

UTILIZAÇÃO DA VINHAÇA PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA: UM ESTUDO DE CASO

Silvio Carlos Anibal de Almeida

Universidade Federal do Rio de Janeiro...

Jorge Bastos do Amaral

JB Serviços de Apoio e Desenvolvimento
LTDA

ABSTRACT: The use of biogas for the generation of electric energy, thermal energy has been gaining ground in Brazil and in the world. Biogas is generated by the decomposition of organic matter by bacteria. Several sources can be used, such as: solid urban residues, agricultural residues, animal residues, etc. According to the Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás), Brazil is the country with the greatest potential for producing biogas on the planet, around 84.6 billion cubic meters/year. Brazil is also one of the largest sugarcane producers, processing around 650 million tons per year and generating around 350 billion liters of vinasse. According to the Empresa de Pesquisa Energética – EPE – the use of vinasse biogas for electricity generation represents a potential of around 115,500 GWh/year. This work analyzes the technical and economic feasibility of an electric power generation plant fed by vinasse biogas. An

estimate is made of the biogas generation as a function of the amount of vinasse available at the plant. The motor generators chosen were those manufactured by the company Jenbacher, which have relatively low operating and maintenance costs when compared to turbines. The plant uses 7 motor generators of 3,020 kW of power, which generate 139 thousand MWh/year. The project proved to be both technically and economically viable. The calculated NPV was R\$ 79,323,856.69, with an IRR of 13.59 % and a payback period of 11 years.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Biodigestão, Vinhaça, Geração de Energia.

INTRODUÇÃO

O biogás é um biocombustível que pode ser produzido a partir da decomposição de matéria orgânica proveniente de diversas fontes. A indústria sucroalcooleira gera uma grande quantidade de resíduos, sendo a vinhaça o principal resíduo da produção do etanol. Através do processo de biodigestão anaeróbia, a vinhaça pode ser convertida em biogás e utilizado para fins energéticos.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de caso de uma planta de geração de energia elétrica, alimentada por biogás de vinhaça. Trata-se de uma usina, no interior do Estado de São Paulo, que além de produzir açúcar e etanol de primeira geração, produz também energia elétrica através da queima do bagaço da cana. No estudo da viabilidade econômica considera-se a receita gerada com a venda de 70% da energia gerada em regime de leilão e os outros 30% sendo negociados no mercado livre.

BIOGÁS DE VINHAÇA

O PROBIOGÁS (Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil) tem como foco principal o aproveitamento do biogás gerado no tratamento anaeróbio dos esgotos sanitários, dos resíduos sólidos urbanos, agropecuários e dos efluentes agroindustriais. O biogás gerado tem diversas aplicações, sendo as principais a geração de eletricidade e a produção de biometano (BNDES 2018).

A vinhaça possui em sua composição características altamente nutritivas, e ao mesmo tempo, poluentes. O seu principal uso é a fertirrigação da lavoura de cana-de-açúcar, devido aos nutrientes existentes em sua composição, tais como nitrogênio, fósforo e potássio. No entanto, a utilização de forma inadequada da vinhaça pode acarretar a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Sabe-se que o volume de vinhaça gerado é da ordem de 10 a 12 litros por litro de etanol produzido (Gehring, 2014).

A biodigestão anaeróbia da vinhaça surge como uma alternativa interessante de tratamento deste subproduto, pois além da produção de biogás, ocorre a redução de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) do resíduo, sem ocorrer alteração no potencial nutricional, podendo ser reutilizado na lavoura de cana-de-açúcar (Rocha, 2012).

O Brasil hoje é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, com uma capacidade de processamento de cerca de 650 milhões de toneladas por ano. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, o país chega a produzir cerca de 350 bilhões de litros de vinhaça por ano, que podem gerar cerca de 50 bilhões de Nm³/ano de biogás (EPE, 2020). A geração de energia para esse volume de biogás é de cerca de 115 mil GWh/ano (Fernandes, 2017).

