

VIVIANE CAVALER MICUANSKI

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
VINHAÇA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ESTUDO DE
CASO)**

CASCATEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO - 2014

VIVIANE CAVALER MICUANSKI

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
VINHAÇA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (ESTUDO DE
CASO)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

ORIENTADOR: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira

COORIENTADOR: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO – 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

M626v	Micuanski, Viviane Cavaler. Viabilidade técnica e econômica da utilização da vinhaça para geração de energia elétrica (estudo de caso) / Viviane Cavaler Micuanski – Cascavel: [s.n], 2014. 62 f.; il. Orientador: Carlos Eduardo Camargo Nogueira Co-orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Cascavel, 2014. Inclui bibliografia. 1. Agricultura e energia. 2.Biogás. 3.Economia agrícola I.Nogueira, Carlos Eduardo Camargo, orient.II.Souza, Samuel Nelson Melegari de,co-orient.III.Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Cascavel.IV.Título CDD: 338.1
-------	--

VIVIANE CAVALER MICUANSKI

"Viabilidade técnica e econômica da utilização da vinhaça para geração de energia elétrica (estudo de caso)"

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador: 
Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Ricardo Lessa Azevedo
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Adalberto Luiz de Paula
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Dois Vizinhos

Cascavel, 12 de dezembro de 2014.

Dedico este trabalho a minha mãezinha querida, Arnete.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o criador supremo, por ter me dado condição necessária para a realização desse trabalho, proporcionado à superação do medo de dirigir nessas idas e vindas à cidade de Cascavel – PR e a coragem necessária para enfrentar os problemas de saúde na família nesse período.

A meus pais, Pedro e Arnete, pelo exemplo de honestidade, fé, perseverança, coragem, incentivo e o amor a mim dedicado.

Meu irmão Fábio, por me ensinar a ver a vida de forma mais leve e alegre.

Meu esposo Josias, pelo amor, companheirismo, paciência, incentivo e dedicação. E, também, por ter me acompanhado um semestre inteiro às aulas.

Aos demais familiares que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste sonho.

Ao professor. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira, meu orientador, pela colaboração, paciência e conhecimentos repassados durante todo o desenvolvimento do trabalho, além da amizade construída.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, em especial ao professor Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, pela preocupação nos momentos difíceis que enfrentei e incentivo a continuar a pós-graduação.

Aos colegas que se tornaram amigos, Ana Claudia Cabral e Edson Vanzella, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos da realização do mestrado.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Dois Vizinhos, por permitir a redução de carga horária para cumprimento das disciplinas.

A minha amiga e irmã de coração, Sandra Jubelli Mezzomo, que mesmo sem entender sobre o assunto revisava os artigos, resumos e projetos.

Ao meu chefe imediato Luis Fernando Glasenapp De Menezes pelas liberações sempre que necessário.

Por fim, a todos que estiveram torcendo por mim.

Muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lagoa de distribuição da vinhaça da usina.	6
Figura 2 - Seção esquemática de um biodigestor.	10
Figura 3 - Biodigestor modelo chinês.	11
Figura 4 - Biodigestor modelo indiano.	12
Figura 5 - Reator anaeróbico de fluxo tubular (<i>plug-flow</i>).	14
Figura 6 - Representação de fluxo de caixa.	19
Figura 7 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 1V.	31
Figura 8 - Relação entre o preço de venda da energia elétrica e a TIR na operação 1V.	32
Figura 9 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 1V).	32
Figura 10 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 2V.	34
Figura 11 - Relação entre o preço de venda da energia elétrica e a TIR na operação 2V.	34
Figura 12 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 2V).	35
Figura 13 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 3V.	36
Figura 14 - Relação entre o preço de venda da energia elétrica e a TIR na operação 3V.	36
Figura 15 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 3V).	37
Figura 16 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 1V.	39
Figura 17 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 2V.	39
Figura 18 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 3V.	40
Figura 19 - Gráfico da função densidade de probabilidade normal para o cenário 1.	40
Figura 20 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 1C.	42

Figura 21 - Relação entre o preço de venda da tonelada de bagaço de cana e a TIR na operação 1C.....	42
Figura 22 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 1C).....	43
Figura 23 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 2C.....	44
Figura 24 - Relação entre o preço de venda da tonelada de bagaço de cana e a TIR na operação 2C.....	45
Figura 25 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 2 – Op. 2C).....	45
Figura 26 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 3C.....	47
Figura 27 - Relação entre o preço de venda da tonelada do bagaço da cana e a TIR na operação 3C.....	47
Figura 28 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 3C).....	48
Figura 29 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 1C.	50
Figura 30 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 2C.	50
Figura 31 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 3C.	51
Figura 32 - Gráfico da função densidade de probabilidade normal para o cenário 2.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características Físico-químicas da Vinhaça.....	6
Tabela 2: Equipamentos e materiais permanentes para geração de energia	29
Tabela 3: Custos para a geração de energia	30
Tabela 4: Índices econômicos calculados para o modo de operação 1V	31
Tabela 5: Índices econômicos calculados para o modo de operação 2V	33
Tabela 6: Índices econômicos calculados para o modo de operação 3V	35
Tabela 7: Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para as três operações em estudo do cenário 1	38
Tabela 8: Índices econômicos calculados para o modo de operação 1C.....	41
Tabela 9: Índices econômicos calculados para o modo de operação 2C.....	44
Tabela 10: Índices econômicos calculados para o modo de operação 3C.....	46
Tabela 11: Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para as três operações em estudo do cenário 2	49
Tabela 12: Comparativo entre os cenários 1 e 2 a partir do cenário esperado	53

MICUANSKI, Viviane Cavaler; MSc; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; Dezembro – 2014. **Viabilidade técnica e econômica da utilização da vinhaça para geração de energia elétrica (estudo de caso).** Orientador: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

RESUMO

O presente trabalho refere-se a um estudo de caso que teve como finalidade avaliar a viabilidade técnica e econômica na utilização da vinhaça para a produção de energia elétrica em uma usina de álcool, localizada na região noroeste do estado do Paraná. Os critérios de tomada de decisão considerados, baseados em análise de viabilidade econômica, foram a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e o Payback descontado. Foram adotados dois cenários para análise da viabilidade econômica do projeto. O primeiro cenário considerou a possibilidade de venda da energia elétrica produzida para a Companhia Paranaense de Energia - COPEL, a partir de três operações distintas variando o tempo de funcionamento da planta de biogás e o preço de venda de energia. Já o segundo cenário, considerou a utilização da energia elétrica produzida para consumo próprio em substituição ao bagaço da cana que passaria a ser vendido. Também, para o segundo cenário, foram consideradas três operações que variam o tempo de funcionamento da planta de biogás, e o valor de venda do bagaço da cana. Ainda, foi realizada uma Análise de Sensibilidade do VPL em função da variação do preço de venda da energia elétrica (cenário 1) e do bagaço da cana (cenário 2), da quantidade vendida e dos custos fixos envolvidos. Realizou-se, também, uma Análise de Probabilidade de Risco, a partir de 1000 simulações de VPL, considerando que a variação do preço de venda da energia elétrica e do bagaço da cana apresenta uma distribuição normal em ambos os casos. Comparando-se esses indicadores econômicos e as análises realizadas, pode-se concluir que o empreendimento é viável para os dois cenários avaliados, sendo que para o cenário 2 há apenas 0,10% de probabilidade de prejuízo, para cada operação. Assim, considerando os cenários estudados e as operações realizadas em cada um deles, pode-se afirmar que a substituição do bagaço, que passaria a ser vendido, pela vinhaça na geração da energia elétrica para consumo próprio da usina, apresenta-se mais viável economicamente do que a produção de energia, a partir da vinhaça, cujo objetivo seria a venda para a COPEL.

PALAVRAS-CHAVES: biogás, viabilidade econômica, vinhaça, energia.

MICUANSKI, Viviane Cavaler; MSc; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; December – 2014. **Technical and economic feasibility of using vinasse for electricity generation (case study)**. Adviser: Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

ABSTRACT

This paper refers to a case study that aimed to assess the technical and economic feasibility of the use of stillage to produce electricity in an ethanol plant, located in the northwestern region of the state of Paraná. The criteria considered in decision making based on economic viability analysis, were Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV) and discounted payback. Two scenarios were adopted to analyze the economic feasibility of the project. The first scenario considered the possibility of selling the electricity produced to Company Paranaense of Energy - COPEL, from three distinct operations varying the time of operation of the biogas plant and the sale price of energy. The second scenario considered the use of the energy produced for own consumption in substitution of bagasse that would be sold. Also, for the second scenario, three operations that vary the time of operation of the biogas plant and the sale value of bagasse were considered. Still, a sensitivity analysis of the NPV was performed due to the variation of the selling price of electricity (scenario 1) and sugarcane bagasse (scenario 2), the amount sold and the fixed costs involved. Also held one-Probability Risk Analysis, from 1000 simulations of NPV, whereas the variation of the selling price of electricity from sugarcane bagasse and has a normal distribution in both cases. Comparing these economic indicators and analyzes, we can conclude that the project is viable for both scenarios evaluated, and for scenario 2 there is only 0.10% probability of injury for each operation. Thus, considering the scenarios studied and the operations performed on each one, it can be stated that the substitution of bagasse, which would be sold by the vinasse in the generation of electricity for own consumption of the plant, appears more economically viable than energy production from vinasse, whose goal would be to sell to COPEL.

KEYWORDS: biogas, economic viability, vinasse, energy.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 ENERGIA.....	4
3.1.1 Energias renováveis.....	5
3.2 VINHAÇA	5
3.2.1 Biodigestão da vinhaça	7
3.3 BIODIGESTORES	9
3.3.1 Modelo Chinês	11
3.3.2 Modelo Indiano.....	12
3.3.3 Modelo Fluxo tubular	13
3.4 BIOGÁS	15
3.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	16
3.6 AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	18
3.6.1 Fluxo de caixa	18
3.6.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	19
3.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	20
3.6.4 Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	20
3.6.5 Payback	20
3.6.6 Análise de Sensibilidade	20
3.6.7 Análise da Probabilidade de Risco.....	21

4. METODOLOGIA.....	22
4.1 TIPO DE PESQUISA.....	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E DA USINA.....	22
4.3 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS.....	23
4.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA.....	24
4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	27
4.6 ANÁLISE DE PROBABILIDADE DE RISCO.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1 ANÁLISE DO CENÁRIO 1	31
5.1.1 Cenário 1 – Operação 1V.....	31
5.1.2 Cenário 1 – Operação 2V.....	33
5.1.3 Cenário 1 – Operação 3V.....	35
5.1.4 Análise de sensibilidade para o Cenário 1	38
5.1.5 Análise da probabilidade de risco para o Cenário 1	40
5.2 ANÁLISE DO CENÁRIO 2.....	41
5.2.1 Cenário 2 – Operação 1C	41
5.2.2 Cenário 2 – Operação 2C	44
5.2.3 Cenário 2 – Operação 3C	46
5.2.4 Análise de sensibilidade para o Cenário 2	48
5.2.5 Análise da probabilidade de risco para o Cenário 2.....	51
5.3 COMPARATIVO DA ANÁLISE DOS CENÁRIOS.....	52
6. CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes não renováveis para a produção de energia e suas implicações ambientais tem estimulado o desenvolvimento de tecnologias alternativas de suprimento energético.

De acordo com Salomon e Lora (2009), muito se têm discutido no Brasil sobre o aproveitamento energético do biogás gerado por aterros de resíduos sólidos urbanos, estações de tratamento de esgoto, biodigestão da vinhaça (resíduo da cana-de-açúcar) e da digestão anaeróbia de estrume animal, bem como a questão da melhoria na gestão destes resíduos.

O setor de açúcar e álcool no Brasil é um dos que mais se desenvolvem, registrando em 2010 um crescimento de 7,1% em relação a 2009 (EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO – EPE, 2011). Ainda, segundo Pinto (1999), a indústria canavieira do Brasil tem forte influência no cenário energético, econômico e social do país, apresentando-se como uma alternativa promissora na substituição de combustíveis fósseis.

Apesar desses benefícios, a industrialização da cana resulta na geração de grande quantidade de resíduos como bagaço, cinzas, vinhaça, outros resíduos líquidos e emissões gasosas (VACCARI et al., 2003), a maioria com alto teor de matéria orgânica que, se tratada adequadamente, pode resultar em fonte potencial de energia (RAJESHWARI et al., 2000; RIBAS, 2006).

Dessa forma, identifica-se um grande potencial de geração de energia ainda pouco aproveitado do material restante no processo de fabricação do açúcar e álcool nas indústrias sucroalcooleiras. Há muitos estudos e pesquisas voltadas ao aproveitamento do bagaço da cana de açúcar na alimentação animal e até mesmo em sua utilização na queima em caldeiras e a aplicação da vinhaça como fertilizante. Segundo Granato e Silva (2002), sabe-se que a queima da vinhaça pode acionar turbinas a gás, gerando energia elétrica.

Segundo Almança (1994), a vinhaça é uma suspensão de forma aquosa de sólidos orgânicos e minerais com componentes do vinho da destilação, que contém quantidades residuais de açúcar, álcool e componentes voláteis. A composição da vinhaça pode variar muito ao longo do dia, do ano e da variedade e é rica em nutrientes minerais como potássio, cálcio e enxofre, além de apresentar elevado teor de matéria orgânica e um pH variando de 3,7 a 5. Devido a essas características e por apresentar

um custo relativamente baixo, a vinhaça vem sendo amplamente utilizada na fertirrigação de áreas cultivadas com cana (BELAI, 2006; LUDOVICE, 1997).

No Brasil, na safra 2011/2012, foram produzidos cerca de 300 bilhões de litros desse resíduo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2011), considerando-se uma média de 13L de vinhaça para cada 1L de etanol produzido. Este valor, entretanto, pode chegar a 20 litros, dependendo do tipo de matéria-prima e do nível de tecnologia utilizado no processo de fermentação (HUTNAN et al., 2003; SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007; WILKIE, 2008).

Quando lançada em solos adjacentes às usinas como fertilizante para aproveitamento dos minerais, a utilização da vinhaça apresenta muitos benefícios, tais como o aumento da produtividade, melhoria das condições físicas do solo, devolução de nutrientes ao solo, entre outros (CABELLO; SCOGNAMIGLIO; TERÁN, 2009; CRUZ; HOJDA; PORTUGAL, 2007). No entanto, deve-se utilizá-la com cautela, uma vez que pode contaminar águas subterrâneas e mananciais superficiais, devido à percolação ou arraste de altas concentrações de manganês, ferro, potássio, alumínio, cloreto, matéria orgânica, dentre outros (HASSUDA; REBOUÇAS; CUNHA, 1990).

Nesse cenário, a biodigestão anaeróbia da vinhaça surge como uma alternativa de tratamento deste subproduto, apresentando, ainda, uma importante consequência econômica: a produção de metano e seu aproveitamento como fonte de energia (CORAZZA, 1996).

No Estado do Paraná, as usinas de açúcar e etanol estão localizadas nas regiões norte e noroeste e a produção de etanol na safra 2009/2010 foi de 1.885.121 m³, ou seja, 6,7% da produção nacional, que foi de 27.962.558 m³ (ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE BIOENERGIA DO ESTADO DO PARANÁ – ALCOPAR, 2014). A vinhaça produzida por essas indústrias sucroalcooleiras poderia estar sendo destinada à produção de biogás e à geração de uma quantidade adicional de eletricidade visto que, coincidentemente, o período de safra, no qual se tem bagaço e vinhaça, corresponde ao período seco da geração hídrica, ou seja, há complementaridade de fontes.

Desta forma, o presente trabalho apresenta uma avaliação técnico-econômica da produção de energia elétrica a partir do biogás da vinhaça, obtida de uma usina de açúcar e álcool localizada no Estado do Paraná, Brasil. Essa energia elétrica poderá ser utilizada para consumo próprio ou vendida para a Concessionária de Energia local (COPEL – Companhia Paranaense de Energia).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnico-econômica da utilização da vinhaça para a produção de energia elétrica em uma usina de açúcar e álcool, localizada na região noroeste do Estado do Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o potencial de geração de biogás da usina;
- Determinar o custo da energia gerada pelo biogás;
- Apresentar e avaliar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica para consumo próprio ou para comercialização com a COPEL, considerando diferentes cenários de utilização da vinhaça;
- Fazer uma análise de sensibilidade de algumas variáveis do projeto e uma análise de probabilidade de risco do empreendimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ENERGIA

O crescimento e modernização das atividades agrícola e industrial, somado ao crescimento populacional, demandam um volume cada vez maior da capacidade de geração de energia elétrica. A exaustão dos recursos naturais e a crescente agressão ao meio ambiente para suprir tal demanda vêm sendo apontados como fatores importantes de desequilíbrio ao ecossistema. Nesse contexto, as formas alternativas de produção e aproveitamento de energia limpa têm-se mostrado adequadas para agregar ao modelo energético em vigor (FARIA JR; PASCHOARELLI JR; SEIXAS, 2005).

Nos países desenvolvidos que possuem sua economia baseada em uma fonte de energia não renovável - como o carvão, petróleo e outros – a necessidade de atender a um alto consumo de energia tem mostrado que alguns desses recursos naturais são finitos e podem desaparecer.

O Brasil dispõe de fontes de recursos naturais abundantes e de grande potencial energético, o que permite constituir uma matriz energética baseada essencialmente em fontes renováveis de energia (eólica, solar, biomassa, hidroelétricas) contribuindo para a instauração de um modelo energético que atenda as premissas da sustentabilidade. Entretanto, segundo Debastiani (2013), o uso racional da energia elétrica, a preocupação com as questões ambientais e o crescente aumento da demanda energética tem norteado a procura por uma maior eficiência da atual matriz energética brasileira.

De acordo com Gomes (2011), a expansão do consumo energético tem originado nas últimas décadas um impacto negativo sobre o ambiente, contribuindo para a implementação de novas estratégias energéticas e ambientais.

Assim, observa-se um grande aumento na procura por formas alternativas de geração e de aproveitamento energético, que é motivada pela viabilização de novas tecnologias bem como pela redução do impacto no meio ambiente. Essas novas formas de aproveitamento e geração de energia vêm não apenas com o intuito de substituir, mas, também, de somar esforços no sentido de racionalizar o uso do potencial energético disponível.

3.1.1 Energias renováveis

A busca por fontes alternativas de energia produzidas a partir de recursos naturais renováveis vem crescendo à medida que as tecnologias que se utilizam dessas fontes são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais e econômicas.

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), considera-se uma energia renovável quando as condições naturais permitem sua reposição em um curto horizonte de tempo.

Para Walter (2000), existem várias formas alternativas de energia renováveis como: energia eólica, energia solar fotovoltaica, energia da biomassa, micro e pequenas centrais hidrelétricas.

