

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

WILLIAN FELIPE STENCEL

**GERAÇÃO COMPARTILHADA A PARTIR DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA EM
UMA UNIDADE CONSUMIDORA INDUSTRIAL**

MEDIANEIRA

2022

WILLIAN FELIPE STENCEL

**GERAÇÃO COMPARTILHADA A PARTIR DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA EM
UMA UNIDADE CONSUMIDORA INDUSTRIAL**

Shared power generation from pigs biogas in an industrial consumer unit

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Evandro Andre Konopatzki

Coorientadora: Cristiane Lionço de Oliveira

MEDIANEIRA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

WILLIAN FELIPE STENCEL

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA GERAÇÃO COMPARTILHADA A PARTIR DO
USO DE BIOGÁS DA SUINOCULTURA EM UMA UNIDADE CONSUMIDORA
INDUSTRIAL NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10/junho/2022

Evandro André Konopatzki
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cristiane Lionço de Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Filipe Marangoni
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Thiago Edwiges
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

MEDIANEIRA

2022

AGRADECIMENTOS

A universidade faz parte de um ciclo transformador em nossas vidas, não só pelo conhecimento adquirido, mas também por todas as pessoas que passaram por nós e que de alguma forma nos ajudou a se tornar pessoas melhores. E neste ciclo que se encerra eu não poderia deixar de agradecer a todos aqueles que estiveram comigo nestes últimos anos. Agradeço aos meus amigos que me apoiaram e fizeram com que os percalços desse período fossem levados com alegria.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Andre Konopatzki, por toda atenção e de me auxiliar com seu conhecimento na realização deste trabalho.

Agradeço à minha coorientadora Prof.^a Cristiane Lionço de Oliveira, por toda sugestão e contribuição neste estudo.

Gostaria de agradecer também à minha família, que sempre esteve ao meu lado, mesmo que de longe, e me apoiou nessa trajetória. E um agradecimento especialmente à minha mãe, Lenice, por ser a minha inspiração de vida e exemplo de profissional que eu quero ser.

RESUMO

Um dos gastos no setor industrial é a energia elétrica e administrar essa despesa pode trazer economia para a unidade consumidora e torná-la mais competitiva no mercado. Este trabalho apresentou um estudo de caso de eficiência energética usando geração compartilhada para minimizar as despesas na fatura de energia elétrica de uma indústria do ramo cerâmico, situada no município de Itaipulândia/PR. Foram realizadas análises das faturas de energia para caracterização da demanda e do consumo dessa unidade; e o levantamento de cargas no local para avaliar a possibilidade de alteração do horário de utilização dos equipamentos elétricos. Também foi objeto deste trabalho o dimensionamento teórico de uma usina de geração de energia a partir do biogás produzido em uma propriedade rural de suinocultura, localizada próxima da indústria cerâmica. Os estudos técnicos preliminares foram seguidos de uma análise de indicadores econômicos para verificação da viabilidade de geração compartilhada por consórcio entre a propriedade rural e a indústria cerâmica. Como resultado dessa pesquisa, foi possível determinar a modalidade verde como a melhor contratação entre a indústria e a concessionária distribuidora (horária verde). O estudo preliminar mostrou a necessidade de um biodigestor do tipo BLC com 1.947 m³ e grupo motor gerador de 50 kVA no custo total estimado de R\$ 408.425,55. Com os créditos da geração compartilhada foi possível estimar uma redução anual de gastos na fatura de energia elétrica de aproximadamente R\$ 58.131,24 (13,61%), o que pode tornar a empresa mais lucrativa e competitiva no mercado. Dentre as conclusões destaca-se que o manejo do substrato animal para geração de energia elétrica e material biofertilizante na propriedade rural pode ser um negócio sustentável e viável.

Palavras-chave: energia renovável; biodigestor; biomassa; geração compartilhada.

ABSTRACT

One of the expenses in the industrial sector is electricity and managing this expense can bring savings to the consumer unit and make it more competitive in the market. This work presented a case study of energy efficiency using shared generation to minimize the expenses in the electric energy bill of a ceramic industry, located in the municipality of Itaipulândia/PR. Analyzes of energy bills were carried out to characterize the demand and consumption of this unit and lifting loads on-site to assess the possibility of changing the time of use of electrical equipment. The theoretical design of a power generation plant from biogas produced on a rural swine farm, located close to the ceramic industry, was also the object of this work. The preliminary technical studies were followed by an analysis of economic indicators to verify the feasibility of shared generation by a consortium between rural property and the ceramic industry. As a result of this research, it was possible to determine the green modality as the best contract between the industry and the distribution concessionaire (green time). The preliminary study showed the need for a BLC-type biodigester with 1,947 m³ and a 50 kVA engine generator set at an estimated total cost of R\$ 408,425.55. With the shared generation credits, it was possible to estimate an annual cost reduction in the electricity bill of approximately R\$ 58,131.24 (13.61%), which could make the company more profitable and competitive in the market. Among the conclusions, it is highlighted that the handling of the animal substrate for the generation of electric energy and biofertilizer material in the rural property can be a sustainable and viable business.

Keywords: renewable energy; biodigester; biomass; shared generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Áreas propensas a instalação de biodigestores no Paraná.	21
Figura 2 - Flare tipo aberto	24
Figura 3 – Visão superior do biodigestor BLC retangular	42
Figura 4 - Temperatura média anual por faixas no estado do Paraná	42
Figura 5 - Esquemático de aquecimento do biodigestor	43
Figura 6 - Esquemático de passos para efetivação do consórcio de energia	46
Gráfico 1 - Dados da demanda utilizados para comparação.....	28
Gráfico 2 - Potência de operação do gerador ao longo do dia	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorização dos suínos	23
Quadro 2 - Modalidade Tarifária Verde - Grupo A3a.....	29
Quadro 3 - Modalidade Tarifária Azul - Grupo A3a	29
Quadro 4 - Modalidade tarifária rural convencional.....	34
Quadro 5 - Bandeiras tarifárias	34
Quadro 6 - Valor médio mensal de consumo na indústria nas modalidades azul e verde	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção média diária de dejetos por categoria de suíno	30
Tabela 2 - Características físico-químicas dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação segundo EMBRAPA	31
Tabela 3 - Cenário de multas com a demanda fora de ponta atual na modalidade verde	36
Tabela 4 - Cenário de multas com a nova demanda fora de ponta modalidade - verde	37
Tabela 5 - Economia anual com a nova demanda contratada	37
Tabela 6 - Cenário de multas com a nova demanda de ponta modalidade azul	39
Tabela 7 – Estimativa da energia produzida pelo biogás por mês	40
Tabela 8 – Resultados dos parâmetros após os dados de entrada	41
Tabela 9 - Economia anual pelo consórcio com bandeira tarifária em 2021 para a indústria	45
Tabela 10 - Indicadores econômicos do projeto de geração de energia na propriedade rural	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GMG	Grupo Motor Gerador
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e prestação de Serviços
PCHs	Pequena Centrais Hidrelétricas
PIS	Programa de Integração Social
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Tarifa de Energia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Regulação do setor elétrico	14
2.1.1	Resolução normativa nº 1000/2021 - ANEEL.....	14
2.1.2	Tarifação do grupo A e multas por ultrapassagem de demanda	16
2.2	Resolução normativa nº 482/2012 - ANEEL	17
2.2.1	Conceitos	17
2.2.2	Sistema de compensação	18
2.2.3	Geração compartilhada	19
2.3	Energias renováveis	20
2.3.1	Energia a partir da biomassa.....	20
2.3.2	Energia a partir dos dejetos da suinocultura	22
<u>2.3.2.1</u>	<u>Categorização dos suínos</u>	<u>23</u>
2.4	Biodigestor retangular de lagoa coberta (BLC)	24
2.5	<i>Sistema de flare</i>	24
2.6	Engenharia econômica	25
2.6.1	<i>Payback</i> descontado	25
2.6.2	Valor presente líquido.....	25
2.6.3	Taxa mínima de atratividade e taxa interna de retorno	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Delimitação do estudo	27
3.2	Levantamento de carga	27
3.3	Demanda a ser contratada	28
3.4	Comparativo modalidades tarifárias	29
3.5	Geração de energia a partir do biogás	30
3.6	Volume do biodigestor BLC	31
3.7	Dimensionamento do GMG	33
3.8	Análise do consórcio de energia	33
3.9	Viabilidade econômica da geração de energia a partir do biogás ...	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Análise da demanda e comportamento de carga	36
4.2	Análise entre a modalidade horária azul e verde	38
4.3	Potencial de geração de energia	40

4.4	Dimensionamento do biodigestor BLC	41
4.5	Dimensionamento do GMG	43
4.6	Geração compartilhada através do consórcio de energia	44
4.7	Indicadores econômicos	47
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	48
	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A - Levantamento de cargas na indústria	53
	ANEXO A - Fatura de energia elétrica dez/2021 da indústria	55

1 INTRODUÇÃO

É cada vez mais evidente que o consumo de energia elétrica no país só tende a aumentar ao longo dos anos, prova disto é a 2ª revisão quadrimestral das projeções da demanda de energia elétrica do SIN 2020-2024 (EPE; ONS; CCEE, 2020), a qual prevê um crescimento no consumo a taxa de 3,8% anuais.

Dado este crescimento, e o perfil de geração elétrica do Brasil, majoritariamente por Unidades Centrais Hidrelétricas (UCHs), é preocupante que possam ocorrer outras crises energéticas no País. Em 2001 ocorreram os apagões, fruto da falta de planejamento e ausência de investimentos em geração e transmissão de energia elétrica, e que foram agravados pelos baixos índices pluviométricos (VIANA, 2004). Não muito distante houve crise energética em 2015, o que não ocasionou o corte de abastecimento, porém encareceu a fatura ao consumidor.