A digestão anaeróbica da vinhaça é feita em reatores de alto desempenho e baixo tempo de retenção, como os biodigestores do tipo Fluxo Ascendente e de Manta de Lodo (UASB) (Longo, 2015). As principais vantagens dos reatores UASB são: baixo custo de implantação e operação, alta eficiência de remoção de DBO e DQO, baixos níveis de produção de lodo e de consumo de energia. O poder calorífico inferior (PCI) do biogás depende da porcentagem de metano presente em sua composição, mas estima-se um valor na faixa de 20,9 a 25,1 MJ/m³ (Avellar, 2001). Para garantir a viabilidade do uso do biogás, processos de filtragem devem ser executados, a fim de remover umidade, dióxido de carbono, gás sulfídrico, entre outros contaminantes, fazendo com que o biogás seja muito similar ao gás natural convencional.

Purificação do Biogás

A presença de substâncias não combustíveis, tais como a água e o dióxido de carbono, prejudicam o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Além destas impurezas, a presença do sulfeto de hidrogênio (H₂S) é indesejável, por ser um gás corrosivo, podendo danificar tubulações, tanques de armazenagem e os equipamentos para conversão térmica. Para viabilizar a utilização de biogás em motores, é necessário reduzir a concentração do H₂S através de processos de purificação. Para ser utilizado em motores de combustão interna, é necessário que a concentração de H₂S presente no biogás não exceda a 0,05 % em volume (Gehring,2014).

Existem diversas maneiras de se purificar o biogás conforme a necessidade e opções tecnológicas presentes no mercado. A Tabela 1 ilustra as diversas técnicas que podem ser empregadas para purificação do biogás.

Impurezas	Descrição Geral	Detalhes
Água	Adsorção	Sílica Gel Peneira molecular Alumina Etileno Glicol
	Absorção	Temperatura -6,7 °C Selexol
	Resfriamento	Resfriamento a 2 °C
CO2 e H ₂ S	Absorção	Solventes orgânicos Selexol Flúor Rectisol Soluções de sais alcalinos Potássio quente e potássio quente inibido Alcalonaminas Mono, di - tri - etano - amina Deglicolamina Ucarsol-CR
	Adsorção	Peneira molecular Carvão ativado
	Separação por membranas	Membrana de fibra ocas

Tabela 1 - Técnicas para purificação de impurezas do biogás

Fonte: Alves (2000, p. 59)

A dessulfurização do biogás pode ser feita por diversos métodos: biológicos, químicos ou físicos, e podem ser internos ou externos ao biodigestor. A Tabela 2 ilustra alguns desses métodos. Em um projeto, a escolha do método adequado depende do grau de pureza do biogás exigido no processo, das vazões disponíveis e necessárias e do cálculo de viabilidade econômica.

Processo	Injeção de ar	Pureza em ppmv	Problemas
Bodessulfurização no digestor	Sim	50 - 2000	Falta de exatidão no controle do processo
Biodessulfurização externa	Sim	50 - 100	Falta de exatidão no controle do processo
Lavador biológico de gás	Não	50 - 100	Complexidade elevada
Precipitação de sulfeto	Não	51 - 100	Processo lento
Dessulfurização química interna	Sim	1 - 100	Efeito purificador reduzido drasticamente
Carvão ativado	Sim	< 5	Grandes quantidades eliminadas
Biodessulfurização externa	Sim	50 - 100	Falta de exatidão no controle do processo
Lavador biológico de gás	Não	50 - 100	Complexidade elevada
Precipitação de sulfeto	Não	51 - 100	Processo lento
Dessulfurização química interna	Sim	1 - 100	Efeito purificador reduzido drasticamente
Carvão ativado	Sim	< 5	Grandes quantidades eliminadas

Tabela 2 - Processos de Dessulfurização.

Fonte: Adaptado de Gehring (2014)

Os processos mais utilizados atualmente são a Biodessulfurização no digestor, que apesar de ser muito vantajoso na eliminação não oferece uma exatidão no controle do processo, e o uso posterior de carvão ativado com uso de ar de forma externa ao fermentador e o lavador biológico de gás.