De acordo com Silva (1996), a biomassa é considerada uma fonte de energia renovável, pois sua reposição na natureza pode ser feita sem grandes dificuldades em prazos de apenas alguns anos ou até menos, ao contrário dos combustíveis fósseis, os quais, a reposição natural envolve milhares de anos e condições favoráveis.

No Brasil, a cana de açúcar apresenta-se como uma das culturas mais promissoras para a geração de energia através da biomassa. Entretanto, o processo de transformação da cana de açúcar gera muitos resíduos, como o bagaço e a vinhaça. A partir disso, emerge a necessidade de adequar sistemas que possam transformar esses resíduos produzidos em fontes alternativas de energia.

3.2 VINHAÇA

A vinhaça, também conhecida como vinhoto, se caracteriza como a principal água residuária resultante da fabricação do álcool etílico. Paranhos (1987) descreve a vinhaça, (vinhoto, restila ou calda da destilaria) como a resultante da produção de álcool, após a fermentação do mosto e a destilação do vinho (Figura1).



Figura 1 - Lagoa de distribuição da vinhaça da usina.
Fonte: Arquivo pessoal

Segundo Glória (1976), trata-se de um efluente cuja composição química tem alta concentração de potássio, micronutrientes e matéria orgânica. A quantidade de nutrientes desse material está relacionada à origem do mosto que será fermentado. Quando utilizado o mosto do melaço, por exemplo, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio; já quando se utiliza o mosto de caldo de cana, esses elementos decaem consideravelmente.

A Tabela 1 apresenta as características físico-químicas da vinhaça produzida na usina estudada.

Tabela 1: Características Físico-químicas da Vinhaça

Parâmetro	Vinhaça
pH (25° C)	3,64
Sólidos totais (mg/L)	7920
Sólidos totais voláteis (mg/L)	4340
DQO (mg/L)	20970
DBO (mg/L)	13033
Nitrogênio (mg/L)	148
Fósforo (mg/L)	54323
Sulfato (mg/L)	1186
Potássio (mg/L)	1247

Fonte: Arquivo da usina estudada

O volume dos subprodutos da indústria canavieira gerado no Brasil vem crescendo a cada ano e representam em torno de 80 milhões de toneladas de bagaço

e cerca de 200 milhões de m³ de vinhaça. Esses resíduos são subaproveitados e representam um potencial significativo de uma fonte renovável no setor energético, principalmente a médio e longo prazo (BINI, 1993).

De acordo com Menezes (1980) e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE (2008) a partir de uma tonelada de cana-de-açúcar são produzidos de 70 a 90 litros de etanol, acarretando a geração de 800 a 1.000 litros de vinhaça. Segundo BNDES e CGEE (2008); Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo – COPERSUCAR, (1979); Willington e Marten (1982) para cada litro de etanol produzido são gerados, em média, 13 litros de vinhaça. Esse valor, entretanto, pode chegar a 20 litros, dependendo do tipo de matéria-prima e do nível de tecnologia utilizado no processo de fermentação (HUTNAN et al., 2003; SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007; WILKIE, 2008).

Segundo Monteiro (1977), a crescente produção de etanol tem trazido alguns problemas ambientais como a grande quantidade de vinhaça decorrente da sua fabricação que apresenta potencial altamente poluidor.

Nesse sentido, inúmeras alternativas para utilização da vinhaça vem sendo estudadas para melhorar a eficiência da utilização deste efluente, como: concentração do resíduo, fertirrigação, ração animal, fabricação de tijolos, vinhodutos marítimos e geração de biogás através da biodigestão anaeróbica.

3.2.1 Biodigestão da vinhaça

A biodigestão anaeróbia da vinhaça surge como uma alternativa de tratamento deste subproduto apresentando, bem como, uma importante consequência econômica: a produção de metano e seu aproveitamento como fonte de energia (CORAZZA, 1996).

Segundo Salerno (1991), esse processo de biodigestão permite a estabilização da matéria orgânica com desassimilação de uma mistura gasosa, onde elevadas eficiências de remoção de carga poluidora são alcançadas, enquanto a mistura gasosa de valor energético é produzida.

Ainda, esse processo ocorre na ausência de oxigênio molecular, onde se tem consórcios de diferentes tipos de microrganismos interagindo estreitamente para

promover a transformação de compostos orgânicos complexos em simples (STEIL, 2001).

Segundo Vieira e Souza (1981), o processo anaeróbio é viável sob dois níveis distintos de temperatura: o mesofílico, cuja faixa de temperatura situa-se entre 10 e 42 °C; e o termofílico, cuja faixa de temperaturas situa-se acima de 42 °C.

De acordo com Toledo (2001), o processo de biodigestão anaeróbia ocorre em duas etapas: A primeira etapa do processo é caracterizada pelo envolvimento das bactérias fermentativas (não produtoras de metano) que atuam por hidrólise extracelular quebrando polímeros orgânicos em suas unidades fundamentais, incorporando e fermentando esses produtos de hidrólise em ácidos orgânicos, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono.

Na segunda etapa, tais produtos são transformados em metano e dióxido de carbono pela ação das bactérias acetogênicas e metanogênicas. As bactérias metanogênicas em relação às bactérias produtoras de ácidos se reproduzem mais lentamente e são mais sensíveis às alterações das condições ambientais ou a condições adversas, como a presença de compostos inibidores.

O produto final dessa atividade anaeróbia é o biogás, que por apresentar a combinação dos gases metano, gás carbônico, oxigênio, nitrogênio, entre outros, em sua composição é altamente inflamável (GRANATO, 2003).

De acordo com Granato (2003), na indústria sucroalcooleira o biogás gerado através da biodigestão da vinhaça em biodigestores anaeróbicos pode ser aproveitado das seguintes formas: i) Sendo sua totalidade queimada na caldeira, gerando vapor e, por conseguinte acionando-se todo o mecanismo que executa a moagem da cana. Neste caso, estudos mostram que existiria uma sobra de 25% a 28% de todo bagaço que normalmente é queimado nas caldeiras e que poderia ser destinado a outros fins; ii) Uma terça parte do biogás poderia ser purificado, produzindo gás metano para substituir todos os combustíveis utilizados na agroindústria, durante a safra e os dois terços restantes seriam queimados nas caldeiras proporcionando uma sobra de 18% de bagaço; iii) A totalidade do biogás poderia acionar uma turbina a gás, conjugada a um gerador elétrico, produzindo 2,5 vezes a necessidade total da energia elétrica de uma destilaria autônoma para venda.

O potencial de geração de biogás a partir da vinhaça é variável conforme seu conteúdo de matéria orgânica biodegradável durante o processo e sua biodigestão pode ser realizada em diferentes tipos de biodigestores.

O reaproveitamento da vinhaça através da biodigestão apresenta-se como um cenário promissor, uma vez que o subproduto do processo de digestão, o metano (CH_4) e outros gases, são produzidos em quantidade suficiente para gerar eletricidade.

Dessa forma, a biodigestão anaeróbica da vinhaça torna-se interessante, pois, além de fonte de geração de energia elétrica, a vinhaça também pode ser usada, após a biodigestão, para a fertirrigação uma vez que não perde seu valor nutritivo como adubação orgânica, mantendo os teores de potássio.

Granato (2003) frisa ainda que a viabilidade técnica da digestão anaeróbica da vinhaça vem sendo provada por vários estudos, operando em plantas-piloto nas condições reais de trabalho, comprovando-se, também, que o emprego desta tecnologia, considerada “tecnologia limpa”, contribui para o desenvolvimento sustentável e para minimizar impactos ambientais.

3.3 BIODIGESTORES

De acordo com Comastri Filho (1981), o biodigestor pode ser definido como uma câmara hermeticamente fechada de fermentação, onde a biomassa sofre digestão por bactérias anaeróbias produzindo o biogás.

Há vários tipos de biodigestor, no entanto Magalhães (1980) elenca como os principais componentes do biodigestor: (i) Tanque de entrada: onde se efetua a mistura de dejetos animais e resíduos vegetais com água; (ii) Tubo de carga: conduto por onde faz a introdução da mistura (biomassa) no digestor; (iii) Digestor: tanque onde se passa processa a fermentação da matéria orgânica; (iv) Septo: parede divisória que direciona o fluxo do resíduo líquido (biomassa) dentro do digestor; (v) Gasômetro: câmara onde se acumula o gás emanado da fermentação no digestor; (vi) Tubo guia: guia de deslocamento vertical do gasômetro durante a expansão ou compressão do biogás; (vii) Tubo de descarga: conduto por onde é expelido o resíduo líquido (fertilizante) após fermentado; (viii) Tanque de descarga: onde se recolhe o resíduo líquido que, após a perda do excesso de água, se transforma na pasta fertilizante (adubo) para fins agrícolas; (ix) Saída do biogás: tubulação instalada na parte superior do gasômetro para conduzir o biogás até o ponto de consumo.

A figura 2 apresenta o esquema dos componentes de um biodigestor.

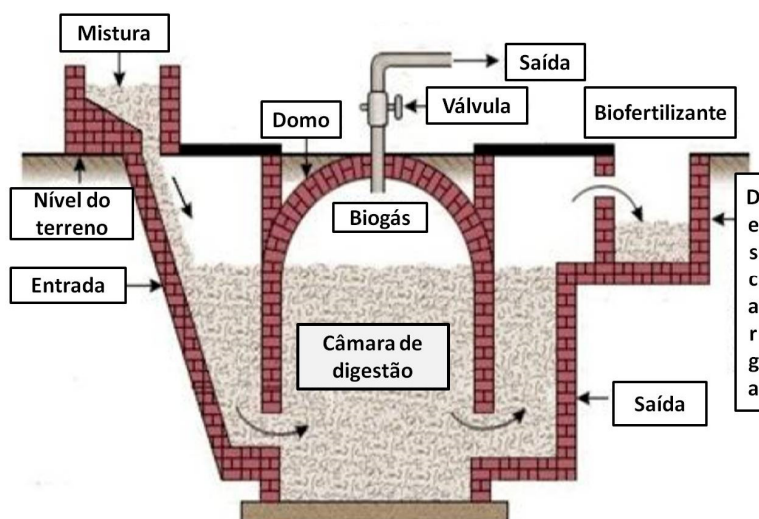


Figura 2 - Seção esquemática de um biodigestor.
Fonte: Adaptado de Nogueira (1986)

Os biodigestores podem ser classificados de acordo com o tipo de construção, modo de operação, a forma de armazenamento do gás, fluxo das substâncias em fermentação, temperatura de operação, com ou sem agitação e com ou sem dispositivos para agregar a biomassa bacteriana.

No entanto, segundo Sganzerla (1983), existem dois sistemas básicos de biodigestores: o contínuo e o intermitente. O biodigestor contínuo, é apropriado para a maioria das biomassas, recebe cargas diárias ou periódicas e descarrega a massa já fermentada automaticamente por vasos comunicantes em pleno funcionamento. O biodigestor de sistema intermitente, específico para materiais orgânicos de decomposição lenta e longo período de produção, recebe a carga total, retendo-a até complementar o processo de biodigestão, sendo então esvaziado e recarregado novamente.

De acordo com Dalla Costa (2004), a capacidade de geração de biogás e do tratamento dos efluentes depende da eficiência do biodigestor e pode variar de acordo com o tipo do digestor e condição operacional a qual ele é submetido.

Assim, conforme Nogueira (1986), não existe um tipo ideal de biodigestor anaeróbio para cada situação. O que há é uma grande variedade de tipos construtivos e aspectos operacionais que devem ser conhecidos e analisados visando, em uma aplicação específica, atender ao conjunto de condições e necessidades. Entre os modelos de biodigestores mais utilizados distinguem-se o modelo chinês, o modelo indiano e o modelo fluxo tubular.

3.3.1 Modelo Chinês

O biodigestor modelo chinês (Figura 3), é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Funciona geralmente com alta pressão que pode variar de acordo com a produção e consumo do biogás, embora disponha de câmara reguladora (SGANZERLA, 1983).

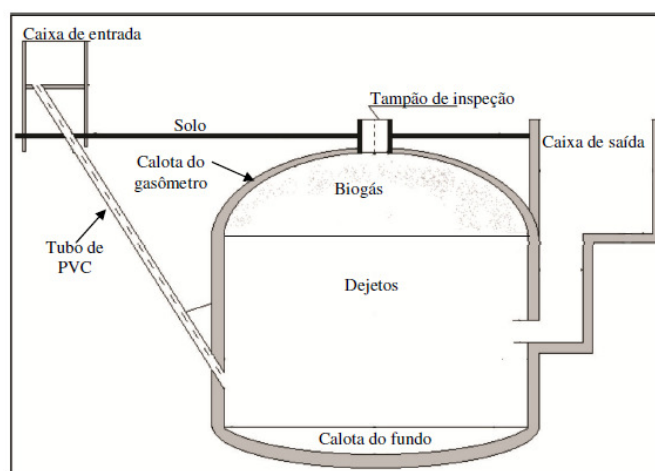


Figura 3 - Biodigestor modelo chinês.
Fonte: Adaptado de Deganutti, Palhaci e Rossi (2002)

Esse modelo caracteriza-se pela variação de pressão no gasômetro. Caso seja requerida uma pressão constante para alimentação de equipamentos (como por exemplo, para queimadores de fogões), é necessário um regulador de pressão ou um depósito de gás flutuante (ANDRADE; NINO; RANZI, 2002).

Gaspar (2003) afirma que uma das maiores críticas feitas ao modelo chinês de biodigestor é a técnica requerida para sua construção. A construção, que deve ser toda em alvenaria, requer um trabalho minucioso e preciso, pois os tijolos usados na construção da câmara onde a biomassa é digerida (e que é encimada pela câmara do gás) precisam ser assentados sem o concurso de escoramento. Utiliza-se uma técnica que emprega o próprio peso do tijolo para mantê-lo na posição necessária até que a argamassa seque. As paredes externas e internas precisam receber uma boa camada de impermeabilizante, como forma de impedir infiltrações de água (proveniente da água absorvida pelo solo durante as chuvas ou de algum lençol freático próximo) e trincas ou rachaduras.

Esse tipo de biodigestor é construído enterrado e ocupa pouco espaço fora do solo, conforme a figura 3, portanto é mais protegido contra as variações climáticas da superfície. Estas características permitem um custo mais baixo de construção, pois não possui partes móveis, não possui partes metálicas que podem ser oxidadas e, portanto, são mais duráveis (ANDRADE; NINO; RANZI, 2002).

3.3.2 Modelo Indiano

Os indianos foram os primeiros a usar a energia do biogás em grande escala. Segundo Seixas, Folle e Marchetti (1981) o primeiro digestor posto em funcionamento naquele país foi em 1900, na cidade de Bombaim.

O biodigestor indiano (Figura 4) é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. A operação do biodigestor é constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante (DEGANUTTI; PALHACI; ROSSI, 2002).

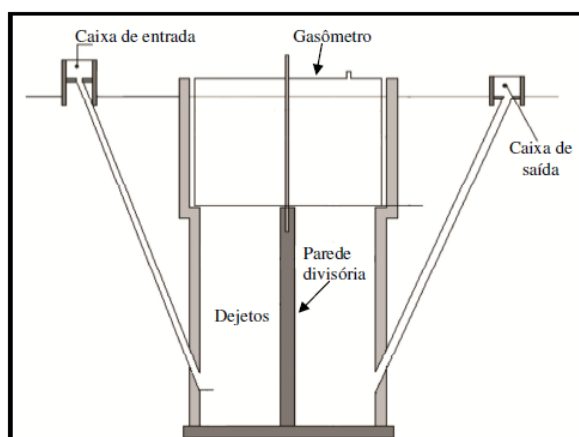


Figura 4 - Biodigestor modelo indiano.
Fonte: Adaptado de Deganutti, Palhaci e Rossi (2002)

Essa campânula, feita geralmente de ferro, é a peça mais cara e responsável pelo alto custo do biodigestor, limitando sua difusão, motivo que certamente trouxe certa dificuldade aos indianos (SGANZERLA, 1983).

Apesar destas desvantagens, Sganzerla (1983) afirma que este modelo de biodigestor, com campânula flutuante, foi um dos modelos mais construídos no Brasil. Atualmente, têm-se conseguido bons resultados com campânulas flutuantes de fibra de vidro, devido ao desenvolvimento destes materiais que atualmente são acessíveis no comércio, apresentando custo final da obra mais barato que a alternativa de chapa de aço.

Henn (2005) aponta que uma das grandes vantagens do modelo indiano sobre o chinês é que esse não exige limitação no que tange à característica do solo, podendo ser instalado em solo pedregoso e/ou encharcado.

3.3.3 Modelo Fluxo tubular

De acordo com Lima (2011), o reator anaeróbio modelo fluxo tubular, também chamado de *plug-flow* (Figura 5), é um reator de alimentação contínua, caracterizado como uma lagoa retangular coberta (relação comprimento/largura na ordem de 3:1).

Este modelo de reator permite que as partículas locomovam-se na mesma sequência da direção em que elas entram no reator, o material novo adicionado ao tanque desloca o material mais antigo para o extremo oposto, fluindo como um pistão e teoricamente com a mínima dispersão longitudinal, permanecendo no tanque por um tempo suficiente para as partículas serem degradadas pelos microorganismos.

É caracterizado basicamente por uma câmara de fermentação escavada no solo, com formato de tronco de pirâmide invertido, sendo a cobertura da câmara de fermentação revestida por uma manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta e o revestimento interno feito por material sintético flexível, manta de Policloreto de Vinila (PVC), espessuras de 0,8 mm à 1 mm, nas cores preta ou branca, para evitar vazamentos, contaminação do solo e do lençol freático (LIMA, 2011).



Figura 5 - Reator anaeróbico de fluxo tubular (*plug-flow*).
Fonte: Arquivo pessoal

Ao contrário do PEAD, a manta de PVC tem vida útil superior em função da resistência à radiação solar. O PEAD ao longo do tempo tende a ressecar e rachar o que acarreta vazamento de substrato e biogás. Com relação ao contato com o substrato, ambos toleram variação do pH e são resistente aos desgastes físicos (LIMA, 2011).

Segundo o mesmo autor, a cobertura com manta de PVC flexível atua como um gasômetro (balão), armazenando biogás produzido, evitando sua emissão para atmosfera. Ao inflar-se, a pressão do biogás se manterá constante devido à flexibilidade da manta do gasômetro. Neste sistema, a remoção de lodo e a recirculação dos resíduos são feitos com auxílio de bomba hidráulica, contribuindo com a agitação do substrato por meio de mistura hidráulica. Outra forma de promover essa agitação é através da recirculação do biogás do gasômetro para fundo da câmara de fermentação através de um compressor de gás e válvula de alívio, favorecendo a degradação do substrato e contribuindo para aumentar a eficiência do processo de digestão anaeróbia por meio dessa mistura de gás (LIMA, 2011).