Destarte, é necessário que se discuta sobre programas de eficiência energética no país, e que aumente os investimentos nesse âmbito. A justificativa para o investimento é reduzir os custos com a compra de energia gerada para atender a demanda. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica divulgou no 16º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética (ANEEL, 2019), somente com o Programa de Eficiência Energética (PEE), durante os anos de 1998 e 2017, foi possível reduzir em R\$ 13,3 bilhões, aproximadamente, o custo para suprir a demanda nacional, a um investimento de R\$ 8 bilhões.

Uma alternativa para ajudar a suprir o crescente consumo de energia no país é a utilização de fontes de energia elétrica que se concentram mais próximas as unidades consumidoras e tomadas por fontes renováveis. Dois exemplos de fontes renováveis é a da geração fotovoltaica e a da biomassa. É a chamada geração distribuída, que conta com 4 modalidades: geração junto a carga, autoconsumo remoto, Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras e por fim, o objeto de estudo deste trabalho: a geração compartilhada.

A delimitação do tema de estudo foi de duas unidades consumidoras situadas no município de Itaipulândia/PR, onde a primeira é industrial na qual foi analisado o perfil de consumo e cadeia produtiva, e a partir disso foi possível determinar a melhor modalidade tarifária e a demanda a ser contratada.

Essa indústria atua no ramo de fabricação de tijolos. É formada por seis setores: extração de argila em áreas de requerimento de extração, escritório,

preparação, produção, secagem e fornos. O ambiente de estudo deste trabalho foi voltado aos cinco últimos setores relatados e os principais equipamentos presentes neles, tais como: motores, compressores, equipamentos eletrônicos e de climatização.

Dentro do aspecto de eficiência energética e a diminuição da despesa com a energia elétrica na indústria é necessário a busca por fontes alternativas para a geração elétrica, para isso foi realizado um estudo preliminar de implementação de uma usina de geração de energia, a partir do biogás.

A segunda unidade consumidora é uma propriedade rural, escolhida para o estudo por ter potencialidade para a geração de biogás. Essa propriedade se encontra próxima à indústria. Os proprietários dessas unidades consumidoras são diferentes.

Para possibilitar que as duas unidades consumidoras usufruam dos créditos da usina, foi realizado o estudo sobre a geração compartilhada por consórcio, onde proprietários de diferentes unidades consumidoras podem firmar um acordo de geração.

Como problema desse estudo destaca-se que a partir da publicação da Resolução Normativa nº 414/2010 as empresas com demanda contratada superior a 150 kW se viram obrigadas a migrar da modalidade tarifaria convencional para a horária azul ou verde, com prazo estabelecido para o final de 2014 (ANEEL, 2010).

Pode-se então considerar alguns pontos relevantes. O primeiro trata-se em avaliar que nem toda empresa de médio porte contava com uma equipe de eficiência energética dentro do quadro de colaboradores da empresa naquela época, o que leva a crer que não foi realizado um estudo com base no fator de carga e perfil produtivo da empresa. O segundo ponto é pensar que se houve um aumento na produção, poderá ter acontecido um aumento na demanda por energia também, e conseqüentemente possa estar ultrapassando o limite estabelecido na contratação, gerando prejuízo ao empreendedor.

Outro ponto a ser tratado é a dificuldade de muitos consumidores em gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, seja pelo alto capital a ser investido ou pelo estabelecimento não ter a estrutura ou espaço suficiente para suportar a instalação dos equipamentos fotovoltaicos que consiga suprir seu consumo, por exemplo. A solução encontrada é a partir da geração compartilhada, onde pessoas físicas e jurídicas podem, por meio de contratos sociais, se unirem para

construir um sistema de mini ou microgeração para produzir a energia por meio da fonte renovável que estiver ao seu alcance.

Segundo a ABESCO - Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (2017), em um período de três anos (2014-2016) o desperdício de energia no Brasil custou R\$ 61,7 bilhões para o País, o que poderia ser mitigado com políticas de incentivo a eficiência energética.

O estudo de caso desse trabalho pode ser de interesse por parte dos consumidores do grupo A, uma vez que constatado que as empresas de médio porte, e principalmente aquelas que estão a anos no mercado e de caráter familiar, não apresentam um programa de eficiência energética. Tão pouco é divulgado aos proprietários rurais a oportunidade de se montar uma usina de geração elétrica a partir do material orgânico da propriedade que possa ser utilizado, em especial os resíduos dos suínos, cedendo a energia produzida por geração compartilhada.

Como objetivo geral esse trabalho se propôs a analisar a viabilidade para geração compartilhada, a partir do uso de biogás da suinocultura, em uma unidade consumidora industrial na região oeste do Paraná, buscando aumento de eficiência energética por meio do melhor enquadramento tarifário e contrato de demanda.

Para atendimento da análise proposta no objetivo geral, foram apresentados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as cargas presentes na instalação industrial e o processo produtivo por meio de entrevistas e dados de demanda e consumo da indústria;
- Realizar um estudo preliminar do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás, especificando os equipamentos necessários, em especial o gerador elétrico;
- Apresentar características para o enquadramento legal com utilização dos créditos de energia na modalidade de geração compartilhada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Regulação do setor elétrico

No ano de 1996, através da lei nº 9427/1996 e do decreto nº 2.335/1997, surgiu a agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e ligada ao Ministério de Minas e Energia – MME. (Lei Nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996). Segundo a própria ANEEL, suas atribuições são:

- Regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- Fiscalizar, diretamente e/ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal, relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;
- Estabelecer tarifas;
- Impedir as divergências, na esfera administrativa, entre os agentes do setor elétrico;
- Promover as atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal.

Estabelecendo os critérios e condições necessárias para a geração, transmissão e fornecimento aos consumidores, através de resoluções normativas, mais especificamente a resolução normativa nº 1000/2021 – ANEEL (Art. 1 REN 1000, de 07.12.2021)

2.1.1 Resolução normativa nº 1000/2021 - ANEEL

Esta resolução estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Do capítulo I, das definições, extraímos do art. 2º o significado de consumidor:

VII – consumidor: pessoa física ou jurídica que solicite o fornecimento do serviço à distribuidora, assumindo as obrigações decorrentes desta prestação à sua unidade consumidora.

Este consumidor pode vir a ser do mercado livre, onde ele compra a energia no ambiente de contratação livre, negociando diretamente com o produtor o preço da energia. Para isso ele deve atender os requisitos estabelecidos:

- Demanda de contratação mínima de 1,5 MW para fontes convencionais (usinas hidrelétricas e termelétricas). (Portaria nº 465 art.1º §3, 12.12.2019)
- Demanda maior ou igual a 500 KW caso ele opte por adquirir fontes de energias incentivadas (§ 5º do art. 26 da Lei nº 9427, de dezembro de 1996), sendo ela advinda de PCHs ou fontes de energias renováveis: solar, biomassa ou eólica. No caso da segunda opção, o consumidor é denominado especial. (art. 2º REN nº 1000, 07.12.2021)

O consumidor livre de energia paga a concessionária pelo uso do sistema de distribuição, já que este serviço é um monopólio natural, serviço difícil de se ter vários concorrentes pelo simples fato da limitação de espaço que a infraestrutura necessita para isso.

Essas definições serão importantes quando detalhada a resolução normativa nº 482 de 2012 - ANEEL, onde os consumidores começaram a poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis de energia ou cogeração. Essa abertura deu a capacidade aos consumidores que não atendem os requisitos mínimos do mercado livre de obterem um melhor custo de energia elétrica. (ANEEL, 28.09.2015)

Ainda nesta normativa, há a divisão em grupos e subgrupos, de acordo com a tensão de fornecimento (Redação dada pela REN ANEEL 1000, de 07.12.2021).

Grupo A: Grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistemas subterrâneos de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1 – tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
- b) subgrupo A2 – tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- c) subgrupo A3 – tensão de conexão igual a 69 kV;
- d) subgrupo A3a – tensão conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
- e) subgrupo A4 – tensão conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV;
- f) subgrupo AS – tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo B1 - residencial;

- b) subgrupo B2 - rural;
- c) subgrupo B3 - demais classes;
- d) subgrupo B4 - iluminação pública.

A diferença da tarifa monômnia para a binômnia é que enquanto a primeira o consumidor possui na cobrança apenas o consumo da energia (kWh) a segunda conta com a cobrança da demanda utilizada (kW). (incluída pela REN ANEEL 479, de 03.04.2012)

Os consumidores do grupo A contam com duas modalidades tarifárias possíveis, sendo elas:

Tarifa horária azul: Caracterizada pela cobrança diferente de consumo nos horários de ponta e fora ponta, para o primeiro o custo por energia é mais barato. Também se dá a contratação de duas demandas: ponta e fora ponta. Destinada aos consumidores com alto fator de carga no horário de ponta (REN ANEEL 2.886, de 22.06.2021).

Tarifa horária verde: Caracterizada por uma fatura única de demanda, porém ocorre diferenciação da tarifa para os dois horários, no de ponta é cobrado um preço maior do que o de fora ponta, isto é, devido a maior utilização de energia neste horário, para reduzir este pico e não sobrecarregar o sistema é cobrado mais caro. Destinada aos consumidores de baixo fator de carga no horário de ponta (REN ANEEL 2.886, de 22.06.2021).

2.1.2 Tarifação do grupo A e multas por ultrapassagem de demanda

A tarifação da TE e da TUSD da Copel é conforme consta na resolução homologatória 2.886, de 22 de junho de 2021, é a mais recente em entrar em vigência. Segundo a COPEL o reajuste a ser percebido com esta última atualização é de 9,89%.