METODOLOGIA

O objetivo desse estudo de caso é estimar a produção de eletricidade a partir da biodigestão da vinhaça em uma usina sucroalcooleira. Os dados utilizados para realizar esse estudo de caso foram os da Usina Bonfim, na cidade de Guariba (SP) (Canal Energia, 2020). A Usina já produz energia elétrica a partir da queima do bagaço de cana e dispõe de uma subestação de interligação com a linha de Transmissão, o que reduz significativamente os custos do projeto. Por limitação de espaço, o presente estudo vai focar apenas na implantação de da planta de geração de eletricidade (UTE), tendo com fonte o biogás produzido pela digestão da vinhaça. O trabalho de Bastos (2021) descreve com detalhe a usina, o sistema de purificação e resfriamento após o biogás deixar os biodigestores. Com base nos dados da safra de 2019/2020 foi feita a estimativa da produção de biogás. A partir desse dado e das condições do biogás que sai do sistema de tratamento (Bastos, 2021), é possível estimar a energia que pode ser gerada e fazer o dimensionamento da UTE.

O sistema para produção de energia é dividido em quatro blocos:

1. Biodigestores anaeróbios – reatores UASB (Produção do Biogás)
2. Planta de purificação e tratamento do Biogás (Dessulfurizadores e sistema de secagem e aquecimento do Biogás)
3. Power House – onde o serão instalados os motogeradores
4. Subestação de Medição e transformação da energia elétrica gerada para despacho na rede.

A vinhaça proveniente do processo de produção do etanol na usina é levada para reatores de biodigestão anaeróbia (2 reatores UASB). Após o processo de biodigestão, o biogás gerado é resfriado e purificado. Os objetivos desses processos são reduzir a unidade e a presença de H_2S , de forma a atingir os níveis necessários de pureza para serem utilizado como combustível na Power House, gerando energia elétrica. Depois de passar pelas salas de controle e proteção, a energia chega à subestação de interligação, sendo finalmente enviada para as linhas de transmissão (de Castro, 2018)

PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A usina possui uma capacidade de moagem de 4,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano, no regime de safra e entressafra, com uma safra média que dura 280 dias e se inicia entre os meses de março e abril (Bastos, 2021). Considerando as taxas de conversões de produção de etanol e de vinhaça reportadas na literatura (Gehring, 2014):

- Taxa de produção de cana-de-açúcar para álcool: 1 tonelada = 90 litros
- Taxa de produção de álcool para vinhaça: 1 litro = 13 litros

A Tabela 3 apresenta a estimativa de produção de vinhaça considerando a safra de 280 dias.

Dado	Valor	Unidade
Safra	280	Dias
Moagem de Cana	4.500.000	Ton
Produção de Etanol	405.000	m³/safra
Produção de Vinhaça	5.265.000	m³/safra
	18.804	m³/dia
	783	m³/h
Produção de Carga Orgânica	28,9	kg DQO/m³ de vinhaça

Tabela 3 - Produção de Vinhaça

Fonte: Adaptação de (RAMOS, 2019)

Considerando valor de 13 de Nm^3 de biogás por m^3 de vinhaça (Gehring, 2014), pode-se projetar a quantidade de biogás que terá disponível, bem como sua vazão, conforme ilustrado na Tabela 4.

Dado	Valor	Unidade
Taxa de produção de biogás	13	Nm³ de biogás / m³ de vinhaça
Produção de Vinhaça	5.265.000 18.804 783	m³/safra m³/dia m³/h
Produção de Biogás	68.445.000 244.446 10.185	Nm³/safra Nm³/dia Nm³/h

Tabela 4 - Produção de Biogás

Fonte: Produzido pelo autor

Segundo Bastos (2021) a concentração de metano (CH₄) produzido deve estar na faixa de 50% a 60%, com uma temperatura de 35 a 43 °C na saída do biodigestor. O sistema de purificação do H₂S, terá capacidade para tratar até 11.000 Nm³ de biogás por hora, divididos em duas plantas de igual capacidade que trabalharão em paralelo, reduzindo o conteúdo de H₂S de 10.000 ppmV para cerca de 80 ppmV. Normalmente a umidade e a temperatura do biogás gerado em um biodigestor são elevadas e acima das permitidas para o uso em equipamentos tais como turbinas e motores. Para eliminar a umidade, o biogás é resfriado, condensando a umidade, e depois aquecido até a temperatura correta, reduzindo assim a umidade relativa. O sistema de remoção de umidade consiste em um chiller elétrico de esfriamento de água, um trocador casco-tubo de esfriamento de biogás a partir da água gelada produzida pelo chiller elétrico e um sistema de retenção e remoção dos condensados gerados no trocador, com capacidade para trabalho com pressão negativa no circuito.