Os biodigestores modelo tubular têm um maior tempo de retenção hidráulica, mas não baixa eficiência, principalmente em termos de redução de carga orgânica e na produção do biogás. Assim, permitem uma redução de carga orgânica muito superior aos biodigestores termofílicos tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

Atualmente o reator anaeróbico modelo fluxo tubular é o modelo mais utilizado no Brasil, tanto pelos materiais utilizados em sua fabricação, que conferem um custo

menor quando comparado a outros modelos, bem como pela facilidade em sua instalação.

3.4 BIOGÁS

Segundo Lamo (1991), biogás é o gás obtido em biodigestores anaeróbicos, que resultam da conversão da biomassa em energia secundária, pelo processo de biodigestão anaeróbica de resíduos agroindustriais e domésticos.

Holm-Nielsen, Al Seadi e Oleskowicz-Popiel (2009) afirmam que o biogás pode ser aproveitado de várias maneiras e indicam suas principais formas de uso como sendo: (i) produção de calor ou vapor; (ii) produção de eletricidade por meio de co-geração; (iii) fonte de energia industrial para calor, vapor, eletricidade e resfriamento; (iv) uso como combustível para automóveis; (v) produção de produtos químicos e/ou proteínas; (vi) injeção nas redes de gás natural; e (vii) combustível para CaC's (células a combustível).

Assim, a utilização do biogás como combustível contempla várias formas de uso. No entanto, para que esses usos possam ocorrer é necessário identificar a vazão, composição e poder calorífico do biogás utilizado, sendo esses os parâmetros que determinam o potencial de geração de energia, tanto na forma de energia elétrica, calor ou trabalho.

Apesar dos diversos usos possíveis, atualmente o biogás é utilizado principalmente para a geração de eletricidade (cerca de 2/3 da quantidade total, metade obtida em plantas de co-geração) e para a produção de calor (1/3 restante) (TRICASE; LOMBARDI, 2009).

O biogás gerado a partir da vinhaça, segundo estudos desenvolvidos por Pompermayer e Paula Júnior (2000), é apontado como uma alternativa de grande potencial de produção e competitividade com vários energéticos, particularmente os de origem fóssil. Com relação ao carvão mineral e ao gás natural, por exemplo, seu potencial de substituição corresponderia, respectivamente, a 72% e 16% de toda a produção nacional. Em relação ao petróleo, o biogás representaria 2,2% do consumo e 3,6% da produção.

Estudos que avaliam a viabilidade econômica da utilização do biogás em substituição de outras fontes energéticas, no entanto, são de extrema importância visto que Brown, Yiridoe e Gordon (2007), trabalhando com diversos cenários de

produção, demonstraram, por meio de análises econômicas, que a energia elétrica gerada a base do biogás, por exemplo, não é economicamente viável para todos os tamanhos de propriedades e empresas estudadas, enfatizando que, em empreendimentos de médio e grande porte, o benefício gerado é maior.

Dessa forma, faz-se necessário uma análise de viabilidade econômica para cada situação específica em que se pretende adotar o biogás para a geração de energia.

3.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Por muito tempo, a estrutura do sistema elétrico brasileiro se baseou unicamente na centralização da geração de energia que era transmitida por longas distâncias até chegar aos centros de carga, usando linhas de transmissão de diferentes níveis de tensão. No entanto, a reestruturação do sistema elétrico, ocorrida em diversos países, incluindo o Brasil, possibilitou a alteração desse paradigma, trazendo novos desafios e tornando economicamente interessante a operação de geradores em paralelo com os sistemas de distribuição. Essa nova alternativa é conhecida como Geração Distribuída (GD).

O tema Geração Distribuída tem tomado grande espaço em todo o mundo, principalmente em virtude da busca por novas fontes de energia que apresentem boa qualidade de fornecimento e custo acessível.

Segundo Brasil (2004), com base no artigo 14 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências, Geração Distribuída é a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, com exceção os empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada superior a 30 MW; e empreendimentos termelétricos, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75% (setenta e cinco por cento). Cabe ressaltar que, termelétricas que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não são limitados por esse percentual.

Segundo esse mesmo decreto, a venda da energia do gerador distribuído pode ser feita diretamente ao agente distribuidor ao qual está conectado. E, ainda, o

distribuidor poderá contratar energia elétrica proveniente de empreendimentos de GD, num montante de até 10% de sua carga, desde que a aquisição seja precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente distribuidor. Este percentual não considera o montante de energia elétrica oriundo de empreendimentos próprios de GD.

A GD pode ainda participar, como gerador, de leilões de energia nova e leilões de ajustes, que são regulados e promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, com a autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Além disso, pode haver comercialização da energia de forma direta entre o gerador distribuído e consumidores livres ou comercializadores (RODRIGUES; BORGES; FALCÃO, 2007).

As duas formas de comercialização de energia são denominadas de ACR (Ambiente de Contratação Regulada) e o ACL (Ambiente de Contratação Livre).

Segundo Barbosa Filho e Azevedo (2013), no ACR comercializa-se a energia elétrica utilizada pelas companhias distribuidoras para atender a seus respectivos consumidores finais. Através desse ambiente, a venda de energia passou a ser realizada por licitações, que consiste em leilões com contratos de longo prazo com duração de 15 a 35 anos e entrega a partir de 3 ou 5 anos, visando direcionar os contratos de energia por empresas prestadoras de serviços públicos.

Já no ACL, comercializa-se a energia elétrica para atender aos consumidores livres por intermédio de contratos bilaterais livremente negociados. O novo regulamento tem como base a Resolução Normativa nº 376/2009 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que trata das condições para contratação de energia elétrica por consumidores livres no Sistema Interligado.

Dessa forma, essa reestruturação do sistema elétrico brasileiro apresenta um caráter descentralizador e abre espaço para a produção de energia elétrica em pequena escala. Conforme Silva (2002), as energias distribuídas representarão um total de 20% da capacidade nova de geração, ou seja, cerca de 35 GW nas próximas duas décadas.

Quando a GD é entendida não apenas no sentido restrito de geração hidrelétrica descentralizada, mas num sentido amplo, no qual as diversas fontes de energia distribuídas são consideradas, cabe considerar as seguintes formas de produção:

- (i) Cogeração: consiste na produção simultânea, no processo industrial, de energia térmica e elétrica, a partir de combustíveis;
- (ii) Geração com combustíveis derivados de resíduos: por terem baixa densidade energética, têm que ser usados localmente (palha de arroz, resíduos da cana, gases de alto-forno e de aterros de lixo etc.).

Diversas são as tecnologias que podem ser empregadas como GD, dentre elas as tecnologias comercialmente difundidas: motores a combustão interna e pequenas centrais hidrelétricas; e as tecnologias em desenvolvimento: módulos fotovoltaicos, aerogeradores, microturbinas a gás e células a combustível. Essa diversidade tecnológica implica em uma flexibilidade quanto à fonte primária de energia a ser utilizada, permitindo o uso de insumos renováveis, como: biomassa, biogás, rejeitos sólidos, água, vento, sol, e de insumos não renováveis: gás natural, diesel, gasolina (RODRÍGUEZ, 2002).

Um dos objetivos da utilização da GD é associar a aplicação de tecnologias eficientes, que atendam às necessidades do mercado, mas que também se apresentem como uma alternativa menos agressiva possível ao meio ambiente.

3.6 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A avaliação econômica de um empreendimento consiste em fazer estimativas de todo o gasto envolvido com o investimento inicial, operação e manutenção e receitas geradas durante um determinado período de tempo, para assim montar-se o fluxo de caixa relativo a esses investimentos, custos e receitas e determinar quais serão os indicadores econômicos conseguidos com esse empreendimento.

Segundo Luzio (2011), a análise de viabilidade de um projeto constitui-se em verificar se o projeto tem possibilidades de sucesso econômico-financeiro.

3.6.1 Fluxo de caixa

Segundo Marion (1998), a Demonstração de Fluxo de Caixa (DFC) indica a origem de todo o dinheiro que entrou no caixa, bem como a aplicação de todo o dinheiro que saiu do caixa em determinado período, e, ainda o resultado do fluxo financeiro. Pode ser representado conforme a Figura 6.

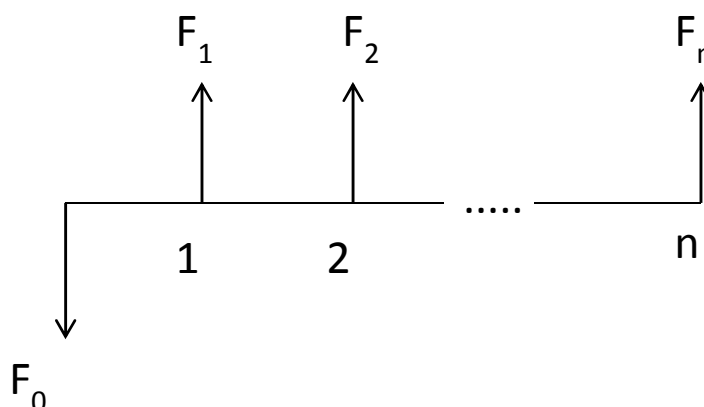


Figura 6 - Representação de fluxo de caixa.

sendo:

F_n = caixa líquido e/ou valor residual de ordem n ;

F_0 = investimento inicial;

n = período.

O fluxo de caixa resume as entradas e saídas efetivas de dinheiro ao longo de um determinado período ao qual o projeto foi planejado, permitindo conhecer a sua rentabilidade e viabilidade econômica. Neste sentido, os fluxos de caixa representam a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil.

3.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

De acordo com Hoji (2010), o Valor Presente Líquido (VPL) consiste em determinar o valor no instante inicial, descontando o fluxo de caixa líquido de cada período futuro gerado durante a vida útil do investimento, segundo uma taxa de juros i , obtendo o valor atualizado dos custos e receitas de uma alternativa.

O VPL maior ou igual a zero indica a viabilidade econômica do empreendimento, uma vez que geram retorno igual ou maior que o custo de capital investido. Quando um projeto apresenta o VPL menor que zero, seu retorno é inferior a seu custo de capital e ele deixa de ser viável.

3.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Rebelatto (2004), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna o valor atual líquido do investimento igual a zero.

É a taxa que torna equivalente o investimento inicial ao fluxo de caixa subsequente, ou seja, torna nulo o VPL do projeto dentro de um período de tempo estipulado (SANTOS, 1999). Rebelatto (2004), ainda complementa que a TIR deve ser comparada com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), para aceitação ou não do projeto.

3.6.4 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

É a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. É uma taxa associada a um baixo risco, ou seja, qualquer sobra de caixa pode ser aplicada, na pior das hipóteses na TMA. Uma das formas de se analisar um investimento é confrontar a TIR com a TMA do investidor (CASAROTTO; KOPITKE, 1998).

3.6.5 Payback

Segundo Assaf Neto (2009), o payback consiste na determinação do tempo necessário para que o dispêndio de capital seja recuperado por meio de fluxos de caixas promovidos pelo investimento. É considerado um importante indicador do nível de risco de um investimento.

Cabe salientar, que este método não considera os fluxos de caixa gerados durante a vida útil do investimento após o período e, portanto, não permite comparar o retorno entre dois investimentos.

3.6.6 Análise de Sensibilidade

Analisa o efeito que a variação de um dado de entrada pode ocasionar nos resultados. Quando uma pequena variação num parâmetro altera drasticamente a rentabilidade de um projeto, diz-se que o projeto é muito sensível a este parâmetro e

poderá ser interessante concentrar esforços para obter dados menos incertos (CASAROTTO; KOPITKE, 1998).

A Norma Brasileira NBR 14653-4 define a Análise de Sensibilidade como a análise do efeito de variações dos parâmetros do modelo adotado no resultado da avaliação, servindo para identificar as variáveis de maior elasticidade, denominadas de variáveis-chaves, sobre as quais se recomenda elevada atenção na fundamentação (ABNT, 2002).

Vale ressaltar que, por ser considerado um método parcial de análise de riscos, justamente por considerar a variação isolada dos parâmetros, MONETTI (1996) recomenda que a utilização da Análise de Sensibilidade seja aliada a outras metodologias de simulação probabilística, possibilitando a variação simultânea de mais de um parâmetro do fluxo de caixa.

3.6.7 Análise da Probabilidade de Risco

De acordo com a Norma Brasileira NBR 14653-4, a análise de risco tem como propósito quantificar o risco do empreendimento em função das variáveis-chave e seus efeitos sobre o resultado esperado (ABNT, 2002).

Nos modelos probabilísticos, uma vez identificadas as variáveis-chave do modelo, por meio da análise de sensibilidade, e as respectivas distribuições de probabilidade associadas, são aceitáveis, entre outros, os seguintes processos genéricos para quantificação de risco do empreendimento:

- seleção ao acaso de uma combinação de valores para as diversas variáveis-chave através de técnicas de simulação, com o objetivo de gerar a distribuição dos resultados possíveis;
- identificação da distribuição normal dos resultados possíveis, como no método das variações paramétricas.

Nos dois casos, identifica-se o grau de variabilidade da distribuição dos resultados possíveis do modelo, mensurável por seu coeficiente de variação (ABNT, 2002).

4. METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

A presente pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso por investigar um procedimento para estudo da viabilidade técnica-econômica em uma empresa do setor alcooleiro.

O trabalho foi desenvolvido com base nos dados fornecidos por uma usina de álcool localizada na região noroeste do estado do Paraná.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO E DA USINA

A mesorregião noroeste do Paraná é composta por 61 municípios e possui 24.542,6 km², com uma população de aproximadamente 641.084 (INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES, 2000). Faz fronteira com os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul e as microrregiões que a compõe são: Paranavaí, Cianorte e Umuarama. Sua densidade demográfica se aproxima de 26,11 habitantes por km² (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2000).

A região apresenta o clima subtropical, caracterizado por verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão. Apresenta temperatura média anual, dos meses mais quentes, superior a 22°C, e dos meses mais frios, inferior a 18°C; chuvas entre 1.600 e 1.900 mm; e umidade relativa do ar de 80%, sem deficiência hídrica (MAACK, 1968).

Além da indústria da moda o setor agropecuário tem destaque na economia regional. A atividade agropecuária mais importante na região Noroeste do Paraná é a criação de bovinos constituindo-se na região pecuária mais importante do Estado. Entre 2003 e 2007, essa região representou cerca de 32% e 10% da produção de carne bovina e leite do estado do Paraná, respectivamente (SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO – SEAB, 2011).

Neste mesmo período, o Noroeste paranaense também apresentou crescimento na cultura de produtos direcionados à indústria, como cana, mandioca e aves. Esta mesorregião destaca-se, em comparação com as outras do Paraná, na produção de casulos do bicho-da-seda, de café e de frutas (abacaxi, laranja e manga).

Em relação à industrialização, a mesorregião Noroeste concentra as atividades de beneficiamento da mandioca e é o maior polo sucroalcooleiro do estado (SERVIÇO SOCIAL DO COMÉRCIO – SESC, 2014).

Segundo IBGE (2000), a Mesorregião Noroeste produziu 7.476.160 toneladas de cana-de-açúcar. Em 2006, conforme o mesmo, a produção já subiu para 14.548.306 toneladas, um aumento de aproximadamente 95%. Outro dado a ser levado em consideração é o da área plantada. Em 2000, a cana-de-açúcar era cultivada numa área de 111.716 hectares. Em 2006, a área destinada ao cultivo da cana passou a 190.068 hectares. Ou seja, os dados citados demonstram a expansão canavieira na mesorregião de forma expressiva, em espaço relativamente curto de tempo. Atualmente, as áreas utilizadas pelo cultivo da cana-de-açúcar na mesorregião Noroeste do Paraná estão direcionadas ao processo industrial de usinas e destilarias. Com o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, a cana-de-açúcar torna-se o principal cultivo agrícola de vários municípios dessa região.

A Usina de álcool, objeto de estudo deste trabalho, é uma empresa de capital fechado pertencente a um grupo que abrange cerca de 20 mil hectares. Ela foi criada objetivando o cumprimento de uma iniciativa tomada pelo Governo Federal (Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL), que incentiva a substituição dos combustíveis derivados de petróleo por fontes renováveis, como o álcool da cana de açúcar.

A usina apresenta, em média, uma moagem de 4000 toneladas de cana por dia, que produz 500 m³ de etanol, além de 784 toneladas de bagaço de cana e 5000 m³ de vinhaça. O bagaço de cana é utilizado, atualmente, em caldeiras para produção e consumo próprio de energia, no entanto, com a proposta de utilização da vinhaça para geração de energia, o bagaço poderia ser comercializado o que acarretaria uma receita para a usina.

4.3 POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

O potencial de geração de biogás da usina a partir da vinhaça, bem como o consumo de biogás para a geração de energia elétrica foram determinados a partir de estudos que estabelecem a relação do volume da vinhaça x biogás produzido x energia gerada.

Segundo Salomon e Lora (2009), Pinto (1999) e Granato (2003) 1 m³ de álcool gera uma média de 10 m³ de vinhaça, e a biodigestão de 1 m³ de vinhaça por sua vez,

produz 10 m³ de biogás (60% de metano), com um poder calorífico inferior de 6,5 kWh m⁻³. Ainda, segundo Marques (2012), um motor gerador produz em torno de 1,5 kWh de energia gerada por m³ de biogás consumido.

4.4 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para realizar a avaliação econômica do projeto foram considerados todos os custos de construção, operação e manutenção da planta ao longo da sua vida útil.

A partir da quantidade de energia gerada com o biogás produzido foram determinadas as receitas provenientes no caso da venda dessa energia para a COPEL, considerando-se os valores reais utilizados no mercado de energia, bem como as receitas provenientes no caso da venda do bagaço de cana produzido (que atualmente é utilizado na geração de energia para consumo próprio).

A viabilidade do projeto proposto foi calculada utilizando-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback descontado (NEWNAN; ESCHENBACH; LAVELLE, 2011).

O cálculo do valor presente líquido é dado pela equação 1:

$$VPL = \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} - F_0 \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

F_n = valor do fluxo de caixa de ordem n;

F_0 = fluxo inicial;

i = taxa de retorno.

Já a TIR, como é a taxa de desconto que torna o valor inicial do investimento igual a zero, é calculada por:

$$0 = \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} - F_0 \quad \text{Eq. (2)}$$

O payback descontado (n), ou tempo de retorno do capital investido, pode ser calculado conforme a equação 3:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{U}{U-P \times i}\right)}{\ln(1+i)} \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

U - retorno líquido anual do investimento, R\$;

P - valor presente, R\$;

i - taxa anual de juros, decimal.

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi à adotada pela empresa para seus investimentos (8,76% a.a) e as análises das operações foram feitas para um horizonte de 20 anos (considerada a vida útil do empreendimento).

Foram adotados dois cenários para análise da viabilidade econômica do projeto. O primeiro cenário considerou a possibilidade de venda da energia elétrica produzida para a COPEL, enquanto que o segundo cenário considerou a utilização da energia elétrica produzida para consumo próprio, em substituição ao bagaço de cana atualmente utilizado para essa finalidade, que seria então armazenado e vendido para outros consumidores.