Segundo a COPEL (c2020) o cálculo da tarifa acrescida dos tributos é feito conforme consta na Equação (1):

$$Tarifa\ taxada = \frac{Valor\ da\ tarifa}{1-(PIS+ICMS+COFINS)} \quad (1)$$

Onde PIS é a contribuição instituída para o Programa de Integração Social, ICMS é o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços e COFINS é a Contribuição

para Financiamento da Seguridade Social. Os valores dessas alíquotas são, respectivamente, de: 0,85%, 29% e 3,9%. (COPEL, 04/2022)

Na situação em que o montante de demanda de potência ativa medido exceda em mais de 5% o valor contratado, ocorre a ultrapassagem na demanda consumida, o consumidor sofre multa, e o valor a ser pago pela demanda ultrapassada é dado pela Equação 2:

$$Dultrapassagem(p) = (PAM(p) - PAC(p)) \cdot 2 \cdot VRDULT(p) \quad (2)$$

Onde: $Dultrapassagem(p)$ = valor correspondente à demanda de potência ativa por posto horário “p” (R\$); $PAM(p)$ = demanda de potência ativa medida em cada posto horário “p” no período de faturamento (kW); $PAC(p)$ = demanda de potência ativa contratada, por posto horário “p” no período de faturamento (kW); $VRDULT(p)$ = valor de referência equivalente às tarifas de demanda de potência aplicáveis aos subgrupos do grupo A; e p = indica posto horário, ponta ou fora de ponta.

Os valores das alíquotas dos tributos são incidentes sobre a tarifa da demanda de ultrapassagem e no caso de a demanda medida ser menor do que a contratada, o cliente paga pela demanda contratada, com a diferença entre a demanda faturada e a contratada sem incidência de ICMS.

2.2 Resolução normativa nº 482/2012 - ANEEL

A partir de 17 de abril de 2012, data que entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, houve um grande marco ao setor elétrico, os consumidores passaram a poder gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis ou cogeração. O que trouxe uma série de benefícios econômicos, sociais e ambientais, e consequentemente promovendo a autossustentabilidade e promovendo o uso de energia limpa. (ANEEL, 2015)

2.2.1 Conceitos

Com base no art. 1º do capítulo I, tem-se a função desta resolução normativa:
Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração

distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. (Redação dada pela REN ANEEL 482, de 17.04.2012).

Após a publicação da Resolução Normativa nº 687/2015 que veio para revisar a Resolução Normativa nº482/2012, houveram algumas alterações, que começaram a valer em 1º de março de 2016. As definições atualizadas abaixo foram extraídas da norma:

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 786, de 17.10.2017)

Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

2.2.2 Sistema de compensação

Após a resolução normativa nº 687/2015 – ANEEL, o prazo de validade dos créditos gerados passou a ser de 60 meses, o que dá ao consumidor 5 anos para consumir a potência excedente que é gerada. Esse consumo pode ser efetuado em outras unidades consumidoras, de diferentes locais, desde que estejam sob mesmo titular e sendo atendidas pela mesma distribuidora de energia. (Art. 7º REN ANEEL nº 482, 17.04.2012)

Quando há mais de uma unidade consumidora a receber os créditos o consumidor deve definir as parcelas para cada um, lembrando que deverá abater o próprio consumo antes.

2.2.3 Geração compartilhada

Trata-se de uma das modalidades da GD criada pela ANEEL na resolução normativa nº 687/2015. A definição desta modalidade está no art. 2 no inciso VII desta REN (resolução normativa):

Geração compartilhada: Caracterizada pela reunião de consumidores, por meio de consórcio, cooperativa ou condomínio voluntário, composta por pessoas físicas ou jurídicas, que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras que receberão excedentes de energia;

Dessa forma, a geração compartilhada caracteriza por um acordo entre unidades consumidoras, sendo atendidas por uma mesma distribuidora, e que possuem um projeto de geração distribuída em local diferente da unidade consumidora.

A geração compartilhada pode ser realizada através do sistema de cooperativismo ou de consórcios. Por consórcios essa modalidade de geração se dá através de um acordo de ao menos duas pessoas jurídicas. Como se trata de um consórcio elas ficam sujeitas a lei nº 6404/1976. Sendo assim as empresas que participam do consórcio devem registrar o contrato social na junta comercial do estado em que fazem parte, obedecendo as leis e usos do comércio. (Capítulo I, art. 2, § 1º da lei nº 6.404/1976)

Para que o estatuto do consórcio seja aprovado, pela concessionária vigente na área de concessão de créditos, é necessário que o mesmo contemple algumas informações relevantes. Conforme Art. 279 da Lei n.6404/76 a COPEL frisa que para a aprovação os seguintes pontos abaixo devem constar no documento:

- I) A designação do consórcio;
- II) O empreendimento que constitua o objeto do consórcio; (micro ou minigeração);
- III) A duração, endereço e foro;
- IV) A definição das obrigações e responsabilidade de cada sociedade consorciada, e das prestações específicas;
- V) Normas sobre recebimento de receitas e partilha de resultados; (quotas)
- VI) Normas sobre administração do consórcio, contabilização, representação das sociedades consorciadas e taxa de administração, se houver; (responsável pela administração)
- VII) Forma de deliberação sobre assuntos de interesse comum, com o número de votos que cabe a cada consorciado;
- VIII) Contribuição de cada consorciado para as despesas comuns, se houver.

2.3 Energias renováveis

São consideradas fontes de energias renováveis aquelas cujo abastecimento é natural. Ainda segundo a Agência Internacional de Energia – IEA, é aquelas que derivam de processos naturais, que se renovam com constância, diferente das fontes que derivam dos combustíveis fósseis. (IEA 2015).

Uma explicação sobre as fontes renováveis é segundo o autor (BIZAWU; AGUIAR, 2017)

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e as configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não-convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas. (2016)

Os investimentos em fontes de energias renováveis tendem a se intensificar nos próximos anos, isto porque além dos benefícios ambientais em comparação a fontes derivativas do petróleo, há também um maior retorno financeiro sob o investimento e também melhor capacidade de resiliência em um mercado volátil. Segundo a IRENA (Agência Internacional de Energia Renovável), para que seja atingido as metas do Acordo de Paris será necessário um investimento de US\$ 4,4 trilhões por ano em energia de baixo carbono, com meta até 2050. (IRENA, 2020)

Por esse motivo esperasse que o setor cresça nos próximos anos, e traga uma série de benefícios a sociedade. A colaboração no setor será por meio de uso de fontes de energia renováveis e programas de eficiência energética. (IRENA, 2020)

2.3.1 Energia a partir da biomassa

Trata-se de uma fonte de energia renovável. Para uma composição com 60% de metano e 40% de dióxido de carbono o poder calorífico é em média 5.000 kcal/m³, o que pode variar conforme as proporções da mistura (COSTA, 2006). Obtém-se do processo de geração do biogás o gás combustível, que pode ser utilizado na geração de energia elétrica e a parte líquida com o material biofertilizante.

O uso do biogás no Brasil se deu nos anos 70, com a crise do petróleo. Houve então a primeira fase do biogás no país, onde a utilização estava voltada ao

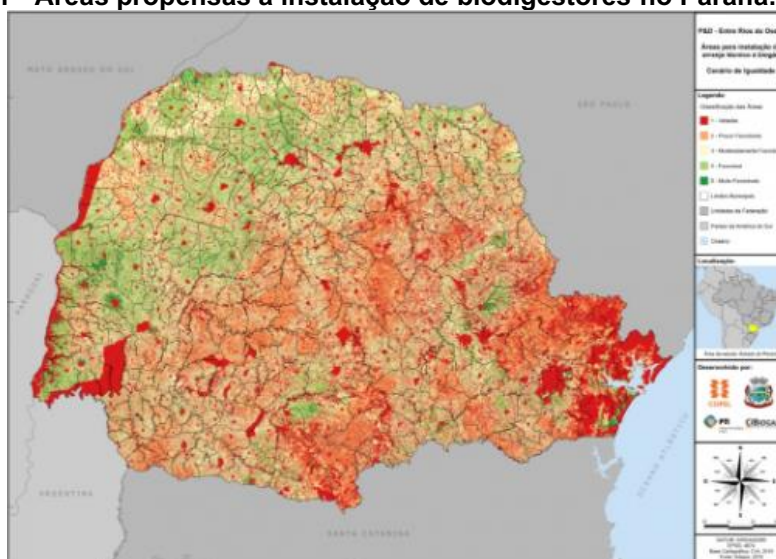
tratamento de efluentes e esgotos de empresas e indústrias. Neste mesmo período houveram problemas na operação dos biodigestores e falta de mão de obra especializada, e isto fez com que a tecnologia fosse deixada de lado. (CIBiogás, 2020)

A segunda fase do biogás no país aconteceu por volta dos anos 2000, com o mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL, do protocolo de Quioto, houve a ampliação da utilização do biogás da suinocultura, por meio da geração de créditos de carbono para a comercialização internacional, inclusive, a propriedade rural utilizada para fins desse trabalho destinou o biogás para esse fim no ano de 2006, mas como os preços dos créditos de carbono caíram, houve uma estagnação na geração e muitos biodigestores foram abandonados, como aconteceu com a propriedade modelo, a instalação foi feita por uma empresa Australiana. (MOREIRA, 2008)

E por fim houve a terceira geração, a partir de 2010, e com ela veio a utilização dos biodigestores para fins energéticos, tornando os biodigestores um modelo de negócio sustentável (CIBiogás, 2020). O potencial de geração do Brasil é inquestionável, devido as enormes quantidades de resíduos gerados no país. (madeireiros, agrícolas, florestais, urbanos, industriais e resíduos pecuários)

A Figura 1 mostra as áreas mais e menos propensas a receber uma planta de geração de biogás no estado do Paraná, sendo as áreas em vermelho menos propensas e as verdes as que estão aptas.

Figura 1 - Áreas propensas a instalação de biodigestores no Paraná.



Fonte: PTI (2019)

Segundo um estudo do parque tecnológico Itaipu (PTI), o oeste paranaense possui 70% de área com potencial de produção de biogás, sem contar que essa mesma região apresenta a maior produção de suínos e frangos do estado.

2.3.2 Energia a partir dos dejetos da suinocultura

A partir dos dejetos dos animais é calculado o montante de energia que a propriedade é capaz de produzir para fins de geração de créditos com a concessionária. Isto é possível devido a presença do metano no biogás, o qual é combustível a ser utilizado na conversão de energia, quanto maior a porcentagem de metano no biogás maior é a pureza do gás.