Após esses dois processos, remoção do H₂S e da umidade, o biogás possui um PCI 17.710 kJ/kg. A partir dos dados da Tabela 4, pode-se calcular a energia disponível pela Equação 1 (Bastos,., 2021):

$$E_p = \frac{Q_{\text{biogás}} \times \text{PCI}_{\text{biogás}} \times 1,2143 \times 0,00116}{1000} \quad (1)$$

Onde:

E_p = Energia primaria disponível (MWh ano);

68,4 milhões = $Q_{\text{biogás}}$ disponível (m³/ano);

4.230 = PCI biogás (kJ/kg);

1,2143 = Massa específica do Biogás (kg/Nm³);

0,00116 = Fator de conversão de “kJ” para “kWh”;

1000 = Fator de conversão de “kW” para “MW”;

A energia gerada, de acordo com a Equação 1, é 407.818 MWh/ano, que corresponde ao máximo teórico de energia elétrica que poderíamos gerar a partir da quantidade de biogás produzida na planta. Porém sabemos que as tecnologias de conversão como motogeradores e turbinas, disponíveis possuem rendimentos elétricos abaixo dos 45% (Gehring, 2014). Pode-se calcular a Potência média que poderá ser instalada com essa vazão de biogás disponível pela Equação 2 (Bastos, 2021):

$$PE = \frac{Q_{\text{biogás}} \times PCI_{\text{biogás}} \times 1,2143 \times \eta_{\text{médio}} \times 4,1868}{3600} \quad (2)$$

Onde:

PE = Potência elétrica (kW);

10.185 = $Q_{\text{biogás}}$ é a vazão de biogás (m^3/h);

4.230 = PCI (kcal/kg);

1,2143 = Massa específica do Biogás (kg/Nm^3);

$\eta_{\text{médio}}$ = Eficiência média (%)

4,1868 = Fator de conversão de “kcal” para “kJ”;

3.600 = Fator de conversão de “h” para “segundos”;

Considerando a eficiência média ($\eta_{\text{médio}}$) 40%, projeta-se a uma potência máxima a ser instalada de cerca de 24,3 MWe. +

SELEÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

O biogás pode ser queimado em turbinas a gás ou em motores de combustão interna. Os motores de combustão interna geralmente atendem melhor a esse tipo de projeto por serem mais robustos e por apresentarem menores custos de manutenção. Possuem uma vida útil entre 30.000 a 60.000 h, com um custo de operação e manutenção relativamente baixo, quando comparado a turbinas, e conseguem entregar índices de disponibilidade de mais de 92%, quando trabalhando em regime contínuo. Os motogeradores mais modernos apresentam eficiência de geração de energia elétrica de até 43%. Outro fator importante, a ser levado em consideração, é a modularidade, de forma que, em caso de avarias inesperadas nos motores ou no sistema de biogás por exemplo, é possível operar a planta sem problemas. No caso desse projeto, como a planta irá trabalhar em regime de safra e entressafra, estima-se que disponibilidade dos motores alcance 98% durante os meses de funcionamento (período de safra, 280 dias). Ficando com uma disponibilidade anual total em cerca de 75% (INNIO, 2021).

Dentre os diversos grupos geradores a gás no mercado, foram escolhidos os da fabricante austríaca Jenbacher, que foi recentemente comprada da GE – General Elétric – pelo Grupo INNIO. Esses grupos geradores foram escolhidos pela melhor eficiência e por disponibilizarem a tecnologia mais avançada atualmente. Eles possuem uma grande variedade de motores que vão de 200 kW até 10 MW de potência (INNIO, 2021).