Foram considerados três modos de operação para o projeto de geração de energia no caso de venda para a COPEL (cenário 1):

Operação 1 para Venda (Op. 1V): Considerou-se que a planta de geração de biogás iria operar 5.400 horas por ano, com isso a quantidade de energia gerada vendida seria de 16.200 MWh/ano (3MW x 5.400h/ano). Nessa operação, admitiu-se que o preço de venda do MWh de energia gerada poderia variar de R\$ 150,00 a R\$ 270,00, sendo R\$ 150,00 para um cenário muito pessimista, R\$ 180,00 para um cenário pessimista, R\$ 210,00 para um cenário esperado, R\$ 240,00 para um cenário otimista e R\$ 270,00 para um cenário muito otimista.

Operação 2 para Venda (Op. 2V): Considerou-se que a planta de geração de biogás iria operar 3.200 horas por ano assim, a quantidade de energia gerada vendida seria de 9.600 MWh/ano (3MW x 3.200h/ano) e o preço de venda do MWh de energia gerada poderia variar de R\$ 150,00 a R\$ 270,00 (semelhante ao apresentado na Operação 1V).

Operação 3 para Venda (Op. 3V): Considerou-se que o tempo de funcionamento da planta de geração de biogás estaria variando de 3.200 a 5.400 horas por ano, ou seja, a quantidade de energia gerada vendida oscilaria de

9.600 MWh/ano a 16.200 MWh/ano, sendo 9.600 MWh/ano para um cenário muito pessimista, 11.250 MWh/ano para um cenário pessimista, 12.900 MWh/ano para um cenário esperado, 14.550 MWh/ano para um cenário otimista e 16.200 MWh/ano para um cenário muito otimista. Semelhantemente ao apresentado na Operação 1V, admitiu-se que o preço de venda do MWh de energia gerada poderia variar de R\$ 150,00 a R\$ 270,00.

No caso da energia ser utilizada para o consumo próprio, também foram adotados três modos distintos de operação (cenário 2):

Operação 1 para Consumo (Op. 1C): Considerou-se que a planta de biogás iria operar 5.400 horas por ano suprimindo, portanto, toda a necessidade energética da usina (aproximadamente 15.000 MWh/ano), e que o bagaço de cana produzido, atualmente utilizado para geração de energia elétrica para consumo próprio, seria vendido a um preço variando de R\$ 30,00 a R\$ 54,00/ tonelada, sendo R\$ 30,00 para um cenário muito pessimista, R\$ 36,00 para um cenário pessimista, R\$ 42,00 para um cenário esperado, R\$ 48,00 para um cenário otimista e R\$ 54,00 para um cenário muito otimista. Ainda, considerando-se que a quantidade total de bagaço produzida é de 286.000 t/ ano, seriam disponibilizados 90% desse total para venda (257.400 t/ano), sendo os 10% restantes mantidos na usina como reserva técnica, para eventuais necessidades extras.

Operação 2 para Consumo (Op. 2C): Considerou-se que a planta de biogás iria operar 3.200 horas por ano. Como o potencial de produção de energia nesse caso (9.600 MWh/ano) é inferior ao consumo total da usina (aproximadamente 15.000 MWh/ano), a planta de biogás não teria capacidade de suprir toda a necessidade energética da usina. Assim, uma parte do bagaço de cana produzido teria que ser utilizado para gerar os 5.400 MWh/ano restantes. Essa quantidade de bagaço seria de 84.852 t/ano (5.400 MWh/ano dividido por 0,06364 MWh de energia elétrica produzida por tonelada de bagaço). A sobra de bagaço que poderia ser disponibilizada para venda seria de 172.548 t/ano (90% de 286.000 t/ano menos 84.852 t/ano utilizado). Semelhante à operação 1, considera-se o valor de venda do bagaço variando de R\$ 30,00 a R\$ 54,00.

Operação 3 para Consumo (Op. 3C): Considerou-se que o tempo de funcionamento da planta de biogás iria variar de 3.200 a 5.400 horas por ano, e que o bagaço de cana produzido teria a mesma variação no preço de venda apresentada nas operações anteriores (R\$ 30,00 a R\$ 54,00). A quantidade de bagaço vendida iria

variar de 172.548 t/ano a 257.400 t/ano, sendo 172.548 t/ano para um cenário muito pessimista, 198.475 t/ano para um cenário pessimista, 224.402 t/ano para um cenário esperado, 250.329 t/ano para um cenário otimista e 257.400 t/ano para um cenário muito otimista. Essas quantidades vendidas de bagaço foram calculadas utilizando-se as mesmas relações apresentadas na Op. 2C.

4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Para as três operações do cenário 1, em estudo, foram realizadas Análises de Sensibilidade do VPL em função da variação do preço de venda da energia elétrica, da quantidade vendida e dos custos fixos envolvidos.

De acordo com os cenários definidos, a análise de sensibilidade foi efetuada pela variação individual de cada parâmetro dos fluxos de caixa. Com a utilização desses cenários alternativos de ocorrência das variáveis foram obtidos os valores dos indicadores de viabilidade. Assim, quando uma variável estava em seu cenário alterado, as demais variáveis permaneciam em seus cenários esperados. As variáveis que produziram as maiores variações médias nos indicadores de viabilidade foram consideradas como de maior importância na composição dos resultados.

Para o cálculo da análise de sensibilidade utilizou-se a Eq. 1, que determina o VPL do projeto. A aplicação da análise de sensibilidade mostra o quanto varia o VPL do projeto, em função da variação positiva e negativa do preço de venda da energia elétrica, da quantidade vendida e dos custos fixos envolvidos. Nesse estudo, essa porcentagem variou de 5% para mais ou para menos em um intervalo de -50% a +50%.

4.6 ANÁLISE DE PROBABILIDADE DE RISCO

A Análise de Probabilidade de Risco foi realizada utilizando o método de Monte Carlo. Tal método consiste nos seguintes passos:

- Dada a função cumulativa de probabilidade da variável em simulação $F(x)$, toma-se um número gerado aleatoriamente, no intervalo (0,1) ou (0 a 100) ou ainda (0 a 1000).

- Usando a função cumulativa de probabilidades, determina-se o valor da variável x , que corresponde ao número aleatório gerado (ANDRADE, 1998).

De acordo com Grey (1995), os mecanismos de geração de número aleatórios, acumulação dos resultados e geração de relatório são suportados por softwares já suficientemente validados, nesse caso foi utilizado o Microsoft Excel para tal fim.

Cabe ressaltar ainda, que considerou-se 1000 simulações de VPL e, ainda, a variação do preço de venda da energia elétrica como uma distribuição normal.

Para o cálculo, foi utilizada a equação da função densidade de probabilidade normal $f(x)$ dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

σ = desvio padrão;

$\pi = 3,14$;

$e = 2,71$;

μ = média dos valores de energia.

A partir do ajuste da curva de densidade de probabilidade no intervalo de variação do preço de venda de energia, geraram-se valores aleatórios. Para cada um desses valores gerados, foram calculados os indicadores de viabilidade econômica do projeto. Diante de todas as simulações feitas e todos os valores calculados, pode-se determinar a probabilidade de lucro ou prejuízo de cada cenário em estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme informado anteriormente, a Usina, que tem disponibilidade de 5000 m³ dia⁻¹ de vinhaça, poderia produzir, em média, 50000 m³ dia⁻¹ de biogás, ou, 75000 KWh dia⁻¹ de energia elétrica. Para essa capacidade de produção, poderia ser implantado um sistema de geração de energia com potência instalada de 3,0 MW, que atenderia a toda demanda energética da usina.

Para a biodigestão da vinhaça, seria construído um biodigestor modelo tubular (*Plug Flow*), processo mesofílico, conforme apresentado na Figura 5. Para aumentar o potencial de geração de biogás, seria utilizado, na saída do efluente do biodigestor, um sistema de decantação, com defletores para retorno do lado ativo, aumentando assim sua capacidade de processar a vinhaça, permitindo a diminuição do tempo de retenção hidráulica sem perdas maiores dos organismos metanogênicos. O sistema de geração de energia elétrica seria composto de motores geradores adaptados para operar com o biogás da vinhaça.

O investimento inicial para a implantação de uma planta de geração de 3,0 MW de energia elétrica seria de R\$ 11.877.000,00, valor obtido a partir da soma dos valores totais apresentados nas Tabelas 2 e 3.

A Tabela 2 apresenta os equipamentos e materiais permanentes para a geração de energia, com seus respectivos custos.

Tabela 2: Equipamentos e materiais permanentes para geração de energia

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Biodigestores e auxiliares	6	964.000,00	5.784.000,00
Compressor de ar	6	5.000,00	30.000,00
Materiais e equipamentos de controle do biodigestor	2	110.000,00	220.000,00
Materiais e equipamentos de transporte do biogás ao sistema de geração	4	10.000,00	40.000,00
Medidores de fluxo do biogás para o sistema de geração	6	20.000,00	120.000,00
Motores Geradores (4x 250 kW)	12	320.000,00	3.840.000,00
Kit de filtragem e remoção de H ₂ S, 1200-50ppm	3	45.000,00	135.000,00
Materiais e equipamentos para montagem da lagoa de acumulação e pré-resfriamento da vinhaça	2	414.000,00	828.000,00
		Total	10.997.000,00

A Tabela 3 apresenta os custos com a instalação dos equipamentos adquiridos, projetos e serviços de mão de obra.

Tabela 3: Custos para a geração de energia

Descrição	Valor (R\$)
Montagem da lagoa para acumulação e pré-resfriamento da vinhaça antes do biodigestor	340.000,00
Obra civil para construção da casa de máquinas	220.000,00
Execução das instalações elétricas e sistema de monitoramento e aquisição de dados	100.000,00
Processo de obtenção de licença de instalação dos biodigestores e planta de geração de eletricidade	10.000,00
Projeto de engenharia da casa de máquinas	10.000,00
Projeto e estudo elétrico do sistema de geração (paralelismo a rede)	100.000,00
Serviço de oficina, instalação civil e elétrica	100.000,00
Total	880.000,00

O custo fixo anual para operação e manutenção da planta seria de R\$ 296.925,00, equivalente a 2,5% do investimento inicial. O custo variável representa os impostos cobrados na comercialização da energia elétrica (Programa de Integração Social - PIS, Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social - COFINS, Imposto sobre a Renda da Pessoa Jurídica - IRPJ e a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido - CSLL).

Considerou-se, para o cálculo dos impostos cobrados na comercialização de energia elétrica, a isenção do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) e o ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestações de Serviços) nulo. O PIS e o COFINS correspondem a 0,65% e 3% da receita de venda, respectivamente. Já o IRPJ, a ser considerado é de 1,20% uma vez que se utiliza a base de cálculo de 8% da receita de venda com uma alíquota de 15%. Com relação a CSLL, onde a base de cálculo é de 12% da receita de venda e a alíquota de 9%, a percentagem a ser utilizada fica em 1,08%. Assim, considerando a legislação tributária brasileira e as especificidades da usina, esse custo representaria, aproximadamente, 5,93% da receita bruta de venda.

5.1 ANÁLISE DO CENÁRIO 1

5.1.1 Cenário 1 – Operação 1V

Os resultados dos índices econômicos calculados para o cenário 1 operação 1, que considerou a possibilidade de venda da energia elétrica produzida para a COPEL, estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Índices econômicos calculados para o modo de operação 1V

Cenários	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback (anos)
Muito Otimista	32,02	23.577.330,14	4
Otimista	28,09	19.331.571,87	5
Esperado	24,12	15.085.813,61	6
Pessimista	20,06	10.840.055,34	7
Muito Pessimista	15,87	6.594.297,08	9

De acordo com o disposto na Tabela 4, pode-se verificar que todos os cenários, desde o muito pessimista até o muito otimista, apresentam TIR maior que a TMA, VPL maior que zero e Payback menor que o período de vida útil da planta, ou seja, todos os índices indicam viabilidade econômica para implantação da planta.

A Figura 7, a seguir, demonstra exatamente essa relação VPL (R\$) e Payback (anos) para a operação 1V, considerando os cenários apresentados.

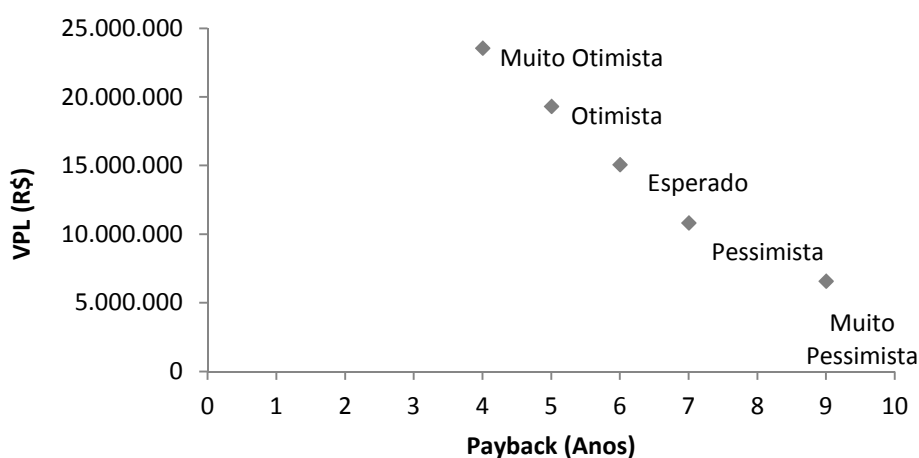


Figura 7 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 1V.

A Figura 8, a seguir, representa a relação entre o preço de venda de energia elétrica e a TIR (Taxa Interna de Retorno).

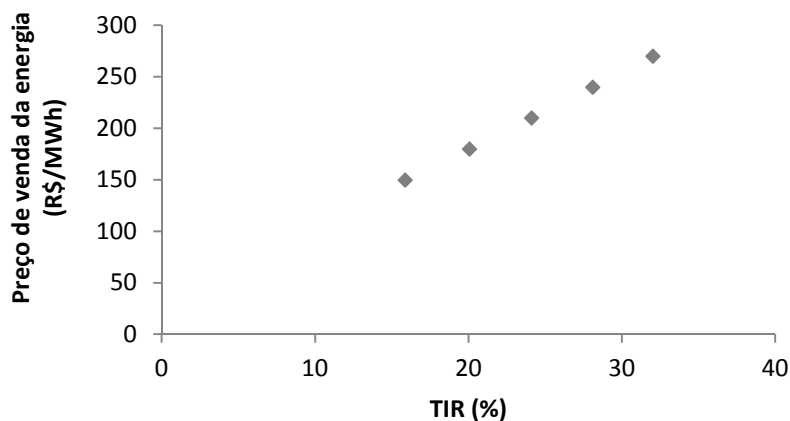


Figura 8 - Relação entre o preço de venda da energia elétrica e a TIR na operação 1V.

Nesse sentido, podemos observar que quanto maior o valor de venda da energia, maior será a TIR.

Ainda, a relação benefício-custo (ou índice de lucratividade) para o cenário esperado é de 2,270 que é superior a 1, confirmando a viabilidade dessa operação.

O valor acumulado dos fluxos de caixa convertidos a valor presente para a operação 1V, considerando o cenário esperado cujo valor de venda de energia é de R\$ 210,00/MWh, está demonstrado graficamente através da Figura 9.

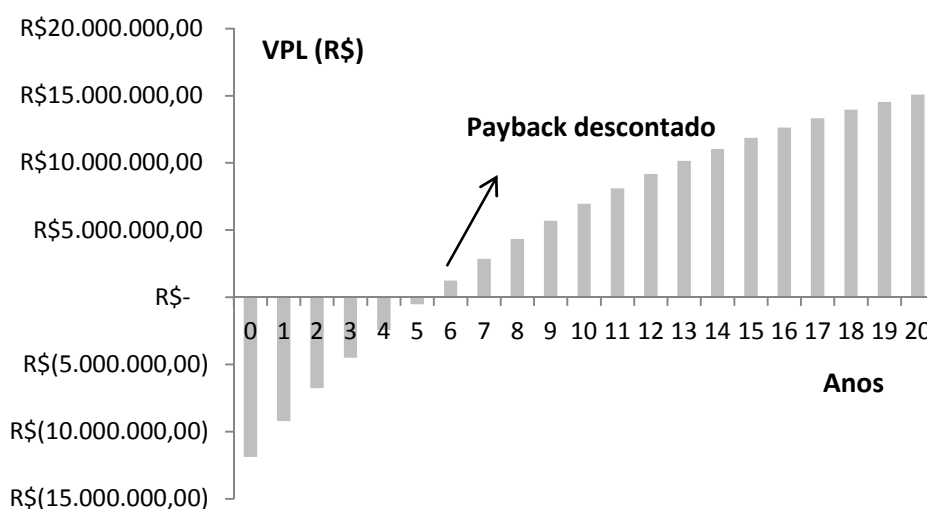


Figura 9 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 1V).

Pode-se verificar, de acordo com o disposto na Figura 9, que o cenário esperado da operação 1V, apresenta-se viável economicamente, pois o payback descontado corresponde a 6 anos, o VPL é de R\$ 15.085.813,61, a TIR é de 24,12%, comprovando sua viabilidade econômica.

Ainda, considerando o cenário esperado dessa operação, verificou-se que o custo de produção do m³ de biogás foi de R\$ 0,1401/m³ e o custo de geração do MWh de energia elétrica corresponde a R\$ 93,38/ MWh.

5.1.2 Cenário 1 – Operação 2V

Os índices econômicos calculados para o cenário 1, modo de operação 2 (Op. 2V) estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Índices econômicos calculados para o modo de operação 2V

Cenários	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback (anos)
Muito Otimista	17,29	8.009.549,83	8
Otimista	14,74	5.493.544,93	10
Esperado	12,09	2.977.540,04	13
Pessimista	9,30	416.535,14	19
Muito Pessimista	0,00	-2.054.469,76	-

Como verificado na Tabela 5, apenas o cenário muito pessimista apresenta-se como inviável economicamente, uma vez que seu VPL calculado é menor que zero, e o Payback é superior a vida útil do empreendimento (20 anos). Todos os demais cenários apresentados para a operação 2 são viáveis economicamente uma vez que mostram uma TIR superior à TMA, VPL maior que zero e Payback menor que 20 anos.

Os cenários que se apresentam viáveis economicamente para a operação 2V, estão apresentados graficamente a seguir (Figura 10).

