algumas unidades industriais na cadeia produtiva.

Além disso, as recentes alterações na legislação ambiental regulamentam o emprego do fogo para a despalha da cana-de-açúcar na pré-colheita, o que indiretamente ajuda a acelerar o aumento da colheita mecânica de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, a necessidade de manejo do palhicho remanescente no campo. Adicionalmente, fatores como a necessidade de redução de custo de produção e uso de novas tecnologias para o aumento da produtividade estão forçando o setor a mudar conceitos e estudar novos caminhos e soluções.

Nesse contexto, é cada vez maior a busca por novas soluções e informações que auxiliem na tomada de decisão dos negócios e dos caminhos a seguir, em um ambiente de grande competitividade e margens reduzidas, com necessidade de altos investimentos para modernização e expansão.

Nessa linha, vários estudos investigam o aproveitamento da utilização do palhicho remanescente no campo, como combustível complementar para as caldeiras das usinas, aumentando a capacidade de geração de bioeletricidade junto com o bagaço da cana-de-açúcar, que já é usualmente empregado para esse fim. O palhicho pode alcançar valores de até 30 toneladas por hectare (em peso úmido), sendo constituído por folhas verdes, folhas secas, ponteiros, colmos e/ou suas frações (RIPOLI *et al.*, 2003).

O aproveitamento do palhicho nas usinas, através da queima em caldeiras para geração de vapor e, posteriormente, cogeração de energia, pode ser feito de forma isolada ou junto com o bagaço, proveniente do processamento da cana-de-açúcar na indústria. Diversas alternativas de recolhimento já foram amplamente estudadas e avaliadas. Entre as principais estão: colheita integral da cana-de-açúcar, fardo cilíndrico, picado a granel, fardo prismático etc. Segundo Haussuani *et al.* (2005), o método de menor custo específico é o recolhimento do palhicho através de enfardamento.

Outro ponto importante e de grande impacto na cogeração de energia pelas usinas é a sazonalidade de geração. Atualmente, a maior parte das plantas geradoras fornece toda a energia comercializada durante o período de safra, seja a energia vendida por meio do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou por meio do Ambiente de Contratação Livre (ACL). Dessa forma, a estrutura de cogeração fica parada durante o período de entressafra, havendo uma capacidade adicional de geração possível de ser explorada. A região centro-sul brasileira, que responde por mais de 90% do processamento da cana-de-açúcar do país, tem normalmente um período de safra de 220 a 240 dias, entre os meses de abril e novembro e a entressafra compreendendo o período entre dezembro e março, variando de 120 a 140 dias.

Assim, abre-se o espaço para a busca de alternativas para que as modernas plantas de geração de bioeletricidade das usinas sucroalcooleiras funcione gerando energia elétrica não apenas durante o período de safra, mas também na entressafra. Isso aumentaria a oferta de energia renovável, considerando que há abundante disponibilidade de biomassa combustível, seja bagaço ou palhico de cana-de-açúcar, possível de ser aproveitada para tal fim.

Dentro dessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo investigar a viabilidade financeira de recolher o palhico da cana-de-açúcar durante a safra, utilizar este material como combustível nas caldeiras geradoras de vapor e armazenar a sobra de bagaço para utilizá-lo na entressafra como combustível para geração de vapor e consequente geração de energia elétrica para comercialização.

Para tal, avaliam-se os custos e benefícios do uso do palhico por meio do estudo de caso de uma usina de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. A usina selecionada já possui cogeração de energia através do uso de bagaço como combustível e comercializa a produção de bioeletricidade excedente somente no período de safra, ficando toda a planta de geração de energia elétrica parada durante a entressafra. Essa situação é semelhante à da maioria das usinas do Estado de São Paulo que realizam atualmente a cogeração.

Como resultado, identifica-se sob que condições o recolhimento e uso do palhico tornam-se viáveis e capazes de adicionar rentabilidade à usina, contribuindo, dessa forma, para a evolução do setor em relação a uma maior eficiência financeira e ambiental. A próxima seção apresenta a metodologia da análise de viabilidade e de sensibilidade dos principais fatores determinantes para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR) do estudo. A seguir, apresentam-se os resultados e as conclusões do estudo.

## 2. Metodologia

Escolheu-se como unidade de análise da presente pesquisa a Usina Iacanga de Açúcar e Álcool S/A, localizada na Fazenda Nova, município de Iacanga, no Estado de São Paulo, devido à disponibilidade de obtenção das informações sobre a mesma. Na safra, 2012/2013, a usina moeu 1.581.053 t de cana-de-açúcar. Do total processado, 86,9% foi colhido mecanicamente. A distância média das áreas totais colhidas foi de 25,6 km. A totalidade da cana-de-açúcar processada foi destinada à fabricação de etanol hidratado, que contabilizou um total de 134.400m<sup>3</sup>. Além da produção de etanol, foram comercializados 35.040 MWh de energia elétrica. A unidade firmou, em março de 2007, um contrato de fornecimento de energia elétrica no ACR, com validade de 15 anos, iniciando em janeiro de 2010 e findando-se em dezembro de 2024, se comprometendo a entregar 35.040 MWh.ano<sup>-1</sup> de energia de fontes alternativas durante o período de safra. O valor firmado em 2007 foi de R\$140,52 por MWh, corrigido anualmente pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), sendo o valor recebido atualmente de R\$193,86 por MWh.

A área cultivada pela usina atualmente, em regime de parceria agrícola, é de aproximadamente 22.197 hectares, sendo a área projetada de corte para esta safra

aproximadamente 15.237 hectares, estimando alcançar uma produtividade média dos canaviais acima de  $94 \text{ t}_{\text{cana-de-açúcar}} \cdot \text{ha}^{-1}$  (TCH).

O modelo proposto neste estudo visa aproveitar a capacidade de geração de vapor e de energia elétrica, já existente em várias unidades produtoras de etanol e açúcar do centro-sul do Brasil que comercializam a energia elétrica excedente, colocando-a em operação durante um período na entressafra. Isso se torna possível em plantas de geração de energia elétrica já equipadas com um gerador movido à turbina de condensação, podendo assim operar com altas eficiências e sem gerar vapor de escape, ponto fundamental para geração de energia elétrica com o parque industrial parado. Além disso, toda a geração de vapor à alta pressão e temperatura, interligações de vapor primário, circuitos de refrigeração de água (condensado), estações de tratamento e bombeamento de água de alimentação da caldeira e subestações elétricas são independentes do restante do parque industrial, podendo trabalhar isoladamente sem interferir nas reformas e manutenções que normalmente ocorrem nesse período na usina.

O problema é que o combustível (bagaço) produzido durante a safra já é, na grande maioria das usinas exportadoras de energia para o sistema elétrico, utilizado para a geração de vapor e de energia elétrica durante esse período de moagem. Desta forma, não há disponibilidade de biomassa armazenada na usina para geração de vapor e energia elétrica na entressafra.

Assim, o modelo tem como premissas o recolhimento (através do sistema de enfardamento) e transporte de uma quantidade suficiente de palhiço durante a safra, processando-o na unidade industrial e queimando-o juntamente com parte do bagaço produzido na usina. O excedente de bagaço ficaria armazenado para ser utilizado durante o período de geração de energia na entressafra. O período de entressafra, como já exposto, tem em média 110 dias; entretanto, parte dele deve ser utilizada para manutenção e reforma do próprio sistema de geração de vapor e de energia elétrica, não sendo possível assim operar com o sistema durante todo o período de entressafra. Para o presente estudo, foram adotados três cenários de geração de bioeletricidade na entressafra: o cenário A, gerando durante 30 dias; o cenário B, gerando durante 60 dias; e o cenário C, gerando durante 90 dias na entressafra, o que é praticamente o limite, já que é necessário um mínimo de 15 dias para manutenção e reforma do sistema de geração de vapor e de energia elétrica da usina.

O modelo proposto é baseado em informações, eficiências e parâmetros técnicos da usina escolhida e também em trabalhos da literatura, principalmente no que diz respeito aos poderes caloríficos do palhiço da cana-de-açúcar comparado ao do bagaço. Esses dados são importantes para a construção do balanço de biomassa da usina que calculará a quantidade necessária de palhiço a ser recolhida na safra e quantidade de bagaço a ser estocada para geração de energia na entressafra.

Os investimentos necessários para a operação desse modelo estudado se restringem ao sistema de recepção, processamento e alimentação do palhiço para queimá-lo nas caldeiras durante a safra. Os valores desses investimentos foram obtidos por meio de estimativas feitas por empresas de projeto e engenharia. Para os cálculos de depreciação foi adotada a depreciação linear em dez anos, sem valor residual após esse período.

Os custos de operação do modelo, tanto durante a safra como na entressafra, são detalhados e expressos em valores específicos, obtidos em levantamentos da própria usina. Os principais custos de operação abordados e de maiores impactos no resultado do estudo são: a) custo de operação e manutenção do sistema de recepção e processamento do palhiço; b) custo de movimentação do bagaço, sendo a armazenagem na safra e a movimentação e alimentação da caldeira na entressafra, e; d) custo de operação e manutenção do sistema de geração de vapor e energia elétrica na entressafra.