Foi enviada uma amostra do biogás produzido pela usina para o fabricante do motogerador. Após análise da amostra o fabricante faz uma simulação do funcionamento do motor, de forma a executar os ajustes necessários para que o motogerador atenda da melhor forma possível o projeto. Depois dessa análise, o fabricante fornece a ficha técnica específica do motogerador, com todos os parâmetros já calculados para o biogás do projeto. Os dados do motogerador estão descritos na Tabela 5.

Modelo:	JMS620
Combustível:	Biogás
Potência elétrica:	3.020 kWe
Consumo de energia primária:	7054 kW
Rendimento elétrico (nominal):	42,8%
Pressão no regulador de biogás (principal):	120 mbar
Nº. de cilindros:	20 em "V" 60º
Cilindrada:	124,75 L
Regime de trabalho:	1,500 rpm
Tensão nominal do gerador	13,8 kV
Ciclo:	Otto 4 tempos

Tabela 5 - Ficha técnica motogerador Jenbacher JMS620

Fonte: Innio Group (2021, p.2)

Sabendo que o motogerador consome 7054 kW de energia primária, que é o biogás, e a transforma em 3020 kW energia elétrica a uma eficiência de 42,8%, pode-se calcular a vazão de biogás consumida e o número de motogeradores necessários pela Equação 3 (Bastos, 2021):

$$Q_{\text{biogás do motor}} = \frac{\text{Consumo de energia primaria}}{\text{PCIbiogás} \times 1,2143 \times 0,00116} \quad (3)$$

Onde:

$Q_{\text{biogás do motor}}$ = Vazão necessária para o motor funcionar a 100% de carga

7054 = Consumo de energia primária (kW);

4.230 = PCIbiogás (kcal/kg);

1,2143 = Massa específica do Biogás (kg/Nm³);

0,00116 = Fator de conversão de "kcal" para "kWh";

A Equação 3 permite calcular a vazão de biogás consumida em cada motogerador, que é 1.185 m³/h. Com os dados da Tabela 6, pode-se calcular o consumo total de biogás do sistema.

Modelo do Motor	JMS 620 – Jenbacher 60 Hz
Potência unitária	3020 kW
Consumo unitário de biogás	1.185 m³/h
Quantidade instalada	7 unidades
Consumo total de biogás	8.295 m³/h
Potência total instalada	21.140 kWe
Disponibilidade	98%

Tabela 6 -Características da Planta de Geração

Fonte: Produzido pelo autor

O consumo de biogás pelo sistema é de 8.295 m³/h. Como são produzidos 10.185 m³/h, um 8º motogerador ainda poderia ser instalado. No entanto, o projeto decidiu instalar apenas 7 motogeradores e a compra e instalação do 8º motogerador será reavaliada futuramente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados definitivos dos motores disponíveis de possível calcularmos a energia total gerada na planta através da Equação 4 (Bastos, 2021):

$$E_t = \frac{N \times P \times H \times D}{1000} \quad (4)$$

Onde:

E_t = Energia total gerada (MWh ano);

N = Número total de motores (7);

P = Potência unitária do motor (3.020 kW);

H = Horas anuais de trabalho (6.720 h)

D = Disponibilidade (98 %)

1000 = Fator de conversão de “kWh” para “MWh”

Considerando que a safra da usina dura 280 dias (6720 h) (Canal Energia 2020)., pode-se estimar a energia gerada: $E_t = 139.219,6$ MWh ano.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA

O projeto tem como foco a geração de energia para ser despachada no SIN e como interesse principal a venda em leilão regulado pela ANEEL de energia nova. Esse leilão, do tipo A-5, significa que o projeto tem 5 anos para ser desenvolvido e a partir de então ele precisa fornecer a energia que foi contratada, pelo preço acordado e durante o período também acordado, que geralmente são de 25 anos. A planta é capaz de produzir cerca de 139 mil MWh/ano e que tem prazo estimado de construção de 3 anos.

Por ser um projeto de geração de energia proveniente de uma fonte renovável, a energia gerada nessa planta é considerada energia incentivada. Isso significa que tanto o gerador quanto o consumidor dessas fontes têm direito a descontos nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão (TUST) e de distribuição (TUSD).