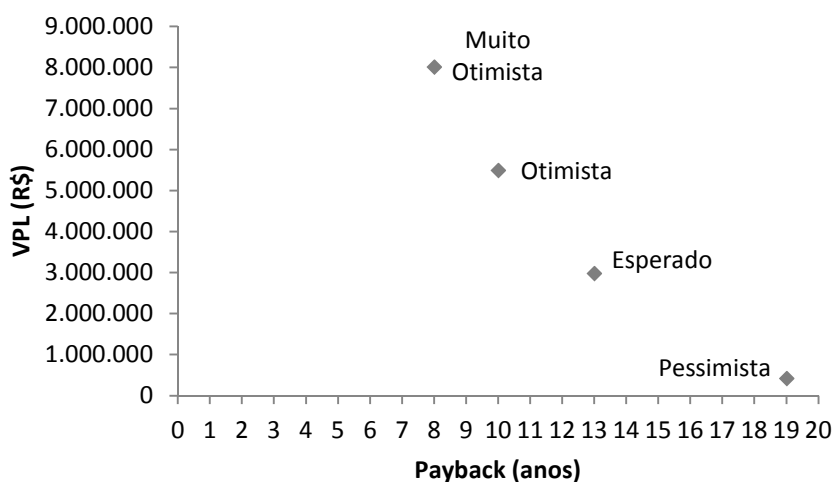


Figura 10 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 2V.

A relação entre o preço de venda de energia elétrica e a TIR (Taxa Interna de Retorno) para a operação 2V, está representada na Figura 11.

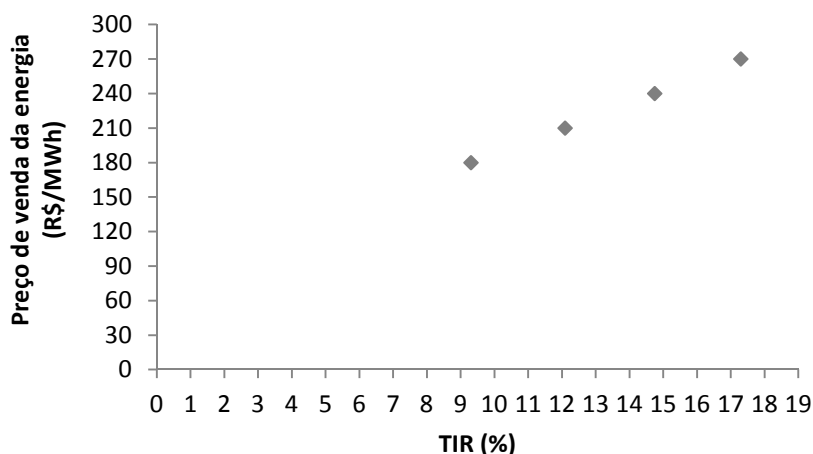


Figura 11 - Relação entre o preço de venda da energia elétrica e a TIR na operação 2V.

Pode-se notar que quanto maior o preço de venda da energia, a TIR apresentada é maior.

Ainda, a relação benefício-custo (ou índice de lucratividade) para o cenário esperado é de 1,251 confirmando a viabilidade dessa operação, uma vez que esse índice é superior a 1.

Considerando o cenário esperado, cujo valor de venda de energia é de R\$ 210,00/MWh, a Figura 12 demonstra o valor acumulado dos fluxos de caixa convertidos a valor presente para a operação 2V.

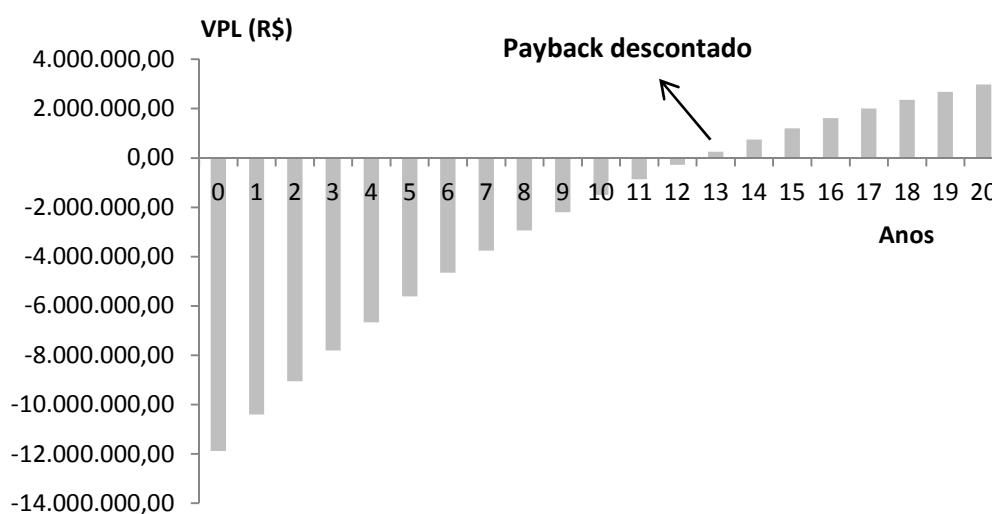


Figura 12 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 2V).

Pela Figura 12 pode-se verificar que a operação 2V, para o cenário esperado, apresenta-se viável economicamente. O payback descontado corresponde a 13 anos, o VPL é de R\$ 2.977.540,04; a TIR é de 12,09%, comprovando sua viabilidade econômica.

Ainda, para o cenário esperado da operação 2V, verificou-se que o custo de produção do m³ de biogás foi de R\$ 0,2364/m³ e o custo de geração do MWh de energia elétrica foi de R\$ 157,58/ MWh.

5.1.3 Cenário 1 – Operação 3V

Para a operação 3V do cenário 1, os resultados dos índices econômicos estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Índices econômicos calculados para o modo de operação 3V

Cenários	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback (anos)
Muito Otimista	32,02	23.577.330,14	4
Otimista	24,86	15.872.065,14	6
Esperado	18,30	9.031.676,82	8
Pessimista	12,18	3.056.165,19	13
Muito Pessimista	0,00	-2.054.469,76	-

Semelhantemente ao modo de operação 2V, pela tabela 6, pode-se verificar que apenas o cenário muito pessimista apresenta-se como inviável economicamente,

uma vez que seu VPL calculado é menor que zero, e o Payback é superior a vida útil do empreendimento (20 anos). Todos os demais cenários apresentados para a operação 3 são viáveis economicamente uma vez que mostram uma TIR superior à TMA, VPL maior que zero e Payback menor que 20 anos.

A Figura 13, demonstra a relação entre o VPL (R\$) e Payback (anos) para os cenários viáveis da operação 3V.

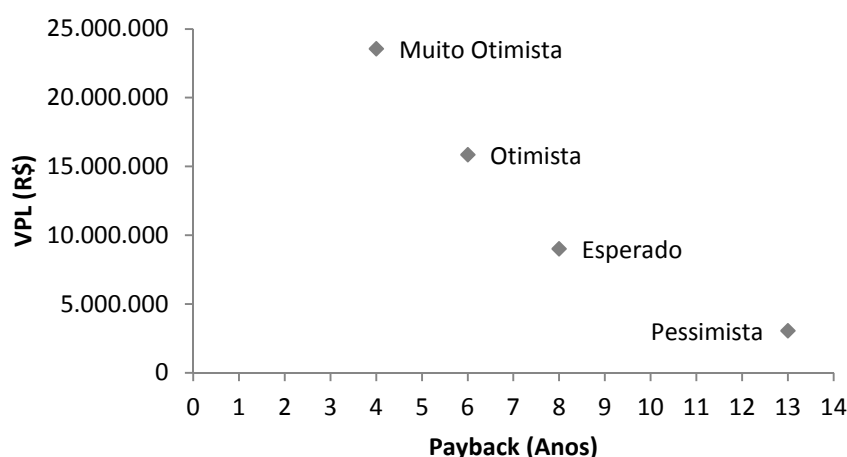


Figura 13 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 3V.

A relação entre o preço de venda de energia elétrica e a TIR (Taxa Interna de Retorno) está apresentada na Figura 14, a seguir.

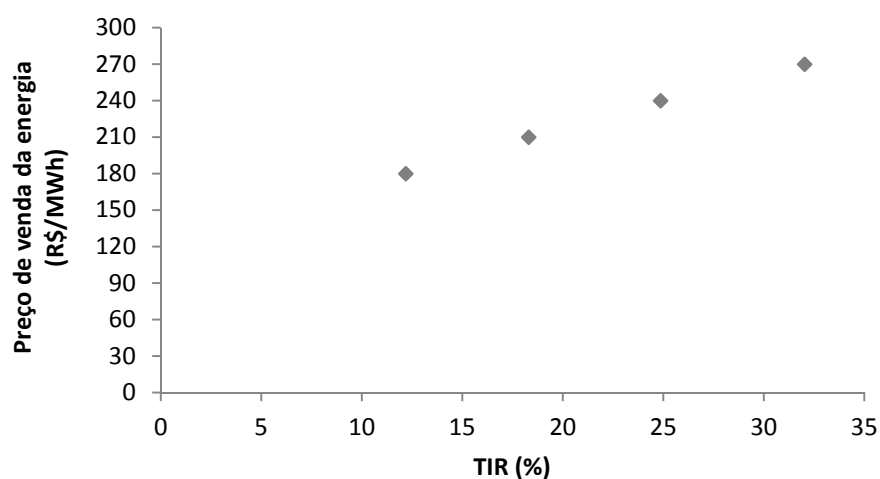


Figura 14 - Relação entre o preço de venda da energia elétrica e a TIR na operação 3V.

De forma análoga as operações 1V e 2V, a Figura 14 demonstra que quanto maior o valor de venda da energia, maior será a TIR.

A relação benefício-custo (ou índice de lucratividade) considerando o cenário esperado para a operação 3V é de 1,760 o que confirma a viabilidade da operação, uma vez que é superior a 1.

Quando se considera o cenário esperado, o valor acumulado dos fluxos de caixa convertidos a valor presente para a operação 3V, pode ser demonstrado pela Figura 15.

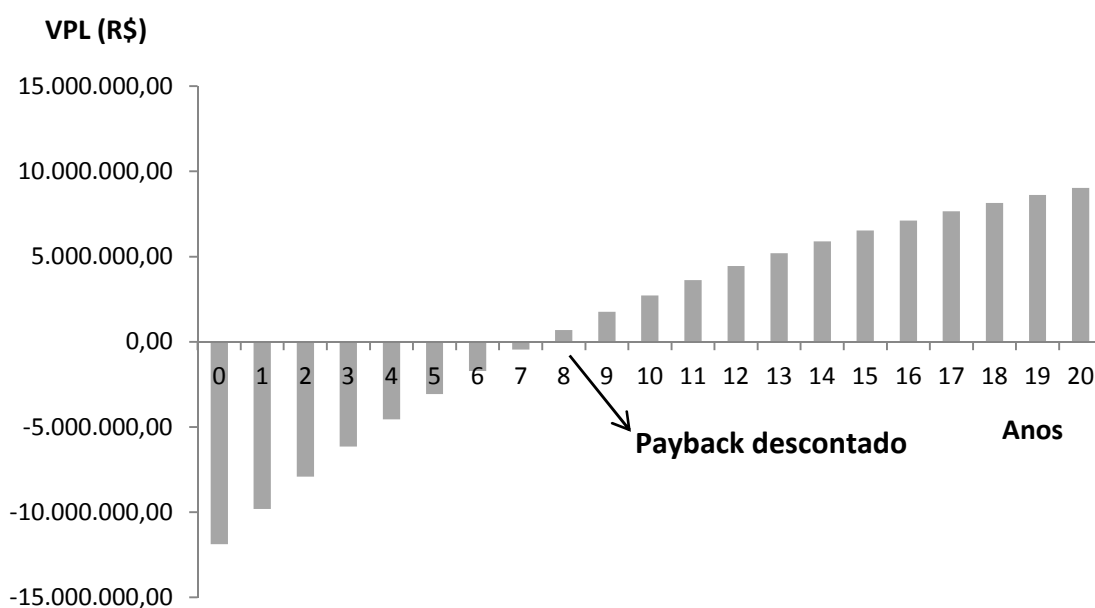


Figura 15 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 3V).

Pode-se verificar, de acordo com o fluxo de caixa do cenário esperado apresentado na Figura 15, que a operação 3V apresenta-se viável economicamente. Nessa operação, para o cenário esperado, o payback descontado corresponde a 8 anos, o VPL é de R\$ 9.031.676,82, a TIR é de 18,30%, comprovando sua viabilidade econômica.

Verificou-se também, para o cenário esperado dessa operação, que o custo de produção do m³ de biogás é de R\$ 0,1759/m³ e o custo de geração do MWh de energia elétrica é de R\$ 117,27/ MWh.

5.1.4 Análise de sensibilidade para o Cenário 1

A análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta para as três operações do cenário 1 é apresentada na tabela 7.

Tabela 7: Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para as três operações em estudo do cenário 1

Percentuais de variação	Operação 1		Operação 2		Operação 3	
	VPL para variação da quantidade e do preço (R\$)	VPL pra variação do custo fixo (R\$)	VPL para variação da quantidade e do preço (R\$)	VPL pra variação do custo fixo (R\$)	VPL para variação da quantidade e do preço (R\$)	VPL pra variação do custo fixo (R\$)
-50%	225.659	16.464.560	-5.828.477	4.356.287	-2.801.408	10.410.423
-45%	1.711.675	16.326.686	-4.947.875	4.218.412	-1.618.100	10.272.549
-40%	3.197.690	16.188.811	-4.067.273	4.080.537	-434.791	10.134.674
-35%	4.683.705	16.050.936	-3.186.671	3.942.663	748.516	9.996.799
-30%	6.169.721	15.913.061	-2.306.070	3.804.788	1.931.825	9.858.925
-25%	7.655.736	15.775.187	-1.425.468	3.666.913	3.115.134	9.721.050
-20%	9.141.752	15.637.312	-544.866	3.529.038	4.298.442	9.583.175
-15%	10.627.767	15.499.437	335.734	3.391.164	5.481.751	9.445.300
-10%	12.113.782	15.361.563	1.216.336	3.253.289	6.665.059	9.307.426
-5%	13.599.798	15.223.688	2.096.938	3.115.414	7.848.368	9.169.551
0%	15.085.813	15.085.813	2.977.540	2.977.540	9.031.676	9.031.676
5%	16.571.829	14.947.938	3.858.141	2.839.665	10.214.985	8.893.802
10%	18.057.844	14.810.064	4.738.743	2.701.790	11.398.293	8.775.927
15%	19.543.859	14.672.189	5.619.345	2.563.915	12.581.602	8.618.052
20%	21.029.875	14.534.314	6.499.946	2.426.041	13.764.911	8.480.177
25%	22.515.890	14.396.440	7.380.548	2.288.166	14.948.219	8.342.303
30%	24.001.905	14.258.565	8.261.150	2.150.291	16.131.528	8.204.428
35%	25.487.921	14.120.690	9.141.752	2.012.417	17.314.836	8.066.553
40%	26.973.936	13.982.815	10.022.353	1.874.542	18.498.145	7.928.679
45%	28.459.952	13.844.941	10.902.955	1.736.667	19.681.453	7.790.804
50%	29.945.967	13.707.066	11.783.557	1.598.792	20.864.762	7.652.929

Para a Análise de Sensibilidade, considerando as três operações em estudo, verificou-se que o VLP é bastante sensível às variações da quantidade vendida e às variações do preço de venda da energia elétrica (que apresentam os mesmos valores), e pouco sensível às variações dos custos fixos da planta, conforme mostrado na Tabela 7.

Graficamente, esse efeito que a variação da quantidade vendida e de preço tem sobre o VPL fica ainda mais visível e está representado nas Figuras 16, 17 e 18.

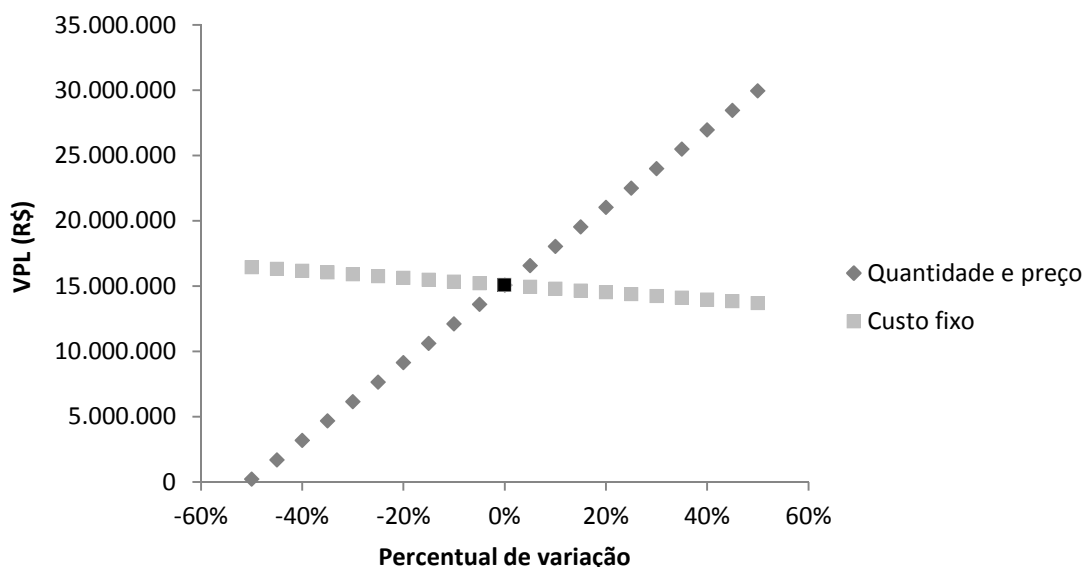


Figura 16 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 1V.

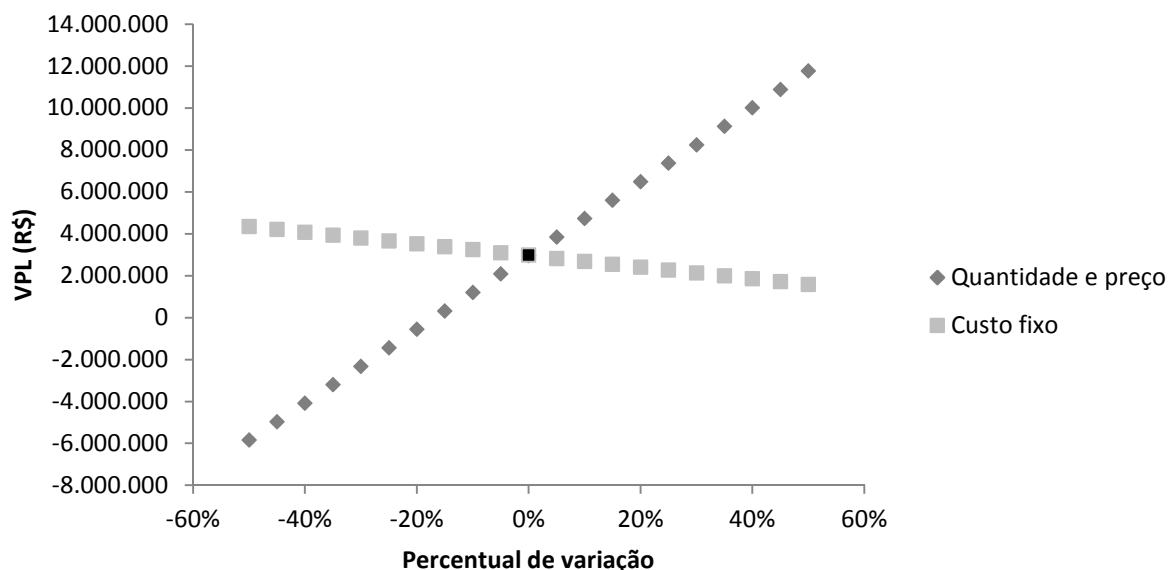


Figura 17 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 2V.