Os cálculos de balanço de biomassa, quantidade excedente de energia disponível para comercialização na safra e na entressafra, necessidade de recolhimento de palhico e quantidade de bagaço a ser armazenado para uso na entressafra foram feitos com dados da projeção de moagem e produção da usina para a safra 2014/2015. Para calcular o total de energia elétrica possível de ser gerada durante a safra, estimou-se o total de dias em que a usina está com o processo ativo podendo estar moendo ou não, necessitando, portanto vapor de escape para o processo, reduzindo, assim, os excedentes de bioeletricidade possíveis de comercializar. E o total de dias em que a usina não está moendo e não está com o processo ativo, podendo assim utilizar todo o vapor gerado para a geração de bioeletricidade, podendo utilizar tanto os turbogeradores a condensação como a contrapressão (cogeração Cond-Cont Ativa). Já em dias de parada total, não há geração de energia elétrica, sendo esses utilizados para manutenções ou correções do sistema de geração de vapor e de energia. Os parâmetros de eficiência com base nessas hipótese são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Eficiência e dias de safra para geração de bioeletricidade

Eficiência e Dias de Safra	
Dias de Safra	252
Eficiência Média de Moagem	83,6%
Dias Efetivos de Moagem (a)	210,6
Dias Sem Moagem	41,4
i. Dias sem Moagem: Processo Ativo(b)	6,2
ii. Dias sem Moagem: Cogeração Cond-Cont Ativa (c)	31,1
iii. Dias sem Moagem: Parada Total (d)	4,1
Resumo do Período de Safra (em dias)	
Processo Ativo (a+b)	216,8
Cogeração Cond-Cont Ativa (c)	31,1
Parada Total (d)	4,1

Fonte: USINA IACANGA.

Calculado o total de dias disponíveis para a geração, foi calculada a estimativa de produção de bagaço (Tabela 2) a partir de parâmetros informados pela usina e projetados para a moagem total da safra 2014/2015. Inicialmente, todo o bagaço produzido é utilizado para a geração de vapor e energia elétrica durante a safra, não havendo sobras para a entressafra, exceto o estoque de passagem, já comumente utilizado para iniciar a safra do ano seguinte.

Utilizando todo o bagaço produzido, 694.888 toneladas, para a geração de energia elétrica durante a safra, foi calculado a partir de coeficientes técnicos de cada equipamento (caldeiras geradoras de vapor e turbogeradores de energia elétrica) informados pela usina utilizando os dias disponíveis calculados, conforme apresentado na Tabela 3, o total de energia elétrica possível de ser gerada, o total de energia consumida no processo tanto de produção de etanol e açúcar como para a geração de bioeletricidade, resultando, assim, no saldo final de 67.431 MWh de energia elétrica possível de ser comercializada durante a safra, através do uso de todo o bagaço produzido no período, conforme apresentado a seguir.

Para esses cálculos, as principais premissas de eficiências e rendimentos industriais adotados, foram obtidas a partir de dados da usina, como mostrados na Tabela 4.

Tabela 2 - Produção estimada de bagaço

Produção de Bagaço na Safra	
Fibra da cana-de-açúcar (%)	12,50
Umidade do bagaço (%)	50,00
Total de bagaço produzido (t)	694.888

Fonte: USINA IACANGA, 2013.<sup>1</sup>

Tabela 3: Balanço projetado de produção, consumo e excedente de energia elétrica gerada durante a safra

Balanço de Energia Elétrica na Safra	
<b>Geração Total na Safra (MWh)</b>	<b>164.880</b>
<i>Geração Contrapressão - Processo Ativo (MWh)</i>	<i>98.854</i>
<i>Geração Condensação - Processo Ativo (MWh)</i>	<i>48.874</i>
<i>Geração Cond+Contr Ativa (MWh)</i>	<i>17.151</i>
<b>Consumo Total na Safra (MWh)</b>	<b>97.450</b>
<i>Consumo Geração Contrapressão - Processo Ativo (MWh)</i>	<i>85.847</i>
<i>Consumo Geração Condensação - Processo Ativo (MWh)</i>	<i>9.365</i>
<i>Consumo Geração Cond+Contr Ativa (MWh)</i>	<i>2.237</i>
<b>Saldo de Energia Excedente para Comercialização na Safra (MWh)</b>	<b>67.431</b>

Fonte: USINA IACANGA, 2013.

Tabela 4: Eficiências e Rendimentos industriais do sistema de geração de vapor e de energia elétrica

Parâmetros de Eficiência e Rendimento	
Rendimento Específico das Caldeiras ( $t_{\text{vapor}} \cdot t_{\text{bagaço}}^{-1}$ )	2,10
Consumo Específico de Vapor com Processo Ativo ( $\text{kg.tch}^{-1}$ )	415
Consumo Específico ( $\text{kg vapor} / \text{kWh}$ ) - Turbogeneradores Contrapressão	7,5
Consumo Específico ( $\text{kg vapor} / \text{kWh}$ ) - Turbogeneradores Condensação	4,0
Consumo Específico de Energia com Processo Ativo ( $\text{kWh.tch}^{-1}$ )	30
Consumo Específico de Energia com Cogeração Cond-Cont Ativa ( $\text{mWh}$ )	3

Fonte: USINA IACANGA, 2013.

Assume-se que todo o bagaço produzido durante a safra será utilizado para geração de vapor para o processo e o excedente utilizado para geração de energia elétrica durante o período. Há, portanto, a necessidade de combustível adicional, nesse estudo utilizado a biomassa em forma de palhico, para a geração de energia durante a entressafra.

Para o cálculo da quantidade de palhico necessária a recolher no campo para cada cenário foi feita a equivalência de biomassa (palhico e bagaço) a partir do Poder Calorífico Inferior (PCI) de cada produto, assumindo que não haverá alteração dos rendimentos e eficiências na queima e produção de vapor pelas caldeiras. Assim, conforme os dados

<sup>1</sup> Os dados fornecidos pela Usina Iacanga foram obtidos em visitas e reuniões presenciais, durante o ano de 2013.

apresentados por Hassuani *et al.* (2005), 1,00 kg de palhiço equivale a aproximadamente 1,81 kg de bagaço, sendo esse fator de equivalência adotado para o estudo (Tabela 5).

Tabela 51: Equivalência energética bagaço x palhiço

PCI Bagaço (kcal / kg) - Umidade de 50%	1.710
PCI Palhiço (kcal / kg) - Umidade de 15%	3.100
<b>Equivalência Energética ( kg bagaço ~ kg palhiço)</b>	<b>1,8129</b>

Fonte: Adaptado de LINERO, 2012.

Desta forma, foi calculada, para cada cenário, a quantidade de energia possível de ser gerada (total, consumo e excedente) e a respectiva quantidade necessária de bagaço e do seu equivalente em palhiço, conforme detalhado na Tabela 6. No cenário A (30 dias de geração), é necessário o recolhimento de 15.130 t de palhiço que será processado e utilizado durante a safra, gerando assim uma sobra de 27.429 t de bagaço que será armazenado para uso na entressafra para gerar um excedente final de bioeletricidade de 12.240 MWh para comercialização. O cenário B, com 60 dias de geração, necessita de 54.857 t de bagaço na entressafra para gerar um excedente de 24.480 MWh de bioeletricidade, fazendo assim necessário o recolhimento e processamento de 30.260 t de palhiço na safra. O cenário C, que tem a geração de energia em operação durante 90 dias da entressafra, necessita de 82.286 t de bagaço, precisando, desta forma, processar 45.390 t de palhiço durante a safra, para gerar durante a entressafra um excedente de 36.720 MWh de energia elétrica. Como resumo do balanço de energia elétrica líquida gerada, ou seja, disponível para comercialização, encontram-se os fatores para a planta em estudo de  $0,81 \text{ MWh} \cdot t_{\text{palhiço}}^{-1}$  e  $0,45 \text{ MWh} \cdot t_{\text{bagaço}}^{-1}$ .

Tabela 62: Geração de energia por condensação na entressafra em cada cenário

	Cenário A	Cenário B	Cenário C
<b>Dias Efetivos de Cogeração Condensativa na Entressafra</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>
Potência Consumida (MWh)	20	20	20
Consumo Específico (kg vapor / kWh)	4	4	4
Vapor consumido com Cogeração Condensativa Ligada (t vapor / h)	80	80	80
Vapor consumido com Cogeração Condensativa Ligada (t vapor / dia)	1.920	1.920	1.920
Total de Vapor Consumido na Entressafra (t)	57.600	115.200	172.800
Rendimento Específico (t vapor / t bagaço)	2,10	2,10	2,10
<b>Necessidade de Bagaço na Entressafra (t)</b>	<b>27.429</b>	<b>54.857</b>	<b>82.286</b>
Fator de Conversão Bagaço-Palhiço	1,8129	1,8129	1,8129
<b>Palhiço Necessário Processar durante a Safra (t)</b>	<b>15.130</b>	<b>30.260</b>	<b>45.390</b>
Energia Gerada - Entressafra Condensação (MWh)	14.400	28.800	43.200
Consumo de Energia - Entressafra Condensação (MWh)	2.160	4.320	6.480
<b>Saldo de Energia Excedente para Comercialização na Entressafra (MWh)</b>	<b>12.240</b>	<b>24.480</b>	<b>36.720</b>

Fonte: USINA IACANGA, 2013.