É necessário analisar o perfil da propriedade e a característica dos dejetos dos suínos para o correto dimensionamento dos equipamentos que serão utilizados na implementação do negócio. A quantidade de matéria orgânica como fezes e urina é afetado por fatores como: tamanho, sexo, raça e dieta dos animais. (DARTORA et al., 1998).

Segundo Schultz (2007), a geração de dejetos dos suínos corresponde a quatro vezes o que uma população humana produz. Isto significa que uma criação com 7.000 animais em terminação corresponde a uma cidade de 28.000 habitantes. A quantidade (Q) de dejetos gerados diariamente pela suinocultura depende do número de animais (N) e da geração diária de dejetos por categoria (Q_c) e é representada pela Equação 3.

$$Q = N \cdot Q_c \quad (3)$$

Com a definição dos parâmetros, qualitativos e quantitativos, a serem utilizados para o dimensionamento do volume do biodigestor e do grupo motor-gerador, é possível estimar uma geração de energia próxima da realidade, assim a análise da viabilidade econômica dá a credibilidade de que o negócio é sustentável e rentável aos envolvidos.

O volume de biogás (m^3) produzido diariamente a partir dos dejetos da suinocultura seguindo a metodologia de Kunz e Oliveira (2006) é expresso pela Equação 4.

$$V_b = B_o \cdot S_o \cdot Q \quad (4)$$

Onde: S_o : Concentração de sólidos voláteis no substrato ($\text{Kg}_{sv}/\text{m}^3$); V_b : Volume de biogás total diário (m^3/dia); B_o : capacidade máxima teórica de produção de metano pelo dejetos ($\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{kg}_{sv}$)

O cálculo da quantidade de energia diária (GE), a partir da quantidade de biogás de origem suína é dada pela geração total diária de energia (GE em kWh) e pela geração de biogás (G_{eb} em kWh/m^3 biogás), conforme apresentado na Equação 5.

$$GE = V_b \cdot G_{eb} \quad (5)$$

2.3.2.1 Categorização dos suínos

A categoria de suíno é dada pela fase de vida do animal e gera uma quantidade de substrato diária. As definições dos suínos por categorização estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorização dos suínos

Categoria	Descrição
Fêmea reprodutora	Fêmea que já foi fecundada
Leitão na maternidade	Fase compreendida entre o nascimento e o desmame, que ocorre entre 21 e 28 dias de vida
Leitão na creche	Fase entre o desmame e a saída da creche que acontece por volta dos 63 dias de idade
Suínos em crescimento	Animais após a saída da creche. Permanecem nesta categoria até o peso médio de 55 kg
Suínos em terminação	Inicia aos 55 kg e vai até o abate, que acontece com 100 a 120 kg

Fonte: Adaptado AGEITEC (2022)

As definições de categorização dos suínos são importantes para estudos de manejo dos dejetos, como o dimensionamento de um biodigestor para aproveitamento energético ou de uma lagoa de digestato.

2.4 Biodigestor retangular de lagoa coberta (BLC)

O biodigestor de lagoa coberta comumente chamado em algumas literaturas de “canadense” é considerado de baixo nível tecnológico com maior facilidade de construção e operação. (EMBRAPA, 2018)

O modelo BLC apresenta algumas particularidades que devem ser respeitadas, tais como a relação do comprimento pela largura ser de no mínimo de 2 para 1, a profundidade estar de 3 a 4,5 m e a inclinação do talude ser cerca de 45°, podendo variar em função do solo. (EMBRAPA, 2018)

2.5 Sistema de flare

Dispositivo utilizado para queima de biogás, pode ser traduzido como tocha. A finalidade da utilização deste equipamento é a eliminação segura e eficaz dos gases não utilizados, garantindo a segurança da instalação. Normalmente são formados por três partes: o selo, a torre e o queimador. (LOUREIRO, 2013). Um exemplo de *flare* é apresentado pela Figura 2.

Figura 2 - Flare tipo aberto



Fonte: Adaptado ENERGÊS (2022)

A redução do metano (CH_4) do ponto de vista ambiental torna os projetos sustentáveis e elegíveis no MDL, visto que este gás é um dos contribuintes do aquecimento global. A utilização de equipamentos e melhorias tecnológicas que evitem que este gás seja liberado diretamente na atmosfera ajuda o meio ambiente. (COSTA, 2012)

2.6 Engenharia econômica

A necessidade de conhecimentos em engenharia econômica está atrelada ao trabalho em analisar a execução, síntese e conclusão de projetos dos mais variados tamanhos, e seu fundamento está intrínseco ao processo de tomada de decisões. Essas decisões possuem elementos fundamentais, tais como: fluxos de caixas financeiros, tempo e taxas de juros. (BLANK, TARQUIN, 2009)

2.6.1 *Payback* descontado

Payback é um indicador que define o prazo de recuperação de um investimento, e que não deve ser o único indicador na tomada de decisão sobre a viabilidade do investimento. Ao ser considerado em conjunto com outros indicadores pode então ser um excelente indicador na tomada de decisão. (MARQUEZAN, BRONDANI, 2012)

Ao ser utilizado uma taxa de desconto sobre o fluxo de caixa de cada período obtém-se o *payback* descontado (PBd), assim como ocorre no cálculo do valor presente líquido (VPL). (MARQUEZAN, BRONDANI, 2012)

2.6.2 Valor presente líquido

É um indicador auxiliar para a tomada de decisão sobre a viabilidade econômica de investimento. O VPL é dado pelo valor da soma algébrica de um fluxo de caixa futuro, descontados uma taxa percentual periódica, por um determinado prazo. Caso o valor presente líquido seja positivo, reflete que o valor de caixa futuro é superior ao valor inicial do investimento, conseqüentemente é confirmado a viabilidade econômica do investimento. (VANNUCCI, 2017)

2.6.3 Taxa mínima de atratividade e taxa interna de retorno

A Taxa Mínima de Atratividade - TMA não é calculada como a taxa de retorno sobre o investimento, e sim estabelecida como um critério para se tomar a decisão de aceitação ou não do projeto de investimento. Uma forma de explicar a taxa mínima de

atratividade está na analogia com a aquisição de fundos para investimento, chamado de custo do capital. Como o custo de investimento é remunerado na forma de taxa de juros, para elevar o capital, a engenharia econômica trata de estimá-lo de diferentes fontes com o intuito de levantar os fundos necessários para a realização do projeto. (BLANK, TARQUIN, 2009)

A taxa interna de retorno (TIR), também conhecida como taxa de desconto do fluxo de caixa, é uma taxa juros implícita num fluxo de caixa. É considerada uma técnica sofisticada para a avaliação de alternativa para investimentos. O critério para decidir a viabilidade ou não de um projeto é comparando a TIR com a TMA, se ela for superior, aceita-se o projeto. (PEREIRA, ALMEIDA, 2008)

3 METODOLOGIA

3.1 Delimitação do estudo

A realização deste trabalho ocorreu em cinco etapas, utilizando como objeto de estudo dois locais. O primeiro local foi uma indústria de tijolos de médio porte, enquadrada na modalidade horo sazonal verde e subgrupo A3a, com tensão de atendimento em 33 kV e que se encontra na cidade de Itaipulândia.

O segundo local de estudo foi em uma propriedade rural do mesmo município da indústria. A principal atividade econômica desenvolvida é a suinocultura voltada ao crescimento dos animais até o peso ideal de abate.

A primeira etapa consistiu na realização do levantamento de cargas da indústria e no acesso das faturas de energia elétrica pelo site da COPEL. Em seguida foi realizada a análise da alteração do horário de utilização de alguns dos equipamentos na indústria e a determinação do contrato de demanda.

A terceira etapa consistiu no dimensionamento do biodigestor e do GMG com base no estudo preliminar de geração de biogás, seguido pela determinação de algumas diretrizes que permitiram demonstrar o impacto positivo da geração compartilhada por consórcio bem como a vantagem econômica aos envolvidos. Por fim a análise de viabilidade econômica do projeto de geração de energia na propriedade rural.

3.2 Levantamento de carga

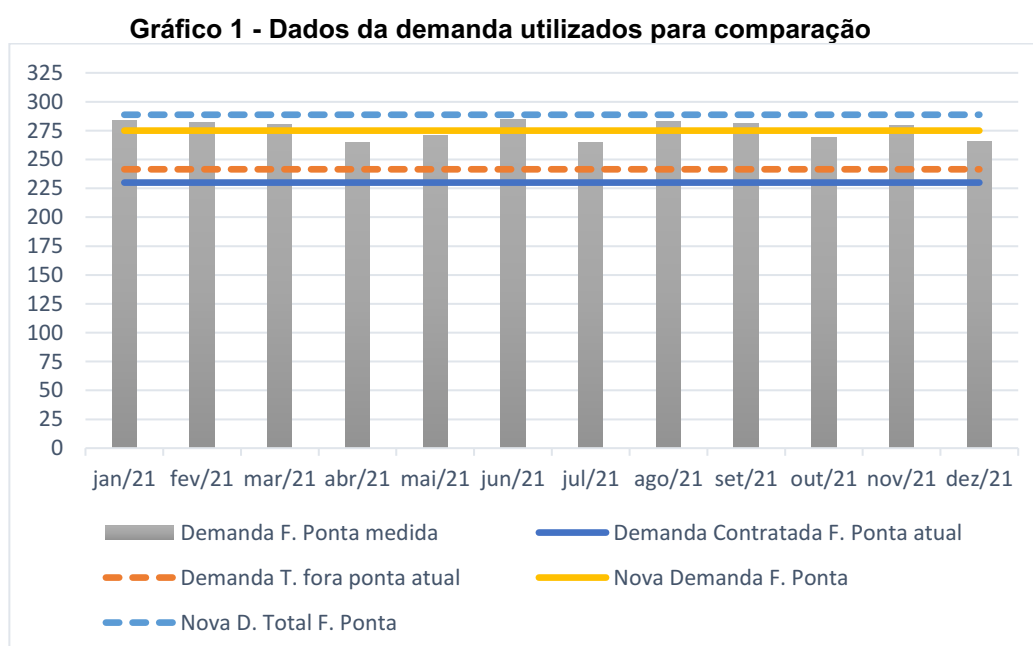
Foram mapeados e coletados os dados de todos os motores utilizados no processo produtivo da indústria. Alguns equipamentos mais antigos foram difíceis de determinar o modelo, sobretudo foi possível coletar as especificações, o que é mais relevante para a análise. Por meio de uma entrevista com o proprietário e demais colaboradores envolvidos no processo foi possível separar os equipamentos por setores, o que facilitou o estudo da alteração do horário de funcionamento dos equipamentos e da demanda. A relação com todos os motores se encontra no Apêndice A.