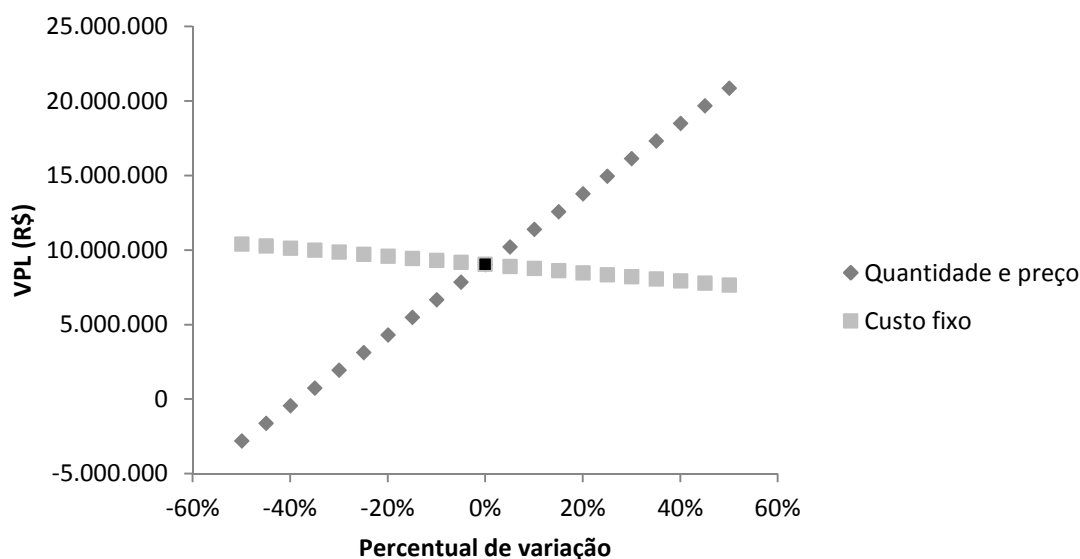


Figura 18 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 3V.

Os pontos destacados nas três figuras (16, 17 e 18) coincidem exatamente nos VPLs dos cenários esperados para as três operações em estudo.

5.1.5 Análise da probabilidade de risco para o Cenário 1

De acordo com os valores de venda de energia elétrica utilizados nas três operações para o cenário 1, que variam de R\$ 150,00 a R\$ 270,00, foram calculados a média (210) e o desvio padrão (47,43). A partir disso, utilizando a equação da função densidade de probabilidade normal - Eq. (4), foram gerados 1000 valores aleatórios de x , e calculadas as probabilidades de ocorrência dos mesmos (Figura 19).

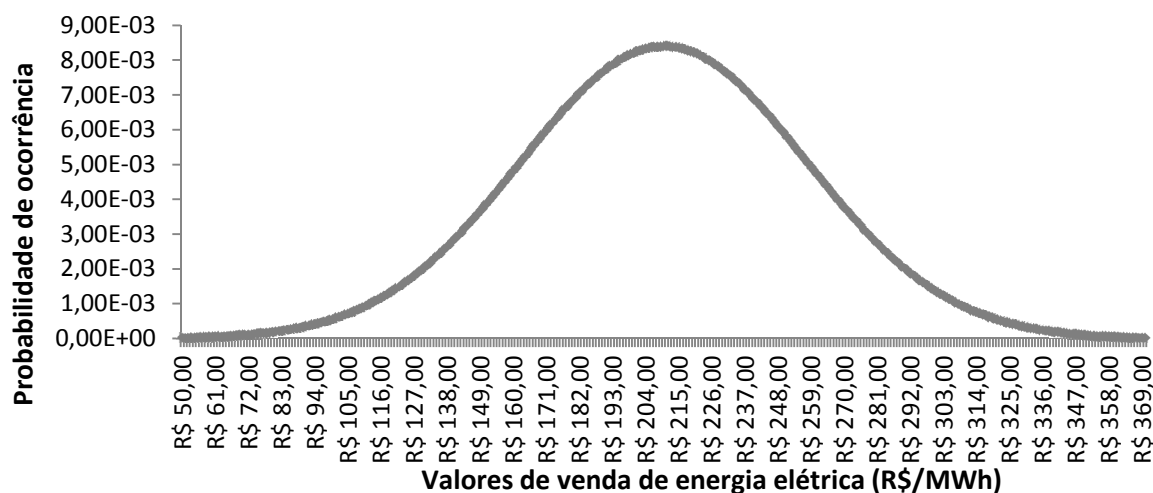


Figura 19 - Gráfico da função densidade de probabilidade normal para o cenário 1.

Para cada valor de x gerado, calculou-se o respectivo VPL, sendo alguns positivos e outros negativos. Verificou-se então, quantos valores de VPL foram negativos e somaram-se suas respectivas probabilidades de ocorrência, obtendo-se um valor P1. O mesmo foi feito com os valores de VPL positivos, obtendo-se um valor P2. Somou-se P1 com P2 (que representa 100% dos valores gerados), e calculou-se o percentual de cada um deles (P1 e P2) em relação a esse total (soma). Feito isso, P1 representa a probabilidade de haver prejuízo no empreendimento, e P2 a probabilidade de haver lucro.

Dessa maneira, analisando as três operações consideradas no cenário 1, obteve-se uma probabilidade de lucro acima de 99,9% para a Operação 1V, 80,6% para a Operação 2V e 97,5% para a Operação 3V.

5.2 ANÁLISE DO CENÁRIO 2

Da mesma forma que os resultados dos índices econômicos calculados para o cenário 1, agora apresenta-se os índices calculados para o cenário 2, que considerou a utilização da energia elétrica produzida para consumo próprio, em substituição ao bagaço de cana atualmente utilizado para essa finalidade, que seria então armazenado e vendido para outros consumidores.

5.2.1 Cenário 2 – Operação 1C

A tabela 8 apresenta os resultados para o modo de operação 1 no que se refere ao cenário 2 (Op. 1C).

Tabela 8: Índices econômicos calculados para o modo de operação 1C

Cenários	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback (anos)
Muito Otimista	107,59	106.794.192,14	2
Otimista	95,36	93.302.115,87	2
Esperado	83,12	79.810.039,61	2
Pessimista	70,89	66.317.963,34	2
Muito Pessimista	58,66	52.825.887,08	2

Pelo disposto na Tabela 8, pode-se verificar que todos os cenários, desde o muito pessimista até o muito otimista, apresentam TIR maior que a TMA, VPL maior

que zero e Payback menor que o período de vida útil da planta, ou seja, todos os índices indicam viabilidade econômica para implantação da planta.

Através da Figura 20, pode-se perceber a relação VPL (R\$) e Payback (anos) para a operação 1C, considerando os cenários apresentados. Nota-se que, para essa operação, em todos os cenários considerados o payback é o mesmo (2 anos).

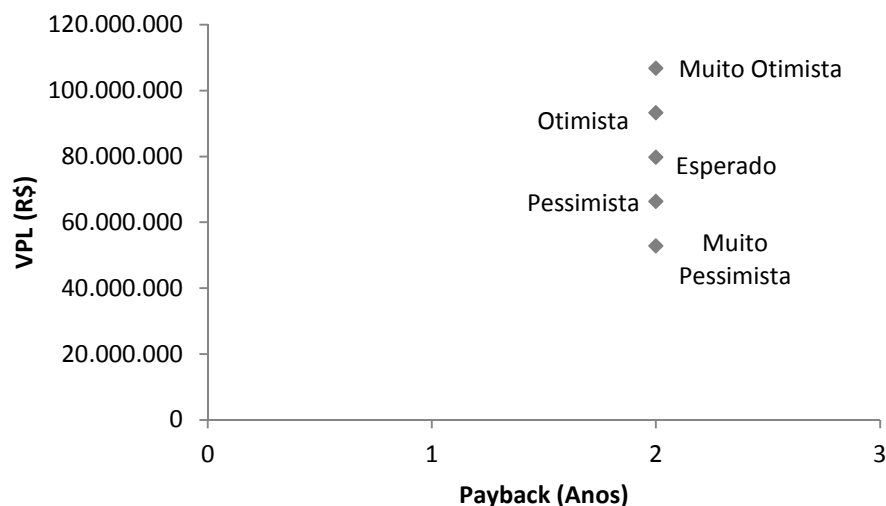


Figura 20 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 1C.

A Figura 21, a seguir, representa a relação entre o preço de venda da tonelada de bagaço de cana e a TIR (Taxa Interna de Retorno).

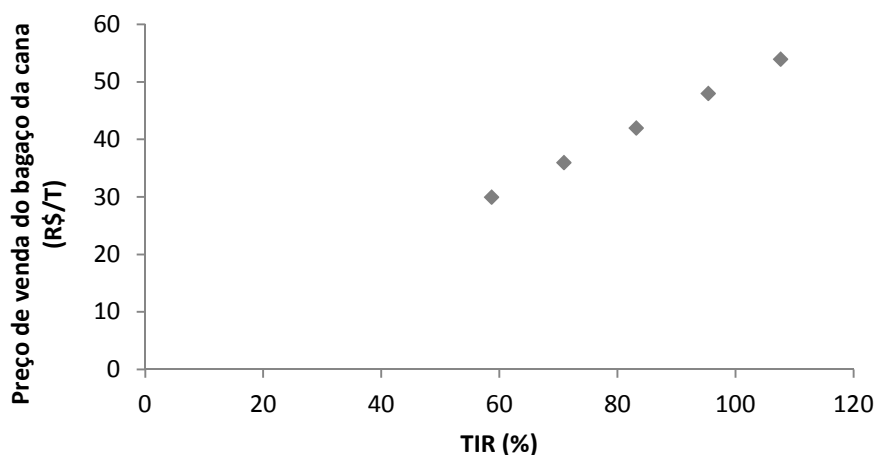


Figura 21 - Relação entre o preço de venda da tonelada de bagaço de cana e a TIR na operação 1C.

Nesse sentido, podemos observar que quanto maior o valor de venda da tonelada do bagaço da cana, maior será a TIR.

Ainda, a relação benefício-custo (ou índice de lucratividade) para o cenário esperado é de 7,720 que é muito superior a 1, confirmando a viabilidade dessa operação.

O valor acumulado dos fluxos de caixa convertidos a valor presente para a operação 1C, considerando o cenário esperado cujo valor de venda da tonelada de bagaço da cana-de-açúcar é de R\$ 42,00, está demonstrado graficamente através da Figura 22.

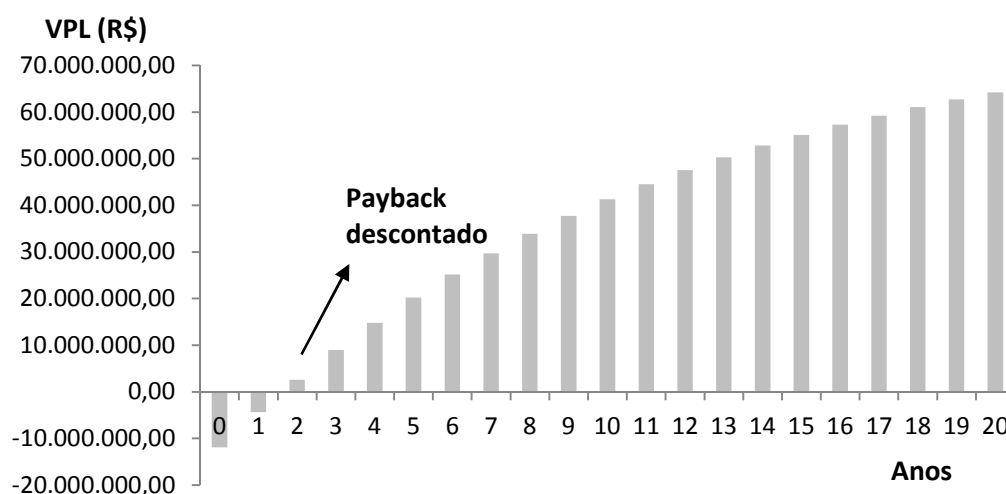


Figura 22 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 1C).

Pode-se verificar, de acordo com o disposto na Figura 22, que o cenário esperado da operação 1C, apresenta-se viável economicamente, pois o payback descontado corresponde a 2 anos, o VPL é de R\$ 79.810.039,61 e a TIR é de 83,12%, comprovando sua viabilidade econômica.

Ainda, considerando o cenário esperado dessa operação, como a planta de biogás tem o mesmo tempo de funcionamento da operação 1V do cenário 1, verificou-se que o custo de produção do m³ de biogás e o custo de geração de energia do MWh de energia elétrica foi o mesmo, R\$ 0,1401/m³ e R\$ 93,38/ MWh, respectivamente.

5.2.2 Cenário 2 – Operação 2C

Os índices econômicos calculados para o cenário 2, modo de operação 2 (Op. 2C) estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Índices econômicos calculados para o modo de operação 2C

Cenários	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback (anos)
Muito Otimista	71,30	66.765.183,21	2
Otimista	63,10	57.720.774,60	2
Esperado	54,89	48.676.366,00	3
Pessimista	46,68	39.631.957,39	3
Muito Pessimista	38,44	30.587.548,78	4

Como verificado na Tabela 9 todos os cenários, desde o muito pessimista até o muito otimista, apresentam-se como viáveis economicamente, uma vez que todos os VPLs calculados são maiores que zero, os Payback são inferiores a vida útil do empreendimento (20 anos) e as TIR são superiores à TMA.

Os cenários para a operação 2, estão apresentados graficamente a seguir (Figura 23).

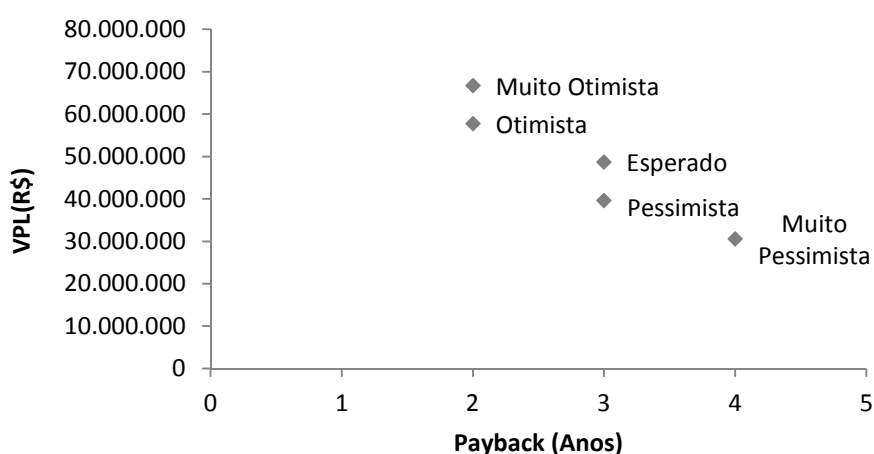


Figura 23 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 2C.

A relação entre o preço de venda da tonelada de bagaço de cana e a TIR (Taxa Interna de Retorno) para a operação 2C, está representada na Figura 24.

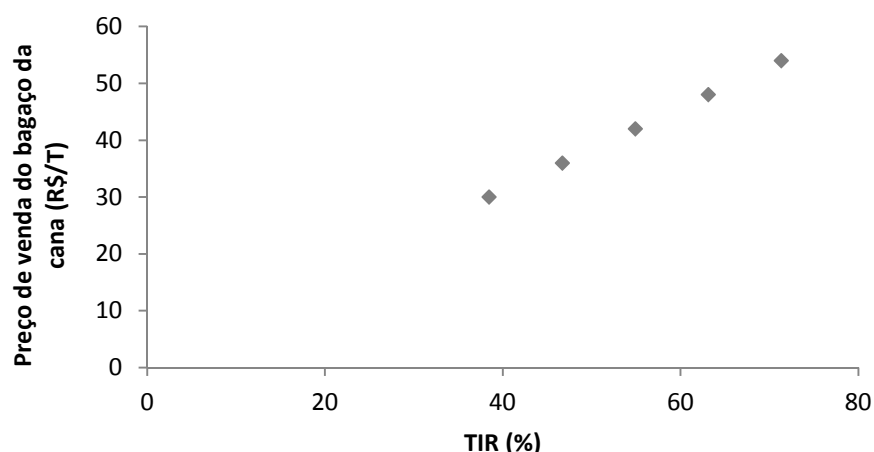


Figura 24 - Relação entre o preço de venda da tonelada de bagaço de cana e a TIR na operação 2C.

Pode-se notar que quanto maior o preço de venda da tonelada de bagaço da cana, a TIR apresentada é maior.

Ainda, a relação benefício-custo (ou índice de lucratividade) para o cenário esperado é de 5,098 confirmando a viabilidade dessa operação, uma vez que esse índice é muito superior a 1.

Considerando o cenário esperado, cujo valor de venda do bagaço da cana é de R\$ 42,00, a Figura 25 demonstra o valor acumulado dos fluxos de caixa convertidos a valor presente para a operação 2C.

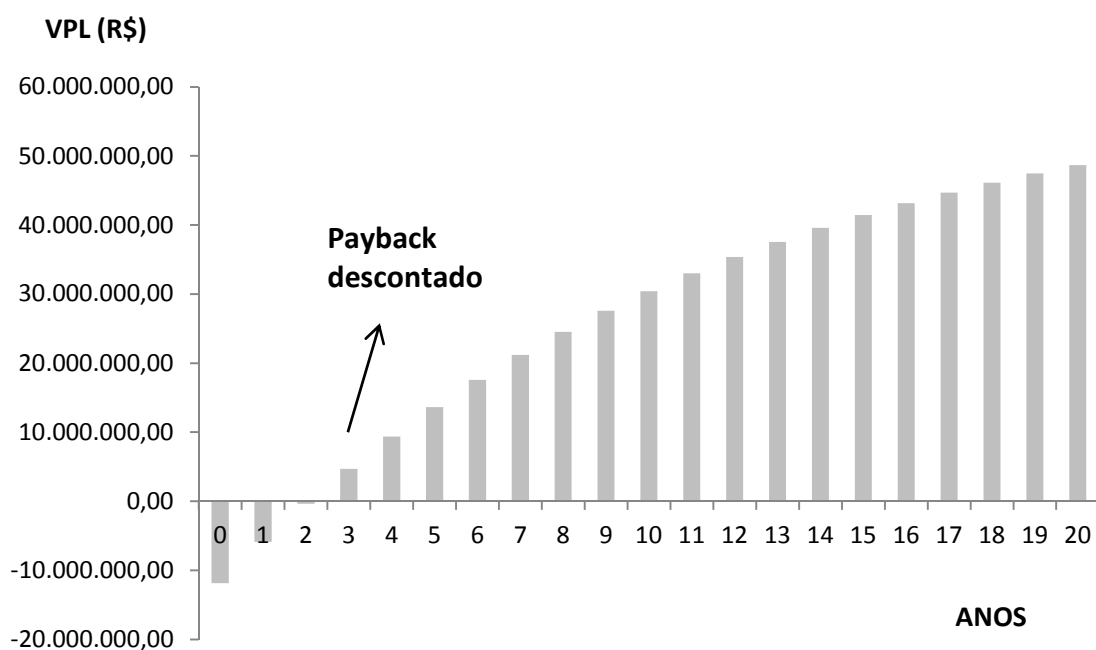


Figura 25 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 2 – Op. 2C).