Com o intuito de verificar se a quantidade total de palhiço necessário em cada cenário era inferior à quantidade de palhiço existente no campo, foi calculada, utilizando os parâmetros apresentados por Hassuani *et al.* (2005), a porcentagem total de palhiço recolhida na área de colheita da usina, adotando uma produção de  $140 \text{ kg}_{\text{palhiço}} \cdot t_{\text{cana}}^{-1}$  e a produtividade média do canavial, informada pela usina, de  $91,47 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . É importante ressaltar que, do total do palhiço disponível no campo, pode ser recolhido até 50% sem ocasionar impactos negativos à lavoura e ao solo, como a redução da quantidade de matéria orgânica e nutrientes disponíveis e controle das ervas daninhas. Os três cenários estudados, respeitam com folga,

esse limite, haja vista que no cenário C, que tem a maior necessidade de recolhimento de palhicho, o total recolhido não ultrapassa os 12%, ficando muito abaixo do limite de 50%.

O resumo dos três cenários estudados comparados com a situação atual, onde não há recolhimento do palhicho na safra, armazenagem do bagaço e geração de energia elétrica para comercialização na entressafra, é apresentado na Tabela 7. Observa-se que o excedente de energia elétrica comercializada pode aumentar de 18,3% (no cenário A) até 54,5% (no cenário C), sendo expressivo e significativo o potencial de uso do sistema de geração de energia elétrica na entressafra, que se encontra parado nesse período, devido à falta de combustível (biomassa).

Tabela 7: Variação percentual do total de energia excedente gerada em cada um dos cenários, comparado à situação atual

	Cenário Atual	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Energia Gerada na Safra (MWh)	164.880	164.880	164.880	164.880
Energia Consumida na Safra (MWh)	97.450	97.450	97.450	97.450
Saldo Excedente na Safra (MWh)	67.431	67.431	67.431	67.431
Energia Gerada na Entressafra (MWh)	0	14.400	28.800	43.200
Energia Consumida na Entressafra (MWh)	0	2.160	4.320	6.480
Saldo Excedente na Entressafra (MWh)	0	12.240	24.480	36.720
Total de Energia Gerada (MWh)	164.880	179.280	193.680	208.080
Total de Energia Consumida (MWh)	97.450	99.610	101.770	103.930
<b>Total de Excedente de Energia (MWh)</b>	<b>67.431</b>	<b>79.671</b>	<b>91.911</b>	<b>104.151</b>
<b>Variação do Excedente de Energia (%)</b>	<b>0,0%</b>	<b>18,2%</b>	<b>36,3%</b>	<b>54,5%</b>

Fonte: USINA IACANGA, 2013.

Para colocar em operação os cenários projetados, é necessário o investimento em uma planta de processamento de palhicho, responsável por desfardar, retirar as impurezas minerais e triturar o palhicho para que seja possível utilizá-lo como combustível, juntamente com o bagaço, nas caldeiras geradoras de vapor. O total de palhicho processado durante a safra será de, no máximo, 45,4 mil toneladas. Contudo, será considerada no presente estudo a instalação uma planta com capacidade de processar 15 toneladas de palhicho por hora, o que representa em média 72 mil toneladas por safra. A adoção de uma planta de processamento dessa capacidade baseia-se no tamanho médio padrão de um módulo de processamento no setor sucroalcooleiro, conforme informações obtidas pela Fundamento (2013). Desta forma, para os três cenários estudados foi utilizada a mesma planta de processamento com as mesmas características e capacidade. Os custos dos equipamentos e da instalação da planta são apresentados na Tabela 8 e foram informados pela Fundamento (2013), totalizando um investimento inicial de R\$3,59 milhões.

O custo de operação e manutenção (O&M) da planta processadora de palhicho foi obtido por meio de dados fornecidos pela usina e pela empresa Fundamento (2013), sendo esses custos calculados por tonelada de palhicho processado, utilizando a capacidade e eficiência projetada da planta durante todo o período de safra. O custo de O&M calculado foi de R\$7,46 por tonelada de palhicho (Defilippi Filho, 2013). Os custos de O&M da planta de geração de energia elétrica foram informados pela usina. Tais custos somados atingem o valor de R\$18,50.MWh<sup>-1</sup>.

Os custos de movimentação do bagaço, tanto o empilhamento e armazenagem durante a safra, como o desempilhamento e alimentação das caldeiras geradoras de vapor durante a

entressafra, foram também informados pela usina, no valor agregado de R\$4,20.t<sub>bagaço</sub><sup>-1</sup> para cada operação.

Tabela 8: Orçamento da planta de processamento de palhico

Investimentos para Planta de Processamento de Fardos - CAPACIDADE DE 15 t.h <sup>-1</sup>		
Esteira de alimentação de fardos	R\$	300.000,00
Equipamento para remoção de cordas que amarram os fardos	R\$	156.000,00
Transportador metálico de corrente	R\$	325.000,00
Desenfardador 1200mm x 1500mm com sistema de combate a incêndio	R\$	300.000,00
Estrutura de sustentação do desenfardador	R\$	85.000,00
Transportador de correia 48" para palha desenfardada	R\$	180.000,00
Eletroímã para proteção do sistema de trituração	R\$	100.000,00
Peneira rotativa octogonal para eliminar as impurezas minerais	R\$	375.000,00
Estrutura de sustentação para peneira e triturador	R\$	360.000,00
Caixa de terra sob a peneira rotativa	R\$	50.000,00
Dutos e capela para interligação da peneira ao triturador	R\$	84.000,00
Triturador duplo tambor tipo fresa	R\$	385.000,00
Transportador de correia 48" para palha triturada após o triturador	R\$	270.000,00
Obras civis para fixação dos equipamentos	R\$	120.000,00
Instalações elétricas para acionamento dos motores com painéis e centro de controle dos motores	R\$	320.000,00
Instalação de sistema de combate a incêndio com hidrantes e <i>sprinklers</i>	R\$	60.000,00
Instalação de sistema de filtros de manga para desempoeiramento do desenfardador	R\$	120.000,00
<b>Investimento Total</b>	<b>R\$</b>	<b>3.590.000,00</b>

Fonte: FUNDAMENTO, 2013.

Para avaliação da viabilidade financeira em cada cenário adotado, foram utilizados dois métodos-chave para classificar e decidir se o projeto deve ser aceito ou não. Os métodos utilizados foram o VPL e a TIR. Segundo Brigham *et al.* (2001), o método do VPL baseia-se em técnicas de fluxo de caixa descontado, seguindo os procedimentos de: a) encontrar o valor presente de cada fluxo de caixa, incluindo tanto as entradas quanto as saídas descontadas ao custo do capital do projeto; b) somar esses fluxos de caixa descontados, sendo essa soma definida como o VPL do projeto; c) caso o VPL seja positivo, o projeto deve ser aceito, enquanto se o VPL for negativo, ele deve ser rejeitado. E se dois projetos com VPL positivos forem mutuamente excludentes, aquele com maior VPL deve ser escolhido. A equação do VPL, segundo o mesmo autor é a seguinte:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \left( \frac{CF_t}{(1+k)^t} \right)$$

Onde  $CF_t$  é o fluxo líquido de caixa (*Free Cash Flow - FCF*) esperado no período  $t$ ,  $k$  é o custo de capital do projeto e  $n$  é o período de vida do projeto. As saídas de caixa, ou seja, os desembolsos são tratados como fluxo de caixa negativo.

Para o estudo, foi adotado o fluxo de caixa em termo nominal, calculado para dez anos, com depreciação linear e valor residual da planta de processamento de palhico ao final do período de dez anos igual a zero, desconsiderando a perpetuidade. Isso foi adotado com o intuito de não projetar receitas futuras com a venda dessa planta ao final do projeto.

Para o cálculo dos valores nominais da receita esperada pela venda da energia elétrica excedente e os custos nominais de O&M do projeto, foi utilizada a indexação pelo IPCA projetado para os próximos dez anos, conforme Tabela 9. Como a usina forneceu as

estimativas projetadas para o índice somente até 2017, foi adotado, para os anos seguintes até 2022, o último valor da série que é a taxa de 3,80% a.a.

Tabela 9: Projeção do IPCA, em % a.a., adotado no projeto

Projeção IPCA	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Dados Usina	5,5%	5,0%	4,1%	4,0%	3,8%					
Dados Projeto	5,5%	5,0%	4,1%	4,0%	3,8%	3,8%	3,8%	3,8%	3,8%	3,8%

Fonte: USINA IACANGA, 2013.

Quanto ao custo do palhicho, Hassuani *et al.* (2005) consideram o custo da tonelada de palhicho colocada na usina, em média, de US\$18,49 a tonelada, sendo convertido em reais em aproximadamente R\$37,32 a tonelada do palhicho (cotação do câmbio Banco Central PTAX de 01/04/13, no valor de R\$2,0186.US\$<sup>-1</sup>). Enquanto dados obtidos de alguns fornecedores de palhicho da região de Barra Bonita e Lençóis Paulista indicam que os custos variam de R\$63,43 até R\$79,31 a tonelada, com um custo médio ao redor de R\$67,25 a tonelada, dependendo da distância até a unidade industrial e da eficiência operacional alcançada na operação de enfardamento (SADER, 2013).