3.3 Demanda a ser contratada

Com o levantamento de cargas, Apêndice A, foram feitas entrevistas aos colaboradores da empresa e ao proprietário, e discutido a possibilidade de modificar o horário de utilização dos equipamentos durante o processo de produção. Após a decisão junto ao proprietário do que era mais viável e eficiente, foi decidido permanecer com a atual forma de produção, o que leva a ser feito uma adequação da demanda para evitar a multa por ultrapassagem, o valor utilizado para adequação da demanda foi a média anual da demanda de fora ponta do ano de 2021, no valor de 275,66 kW. Por questões de arredondamento foi utilizado 275 kW.

A partir disso foi feita uma análise de quanto a nova demanda geraria de economia ao realizar uma comparação do atual cenário de contratação com o novo. Foi utilizada a Equação 2 para calcular a diferença de valor de demanda de ultrapassagem, nos casos que houve a extrapolação.

Na situação da demanda faturada ser inferior a nova demanda contratada foi utilizado a Equação 1 para determinar o valor da tarifa da demanda que incide apenas os tributos de PIS (0,85%) e COFINS (3,9%), o que resultou em 17,92 R\$/kW. A apuração financeira da análise foi apresentada no Quadro 7 no capítulo 4.1. O gráfico 1 apresenta a visualização da situação atual e a nova contratação de demanda estudada.



Fonte: Autoria própria (2022)

A demanda medida em todos os meses é nitidamente superior ao limite tolerável de 5% do valor da demanda contratada, e para a demanda utilizada no estudo de adequação, no valor de 275kW, é observado que todos os meses ficaram dentro da demanda tolerável.

Destaca-se que o valor da tarifa sem os tributos (17,92 R\$/kW) que foi utilizado para determinar a quantia paga pela demanda não utilizada.

3.4 Comparativo modalidades tarifárias

Com as faturas de energia, foi feita a organização dos dados de demanda e consumo de ponta e fora ponta. Após a organização foram feitas simulações entre as duas modalidades tarifárias sobre o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2021, foi utilizado o valor médio de consumo ponta e fora ponta para cada ano em análise, e os valores das tarifas foram atualizados com base no novo reajuste de tarifação, encontrado no *site* da distribuidora, os valores usados são apresentados pelos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Modalidade Tarifária Verde - Grupo A3a

Modalidade Tarifária Verde - Grupo A3a					
TARIFAÇÃO	TUSD			TE	
	Demanda	Consumo Ponta	Consumo fora Ponta	Consumo Ponta	Consumo fora Ponta
	R\$/kW	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
sem imposto	17,07	0,95922	0,0826	0,43787	0,27536
com imposto	25,4	1,42741	0,12292	0,65159	0,40976

Fonte: Adaptado de Copel (2022)

Quadro 3 - Modalidade Tarifária Azul - Grupo A3a

Modalidade Tarifária Azul - Grupo A3a						
TARIFAÇÃO	TUSD				TE	
	Demanda F. Ponta	Demanda Ponta	Consumo Ponta	Consumo fora Ponta	Consumo Ponta	Consumo fora Ponta
	R\$/kW	R\$/kW	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
sem imposto	17,07	36,08	0,0826	0,0826	0,43787	0,27536
com imposto	25,4	53,69	0,12292	0,12292	0,65159	0,40976

Fonte: Adaptado de Copel (2022)

A diferença entre os Quadros 2 e 3 está na cobrança da tarifação da demanda de ponta que consta no Quadro 3 e pela energia neste período para a modalidade verde ser mais cara que a azul.

O valor médio mensal de consumo na indústria nas modalidades azul e verde e o total pago por posto tarifário foi compilado no Quadro 6 da subseção 4.2. Analisando as Tabelas 5 e 6 e o Quadro 6 foi obtida a diferença paga de uma modalidade para a outra.

3.5 Geração de energia a partir do biogás

Segundo o proprietário da granja, os animais chegam com uma idade média de 70 dias, permanecendo na propriedade em torno de 105 dias, totalizando uma idade média de 175 dias até o abate. Portanto trata-se de uma propriedade de engorda de animais e não de reprodução, excluindo do estudo as porcas em gestação, leitões na creche e machos reprodutores.

O cálculo da quantidade total de substrato gerado, que irá alimentar o biodigestor da propriedade rural, foi feito utilizando a quantidade de animais existente somado o montante que planejam aumentar, chegando a 7.000 animais distribuídos em fase de crescimento e terminação.

A partir disto foi calculado a quantidade diária total de dejetos produzida pelos suínos, utilizando a Equação (3) e o valor de produção média diária de dejetos para animais de 25-100 kg conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Produção média diária de dejetos por categoria de suíno

<i>Categoria de suíno</i>	<i>Esterco (kg)</i>	<i>Esterco + urina (kg)</i>	<i>Dejetos líquidos (L)</i>
25 – 100 KG	2,30	4,90	7,00
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00
Machos	3,00	6,00	9,00
Leitão desmamado	0,35	0,95	1,40

Fonte: Oliveira (1993)

Para cálculo do volume de biogás diário na propriedade foi utilizado a Equação (4), e adotado o valor de 16,38 (kg_{sv}/m³) para S_o que é o valor médio para suínos em fase de crescimento e terminação, apresentado na Tabela 2, e o valor de 0,45 para B_o que é o valor utilizado na metodologia de Kunz (2006) para suínos em terminação.

Tabela 2 - Características físico-químicas dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação segundo EMBRAPA

Parâmetro	Minima	Média	Máxima
Sólidos Volateis (Kg/m ³)	8,429	16,389	39,024
Sólidos Totais (Kg/m ³)	12,697	22,399	49,432
Sólidos Fixos (Kg/m ³)	4,268	6,010	10,408

Fonte: Tabela adaptada EMBRAPA (2002)

Com o volume de biogás, foi utilizado a Equação (5), onde o valor adotado para Geb foi de 1,54 kWh/m³ (Mello (2018) considerando que a porcentagem de metano seja de 60%.

Para determinar a média mensal de energia, bastou realizar o somatório de cada mês, considerando os dias de trabalho do gerador, como recomenda a CIBlogás, os geradores precisam de manutenção a cada 250h de operação, por isso foi considerado 2 dias a menos de cada mês do ano, reservados a este fim.

O cálculo final da geração anual (GA) se dá pela somatória da geração nos dias de trabalho (Dtg) do gerador durante o ano, conforme apresenta a Equação 6.

$$GA = \sum_1^{12} Ge. Dtg \quad (6)$$

3.6 Volume do biodigestor BLC

Para cálculo do volume útil do biodigestor BLC fora considerado os valores de 16,38 (kg_{sv}/m³) (EMBRAPA, 2002) para So, de 49 (m³/dia) para Q, que é a quantidade total diária de dejetos calculada, e o de 0,41 (kg_{sv}/m³/dia) para COV, que é o limite encontrado para não prejudicar o TRH do projeto.

Com esses resultados, foram definidos os valores de comprimento, largura e profundidade útil que resultassem no volume útil e ao mesmo tempo obedecessem às recomendações de dimensionamento para biodigestores BLC.

O volume do biodigestor BLC (m³) é calculado conforme a Equação 7. (EMBRAPA, 2019) onde COV: Carga orgânica volumétrica (Kg_{sv}/m³/dia).

$$V = \frac{Q.So}{COV} \quad (7)$$

Para cumprir com a geometria de base retangular de seção trapezoidal do biodigestor BLC, o dimensionamento tem de seguir as Equações de 8 a 16, sendo que os valores de C, L e Pu foram respectivamente de 43 m, 19 m e 3 m. Esses valores foram utilizados para encontrar todos os parâmetros construtivos do biodigestor, utilizando as Equações 8 a 20.

Profundidade total (PT), onde Pu é a profundidade útil (m)

$$PT = Pu + 0,2 \quad (8)$$

Comprimento real da calha (CRC)(m), onde C é o comprimento (m)

$$CRC = C + 1,5 \quad (9)$$

Comprimento base da calha (CBC) (m)

$$CBC = C - 2 \cdot Pu \quad (10)$$

Largura real da calha (LRC) (m), onde L é a largura (m)

$$LRC = L + 1,2 \quad (11)$$

Largura da Base da Calha (LBC) (m)

$$LBC = L - 2 \cdot Pu \quad (12)$$

Calha total (m)

$$Ct = (2 \cdot CRC) + (2 \cdot LRC) \quad (13)$$

Manta de revestimento da calha (MRC) (m²)

$$MRC = ((CRC + 3) \cdot (LRC + 2)) \cdot 1,003 \quad (14)$$

Volume útil (Vu) (m³)

$$Vu = \frac{(((C \cdot L) + (CBC \cdot LBC)) \cdot Pu)}{2} \quad (15)$$

Volume total (Vt) (m³)

$$Vt = \frac{(((C \cdot L) + (CBC \cdot LBC)) \cdot PT)}{2} \quad (16)$$

Para o dimensionamento do armazenamento de gás e sua manta de lona são utilizadas as Equações de 17 a 20:

Talude largura (m)

$$T = \sqrt{(Pu^2 + PT^2)} \quad (17)$$

Largura da manta (m)

$$Lm = LBC + (T.2) + 3 + (3\%) \quad (18)$$

Comprimento da manta (m)

$$Cm = CBC + (T.2) + 3 \quad (19)$$

Área total da manta

$$Am = Lm. Cm \quad (20)$$

3.7 Dimensionamento do GMG

Para dimensionar o grupo gerador-motor foi analisado a máxima geração que poderia se obter com a quantidade de biogás produzido, para isso é necessário levar em consideração o consumo do gerador e sua respectiva potência.