Pela Figura 25 pode-se verificar que a operação 2C, para o cenário esperado, apresenta-se viável economicamente. O payback descontado corresponde a 3 anos, o VPL é de R\$ 48.676.366,00; a TIR é de 54,89%, comprovando sua viabilidade econômica.

Ainda, para o cenário esperado da operação 2C, da mesma forma que a para a operação 2V do cenário1, verificou-se que o custo de produção do m³ de biogás foi de R\$ 0,2364/m³ e o custo de geração do MWh de energia elétrica foi de R\$ 157,58/MWh.

5.2.3 Cenário 2 – Operação 3C

Para a operação 3C do cenário 2, os resultados dos índices econômicos estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Índices econômicos calculados para o modo de operação 3C

Cenários	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback (anos)
Muito Otimista	107,59	106.794.192,14	2
Otimista	92,67	90.337.004,10	2
Esperado	72,15	67.702.499,87	2
Pessimista	54,08	47.786.014,76	3
Muito Pessimista	38,44	30.587.548,78	4

Semelhantemente aos modos de operação 1C e 2C, pela tabela 10, pode-se verificar que todos os cenários apresentam-se como viáveis economicamente, uma vez que os VPLs calculados são maiores que zero, o Payback é menor que a vida útil do empreendimento (20 anos) e a TIR é superior à TMA.

A Figura 26 demonstra a relação entre o VPL (R\$) e Payback (anos) para a os cenários viáveis da operação 3C.

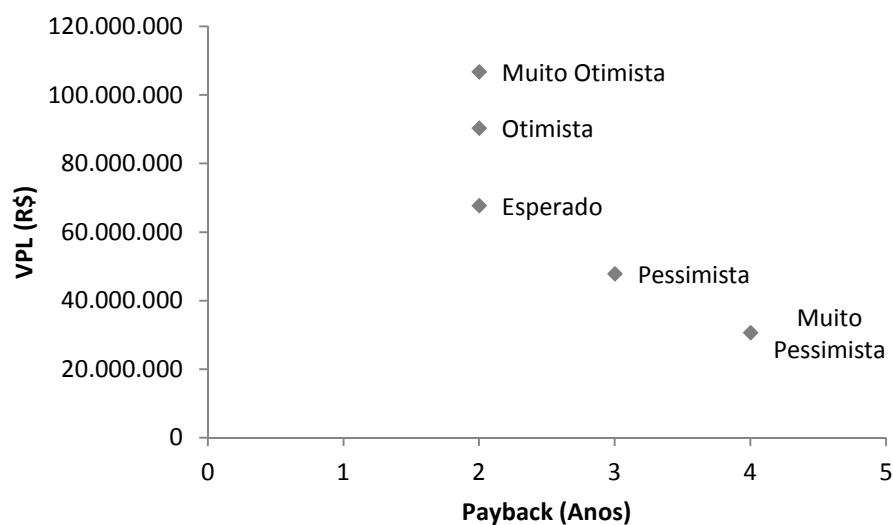


Figura 26 - Relação entre o VPL e o Payback na operação 3C.

A relação entre o preço de venda da tonelada do bagaço da cana e a TIR (Taxa Interna de Retorno) está apresentada na Figura 27, a seguir.

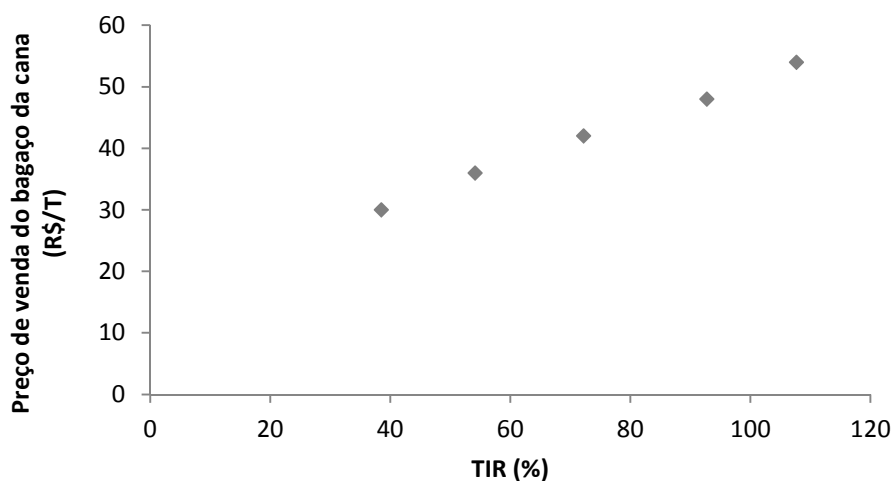


Figura 27 - Relação entre o preço de venda da tonelada do bagaço da cana e a TIR na operação 3C.

De forma análoga as operações 1C e 2C, a Figura 27 demonstra que quanto maior o valor de venda da tonelada do bagaço da cana, maior será a TIR.

A relação benefício-custo (ou índice de lucratividade) considerando o cenário esperado para a operação 3C é de 6,700 o que confirma a viabilidade da operação, uma vez que é superior a 1.

Quando se considera o cenário esperado, o valor acumulado dos fluxos de caixa convertidos a valor presente para a operação 3C, pode ser demonstrado pela Figura 28.

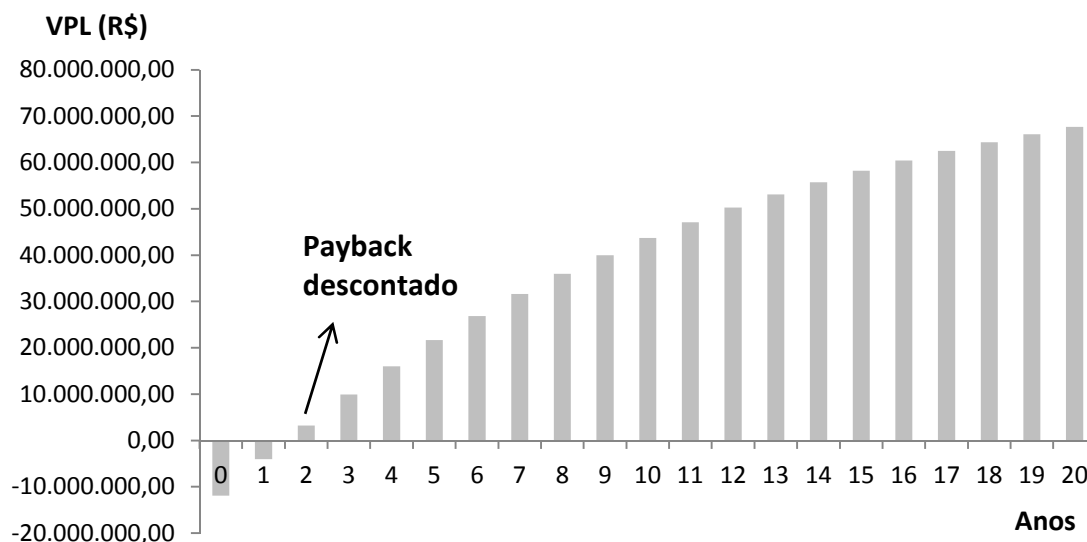


Figura 28 - Valor acumulado dos Fluxos de caixa convertidos a valor presente (Cenário 1 – Op. 3C).

Pode-se verificar, de acordo com o fluxo de caixa do cenário esperado apresentado na Figura 28, que a operação 3C apresenta-se viável economicamente. Nessa operação, para o cenário esperado, o payback descontado corresponde a 2 anos, o VPL é de R\$ 67.702.499,87, a TIR é de 72,15%, comprovando sua viabilidade econômica.

Verificou-se também, para o cenário esperado dessa operação, que o custo de produção do m³ de biogás é de R\$ 0,1759/m³ e o custo de geração do MWh de energia elétrica é de R\$ 117,27/ MWh, uma vez que as horas de funcionamento da planta de biogás é igual ao cenário 3V do cenário 1.

5.2.4 Análise de sensibilidade para o Cenário 2

A análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta para as três operações do cenário 2 é apresentada na tabela 11.

Tabela 11: Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para as três operações em estudo do cenário 2

Percentuais de variação	Operação 1		Operação 2		Operação 3	
	VPL para variação da quantidade e do preço (R\$)	VPL pra variação do custo fixo (R\$)	VPL para variação da quantidade e do preço (R\$)	VPL pra variação do custo fixo (R\$)	VPL para variação da quantidade e do preço (R\$)	VPL pra variação do custo fixo (R\$)
-50%	32.587.772	81.188.786	17.020.935	50.055.113	26.534.002	69.081.246
-45%	37.309.999	81.050.912	20.186.478	49.917.238	30.650.852	68.943.372
-40%	42.032.226	80.913.037	23.352.021	49.779.363	34.767.702	68.805.497
-35%	46.754.452	80.775.162	26.517.564	49.641.488	38.884.551	68.667.622
-30%	51.476.679	80.637.287	29.683.107	49.503.614	43.001.401	68.529.748
-25%	56.198.906	80.499.413	32.848.650	49.365.739	47.118.251	68.391.873
-20%	60.921.132	80.361.538	36.014.193	49.227.864	51.235.101	68.253.998
-15%	65.643.359	80.223.663	39.179.736	49.089.990	55.351.950	68.116.124
-10%	70.365.586	80.085.789	42.345.279	48.952.115	59.468.800	67.978.249
-5%	75.087.812	79.947.914	45.510.822	48.814.240	63.585.650	67.840.374
0%	79.810.039	79.810.039	48.676.366	48.676.366	67.702.499	67.702.499
5%	84.532.266	79.672.164	51.841.909	48.538.491	71.819.349	67.564.625
10%	89.254.492	79.534.290	55.007.452	48.400.616	75.936.199	67.426.750
15%	93.976.719	79.396.415	58.172.995	48.262.741	80.053.048	67.288.875
20%	98.698.946	79.258.540	61.338.538	48.124.867	84.169.898	67.151.001
25%	103.421.173	79.120.666	64.504.081	47.986.992	88.286.748	67.013.126
30%	108.143.399	78.982.791	67.669.624	47.849.117	92.403.598	66.875.251
35%	112.865.626	78.844.916	70.835.167	47.711.243	96.520.447	66.737.376
40%	117.587.853	78.707.041	74.000.710	47.573.368	100.637.297	66.599.502
45%	122.310.079	78.569.167	77.166.253	47.435.493	104.754.147	66.461.627
50%	127.032.306	78.431.292	80.331.796	47.297.618	108.870.996	66.323.752

Fazendo a Análise de Sensibilidade, considerando as três operações em estudo para o cenário 2, verificou-se que o VLP é mais sensível às variações da quantidade vendida e às variações do preço de venda do bagaço da cana (que apresentam os mesmos valores), e pouco sensível às variações dos custos fixos da planta, conforme mostrado na Tabela 11.

Graficamente, esse efeito que a variação da quantidade vendida e de preço tem sobre o VPL fica ainda mais visível, e está representado nas Figuras 29, 30 e 31.

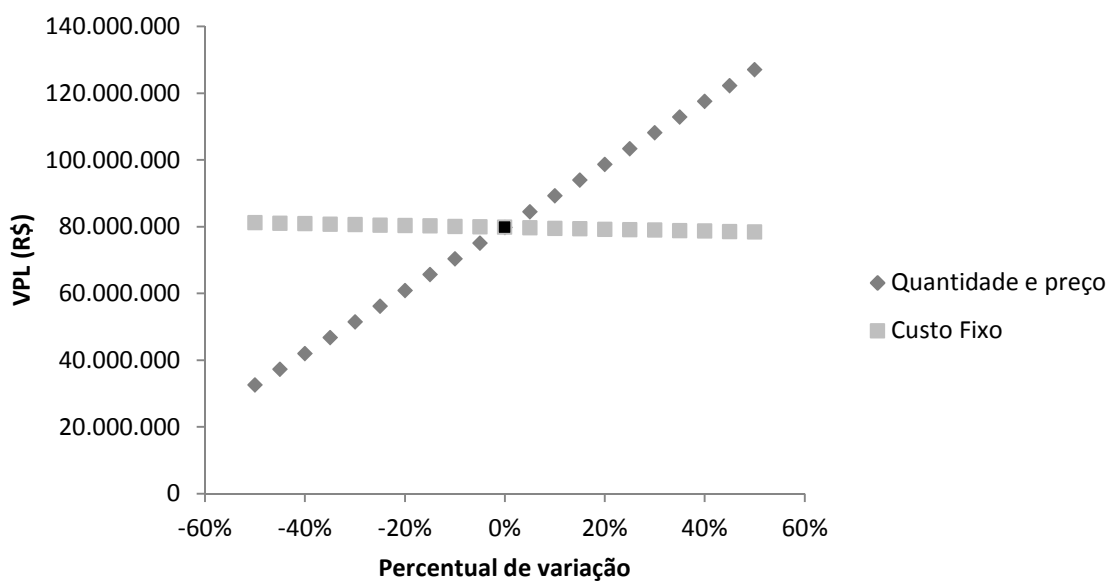


Figura 29 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 1C.

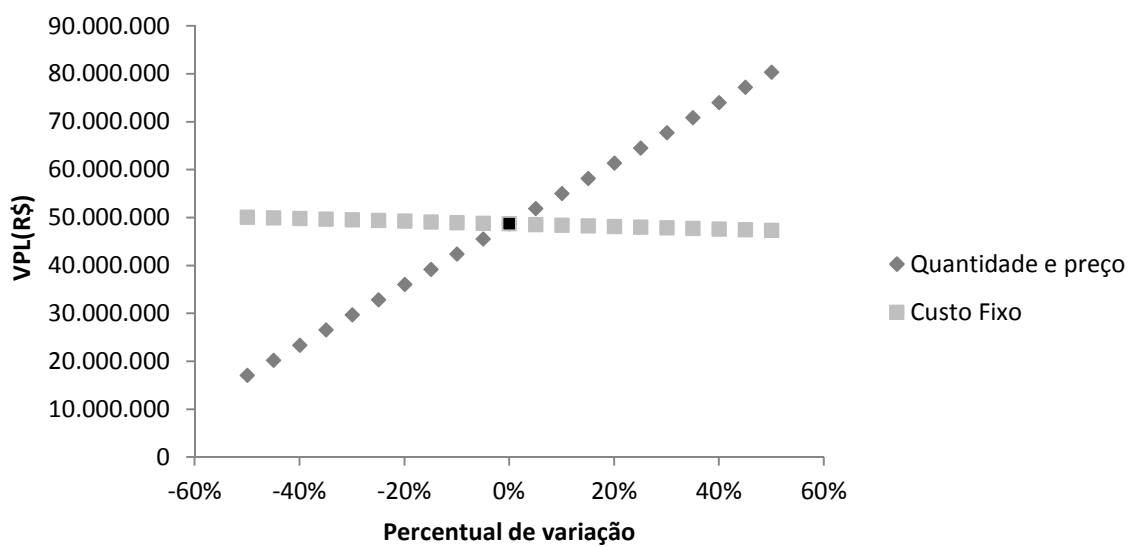


Figura 30 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 2C.

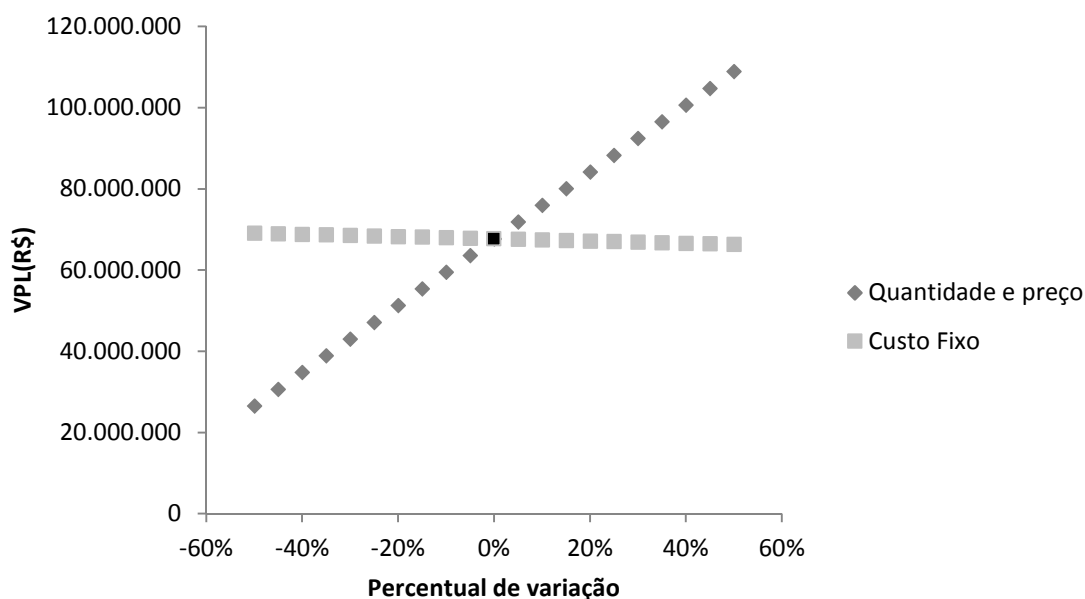


Figura 31 - Análise de sensibilidade do VPL em função da quantidade vendida, do preço de venda e do custo fixo da planta, para a operação 3C.

Os pontos destacados nas três figuras (29, 30 e 31) coincidem exatamente nos VPLs dos cenários esperados para as três operações em estudo.

5.2.5 Análise da probabilidade de risco para o Cenário 2

Semelhantemente a análise da probabilidade de risco realizada para o cenário 1, para o cenário 2, a partir dos valores de venda da tonelada de bagaço da cana de açúcar que variam de R\$ 30,00 a R\$ 54,00, foram calculados a média (42) e o desvio padrão (9,49). A partir disso, utilizando a equação da função densidade de probabilidade normal - Eq. (4), foram gerados 1000 valores aleatórios de x , e calculadas as probabilidades de ocorrência dos mesmos (Figura 32).