O custo de capital do projeto é a média ponderada entre o custo de capital de terceiros (custo da dívida,  $K_d$ ) e o custo de capital próprio ( $K_s$ ), também chamado de Custo Médio Ponderado de Capital (WACC – *Weighted Average Cost of Capital*). O custo da dívida após impostos é a taxa de juros sobre a dívida ( $K_d$ ), menos o abatimento do imposto decorrente da dedução dos juros, ou seja, é igual a  $K_d * (1 - T)$ , sendo T adotado como 34% de Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ) somada a CSLL. No estudo foi adotado que todo o capital necessário para o investimento será próprio. Desta forma, o custo da dívida depois de descontadas as taxas, seria de 6,27% a.a., conforme calculado na Tabela 10. Os pagamentos de juros e amortizações do empréstimo, bem como prazos e carências, tornariam o estudo mais complexo, sem contribuir diretamente para a análise.

Tabela 10: Custo da dívida após impostos, em % a.a

Taxa da Dívida após Impostos		6,27%
Valor da Dívida	R\$	-
Taxa (IR + CS)		34%
Custo da dívida ( $k_D$ )		9,50%

Fonte: BRIGHAM *et al.*, 2001. USINA IACANGA, 2013.

Para calcular o custo do capital próprio utilizou-se o Modelo de Precificação de Ativos (CAPM) que, segundo Brigham *et al.* (2001), deve ser aplicado da seguinte forma: a) definir a taxa livre de risco ( $K_{rf}$ ) (informado pela empresa como 7,5%); b) definir o coeficiente beta ( $\beta$ ) e usá-lo como um indicador do risco da ação, adotado-se o valor de 0,92 segundo Damodaran (2013); c) definir a taxa de retorno corrente esperada sobre o mercado, adotada pela usina o valor de 6,0%; d) estimar a taxa de retorno esperada sobre o capital próprio utilizando a equação  $k_s = k_{rf} + (k_M - k_{rf}) * \beta$ , conforme calculado na Tabela 11.

Assim, o custo médio ponderado do capital, calculado para esse projeto, é igual ao custo do capital próprio, que tem uma taxa de 13,02% ao ano, haja vista, que no modelo estudado não haverá o uso de financiamentos e capital de terceiros, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 11: Custo do capital próprio, em % a.a.

<b>Taxa do Capital Próprio (<math>K_s</math>)</b>	<b>13,02%</b>
Valor do Capital Próprio	R\$ 3.590.000,00
Taxa Livre de Risco ( $k_{RF}$ )	7,50%
Beta da Empresa	0,92
Prêmio por risco de Mercado ( $K_m$ )	13,50%

Fonte: BRIGHAM *et al.*, 2001; DAMODARAN, 2013; USINA IACANGA, 2013.

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Tabela 12: Custo médio ponderado do capital para o projeto

<b>Custo Médio Ponderado do Capital (WACC)</b>	<b>%</b>	<b>Valor</b>	<b>Taxa (a.a.)</b>
Parcela do Investimento feita com Capital Próprio	100%	R\$ 3.590.000,00	13,02%
Parcela do Investimento feita com Capital de Terceiros	0%	R\$ -	6,27%
<b>Custo Médio Ponderado do Capital (WACC)</b>	<b>100%</b>	<b>R\$ 3.590.000,00</b>	<b>13,02%</b>

Fonte: Elaboração própria.

O segundo método-chave utilizado para avaliar o projeto foi o método da TIR, que é definida segundo Brigham *et al* (2001), como a taxa de desconto que força o VPL ser igual a zero, ou seja, é a taxa que iguala o valor presente das entradas de caixa esperadas de um projeto ao valor presente dos custos desse projeto. A TIR de um projeto é, portanto, a sua taxa de retorno esperada. Assim, caso a TIR seja maior que o custo médio ponderado de capital do projeto, o projeto deve ser aceito, pois este permite que os acionistas aumentem seu patrimônio. Já se a TIR for menor que o WACC do projeto, isso mostra que o projeto impõe um custo aos acionistas, diminuindo sua riqueza, ou seja, causando prejuízos.

Foram ainda analisados os dois principais fatores capazes de provocar maiores impactos nos resultados financeiros do estudo, que são o valor de comercialização da energia elétrica gerada na entressafra e o custo que terá para a unidade produtora o palhico enfardado, seja essa operação agrícola de recolhimento, enfardamento e transporte do palhico feita pela própria usina, ou então através de sua terceirização ou até mesmo pela compra desse palhico de fornecedores de cana-de-açúcar da própria usina que se interessem por enfardá-lo e entregá-lo na usina.

### 3. Resultados

Foram projetados os fluxos de caixa livres em termos nominais para cada cenário do estudo, num período de dez anos desconsiderando a perpetuidade, sendo o ano zero o ano atual (2013) e o início das operações ocorrendo na safra 2014/2015 (ano 1). Adotou-se como custo da tonelada de palhico em fardos prismáticos, com umidade máxima de 15%, o valor de R\$70,00.t<sup>-1</sup>, próximo à média praticada na região de Lençóis Paulista e Barra Bonita, com condições parecidas às da região onde o estudo foi elaborado. Esses valores são bem mais altos que dos estudos de Hassuani *et al.* (2005), possivelmente devido à fase atual de aprendizado, definindo as melhores práticas a serem adotadas bem como os melhores equipamentos e sequência das operações agrícolas. Para o valor da energia elétrica excedente comercializada foi adotado o valor inicial, no ano zero, de R\$170,00.MWh<sup>-1</sup> (corrigido anualmente pelo IPCA), valor próximo da média de R\$174,00.MWh<sup>-1</sup>, dos contratos de energia de fontes alternativas (LFA A-3), ocorridos em 2007 e 2010 da ANEEL.

Os impostos considerados no projeto incidentes sobre a receita bruta da comercialização da energia elétrica têm as seguintes alíquotas vigentes: 7,60% de COFINS

(Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social); 1,65% de PIS (Programa de Integração Social); totalizando uma alíquota de 9,25% sobre a receita operacional da venda da energia elétrica excedente. É obrigatório também o pagamento do IRPJ, adotando no estudo uma alíquota de 25% sobre o lucro apurado, conforme a legislação vigente para resultados positivos anuais superiores a R\$240.000,00. E também o pagamento da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL) numa alíquota de 9%, incidindo também sobre o lucro antes do IRPJ. Caso os resultados antes do IRPJ e CSLL forem negativos, não há incidência desses tributos.

### 3.1. Cenário A – Geração Durante 30 dias na Entressafra

As projeções do fluxo de caixa foram calculadas para dez anos para esse cenário de geração de energia durante 30 dias na entressafra, totalizando 12.240 MWh de energia adicional comercializada (Tabela 13). Para tal, faz-se necessário o recolhimento de 15,1 mil t de palhico durante a safra e o consequente armazenamento de 27,4 mil t de bagaço para a entressafra.

Tabela 133: Fluxo de caixa projetado para o cenário A, em reais.

SAFRA	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24	
ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento Inicial - Planta de Processamento	-3.590.000										
Receita Operacional - Venda de Energia	2.195.244	2.304.640	2.399.131	2.495.096	2.589.078	2.686.600	2.787.795	2.892.802	3.001.764	3.114.831	
Impostos sobre a Venda de Energia (PIS+COFINS)	-203.060	-213.179	-221.920	-230.796	-239.490	-248.510	-257.871	-267.584	-277.663	-288.122	
Custo do Palhico	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	-1.059.097	
Custo O&M da Planta de Processamento do Palhico	-118.998	-124.928	-130.050	-135.252	-140.346	-145.633	-151.118	-156.810	-162.717	-168.846	
Custo de Movimentação do Bagaço	-243.072	-255.185	-265.648	-276.274	-286.680	-297.478	-308.683	-320.310	-332.375	-344.895	
Custo O&M do Sistema de Geração	-281.052	-295.058	-307.155	-319.441	-331.474	-343.959	-356.915	-370.359	-384.309	-398.785	
Despesas e Receitas Financeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Depreciação	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	
Lucro Antes do IR e CS	-69.035	-1.806	56.261	115.236	172.991	232.922	295.111	359.642	426.603	496.087	
Imposto de Renda (T=25%)	0	0	-14.065	-28.809	-43.248	-58.231	-73.778	-89.910	-106.651	-124.022	
Contribuição Social (T=9%)	0	0	-5.064	-10.371	-15.569	-20.963	-26.560	-32.368	-38.394	-44.648	
Lucro Líquido	-69.035	-1.806	37.133	76.056	114.174	153.729	194.773	237.363	281.558	327.417	
Depreciação (+)	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	
Geração de Caixa (FCL)	-3.590.000	289.965	357.194	396.133	435.056	473.174	512.729	553.773	596.363	640.558	686.417
Taxa de Desconto (WACC) (a.a.)	13,02%										
Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)	-1.136.313										
Taxa Interna de Retorno (TIR) (a.a)	5,47%										

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados dos indicadores das análises do projeto resultaram em um VPL negativo de R\$1,136 milhão e uma TIR de 5,47% a.a., ou seja, inferior à taxa de desconto adotada de 13,02% a.a. Isso faz com que, nesse cenário de geração de energia, somente durante 30 dias efetivos na entressafra o projeto não seja aprovado e a decisão tomada é a de não investir nesse cenário, já que remuneraria o capital dos acionistas a taxa inferior à aceitável.