O projeto possui um valor estimado de investimento de R\$ 129.893.000,00. A Tabela 7 apresenta os custos de Instalação (CAPEX), assim como o custo de Operação e Manutenção estimado da planta (OPEX), que terão como base de reajuste anual a inflação medida pelo índice IPCA.

Dentro do custo da Power House, é necessário destacar o custo associado aos motogeradores. Como a vida útil dos geradores é de 60.000 horas, de acordo com o fabricante, se faz necessária a substituição dos motores ao longo da vida útil do projeto, que é de 25 anos. Geralmente, os fabricantes fazem acordos com os clientes para a recompra

dos motogeradores antigos, abatendo do valor da venda dos motogeradores novos. A projeção para esse projeto é de que cada troca dos 7 motores, o valor do investimento fique em torno dos R\$ 20.000.000,00. Esse custo será imputado no fluxo de caixa de cada cenário a cada 60.000 horas.

Sistema	CAPEX	OPEX
Sede Adm + infra geral	R\$ 11.000.000,00	R\$ 660.000,00
Biodigestores	R\$ 48.343.000,00	R\$ 1.933.720,00
Sistema de tratamento	R\$ 12.430.000,00	R\$ 621.500,00
Power House	R\$ 46.350.000,00	R\$ 6.489.000,00
Subestação	R\$ 11.770.000,00	R\$ 823.900,00
TOTAL	R\$ 129.893.000,00	R\$ 10.528.120,00

Tabela 7 - Custos do Projeto
 Fonte: Produzido pelo autor

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) ou taxa de desconto que foi adotada para esse projeto foi de (8,19% a.a.) e foi obtida através do cálculo do WACC – *Weighted Average Cost of Capital* – (“WACC,” n.d.), que nada mais é do que uma média ponderada dos custos do capital levantado pela empresa para aplicar no projeto, seja ele capital de terceiros ou capital próprio. Os custos com capital de terceiros (11,26%), empréstimos, foram obtidos através do simulador de financiamentos disponível no site do BNDES para projetos incentivados, ou seja, que invistam em setores prioritários como saneamento, geração de energia renovável, modais ferroviário e hidroviário e portos e outros. Já o custo de capital próprio (20,00%) foi o obtido através de consulta a empresas do setor sucroalcooleiro. Também foi considerado para o cálculo do WACC que a empresa é optante pelo modelo de Lucro Real e que o Imposto de Renda a ser descontado do seu Lucro Líquido (descontado a depreciação) é de 34%.

As análises das operações foram feitas considerando o tempo de contrato do leilão com a ANEEL e considerando que a despesa com combustível nesse projeto é igual a 0, dado que o biogás é gerado através da vinhaça, que são rejeitos do processo de produção de etanol.

Para correção dos valores como Operação & Manutenção, tarifa de energia e compra de novos equipamentos ao longo da vida útil da planta, foi considerado uma correção pela inflação IPCA média de 3,50%. Todos esses dados estão resumidos na Tabela 8.

Empréstimo	R\$ 122.087.000,00
Taxa de empréstimo	11,26%
Capital próprio	R\$ 7.806.000,00
Custo de Capital	20,00%
WACC com IR (34%)	8,19%

Tabela 8 - Dados Preliminares
 Fonte: Produzido pelo autor

Foi considerado um cenário em que a planta entrará em operação 2 anos antes do início da obrigação contratual com a ANEEL, e que toda a energia gerada nesses 2 primeiros anos será vendida no Mercado Livre e que após essa data, 70% da energia gerada será vendida em leilão e terá o preço de 237,48 R\$/MWh (Preço médio 37º Leilão de Energia Nova A-5) e o restante será vendido no Mercado Livre. O preço médio dos últimos 60 meses R\$ 181,85 (CCEE, 2023)

Nesse cenário, os investimentos para a troca dos motores ocorrerão nos anos 10, 17 e 24 foram considerados no cálculo do fluxo de caixa previsto para o projeto. Fazendo o fluxo de caixa, foi encontrado um VPL positivo de R\$ 79.323.856,69 e uma TIR de 13,59%. O payback descontado corresponde a 11 anos, considerado após a entrada da planta em operação.