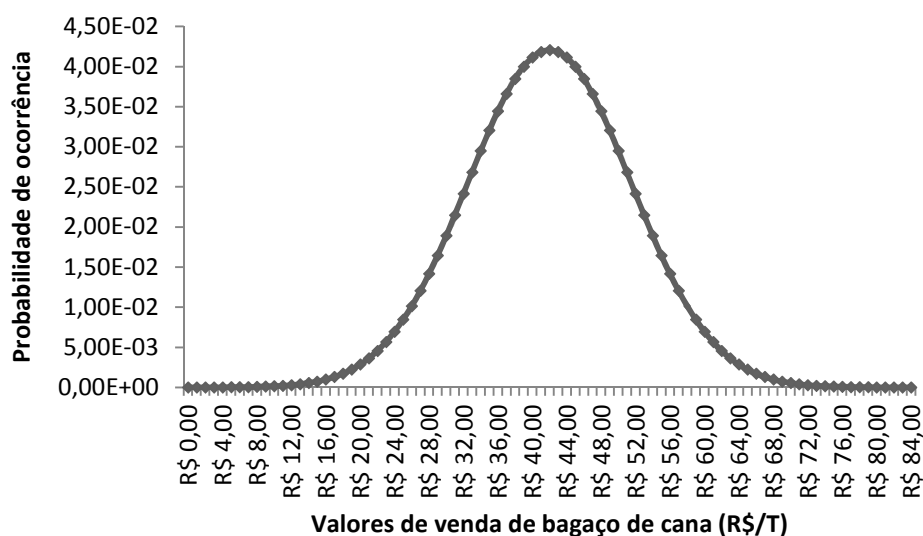


Figura 32 - Gráfico da função densidade de probabilidade normal para o cenário 2.

Da mesma forma que a análise feita para o cenário 1, no cenário 2 foi calculado para cada valor de x gerado o seu respectivo VPL, sendo alguns positivos e outros negativos. Verificou-se então, quantos valores de VPL foram negativos e somaram-se suas respectivas probabilidades de ocorrência, obtendo-se um valor P1. O mesmo foi feito com os valores de VPL positivos, obtendo-se um valor P2. Somou-se P1 com P2 (que representa 100% dos valores gerados), e calculou-se o percentual de cada um deles (P1 e P2) em relação a esse total (soma). Feito isso, P1 representa a probabilidade de haver prejuízo no empreendimento, e P2 a probabilidade de haver lucro.

Dessa maneira, analisando as três operações consideradas no cenário 2, obteve-se uma probabilidade de lucro acima de 99,9% em todas as operações, indicando grande viabilidade econômica.

5.3 COMPARATIVO DA ANÁLISE DOS CENÁRIOS

Considerando os cenários desse estudo, ambos apresentaram-se viáveis economicamente. Tanto o cenário 1 onde considerou-se a venda da energia elétrica gerada a partir da vinhaça para a COPEL, a partir de três modos distintos de operação, quanto ao cenário 2 em que admitiu-se a produção de energia a partir da vinhaça para consumo próprio, onde também foram adotados três modos de operação.

No cenário 1, as três operações consideradas apresentam-se viáveis. No entanto, comparando os cenários esperados para as três operações, pode-se notar que é na operação 1V que a TIR e o VPL são maiores e o tempo de retorno do investimento (Payback descontado) é menor. No cálculo da Análise Probabilística de Risco, a probabilidade de lucro obtida para a Operação 1V foi acima de 99,9%, para a Operação 2V, de 80,6% e para a Operação 3, de 97,5%. Estes dados confirmam uma maior viabilidade do empreendimento para a primeira operação do cenário.

Para o cenário 2 todas as operações estudadas, semelhantemente ao cenário 1, apresentam-se viáveis. Entretanto, o tempo de retorno do investimento considerando esse cenário é muito inferior ao obtido no cenário 1 (máximo 3 anos considerando o cenário esperado). A operação 1C mostrou-se mais satisfatória, por exibir VPL e TIR superior aos obtidos nas operações 2C e 3C. A probabilidade de lucro obtida para as três operações do cenário 2, a partir da Análise Probabilística de Risco, resultaram em valores acima de 99,9%, ou seja, há menos de 0,10% de probabilidade de prejuízo para cada operação desse cenário.

Além disso, na Análise de Sensibilidade, para ambos os cenários (1 e 2) e as três operações em cada cenário (1V, 2V, 3V e 1C, 2C e 3C), verificou-se que o VLP é pouco sensível às variações dos custos fixos da planta e bastante sensível às variações da quantidade vendida e às variações do preço de venda da energia elétrica (cenário 1) e do preço de venda do bagaço da cana (cenário 2).

A Tabela 12 a seguir, apresenta um comparativo entre os cenários de venda de energia (cenário 1) e de utilização para o consumo próprio (cenário 2) considerando o cenário esperado em cada uma das operações.

Tabela 122: Comparativo entre os cenários 1 e 2 a partir do cenário esperado

	Cenário 1			Cenário 2		
	Operação 1V	Operação 2V	Operação 3V	Operação 1C	Operação 2C	Operação 3C
IL	2,27	1,25	1,76	7,72	5,09	6,7
Payback (anos)	6	13	8	2	3	2
TIR (%)	24,12	12,09	18,30	83,12	54,89	72,15
VPL (R\$)	15.085.813	2.977.540	9.031.676	79.810.039	48.676.366	67.702.499

Assim, considerando os cenários estudados e as operações realizadas em cada um deles, pode-se afirmar que a substituição do bagaço, que passaria a ser

vendido, pela vinhaça na geração da energia elétrica para consumo próprio da usina, apresenta-se mais viável economicamente do que a produção de energia, a partir da vinhaça, cujo objetivo seria a venda para a COPEL.

6. CONCLUSÃO

A utilização do biogás para a geração de energia elétrica além de trazer vantagens para o meio ambiente auxilia na questão do gerenciamento dos resíduos.

Um dos fatores que dificultam a implementação de sistemas alternativos para o gerenciamento desses resíduos refere-se, principalmente, aos problemas com a obtenção de financiamentos para esse fim. Nesse sentido, a análise da viabilidade econômica constitui uma das partes fundamentais de uma avaliação de potencial de geração de energia a partir desses resíduos orgânicos.

Nesse estudo de caso da Usina, os dois cenários considerados na implantação de uma planta de geração de 3 MW de energia elétrica para o aproveitamento da vinhaça, apresentaram-se viáveis economicamente. No entanto, analisando os dois cenários estudados e as operações realizadas em cada um deles, pode-se notar que o cenário 2 apresenta-se mais viável economicamente do que o cenário 1. A proposta de substituição do bagaço pela vinhaça para a geração de energia elétrica para consumo próprio na usina é mais interessante do ponto de vista financeiro.

Assim, a análise econômica de um investimento é de extrema importância, pois é a partir dela que se pode concluir de forma clara se a implantação do mesmo é ou não recomendada.

Cabe ressaltar ainda, que a produção de resíduos do processamento da cana de açúcar é muito volumosa, assim, a busca de tecnologias apropriadas para promover o gerenciamento, tratamento e aproveitamento destes resíduos é um fator determinante para um desenvolvimento ambientalmente sustentável para qualquer usina. A utilização de subprodutos como bagaço, palha e vinhaça para a geração de uma energia mais limpa, reflete não apenas na redução do impacto ambiental, mas também confere maior sustentabilidade econômica.

Dessa forma, o aproveitamento da vinhaça para a geração de energia elétrica na Usina, em ambos os cenários estudados, apresenta-se como uma alternativa além de sustentável, economicamente viável.

REFERÊNCIAS

- ALCOPAR. ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE BIOENERGIA DO ESTADO DO PARANÁ. **Indicadores Estatísticos**. Disponível em: < <http://www.alcopar.org.br>>. Acesso em: 18 fev. 2014.
- ALMANÇA, R. **Avaliação do uso da vinhaça da cana-de-açúcar na geração de energia Elétrica (Estudo de caso)**. 1994. 132p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-19012012-180037/pt-br.php>>. Acesso em: 20 fev. 2014.
- ANDRADE, S. C. Um Modelo de Medição de Risco de Crédito. Revista **Resenha BM&F**, n.140, p. 17 – 23, 1998.
- ANDRADE, M. A. N.; NINO, R.; RANZI, T. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2002.
- ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. São Paulo: Atlas, 2009.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14653-4: Avaliação de bens – empreendimentos**. Rio de Janeiro, 2002.
- BARBOSA FILHO, W. P.; AZEVEDO, A. C. S. Geração distribuída: vantagens e desvantagens. In: II Simpósio de estudos e pesquisas em ciências ambientais na Amazônia, 2013, Belém. **Anais...** Belém: Universidade do Estado do Pará, 2013.
- BELAI, H. T. **Uso de subprodutos da indústria sucroalcooleira no manejo de um neossolo quartzarênico órtico típico**. 2006. 74p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2006. Disponível em: < http://www.livrosgratis.com.br/arquivos_livros/cp037851.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2014.
- BINI, A. **Análise Econômica da Produção Industrial e do Consumo de energia Elétrica em uma Usina Sucro-Alcooleira**. 1993. 117p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 1993.
- BNDES. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL; CGEE. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2008.
- BORZACCONI, L.; LOPEZ, I.; VINAS, M. Application of anaerobic digestion to the treatment of agroindustrial effluents in Latin America. **Water Science and Technology**, v. 32, n. 12, p. 105-11. 1995.

BRASIL. **Decreto nº. 5.163, de 30 de julho de 2004**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045163.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2014.

BROWN, B. B.; YIRIDOE, E. K.; GORDON, R. Impact of single versus multiple policy options on the economic feasibility of biogás energy production: Swine and dairy operations in Nova Scotia. **Energy Policy**, v.35, p.4597-4610, 2007.

CABELLO, P. E. ; SCOGNAMIGLIO, F. P.; TERÁN, F. J. C. Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio de leite fluidizado. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 321-338, jan/abr 2009.

CASAROTTO, N. F.; KOPITTKE, B. H. **Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 8.ed. São Paulo: Atlas, 1998.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro/2011**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

COPERSUCAR. COOPERATIVA CENTRAL DOS PRODUTORES DE AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aproveitamento da vinhaça: viabilidade técnico-econômica**. 2. ed. Piracicaba, 1979.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás: independência energética do pantanal mato-grossense**. S.l.: Embrapa, n.9, p.53, out. 1981.

CORAZZA, R. I. Reflexões sobre o papel das políticas ambientais e de ciência e tecnologia na modelagem de opções produtivas “mais limpas” numa perspectiva evolucionista: um estudo sobre o problema da disposição da vinhaça. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 1., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas, 1996. p.1-18.

CRUZ, J. I. da; HOJDA, A.; PORTUGAL, R. de S. Atuação do comitê da bacia hidrográfica do rio pardo na problemática da contaminação de águas subterrâneas pela vinhaça: carência de informações e ações. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24. , 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

DALLA COSTA, R. R. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos da suinocultura brasileira**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

DEBASTIANI, G. **Avaliação da eficiência energética de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico para Cascavel-Paraná**. 2013. 77p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013. Disponível em: <<http://www.unioeste.br/pos/energiaagricultura>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Trabalhos...** Campinas: UNICAMP; SBEA, 2002. 1 CD-ROM.

EPE. EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. **Balço Energético Nacional 2011 – Ano base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

FARIA JR, M. J. A.; PASCHOARELLI JR, D.; SEIXAS, F. J. M. de. Impacto da utilização de inversores em sistemas de geração distribuída sobre equipamentos rurais. In: **Coletânea de Artigos: energias solar e eólica**. v.2. Rio de Janeiro: CRESEB, 2005.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 2003. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 mai. 2014.

GLÓRIA, N. A. da. **Emprego de vinhaça para fertilização**. Piracicaba: Codistil, 1976.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. 3 ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

GOMES, N. M. P. **Integração de dados LIDAR com imagens de muito alta resolução espacial para determinação de áreas urbanas com potencial solar**. 2011. 156p. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2011. Disponível em:
<http://run.unl.pt/bitstream/10362/7179/1/TeseMestrado_Nuno_Gomes_17856.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2014.

GOYAL, S. K.; SETH, R.; HANDA, B. K. Diphasic fixed-film biomethanation of distillery spentwash. **Bioresource Technology**, v. 56, p. 239-44. 1996.

GRANATO, E. F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça**. 2003. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, 2003.

GRANATO, E. F.; SILVA, C. L. Geração de energia elétrica a partir do resíduo vinhaça. In: Encontro Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2002.

GREY, S. **Practical Risk Assessment for Project Management**. England: John Wiley & Sons Ltda, 1995.

HASSUDA, S.; REBOUÇAS, A. C.; CUNHA, R. C. A. Aspectos qualitativos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru. **Revista IG**, São Paulo, v.11, n.2, p.5-20, 1990.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos - condição de partida**. 2005. 157p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102858/214231.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 mai. 2014.

HOJI, M. **Administração Financeira e Orçamentária**. São Paulo: Atlas, 2010.

HOLM-NIELSEN, J.B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**, v.100, n.22, p.5478-5484, 2009.

HUTNAN, M.; HORNAK, M.; BODÍK, I.; HLAVACKA, V. Anaerobic treatment of wheat stillage. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, v. 17, n.3, p. 233-41, 2003.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores Sociais do Censo 2000**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

IPARDES. INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Indicadores Sociais 2000**. Disponível em: < <http://www.ipardes.gov.br/>> Acesso em: 10 jun. 2014.

KAPARAJU, P.; SERRANO, M.; ANGELIDAKI, I. Optimization of biogas production from wheat straw stillage in UASB reactor. **Applied Energy**, v. 87, p. 3779-83, 2010.

LAMO, P. de. **Sistema produtor de gás metano através de tratamento de efluentes industriais**. Piracicaba: Codistil, 1991.

LIMA, H. Q. **Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos**. 2011. 148 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

LUZIO, E. **Finanças corporativas teoria e prática**. S.l: Cengage Learning, 2011.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP; UFPR; IBPT, 1968.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. São Paulo: Nobel, 1980.

MARION, J. C. **Contabilidade empresarial**. 8.ed. São Paulo: Atlas, 1998.

MARQUES, C. A. **Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte primária de energia elétrica**. 2012. 81 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Disponível em: <http://200.201.88.199/porta1pos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Cleber_A_Marques.pdf>. Acesso em: 04 jul.2014.

MENEZES, T. J. B. **Etanol: o combustível do Brasil**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MONETTI, E. **Análise de riscos do investimento em shopping centers**. 1996. 261p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MONTEIRO, C. E., **Disposição final dos despejos líquidos da indústria açucareira e alcooleira**. São Paulo: CETESB, 1977.

NEWMAN, D.; ESCHENBACH, T.; LAVALLE, J. **Engineering Economics Analysis**. 11.ed. Oxford University Press, 2011.

NOGUEIRA, L. H. **Biodigestão: A Alternativa Energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

PARANHOS, S. B. **Cana-de-Açúcar, Cultivo e Utilização**. Campinas: Fundação CARGIL, 1987.

PINTO, C. P. **Tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. 147p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/pinto.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2014.

POMPERMAYER, R. S.; PAULA JUNIOR, D. R. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2000.

RAJESHWARI, K.V.; BALAKRISHNAN, M.; KANSAL, A.; LATA, K.; KISHORE, V. V. N. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.4, p. 135-156, 2000.

REBELATTO, D. **Projeto de Investimento**. São Paulo: Manole, 2004.

RIBAS, M.M.F. **Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio operado em batelada sequencial contendo biomassa imobilizada sob condições termofílicas e mesofílicas**. 2006. 175p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-19032007-171353/pt-br.php>>. Acesso em: 28 abr. 2014.

RODRIGUES, F. F. C.; BORGES, C. L. T.; FALCÃO, D. M. Programação da Contratação de Energia Considerando Geração Distribuída e Incertezas na Previsão de Demanda. **Revista Controle e Automação**, S.l., v.18, n. 3., 2007.

RODRÍGUEZ, C. R. C. **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: o Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2002. 118p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de sistemas energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/dulcemar/Doc_PDF/Tarifas_Energia.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2014.

SALERNO, A. G. **Pré-estudo para Implantação da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça em Usina de Açúcar e Álcool**. Sertãozinho: Zanini S.A, 1991.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimative of the Electric Energy Generating Potential for Different Sources of Biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p.1101–1107, 2009.

SANTOS, A. H. M. **Análise Econômico-Financeira de Centrais Termelétricas**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1999.

SEAB. SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Tabela de pecuária – Ano Base 2011**. Disponível em:<<http://www.agricultura.pr.gov.br/>>. Acesso em: 10 jun.2014.

SESC. SERVIÇO SOCIAL DO COMÉRCIO. **Mesorregiões**. Disponível em: <<http://www2.sescpr.com.br/inventario/regioes.php?cod=13>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

SETH, R.; GOYAL, S. K.; HANDA, B. K. Fixed film biomethanation of distillery spentwash using low cost porous media. **Resources, Conservation and Recycling**, v.14, p. 79-89, 1995.

SEIXAS, J. FOLLE, S. M.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA - DID, 1981.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SILVA, E. P. **Fontes Renováveis de Energia: Geração de Energia Para Um Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Campinas, 1996.

SILVA, J. C. B. **Otimização de sistemas de distribuição utilizando geração distribuída**. 2002. 193p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.pessoal.utfpr.edu.br/jamea/arquivos/Jamea%20Cristina%20Tese%20USP.pdf>>. Acesso em: 28 mai.2014.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,v. 11, n. 1, p. 108-14. 2007.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** 2001. 109 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TOLEDO, L. R. Energia Reciclada & Máquinas para Acelerar o Tempo. **TECNOLOGIA/PESQUISA**, v.33, p. 43-47, 2001.

TRICASE, C., LOMBARDI, M. State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations. **Renewable Energy**, v. 34, p. 477–485, 2009.

VACCARI, G.; TAMBURINI, E.; SGUALDINO, G.; URBANIEC, K.; KLEMES, J. Overview of the environmental problems in beet sugar processing: possible solutions. **Journal of Cleaner Production**. v.13. n.5, p.499-507, 2003.

VIEIRA, S.M.M.; SOUZA, M.E. Métodos analíticos para o acompanhamento da biodigestão. **Energia Fontes Alternativas**, v.3, n. 15, p.26-36, 1981.

WALTER, A. **Fomento à Geração Elétrica com Fontes Renováveis de Energia no Meio Rural Brasileiro: Barreiras, Ações e Perspectivas.** Campinas: Departamento de Energia da UNICAMP, 2000.

WILKIE, A. C. Biomethane from biomass, biowaste and biofuels. In: WALL, J. D.; HARWOOD, C. S.; DEMAİN, A. (Eds.). **Bioenergy**, p. 195-205. Washington D.C.: ASM Press, 2008.

WILLINGTON, I. P.; MARTEN, G. G. Options for handling stillage waste from sugar-based fuel ethanol production. **Resources and Conservation**, v. 8, p. 111-29. 1982.