Para um maior refinamento na análise dos resultados desse cenário e a verificação em quais situações o VPL é positivo e a TIR projetada é maior que a taxa de desconto do projeto, foram construídas as matrizes de sensibilidade do VPL e da TIR, variando os valores da energia elétrica comercializada na entressafra e os custos do palhico de cana-de-açúcar colocado na usina, apresentados no Quadro 1.

Observa-se que nesse cenário para o projeto ser aceito (VPL=0), variando individualmente cada um desses dois fatores analisados, o projeto só será viável caso o valor da energia comercializada seja superior a R\$192,91.MWh<sup>-1</sup> (com o custo do palhico a R\$70.t<sup>-1</sup>), ou o custo do palhico for inferior a R\$49,40.t<sup>-1</sup> (com a energia comercializada a R\$170.MWh<sup>-1</sup>), mantendo as demais variáveis do estudo constantes.

Quadro 1: Análise de sensibilidade do VPL (em R\$) (a) e da TIR (em % a.a.) (b) do projeto no cenário A, dado valor da energia comercializada (R\$.MWh<sup>-1</sup>) e custo do palhiço (R\$.t<sup>-1</sup>)

VPL	Custo do Palhiço (R\$.t <sup>-1</sup> )					
	30	40	50	60	70	80
80	-4.198.517	-5.018.850	-5.839.182	-6.659.514	-7.479.847	-8.300.179
90	-3.461.070	-4.281.403	-5.101.735	-5.922.067	-6.742.399	-7.562.732
100	-2.723.623	-3.543.955	-4.364.288	-5.184.620	-6.004.952	-6.825.285
110	-2.010.444	-2.806.508	-3.626.841	-4.447.173	-5.267.505	-6.087.838
120	-1.401.062	-2.095.879	-2.889.394	-3.709.726	-4.530.058	-5.350.391
130	-896.248	-1.474.054	-2.181.313	-2.972.279	-3.792.611	-4.612.943
140	-409.533	-950.952	-1.552.017	-2.266.754	-3.055.164	-3.875.496
150	77.182	-464.237	-1.005.900	-1.629.979	-2.352.546	-3.139.272
160	563.897	22.478	-518.941	-1.070.866	-1.711.683	-2.438.338
170	1.050.613	509.193	-32.226	-573.645	-1.136.313	-1.793.418
180	1.537.328	995.908	454.489	-86.930	-628.350	-1.208.805
190	2.024.043	1.482.623	941.204	399.785	-141.635	-683.054
200	2.510.758	1.969.338	1.427.919	886.500	345.080	-196.339
210	2.997.473	2.456.054	1.914.634	1.373.215	831.796	290.376
220	3.484.188	2.942.769	2.401.349	1.859.930	1.318.511	777.091

(a)

TIR	Custo do Palhiço (R\$.t <sup>-1</sup> )					
	30	40	50	60	70	80
80						
90	-21,30%					
100	-9,24%	-21,33%				
110	-1,95%	-9,59%	-21,35%			
120	3,04%	-2,43%	-9,92%	-21,37%		
130	6,89%	2,62%	-2,89%	-10,24%	-21,39%	
140	10,32%	6,56%	2,18%	-3,34%	-10,55%	-21,41%
150	13,51%	9,98%	6,23%	1,74%	-3,79%	-10,88%
160	16,53%	13,16%	9,64%	5,85%	1,29%	-4,22%
170	19,42%	16,18%	12,82%	9,30%	5,47%	0,86%
180	22,19%	19,05%	15,82%	12,47%	8,98%	5,07%
190	24,88%	21,82%	18,69%	15,47%	12,13%	8,65%
200	27,49%	24,50%	21,45%	18,33%	15,12%	11,80%
210	30,04%	27,10%	24,12%	21,08%	17,97%	14,78%
220	32,53%	29,64%	26,72%	23,75%	20,72%	17,62%

(b)

Fonte: Resultados da pesquisa.

### 3.2. Cenário B – Geração Durante 60 dias na Entressafra

Adotando as mesmas premissas do cenário A de valores de comercialização de energia excedente e de custo do palhiço colocado na usina, alterando para 60 dias de geração efetiva na entressafra, totalizando 24.480 MWh de energia adicional comercializada, fazendo-se necessário, para isso, o recolhimento de 30,2 mil t de palhiço durante a safra e o consequente armazenamento de 54,8 mil t de bagaço para a entressafra, é apresentado na Tabela 14 as projeções do fluxo de caixa esperadas para esse cenário B.

Tabela 14: Fluxo de caixa projetado para o cenário B, em reais.

SAFRA		14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24
ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento Inicial - Planta de Processamento	-3.590.000										
Receita Operacional - Venda de Energia		4.390.488	4.609.281	4.798.261	4.990.192	5.178.155	5.373.199	5.575.590	5.785.604	6.003.528	6.229.661
Impostos sobre a Venda de Energia (PIS+COFINS)		-406.120	-426.358	-443.839	-461.593	-478.979	-497.021	-515.742	-535.168	-555.326	-576.244
Custo do Palhiço		-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194	-2.118.194
Custo O&M da Planta de Processamento do Palhiço		-237.996	-249.856	-260.100	-270.504	-280.693	-291.266	-302.237	-313.621	-325.434	-337.692
Custo de Movimentação do Bagaço		-486.144	-510.370	-531.295	-552.547	-573.360	-594.956	-617.366	-640.620	-664.751	-689.789
Custo O&M do Sistema de Geração		-562.104	-590.116	-614.310	-638.883	-662.947	-687.918	-713.830	-740.717	-768.618	-797.569
Despesas e Receitas Financeiras		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Depreciação		-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000
Lucro Antes do IR e CS		220.931	355.387	471.523	589.472	704.983	824.845	949.221	1.078.283	1.212.206	1.351.173
Imposto de Renda (T=25%)		-55.233	-88.847	-117.881	-147.368	-176.246	-206.211	-237.305	-269.571	-303.051	-337.793
Contribuição Social (T=9%)		-19.884	-31.985	-42.437	-53.052	-63.448	-74.236	-85.430	-97.045	-109.099	-121.606
Lucro Líquido		145.814	234.556	311.205	389.051	465.289	544.397	626.486	711.667	800.056	891.774
Depreciação (+)		359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000
Geração de Caixa (FCL)	-3.590.000	504.814	593.556	670.205	748.051	824.289	903.397	985.486	1.070.667	1.159.056	1.250.774
Taxa de Desconto (WACC) (a.a.)		13,02%									
Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)		698.072									
Taxa Interna de Retorno (TIR) (a.a.)		16,98%									

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados dos indicadores das análises do projeto para o cenário B indicaram um VPL positivo de, aproximadamente, R\$698 mil e uma TIR de 16,98% a.a., ou seja, superior à taxa de desconto adotada de 13,02% a.a., tornando o cenário viável, onde, além de remunerar o capital dos acionistas na taxa requerida, há ainda uma geração adicional de valor perto de R\$0,7 milhão. Desta forma, nesse cenário, pode ser tomada a decisão de aprovar o projeto

pela empresa, desde que respeitados os valores de comercialização da energia elétrica, custo do palhicho ao longo dos dez anos e os demais fatores analisados.

Foram construídas as matrizes de sensibilidade do VPL e da TIR, variando os valores da energia elétrica comercializada na entressafra e os custos do palhicho de cana-de-açúcar colocado na usina, apresentadas no Quadro 2.

Observa-se que nesse cenário o projeto pode ser aceito ( $VPL=0$ ), variando individualmente cada um desses dois fatores analisados, caso o valor da energia comercializada seja superior a  $R\$162.83.MWh^{-1}$  (com o custo do palhicho a  $R\$70.t^{-1}$ ), ou o custo do palhicho for inferior a  $R\$76,45.t^{-1}$  (com a energia comercializada a  $R\$170.MWh^{-1}$ ), mantendo as demais variáveis do estudo constantes.

Quadro 2. Análise de sensibilidade do VPL (em R\$) (a) e da TIR (em % a.a.) (b) do projeto no cenário B, para valores da energia comercializada ( $R\$.MWh^{-1}$ ) e custo do palhicho ( $R\$.t^{-1}$ ).