Foi levado em consideração a recomendação de que o gerador opere o máximo de horas do dia possível, para evitar o risco de interferências externas, o que prejudicaria a produção de energia.

Para exemplo da gestão da produção da energia ao longo do dia foi escolhido o modelo ENGGB 50KVA - 60Hz, que conta com um consumo de 20 m³/h em potência nominal.

3.8 Análise do consórcio de energia

Para estabelecer um consórcio de energia vantajoso aos participantes, foi necessário determinar a diferença entre os valores das tarifas para a indústria, Quadros 2 e 3, e a tarifa rural da propriedade rural, disposta no Quadro 4.

Quadro 4 - Modalidade tarifária rural convencional

Tarifa Rural Convencional - Grupo B		
TARIFAÇÃO	TUSD	TE
	R\$/kWh	R\$/kWh
sem imposto	0,23752	0,25423
com imposto	0,35345	0,37832

Fonte: Adaptado de Copel (2022)

A diferença entre os valores tarifários foi utilizada para considerar um limite praticável de cobrança sobre a energia destinada a indústria.

Para avaliar o montante que a indústria economizaria em bandeira tarifária foi considerado o montante anual de energia que a propriedade rural consegue gerar, determinada na subseção 4.3, e feita simulações desse montante de energia com os valores de cada bandeira tarifária, como disposto no Quadro 5.

Quadro 5 - Bandeiras tarifárias

Bandeiras tarifárias				
TARIFAÇÃO	Amarela	Vermelha 1	Vermelha 2	Escassez Hidrica
	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh	R\$/kWh
sem imposto	0,01874	0,03971	0,09492	0,142
com imposto	0,02813	0,05962	0,14252	0,21321

Fonte: Adaptado de Copel (2022)

E por fim, foi estabelecido algumas considerações a respeito do contrato do consórcio, com o intuito de resguardar os envolvidos de penalizações e prejuízos, dando segurança ao projeto.

3.9 Viabilidade econômica da geração de energia a partir do biogás

Foi calculado o *payback* descontado sobre o investimento necessário para a geração de energia na propriedade rural, considerando a economia anual em energia e o faturamento anual com o consórcio de energia com a indústria. Para a taxa mínima de atratividade (TMA) foi considerada a média dos últimos 5 anos da SELIC, que é a taxa básica de juros da economia brasileira, (5,91%).

Foi considerado um custo de 11,08% sobre o investimento inicial ao ano para despesas com manutenção dos equipamentos e operação do biodigestor e grupo gerador. (CERVI et al., 2010). O valor presente líquido (VPL) foi calculado a 20 anos, que é a vida útil adotada ao conjunto de equipamentos dimensionados (biodigestor e grupo GMG).

O *Payback* descontado (PBd) é calculado pela relação entre fluxo financeiro (F_t) e a taxa de juros (i) no período (n) analisado, como apresentado na Equação 21.

$$PBd = \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (21)$$

O valor presente líquido (VPL) é obtido a partir da Equação 22 onde X_j é o fluxo de caixa; i é a taxa de juros e n é o período analisado.

$$VPL = \sum \frac{X_j}{(1+i)^n} \quad (22)$$

A taxa interna de retorno (TIR) é dada pela relação igualitária entre o fluxo de caixa (X_j); e a taxa interna de retorno (TIR) no período (n) analisado. Conforme apresentado na Equação 23.

$$VPL = \sum \frac{X_j}{(1+i)^n} = 0 \quad (23)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da demanda e comportamento de carga

A indústria apresenta o maior consumo durante o período fora de ponta, isto devido a apenas os setores de fornos e de secagem serem utilizados durante o período de ponta. A modificação dos horários de utilização dos equipamentos, separando o setor de produção e preparação por períodos manhã e tarde foi descartada devido ao número de colaboradores que a empresa possui ser baixo para isso. Outro motivo para não ter sido levado a diante é o risco de utilizar os equipamentos do setor de produção no período de ponta, em que o custo da energia é mais elevado.

Uma possível solução apresentada e oferecida como sugestão de trabalho futuro seria estabelecer uma sequência de operação dos equipamentos existentes, com etapas bem definidas e que não prejudicasse a produção, nesta atividade, seria interessante envolver um engenheiro de produção.

Ao analisar o cenário atual da demanda, no valor de 230 kW, houveram multas em todos os meses, os valores da diferença da ultrapassagem e o valor pago em multa, totalizando R\$ 27.757,92, estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Cenário de multas com a demanda fora de ponta atual na modalidade verde

Mês	Diferença (kW)	O que vai ser pago	Valor pago
Janeiro	53,68	Ultrapassagem	R\$ 2.719,36
Fevereiro	51,81	Ultrapassagem	R\$ 2.624,63
Março	50,73	Ultrapassagem	R\$ 2.569,91
Abril	34,69	Ultrapassagem	R\$ 1.757,35
Maio	40,79	Ultrapassagem	R\$ 2.066,37
Junho	54,47	Ultrapassagem	R\$ 2.759,38
Julho	34,49	Ultrapassagem	R\$ 1.747,22
Agosto	52,6	Ultrapassagem	R\$ 2.664,65
Setembro	51,42	Ultrapassagem	R\$ 2.604,87
Outubro	38,92	Ultrapassagem	R\$ 1.971,64
Novembro	49,06	Ultrapassagem	R\$ 2.485,31
Dezembro	35,28	Ultrapassagem	R\$ 1.787,24

Fonte: Aatoria propria (2022)

Após o cálculo de quanto foi o montante pago em ultrapassagem com a demanda vigente de 230 kW e apresentado na Tabela 3, foi feita a mesma análise, agora com a nova demanda sugerida de 275 kW. Os valores que seriam pagos, em multas ou pelo que não foi utilizado, em 2021 caso ela já estivesse ativa naquele ano estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Cenário de multas com a nova demanda fora de ponta modalidade verde

Mês	Diferença (kW)	O que vai ser pago	Valor pago
Janeiro	8,68	Nada	R\$ -
Fevereiro	6,81	Nada	R\$ -
Março	5,73	Nada	R\$ -
Abril	-10,31	Isenta de ICMS	R\$ 191,17
Maio	-4,21	Isenta de ICMS	R\$ 78,06
Junho	9,47	Nada	R\$ -
Julho	-10,51	Isenta de ICMS	R\$ 194,88
Agosto	7,6	Nada	R\$ -
Setembro	6,42	Nada	R\$ -
Outubro	-6,08	Isenta de ICMS	R\$ 112,74
Novembro	4,06	Nada	R\$ -
Dezembro	-9,72	Isenta de ICMS	R\$ 180,23

Fonte: Autoria própria (2022)

Percebe-se que não ocorreram multas por ultrapassagem de demanda, somente houve cobrança de tarifa de demanda sem incidência de ICMS nos meses de abril, maio, julho outubro e dezembro contabilizando juntos R\$ 757,07 reais.

A subtração do valor total pago da Tabela 3 com o da Tabela 4 resulta na economia estimada anual. O valor estimado de economia anual, considerando o novo cenário, é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Economia anual com a nova demanda contratada

Mês	Economia
Janeiro	R\$ 2.719,36
Fevereiro	R\$ 2.624,63
Março	R\$ 2.569,91
Abril	R\$ 1.566,18
Maio	R\$ 1.988,31
Junho	R\$ 2.759,38

Mês	Economia
Julho	R\$ 1.552,34
Agosto	R\$ 2.664,65
Setembro	R\$ 2.604,87
Outubro	R\$ 1.858,90
Novembro	R\$ 2.485,31
Dezembro	R\$ 1.607,01
Economia Aproximada	R\$ 27.000,85

Fonte: Aatoria propria (2022)

A distribuidora estabelece os prazos para solicitar o aumento da demanda, segundo informações encontradas no *site* da COPEL deve-se se solicitar com antecedência mínima de 30 dias ao início do ciclo de faturamento a ser considerado com o novo valor contratado.

4.2 Análise entre a modalidade horária azul e verde

Do cálculo de consumo médio mensal da indústria no ano de 2021, feito a partir da fatura em anexo 1, obtém-se o valor de 1860,92 kWh para o consumo no horário de ponta e de 37372,92 kWh para o horário fora de ponta. Para os valores de demanda, foi considerado a situação em que a nova demanda de 275 kW estivesse contratada para a tarifa fora de ponta e fora considerada a média do ano para a tarifa de ponta, no valor de 44 kW.

Com estes valores, foi realizado uma análise da diferença de contratação entre as duas modalidades, verde e azul, considerando que não houveram multas por ultrapassagem e sem incidência de bandeira tarifária, somente os valores das tarifas com incidência dos tributos PIS, COFINS e ICMS. O valor médio mensal de gastos com consumo em hora azul e verde estão dispostos no Quadro 6.

Foi feito a mesma simulação tarifária para demanda na modalidade azul, considerando a metodologia da subseção 3.3, afim de calcular o montante anual que seria pago, considerando as multas por ultrapassagem ou os casos em que não ocorre a incidência de ICMS.

Quadro 6 - Valor médio mensal de consumo na indústria nas modalidades azul e verde

Modalidade Azul A3a		Montante	Tarifa	Total
Energia (kWh)	P	1860,92	0,77451	R\$ 1.441,30
	FP	37372,92	0,53268	R\$ 19.907,81
TOTAL MENSAL EM MÉDIA				R\$ 21.349,10
Modalidade Verde A3a		Montante	Tarifa	Total
Energia	P	1860,9167	2,079	R\$ 3.868,85
	FP	37372,91667	0,53268	R\$ 19.907,81
TOTAL MENSAL EM MÉDIA				R\$ 23.776,65

Fonte: Autoria própria (2022)

Para o horário fora de ponta, o resultado do valor anual da tarifação da demanda é o mesmo que a Tabela 5 devido ao valor cobrado para este posto tarifário em ambas modalidades serem o mesmo. Para o período de ponta, foi necessário realizar a mesma análise, agora com as tarifas do posto tarifário de ponta, que resultou na Tabela 6.