Foi realizada uma análise de sensibilidade e para que a TIR seja igual ao WACC (VPL = 0) os preços utilizados para realização deste estudo teriam que cair entorno de 23,26%. Na outra ponta para que a TIR fosse igual ao Custo de Capital Próprio os preços teriam que subir entorno de 35,17%.

CONCLUSÃO

O presente trabalho faz uma análise a viabilidade técnica e econômica de uma planta de geração de energia elétrica alimentada por biogás de vinhaça. Foram escolhidos motogeradores fabricados pela empresa Jenbacher, que apresentam custos de operação e manutenção relativamente baixos quando comparados com turbinas. A usina utiliza 7 motogeradores de 3020 kW de potência, que geram 139 mil MWh/ano. O projeto se mostrou viável tanto técnica com economicamente. O VPL calculado foi R\$ 79.323.856,69, a TIR de 13,59% e payback de 11 anos.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso do biogás gerado pela digestão anaeróbica de resíduos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 2000. Disponível em: < <https://repositorio.usp.br/item/001202032>>. Acesso em: 01 mar. 2025.

AVELLAR, L. H. **A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental**. Tese de Doutorado - UNESP. Guaratinguetá, SP, 2001.

BASTOS, P. A. **Potencial de Geração de Energia Elétrica Através do Biogás de Vinhaça**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. PROGRAMA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO - COPPE/UFRJ, 2021.

BNDES. Biogás: a próxima fronteira da energia renovável. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/biogas>>. Acesso em: 26 fev. 2025.

CCEE - **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, Painel de Preços**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/en/precos/painel-precos>. Acesso em 14 jul 2023.

EPE, 2020. Empresa de Planejamento Energético. **Estudo Biogás no Brasil: Visão atual e futura**. Outubro de 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias>> Acesso em: 05 mar. 2023.

FERNANDES, G. P. **Potencial Energético do Biogás a partir do Tratamento da Vinhaça - Estudo de Caso em Usina Sucroenergética no estado de Goiás**. 2017. Disponível em: <<https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/d28d61c5-5d27-411e-9eda-d5fc886dce5c/GISELE%20PULZ%20FERNANDES%202017.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2025.

GEHRING, C. G. **Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na fermentação anaeróbica de vinhaça**. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2014, Disponível em: <<https://bdta.abcd.usp.br/item/003170414>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

MICUANSKI, V. C. **Viabilidade técnica e econômica da utilização da vinhaça para geração de energia elétrica: estudo de caso**. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2014.

MIGRATIO ENERGIA. **Informativo Semanal**, nº 80, 09 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://migratio.com.br/post/informativo-semanal-80>. Acesso em 06 mar 2021.

INNIO. **Ficha Técnica Jenbacher tipo 6**. Disponível em:<https://www.jenbacher.com/images/medias/files/5794/innio_ets_t6_a4_pt_2023_screen_ijb-123006-pt.pdf> Acesso em 05 mar 2021

LONGO, Rodrigo Rodrigues. **Geração de metano em reator UASB: Avaliação de parâmetros de monitoramento para controle do processo de tratamento anaeróbio de vinhaça**. 2015. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde13082015102042/publico/Dissertacao_Rodrigo_Rodrigues_Longo.pdf . Acesso em 06 mar 2021.

RAMOS, L.R.. **Aproveitamento energético da vinhaça de cana-de-açúcar pela biodigestão em dois estágios em reatores anaeróbios de leito fluidizado: mesofílico e termofílico**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/13496>. Acesso em 05 mar 2021.

ROCHA, Vinícius Carvalho. **Processamento anaeróbio de vinhaça pré-tratada com biopolímero à base de cálcio**. 2012. *Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012*. doi:10.11606/D.18.2012.tde-14062012-100601. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14062012-100601/pt-br.php> Acesso em 20 mar 2021.

WACC. Disponível em: <<https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/what-is-wacc-formula/>>. Acesso em: 26 fev. 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UFRJ pelo apoio financeiro para realização dessa pesquisa.