VPL	Custo do Palhicho ( $R\$.t^{-1}$ )					
	30	40	50	60	70	80
80	-4.807.035	-6.447.699	-8.088.364	-9.729.028	-11.369.693	-13.010.358
90	-3.332.140	-4.972.805	-6.613.470	-8.254.134	-9.894.799	-11.535.464
100	-1.932.512	-3.497.911	-5.138.575	-6.779.240	-8.419.905	-10.060.569
110	-811.154	-2.100.808	-3.663.681	-5.304.346	-6.945.011	-8.585.675
120	162.276	-933.542	-2.269.778	-3.829.452	-5.470.116	-7.110.781
130	1.135.706	52.868	-1.069.765	-2.440.647	-3.997.318	-5.635.887
140	2.109.136	1.026.298	-56.541	-1.214.748	-2.611.515	-4.166.083
150	3.082.567	1.999.728	916.889	-165.949	-1.369.332	-2.782.384
160	4.055.997	2.973.158	1.890.319	807.481	-279.402	-1.525.256
170	5.029.427	3.946.588	2.863.750	1.780.911	698.072	-409.335
180	6.002.857	4.920.018	3.837.180	2.754.341	1.671.502	588.664
190	6.976.287	5.893.449	4.810.610	3.727.771	2.644.933	1.562.094
200	7.949.717	6.866.879	5.784.040	4.701.201	3.618.363	2.535.524
210	8.923.148	7.840.309	6.757.470	5.674.632	4.591.793	3.508.954
220	9.896.578	8.813.739	7.730.900	6.648.062	5.565.223	4.482.384

(a)

TIR	Custo do Palhicho ( $R\$.t^{-1}$ )					
	30	40	50	60	70	80
80						
90	-14,91%					
100	-0,60%	-15,33%				
110	7,68%	-1,49%	-15,71%			
120	14,03%	6,97%	-2,34%	-16,06%		
130	19,75%	13,34%	6,20%	-3,17%	-16,45%	
140	25,08%	19,04%	12,68%	5,41%	-3,95%	-16,85%
150	30,14%	24,34%	18,34%	12,03%	4,60%	-4,70%
160	35,02%	29,37%	23,61%	17,65%	11,37%	3,81%
170	39,76%	34,23%	28,62%	22,89%	16,98%	10,64%
180	44,40%	38,95%	33,45%	27,87%	22,19%	16,32%
190	48,97%	43,57%	38,14%	32,68%	27,14%	21,50%
200	53,48%	48,11%	42,74%	37,35%	31,92%	26,42%
210	57,94%	52,60%	47,27%	41,92%	36,56%	31,17%
220	62,37%	57,05%	51,74%	46,43%	41,12%	35,79%

(b)

Fonte: Resultados da pesquisa.

### 3.3. Cenário C – Geração Durante 90 dias na Entressafra

Adotando as mesmas premissas dos cenários anteriores, tanto para valores de comercialização de energia excedente quanto para o custo do palhicho colocado na usina, alterando para 90 dias de geração efetiva na entressafra, totalizando 36.4720 MWh de energia adicional comercializada, fazendo-se necessário para isso o recolhimento de 45,4 mil t de palhicho durante a safra e o consequente armazenamento de 82,3 mil t de bagaço para a entressafra, é apresentado na Tabela 15 as projeções do fluxo de caixa esperadas para esse cenário C.

Os resultados dos indicadores das análises do projeto para o cenário C indicaram um VPL positivo de R\$2,511 milhões e uma TIR de 25,88% a.a., ou seja, bem superior à taxa de desconto adotada pela usina de 13,02% a.a. Isso permite que a geração de energia durante 90 dias efetivos na entressafra seja viável nesse estudo, remunerando o capital dos acionistas na taxa requerida e gerando valor adicional aos acionistas superior a R\$2,5 milhões. Desta forma, a usina pode tomar a decisão em fazer o investimento e a operação da planta de geração de energia durante a entressafra.

Foram construídas as matrizes de sensibilidade do VPL e da TIR, variando os valores da energia elétrica comercializada na entressafra e os custos do palhicho de cana-de-açúcar colocado na usina, apresentadas no Quadro 3.

Tabela15: Fluxo de caixa projetado para o cenário C, em reais.

SAFRA	14/15	15/16	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21	21/22	22/23	23/24	
ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento Inicial - Planta de Processamento	-3.590.000										
Receita Operacional - Venda de Energia	6.585.732	6.913.921	7.197.392	7.485.287	7.767.233	8.059.799	8.363.385	8.678.406	9.005.292	9.344.492	
Impostos sobre a Venda de Energia (PIS+COFINS)	-609.180	-639.538	-665.759	-692.389	-718.469	-745.531	-773.613	-802.753	-832.990	-864.365	
Custo do Palhão	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	-3.177.290	
Custo O&M da Planta de Processamento do Palhão	-356.994	-374.784	-390.150	-405.756	-421.039	-436.898	-453.355	-470.431	-488.151	-506.538	
Custo de Movimentação do Bagaço	-729.216	-765.555	-796.943	-828.821	-860.040	-892.434	-926.050	-960.931	-997.126	-1.034.684	
Custo O&M do Sistema de Geração	-843.156	-885.173	-921.465	-958.324	-994.421	-1.031.877	-1.070.745	-1.111.076	-1.152.927	-1.196.354	
Despesas e Receitas Financeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Depreciação	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	-359.000	
Lucro Antes do IR e CS	510.896	712.581	886.784	1.063.707	1.236.974	1.416.767	1.603.332	1.796.925	1.997.809	2.206.260	
Imposto de Renda (T=25%)	-127.724	-178.145	-221.696	-265.927	-309.243	-354.192	-400.833	-449.231	-499.452	-551.565	
Contribuição Social (T=9%)	-45.981	-64.132	-79.811	-95.734	-111.328	-127.509	-144.300	-161.723	-179.803	-198.563	
Lucro Líquido	337.191	470.303	585.278	702.047	816.403	935.066	1.058.199	1.185.970	1.318.554	1.456.132	
Depreciação (+)	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	359.000	
Geração de Caixa (FCL)	-3.590.000	696.191	829.303	944.278	1.061.047	1.175.403	1.294.066	1.417.199	1.544.970	1.677.554	1.815.132

Taxa de Desconto (WACC) (a.a.)	13,02%
Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)	2.511.209
Taxa Interna de Retorno (TIR) (a.a.)	25,88%

Fonte: Elaboração própria.

Quadro 3: Análise de sensibilidade do VPL (em R\$) (a) e da TIR (em % a.a.) (b) do projeto no cenário C, dado valor da energia comercializada (R\$.MWh<sup>-1</sup>) e custo do palhão (R\$.t<sup>-1</sup>).

VPL	Custo do Palhão (R\$.t <sup>-1</sup> )					
	30	40	50	60	70	80
80	-5.415.552	-7.876.549	-10.337.546	-12.798.543	-15.259.540	-17.720.537
90	-3.206.331	-5.664.208	-8.125.204	-10.586.201	-13.047.198	-15.508.195
100	-1.267.965	-3.459.479	-5.912.863	-8.373.860	-10.834.857	-13.295.854
110	247.370	-1.498.818	-3.715.030	-6.161.519	-8.622.516	-11.083.513
120	1.707.515	83.257	-1.738.207	-3.971.209	-6.410.175	-8.871.172
130	3.167.660	1.543.402	-80.856	-1.983.412	-4.227.389	-6.658.830
140	4.627.805	3.003.547	1.379.289	-272.011	-2.229.894	-4.483.568
150	6.087.951	4.463.693	2.839.435	1.215.177	-473.719	-2.482.339
160	7.548.096	5.923.838	4.299.580	2.675.322	1.051.064	-691.194
170	9.008.241	7.383.983	5.759.725	4.135.467	2.511.209	886.951
180	10.468.386	8.844.128	7.219.870	5.595.612	3.971.354	2.347.096
190	11.928.532	10.304.274	8.680.016	7.055.758	5.431.500	3.807.242
200	13.388.677	11.764.419	10.140.161	8.515.903	6.891.645	5.267.387
210	14.848.822	13.224.564	11.600.306	9.976.048	8.351.790	6.727.532
220	16.308.967	14.684.709	13.060.451	11.436.193	9.811.935	8.187.677

(a)

TIR	Custo do Palhão (R\$.t <sup>-1</sup> )					
	30	40	50	60	70	80
80						
90	-11,02%					
100	4,76%	-11,94%				
110	14,51%	3,53%	-12,81%			
120	22,71%	13,51%	2,32%	-13,61%		
130	30,25%	21,64%	12,55%	1,15%	-14,34%	
140	37,40%	29,12%	20,60%	11,47%	0,05%	-15,00%
150	44,32%	36,22%	28,01%	19,59%	10,39%	-1,02%
160	51,08%	43,08%	35,06%	26,94%	18,61%	9,28%
170	57,74%	49,80%	41,87%	33,92%	25,88%	17,66%
180	64,33%	56,42%	48,54%	40,68%	32,81%	24,86%
190	70,88%	62,97%	55,11%	47,30%	39,51%	31,72%
200	77,39%	69,48%	61,63%	53,83%	46,08%	38,36%
210	83,88%	75,97%	68,11%	60,30%	52,56%	44,88%
220	90,36%	82,43%	74,56%	66,74%	59,00%	51,32%

(b)

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise de sensibilidade permite verificar que o projeto pode ser aceito caso o valor da energia comercializada seja superior a R\$152,98.MWh<sup>-1</sup> (com o custo do palhão a R\$70.t<sup>-1</sup>), ou o custo do palhão for inferior a R\$85,13.t<sup>-1</sup> (com a energia comercializada a R\$170.MWh<sup>-1</sup>), mantendo as demais variáveis do estudo constantes.

### Comparações dos Resultados dos Cenários Avaliados

Os resultados das análises financeiras de cada cenário e os resultados calculados (alterando um de cada vez) dos valores mínimos recebidos pela energia elétrica e os custos máximos do palhão que fazem a TIR do estudo se igualar à taxa de retorno esperada pela usina, ou seja, que fazem o VPL ser igual a zero, deixando o projeto no limite da viabilidade financeira, são apresentados na Tabela 16 como forma comparativa entre os resultados de cada cenário.