Tabela 6 - Cenário de multas com a nova demanda de ponta modalidade azul

Mês	Diferença Ponta	O que vai ser pago Ponta	Valor pago com Ponta
Janeiro	-0,32	Isenta de ICMS	R\$ 18,12
Fevereiro	-1,4	Isenta de ICMS	R\$ 79,28
Março	1,26	Nada	R\$ -
Abril	-1,2	Isenta de ICMS	R\$ 67,95
Mai	1,16	Nada	R\$ -
Junho	1,16	Nada	R\$ -
Julho	4,31	Ultrapassagem	R\$ 462,81
Agosto	-1,89	Isenta de ICMS	R\$ 107,03
Setembro	-0,32	Isenta de ICMS	R\$ 18,12
Outubro	-4,25	Isenta de ICMS	R\$ 240,67
Novembro	-4,84	Isenta de ICMS	R\$ 274,08
Dezembro	-9,86	Isenta de ICMS	R\$ 558,36
TOTAL PAGO			R\$ 1.826,44

Fonte: Autoria própria (2022)

O montante pago por demanda na azul e verde respectivamente é de R\$ 114.084,26 e R\$ 84.545,01. Quando somado os valores de consumo anual para cada posto tarifário estes valores passam a ser de R\$ 370.273,50 e de R\$ 369.864,80.

O que resulta em R\$ 408,68(0,11%) favoráveis a modalidade verde, sem a necessidade de alteração.

Na modalidade azul a indústria teria de controlar duas demandas, pois em caso de ultrapassagem nos dois horários a multa sairia muito mais cara do que a praticada na modalidade verde. Na subseção 4.7 é mostrado o quão rentável é para os participantes do consórcio a modalidade verde do que a azul.

4.3 Potencial de geração de energia

A propriedade rural pode gerar 361,18 m³/dia de biogás, o equivalente a 556,22 kWh/dia de geração de energia. Nos horários de ponta o GMG opera a nominal, com isso seu consumo será de 20m³/h neste período, isto por conta de a energia gerada no horário de ponta ser mais cara que no horário fora de ponta. A quantidade remanescente de biogás produzido foi dividida pelas horas no período fora de ponta, a relação com da potência nominal pelo consumo de biogás é representada no Gráfico 2 da subseção 4.5.

A geração para cada mês do ano está disposta na Tabela 7.

Tabela 7 – Estimativa da energia produzida pelo biogás por mês

Mês	kWh
Jan	16.130,25
Fev	14.461,61
Mar	16.130,25
Abr	15.574,04
Mai	16.130,25
Jun	15.574,04
Jul	16.130,25
Ago	16.130,25
Set	15.574,04
Out	16.130,25
Nov	15.574,04
Dez	16.130,25
Mínimo	14.461,61
Média	15.805,80
Máximo	16.130,25
Total	189.669,54

Fonte: Autoria própria (2022)

4.4 Dimensionamento do biodigestor BLC

Com o tratamento dos dados de entrada C, L e Pu, após o cálculo do volume útil do biodigestor, foi calculado as dimensões completas para o modelo BLC com as Equações 8 a 20.

O tempo de retenção hidráulico (TRH) do processo deu dentro do limite adequado estabelecido pela literatura encontrada para esse tipo de biodigestor, resultando em 40 dias.

Contudo, o volume do biodigestor ficou relativamente baixo devido a consideração do parâmetro de sólidos voláteis ser um dado médio. Com valores superiores para So o volume e produção de energia é maior, entretanto o TRH do processo tende a aumentar, o que prejudicaria o processo de geração de biogás.

Percebe-se então que o biodigestor do tipo BLC apresenta limitações para altas concentrações de sólidos voláteis, isto pode estar relacionado ao baixo nível tecnológico empregado neste modelo. Todos os parâmetros de dimensionamento do biodigestor BLC estão dispostos na Tabela 8.

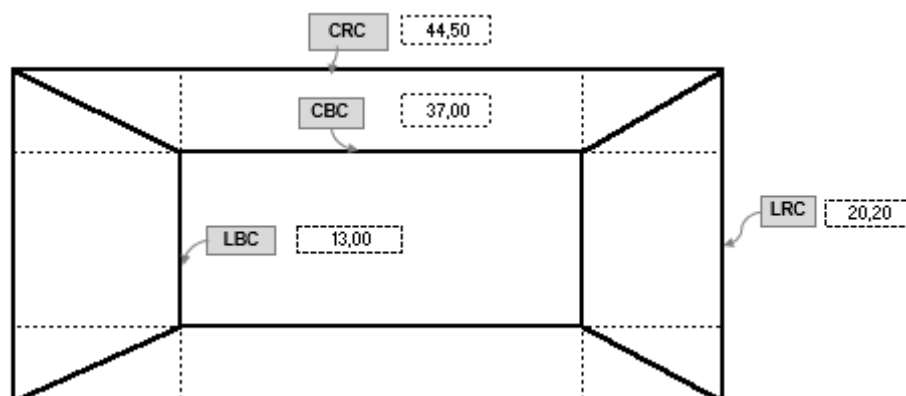
Tabela 8 – Resultados dos parâmetros após os dados de entrada

RESULTADOS DOS PARÂMETROS DO DIMENSIONAMENTO	
Profundidade total (PT) (m)	3,20
Volume útil (m ³)	1.947,00
Volume total (m ³)	2.076,80
Comprimento real da calha (CRC) (m)	44,50
Comprimento base da calha (CBC) (m)	37,00
Largura real da calha (LRC)(m)	20,20
Largura da Base da Calha (LBC) (m)	13,00
Calha total (m)	129,40
Manta de revestimento da calha (m ²)	1.057,66
Manta de armazenamento de gás (m ³)	1.209,69

Fonte: Autoria propria (2022)

A visão bidimensional do biodigestor BLC, com as dimensões calculadas, é dada pela Figura 3.

Figura 3 – Visão superior do biodigestor BLC retangular



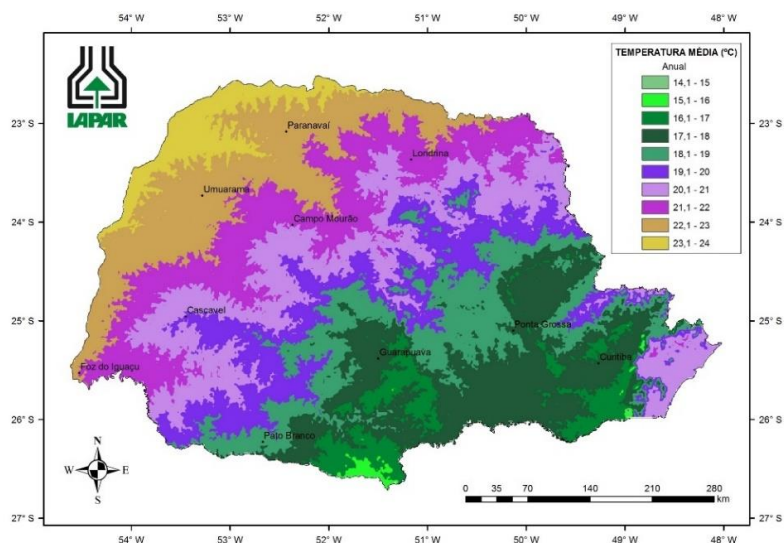
Fonte: Autoria própria (2022)

Para cálculo da viabilidade econômica do projeto, na subseção 4.7, foi encontrado por interpolação de valores entre dois orçamentos de biodigestores (EMBRAPA, 2016) o valor estimado de investimento do biodigestor BLC com 1947 m³ foi de R\$ 266.738,50.

Para a operação do biodigestor é necessário se ter o *flare*, que é um equipamento que queima o biogás caso ocorra aumento de pressão que coloque o biodigestor em risco. O *flare* é previsto, por exemplo, para as manutenções do GMG e evita que o biogás seja liberado diretamente na atmosfera.

A temperatura usada nesse estudo foi a mesma de Itaipulândia (que se encontra na faixa dos 21,1 °C a 22 °C) como apresentada pela Figura 4.

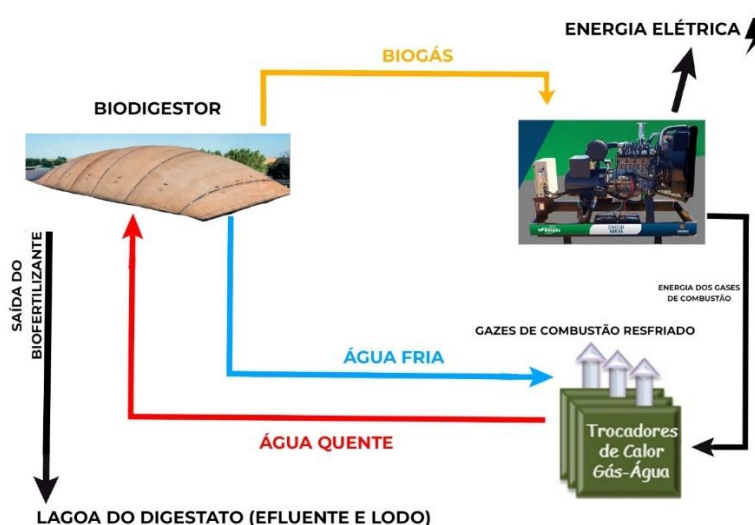
Figura 4 - Temperatura média anual por faixas no estado do Paraná



Fonte: IAPAR (2019)

Segundo Montilha (2005), a temperatura para o processo de biodigestão tem uma faixa ideal de atuação entre 30 °C e 35 °C. sendo que, na região Sul do país, tipicamente mais fria, se faz necessário buscar soluções para contornar o clima. Uma delas é a utilização de serpentinas que circulam pelo biodigestor com água aquecida, o esquemático que representa este processo está disposto na Figura 5.