Tabela 164: Comparação dos resultados obtidos para cada cenário analisado

	Cenário A	Cenário B	Cenário C
Dias de Geração na Entressafra	30	60	90
Investimento Inicial - Recepção e Preparo Palhiço (R\$)	3.590.000	3.590.000	3.590.000
Energia Elétrica Comercializada na Entressafra (MWh)	12.240	24.480	36.720
Custo do Palhiço colocado na Usina (R\$.t <sup>-1</sup> )	70	70	70
Valor de Venda da Energia Elétrica Excedente (R\$.MWh <sup>-1</sup> )	170	170	170
Taxa de Desconto (WACC) (% a.a.)	13,02%	13,02%	13,02%
<b>Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)</b>	<b>-1.136.313</b>	<b>698.072</b>	<b>2.511.209</b>
<b>Taxa Interna de Retorno (TIR) (% a.a.)</b>	<b>5,47%</b>	<b>16,98%</b>	<b>25,88%</b>
Custo MÁXIMO do Palhiço colocado na Usina (R\$.t <sup>-1</sup> ) para VPL=0	49,40	76,45	85,13
<b>OU</b>			
Valor MÍNIMO de Venda da Energia Elétrica (R\$.MWh <sup>-1</sup> ) para VPL=0	192,91	162,83	152,98

Fonte: Elaboração própria.

Como complementação das análises de sensibilidade efetuadas, adotando o cenário C como exemplo, foram avaliados os impactos na viabilidade do projeto alterando as demais variáveis até então não simuladas com o intuito de confirmar que os maiores impactos no VPL e, conseqüentemente, na TIR do projeto são ocasionados pelo custo do palhiço colocado na usina e pelo valor de comercialização da energia elétrica excedente. A Tabela 17 foi construída alterando numa escala de 5% para mais e para menos até alcançar, respectivamente, valores iniciais de 40% acima e 40% abaixo dos tratados nos cenários de maneira fixa inicial. Para cada simulação efetuada, os demais valores de entrada foram mantidos constantes sem qualquer alteração, conforme destacado na linha central, a qual representa o próprio cenário C, já projetado anteriormente.

Tabela 17: Análise de sensibilidade do VPL, no cenário C, variando individualmente cada valor de entrada, numa escala de 5% em 5% para mais e para menos até o limite de mais ou menos 40%, em reais.

O&M Processamento Palhiço		Custo Movimentação do Bagaço		O&M Sistema de Geração de Energia		Valor do Investimento Inicial		Taxa de Desconto do Projeto		Custo do Palhiço		Preço da Energia Vendida	
R\$/t	VPL	R\$/t	VPL	R\$/MWh	VPL	R\$	VPL	%	VPL	R\$/t	VPL	R\$/MWh	VPL
4,47	3.104.291	5,04	3.722.673	11,10	3.911.964	2.154.000	3.682.490	7,81%	4.330.587	42,00	7.059.132	102,00	-10.392.389
4,85	3.030.156	5,46	3.571.240	12,03	3.736.870	2.333.500	3.536.080	8,46%	4.063.554	45,50	6.490.641	110,50	-8.511.899
5,22	2.956.021	5,88	3.419.807	12,95	3.561.776	2.513.000	3.389.670	9,11%	3.809.167	49,00	5.922.151	119,00	-6.631.409
5,59	2.881.885	6,30	3.268.374	13,88	3.386.681	2.692.500	3.243.260	9,77%	3.566.706	52,50	5.353.661	127,50	-4.759.540
5,96	2.807.750	6,72	3.116.941	14,80	3.211.587	2.872.000	3.096.850	10,42%	3.335.499	56,00	4.785.170	136,00	-3.003.152
6,34	2.733.615	7,14	2.965.508	15,73	3.036.492	3.051.500	2.950.439	11,07%	3.114.917	59,50	4.216.680	144,50	-1.410.893
6,71	2.659.480	7,56	2.814.075	16,65	2.861.398	3.231.000	2.804.029	11,72%	2.904.370	63,00	3.648.190	153,00	2.862
7,08	2.585.344	7,98	2.662.642	17,58	2.686.304	3.410.500	2.657.619	12,37%	2.703.306	66,50	3.079.700	161,50	1.270.086
<b>7,46</b>	<b>2.511.209</b>	<b>8,40</b>	<b>2.511.209</b>	<b>18,50</b>	<b>2.511.209</b>	<b>3.590.000</b>	<b>2.511.209</b>	<b>13,02%</b>	<b>2.511.209</b>	<b>70,00</b>	<b>2.511.209</b>	<b>170,00</b>	<b>2.511.209</b>
7,83	2.437.074	8,82	2.359.776	19,43	2.336.115	3.769.500	2.364.799	13,67%	2.327.593	73,50	1.942.719	178,50	3.752.333
8,20	2.362.939	9,24	2.208.343	20,35	2.161.020	3.949.000	2.218.389	14,32%	2.152.004	77,00	1.374.229	187,00	4.993.456
8,57	2.288.804	9,66	2.056.910	21,28	1.985.926	4.128.500	2.071.979	14,97%	1.984.013	80,50	805.738	195,50	6.234.580
8,95	2.214.668	10,08	1.905.477	22,20	1.810.832	4.308.000	1.925.569	15,62%	1.823.221	84,00	199.776	204,00	7.475.703
9,32	2.140.533	10,50	1.754.044	23,13	1.635.737	4.487.500	1.779.159	16,28%	1.669.250	87,50	-438.264	212,50	8.716.827
9,69	2.066.398	10,92	1.602.611	24,05	1.460.643	4.667.000	1.632.749	16,93%	1.521.746	91,00	-1.112.470	221,00	9.957.950
10,06	1.992.263	11,34	1.451.178	24,98	1.285.548	4.846.500	1.486.339	17,58%	1.380.376	94,50	-1.818.526	229,50	11.199.073
10,44	1.918.127	11,76	1.299.745	25,90	1.110.454	5.026.000	1.339.928	18,23%	1.244.828	98,00	-2.553.871	238,00	12.440.197

Fonte: Resultados da pesquisa.

Como apresentado na Tabela 18, variações com amplitudes de até 40% nos custos de O&M de processamento do palhicho, movimentação do bagaço, O&M do sistema de geração de energia, valor do investimento inicial para construção da planta de processamento de palhicho na unidade industrial e da taxa de desconto do projeto, alteram o VPL do cenário analisado de menos 56% até mais 72%, fazendo com que, em todas as situações simuladas, o VPL do projeto seja positivo e, portanto, aceito, mantendo as demais premissas constantes. Diferentemente do que ocorre com as variações do custo do palhicho e do preço da energia vendida, onde variações na mesma amplitude refletem em variações do VPL de menos 514% até mais 395%, refletindo em VPL negativo em diversos pontos da análise (apresentado na Tabela 18), o que demonstra a inviabilidade do projeto conforme o aumento do custo do palhicho ou a redução do valor da energia vendida reforçando, assim, que esses são os dois fatores de entrada do modelo mais impactantes para a viabilidade do modelo estudado.

Tabela 18: Análise de sensibilidade do VPL, no cenário C, variando individualmente cada valor de entrada, numa escala de 5% em 5% para mais e para menos até o limite de mais ou menos 40%, em porcentagem

O&M Processamento Palhicho		Custo Movimentação do Bagaço		O&M Sistema de Geração de Energia		Valor do Investimento Inicial		Taxa de Desconto do Projeto		Custo do Palhicho		Preço da Energia Vendida	
R\$/t	VPL	R\$/t	VPL	R\$/MWh	VPL	R\$	VPL	%	VPL	R\$/t	VPL	R\$/MWh	VPL
-40%	24%	-40%	48%	-40%	56%	-40%	47%	-40%	72%	-40%	181%	-40%	-514%
-35%	21%	-35%	42%	-35%	49%	-35%	41%	-35%	62%	-35%	158%	-35%	-439%
-30%	18%	-30%	36%	-30%	42%	-30%	35%	-30%	52%	-30%	136%	-30%	-364%
-25%	15%	-25%	30%	-25%	35%	-25%	29%	-25%	42%	-25%	113%	-25%	-290%
-20%	12%	-20%	24%	-20%	28%	-20%	23%	-20%	33%	-20%	91%	-20%	-220%
-15%	9%	-15%	18%	-15%	21%	-15%	17%	-15%	24%	-15%	68%	-15%	-156%
-10%	6%	-10%	12%	-10%	14%	-10%	12%	-10%	16%	-10%	45%	-10%	-100%
-5%	3%	-5%	6%	-5%	7%	-5%	6%	-5%	8%	-5%	23%	-5%	-49%
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5%	-3%	5%	-6%	5%	-7%	5%	-6%	5%	-7%	5%	-23%	5%	49%
10%	-6%	10%	-12%	10%	-14%	10%	-12%	10%	-14%	10%	-45%	10%	99%
15%	-9%	15%	-18%	15%	-21%	15%	-17%	15%	-21%	15%	-68%	15%	148%
20%	-12%	20%	-24%	20%	-28%	20%	-23%	20%	-27%	20%	-92%	20%	198%
25%	-15%	25%	-30%	25%	-35%	25%	-29%	25%	-34%	25%	-117%	25%	247%
30%	-18%	30%	-36%	30%	-42%	30%	-35%	30%	-39%	30%	-144%	30%	297%
35%	-21%	35%	-42%	35%	-49%	35%	-41%	35%	-45%	35%	-172%	35%	346%
40%	-24%	40%	-48%	40%	-56%	40%	-47%	40%	-50%	40%	-202%	40%	395%

Fonte: Elaboração própria.

Ao encontro dos resultados das comparações efetuadas, tanto dos cenários analisados quanto da simulação hipotética com os preços atuais de comercialização de bioeletricidade pela usina estudada, as análises de sensibilidade apresentadas se mostraram altamente dependentes do custo do palhicho colocado na planta processadora dentro da unidade industrial e do valor da energia comercializada pela usina. Desta forma, aumentos no custo do palhicho e reduções no valor da energia são altamente prejudiciais à viabilidade do projeto indiferente ao cenário analisado. Enquanto reduções no custo do palhicho processado e aumentos no valor da bioeletricidade comercializada aumentam significativamente a viabilidade do projeto em todos os cenários, podendo tornar até a geração de energia em pequenos períodos da entressafra, como, por exemplo, ocorre no cenário A (30 dias de geração efetiva), altamente

viáveis, adicionando valor significativo aos resultados do negócio de produção de açúcar, etanol e energia das usinas.

Assim, torna-se indispensável a busca por redução do custo do palhiço colocado na usina e a tentativa de negociar contratos de venda de energia elétrica a preços compatíveis com a remuneração do capital aplicado pelos acionistas da empresa, além de almejar a geração de valor adicional ao negócio. Espera-se que o valor do palhiço tenha uma tendência de redução ou pelo menos manutenção de custo, já que se encontra ainda numa fase de maturação tecnológica e no início de uma curva de aprendizagem das operações e processos. Isso tende a gerar uma redução de custos com o palhiço a partir do aumento da escala de produção, adoção de novas tecnologias e equipamentos preparados.

Entretanto, espera-se que os preços de venda da energia elétrica, altamente dependentes da demanda do governo e da sociedade, viabilizem e remunerem a produção de energia limpa, renovável e sustentável, alcançando patamares de preços no mínimo iguais aos valores negociados nos contratos passados, que obtiveram preços médios, corrigidos a valor presente, superiores a  $\text{R\$}190.\text{MWh}^{-1}$ , o que tornaria esse modelo estudado uma prática viável e cada vez mais frequente no setor sucroalcooleiro.

Desta forma, a oferta de energia elétrica renovável deve aumentar através da otimização do uso de plantas termoelétricas já existentes movidas à biomassa da cana-de-açúcar, além do aproveitamento do palhiço, que hoje é deixado no campo pela maioria das usinas do Brasil sem qualquer uso mais nobre.

#### 4. Conclusões

O presente estudo avaliou um modelo de geração de energia para comercialização na entressafra, por meio de um estudo de caso, quanto à viabilidade do uso do palhiço da cana-de-açúcar durante a safra e o armazenamento do bagaço para uso como combustível das caldeiras na entressafra. Foram efetuadas análises de viabilidade financeira por meio da elaboração de um fluxo de caixa livre em termo nominal sem considerar a perpetuidade e com depreciação linear do investimento inicial em dez anos, sem valor residual. Sobre esses, aplicou-se uma análise do investimento utilizando o VPL e a TIR como indicadores de viabilidade do modelo estudado. Os principais dados e coeficientes técnicos para a análise foram colhidos juntos à uma usina típica do setor, caracterizando assim, um estudo de caso.

Os resultados permitem concluir que o uso da capacidade ociosa da usina estudada durante a entressafra para a geração de energia nesse período, através do uso do palhiço na safra e do bagaço armazenado, para a entressafra, é viável em cenários de produção de energia elétrica para comercialização durante 60 e 90 dias efetivos. Obteve-se um VPL de  $\text{R\$}0,698$  milhão e  $\text{R\$}2,511$  milhões, com uma TIR de 16,98% a.a. e 25,88% a.a. respectivamente dada uma taxa de desconto de 13,02% a.a. em um período de dez anos, podendo ser assim mais uma fonte de geração de receita para as usinas.

Para um cenário de geração de energia durante 30 dias na entressafra, o alto valor do investimento necessário para instalação da planta de processamento de palhiço inviabiliza o investimento. Estudos futuros podem considerar plantas de menores capacidades de processamento de palhiço ou então considerar novas tecnologias que reduzam o custo de desenvolvimento e fabricação da planta de processamento de palhiço.

As análises de sensibilidade, baseadas no custo do palhiço colocado na usina e do valor de venda da energia elétrica indicam que, tanto a redução do custo da tonelada de palhiço colocada na usina como o aumento dos valores da energia vendida nos leilões do

governo federal impactam diretamente no resultado do projeto, podendo torná-los extremamente atrativos ou altamente deficitários e inviáveis para a usina.

Desta forma, a demanda de energia elétrica renovável, por parte do governo e da sociedade, a partir de novos leilões de energia de fontes alternativas, com valores de comercialização e prazos de fornecimento e garantias em patamares adequados que viabilizem a geração desse tipo de energia elétrica a longo prazo, são fundamentais para que o recolhimento do palhico e a geração de energia na entressafra se tornem viáveis.

Na mesma linha, os impostos diretos (PIS+COFINS) e os impostos sobre o lucro da operação (IRPJ+CSLL) têm grande impacto no resultado financeiro final do projeto. Incentivos fiscais, subsídios e políticas fiscais verdes contribuiriam para a viabilidade desse tipo de operação de geração de energia limpa e renovável de fonte de biomassa, o palhico, hoje pouco aproveitada pelas usinas sucroalcooleiras. Uma redução de 50% do PIS+COFINS, passando de 9,25% sobre as receitas para 4,625%, aumentaria a TIR de 5,47% a.a. para 16,98% a.a., de 25,88% a.a. para 8,54% a.a. e de 21,51% a.a. para 31,90% a.a. nos cenários A, B e C respectivamente, simulados.

É importante ressaltar que a operação de recolhimento de palhico em larga escala nas usinas ainda está em fase inicial de operação, podendo aprimorar tanto os equipamentos utilizados como o desenvolvimento de melhores práticas a serem adotadas, havendo assim um grande espaço para a redução dos custos do palhico conforme o amadurecimento e o melhor conhecimento do processo. Sugerem-se estudos com enfoque econômico e financeiro para o cálculo mais apurado e atualizado do custo da tonelada do palhico enfardado, envolvendo tanto as operações de campo como o transporte até a unidade industrial.

O estudo mostrou a necessidade de ampliar as pesquisas na linha de precificação dos serviços ambientais que um projeto nesses moldes executa, tanto no que diz respeito do uso de parte do palhico disponível no campo, que pode mitigar passivos ambientais como incêndios, além de gerar energia a partir da biomassa renovável, podendo assim participar como um mecanismo de desenvolvimento limpo, gerando créditos de carbono que poderão ser utilizados como uma fonte de receita adicional do projeto.

Para futuros trabalhos, sugerem-se estudos para desenvolver, dimensionar e avaliar os custos e a viabilidade de armazenar adequadamente o palhico durante períodos mais longos, o que poderá reduzir os custos de movimentação e armazenagem do bagaço durante a safra e a entressafra. Haja vista que os volumes necessários de palhico são muito inferiores aos de bagaço, dada uma mesma quantidade de energia elétrica gerada, devido ao fato do poder calorífico do palhico ser superior ao do bagaço de cana-de-açúcar. Podendo, assim, reduzir os custos de movimentação de bagaço, o que aumentariam os resultados do projeto.

#### 4. Referências Bibliográficas

BRIGHAM, Eugene F.; GAPENSKI, Louis C.; EHRHARDT, Michael C. **Administração Financeira - Teoria e Prática**. 1ª ed., São Paulo: Editora Atlas, 2001.

DAMODARAN, 2013. **Indicadores Beta**. Disponível em: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. Acesso em 23 abr. 2013.

DEFILIPPI FILHO, L. C. **Estudo de viabilidade do uso do palhico para geração de energia na entressafra de uma usina sucroalcooleira**. Dissertação (Mestrado Profissional em Agroenergia) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2013.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO Statistical Database, 2011**. 2012. Disponível em: [www.fao.org](http://www.fao.org). Acesso em: 18 abr. 2013.

FUNDAMENTO. **Processamento de palhiço** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <defilippi@usinaipiranga.com.br> em 19 abr. 2013.

HASSUANI, Suleiman José; LEAL, Manoel Regis Lima Verde; MACEDO, Isaías de Carvalho. **Bioamass power generation: sugar cane bagasse and trash**. PNUD-CTC. 1. Ed. Piracicaba, Brazil, 2005. 217 p.

LINERO, Francisco A.B. **Biomassa adicional para aumento da geração de eletricidade**. Em: Curso de Caldeiras, Vapor e Geração de Energias Renováveis, Centro de Tecnologia Canavieira, CTC. Ribeirão Preto, SP, 2012.

RIPOLI, Marco Lorenzo Cunali; RIPOLI, Tomaz Caetano Cannavam; GAMERO, Carlos Antonio. Colheita integral: retrocesso ou barateamento do sistema?. *Idea News*, Ribeirão Preto, v. 4, n. 28, p. 66-67, Jan. 2003.

SADER, Marcos Soares. **Custos enfardamento** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <defilippi@usinaipiranga.com.br> em 25 abr. 2013.