Figura 5 - Esquemático de aquecimento do biodigestor



Fonte: Adaptado portal do biogás (2022)

O processo consiste na utilização térmica dos gases emitidos pela combustão no GMG para um trocador de calor gás-água que esquentará a água que vai para as serpentinas dentro do biodigestor, a água circula e retorna ao equipamento novamente para aquecimento e isto ocorre o ano todo, mantendo a temperatura dentro do biodigestor estável.

4.5 Dimensionamento do GMG

Com o consumo a nominal do gerador escolhido ele consegue operar 18,059 h seguidas, o que não é aconselhável pois assim o equipamento ficaria em tempo ocioso algumas horas e ocasionalmente poderia acarretar em interferências externas sobre o processo de geração de energia.

A melhor solução para esse estudo é operar à potência nominal no horário de ponta e gerar o máximo de créditos neste horário, e no restante do dia alocar o que sobrou do biogás, assim o gerador não ficará em tempo ocioso, evitando o risco de interferências externas que podem acontecer quando o gerador não está funcionando.

Sendo assim, ao ser feita uma relação direta entre o consumo de biogás e a potência nominal com relação ao longo do dia, foi observado que os horários fora de ponta ficam com uma potência de geração a 71,71% da nominal, com base no volume de biogás remanescente. A relação que apresenta a potência nominal em porcentagem ao longo do dia é apresentada pelo Gráfico 2.



Fonte: Autoria própria (2022)

A definição de operação feita foi importante na análise do consórcio e será tratada na subseção 4.6. Além da definição de operação foi determinado o valor do GMG de 50 kVA com base no investimento da EMBRAPA para a instalação completa de um GMG com fins de geração distribuída, o valor é de R\$ 141.686,05.

4.6 Geração compartilhada através do consórcio de energia

A propriedade rural está no direito do desconto da tarifa rural, conforme previsto na Seção VI da resolução Aneel 1000/2021, sendo assim ocorre o diferimento de ICMS sobre o consumo de energia. A diferença no valor tarifário entre a indústria na modalidade verde e a propriedade rural é de R\$ 0,014776 para o horário fora de ponta e de R\$ 1,56110 para o horário de ponta.

Considerando que o custo de alocação dos equipamentos do consórcio seja estabelecido a 0,52 R\$/kWh para o horário fora de ponta e de 1,50 R\$/kWh para o horário de ponta e que a propriedade rural gera em média 15.805,80 kWh por mês, conforme consta na Tabela 3, pode-se chegar a um valor de contrato pro consórcio.

Atualmente o consumo médio da propriedade rural é de 3.696,83 kWh, considerando que a projeção de consumo aumente com o novo número de animais em 20%, o consumo passaria a ser de 4436,2 kWh, restando 11.369,6 kWh a ser destinado a indústria, com isso o valor do contrato considerando o consumo médio de ponta e o de fora ponta ficaria em R\$ 7.735,88 para abater em média 1.860,91 kWh em ponta e 9.508,69 kWh no horário fora de ponta mensalmente.

Com essa quantia de energia destinada a indústria, considerando as bandeiras tarifárias vigentes em 2021 (ANEEL), poderia gerar uma economia ao ano de R\$ 16.514,80(3,87%) conforme consta na Tabela 9.

Tabela 9 - Economia anual pelo consórcio com bandeira tarifária em 2021 para a indústria

Mês/ano	bandeira vigente	kWh	R\$/kWh	economia (R\$)
dez/21	Escassez Hídrica	11.369,60	0,21321	2424,11
nov./21	Escassez Hídrica	11.369,60	0,21321	2424,11
out/21	Escassez Hídrica	11.369,60	0,21321	2424,11
set/21	Escassez Hídrica	11.369,60	0,21321	2424,11
ago./21	vermelha 2	11.369,60	0,14252	1620,40
jul./21	vermelha 2	11.369,60	0,14252	1620,40
jun./21	vermelha 2	11.369,60	0,14252	1620,40
mai./21	vermelha 1	11.369,60	0,05962	677,86
abr./21	amarela	11.369,60	0,02813	319,83
mar/21	amarela	11.369,60	0,02813	319,83
fev./21	amarela	11.369,60	0,02813	319,83
jan./21	amarela	11.369,60	0,02813	319,83
ECONOMIA ANUAL EM BANDEIRA TARIFÁRIA				16514,80

Fonte: Autoria própria (2022)

Como não há a possibilidade de associar o faturamento a venda por unidade de R\$/kWh, conforme consta no Art. 6-A da resolução normativa nº 482 de 2012 da ANEEL, a mesma permite que o valor do aluguel seja composto por um valor fixo e outro variável, foi estudado um modelo de contrato que contemple esta resolução.

Um modelo de contrato que ambas as partes são resguardadas e ganham: Após um ano é realizado um levantamento de geração:

- I) Se gerou mais que o previsto: O locador emite uma fatura extra
- II) Se gerou menos, ocorre desconto na próxima fatura

Este período de 1 ano é necessário por conta da sazonalidade dos consumidores. Com este modelo de contrato ambas as partes são resguardadas de sair no prejuízo.

Para a aprovação do estatuto do consórcio é importante se atentar ao que o Art. 279 da Lei n. 6404/76 e aos pontos que devem constar no documento do consórcio a ser arquivado na junta comercial, esses pontos foram listados na subseção 2.2.3.1. Após o arquivamento na junta comercial, os integrantes devem preencher a planilha de rateio de energia e anexar a documentação complementar (documento do consórcio) para aprovação, sendo aprovado todos os arquivos entregue os créditos serão disponibilizados aos consorciados, conforme a % de rateio da planilha. O esquemático de passos para a efetivação do consórcio de energia está disposto na Figura 6.

Figura 6 - Esquemático de passos para efetivação do consórcio de energia



Fonte: Autoria própria (2022)

O esquemático é para o modelo de negócio por consórcio, o requisito mínimo de ter duas pessoas jurídicas deve ser atendido antes de prosseguir com o restante dos trâmites. Quando ocorre a saída ou entrada de novas pessoas jurídicas no consórcio é necessário emitir um termo aditivo e repassá-lo a junta comercial, sendo cobrado uma taxa pelo termo aditivo. Este mesmo termo aditivo do contrato em que consta a relação atualizada dos consorciados, deverá ser apresentado a Copel para validação e atualização do rateio.

4.7 Indicadores econômicos

O investimento estimado para o projeto de geração de energia na propriedade é de R\$ 408.424,55 ao somar o valor estimado dos equipamentos nas subseções 4.4 e 4.5.

Somando a economia anual de consumo na propriedade e o faturamento do consórcio de energia, estabelecido no item 4.6, a receita anual da propriedade será de R\$ 120.400,92. Descontados os 11,08% anuais sobre o valor inicial do investimento, destinados a manutenção e operação do projeto, o fluxo de caixa anual será de R\$ 75.147,50. Com estes dados e considerando a TMA como a média dos últimos 5 anos da taxa SELIC (5,91%), foram calculados os valores dos indicadores econômicos, dispostos na Tabela 9.

Tabela 10 - Indicadores econômicos do projeto de geração de energia na propriedade rural

INDICADORES ECONÔMICOS	
TIR	18%
TMA	5,91%
VPL	R\$ 459.844,39
PAYBACK DESCONTADO	6,62 anos

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao serem analisados os indicadores econômicos constata-se a viabilidade do projeto pela TIR ser superior a TMA, e o VPL calculado com o fluxo de caixa de 20 anos resultando em um valor positivo vem como um indicador de apoio a conclusão de viabilidade do projeto.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A realização deste trabalho permitiu concluir, após as análises das faturas e posteriormente o estudo do perfil de consumo, que nem toda solução de redução de custos com energia elétrica necessita de investimentos maciços ou grande grau de tecnologia envolvida. É necessário discutir a melhor solução entre todos os participantes do processo, a fim de a solução alcançar o resultado esperado. Na resolução deste trabalho o levantamento de cargas foi pouco utilizado devido a escolha do proprietário de manter o atual período de utilização dos equipamentos, mas poderá servir de auxílio em um trabalho futuro. A estimativa de economia somente considerando a adequação de demanda é de R\$ 27.000,85 (6,31%) ao ano, um valor significativo ao considerar que não precisa de investimento.

Os parâmetros calculados para o dimensionamento do biodigestor estão dentro do que a literatura recomenda, e em teoria seu funcionamento está adequado. O biodigestor adotado apresenta restrições quanto ao valor para sólidos voláteis do substrato, logo conclui-se que a melhor escolha do modelo é interessante de ser feita após a coleta de uma amostra do substrato e ser feito sua caracterização.

Como a geração compartilhada configura uma alocação dos instrumentos e não a venda direta de energia entre as partes, a denominação do negócio é importante para não sofrer nenhuma penalidade, por isso a determinação do valor fixo a ser cobrado por mês e depois de 12 meses ser realizado o reajuste do ano anterior é importante. A indústria conseguiria economizar com este consórcio de energia a quantia de R\$ 31.130,40 (7,29%) ao ano, valor equivalente ao desconto na tarifa estipulada aos consumos horários de ponta e fora ponta e da bandeira tarifária que não iria ser incidida sobre seu consumo ao longo do ano de 2021.

A análise de viabilidade econômica do projeto através dos indicadores se mostrou positiva, com um *Payback* descontado de 6,62 anos, este resultado pode melhorar, considerando o que está previsto na Resolução Normativa 414 da ANEEL com o fim gradativo dos descontos na tarifa rural até 2023 a economia na geração da própria energia irá ser considerada no fluxo de caixa anual, diminuindo o tempo de retorno sobre o investimento.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar um estudo de estabelecimento de etapas e processos bem definidos na indústria em conjunto com a avaliação do consumo e demanda hora a hora.

O trabalho poderia ser feito por um engenheiro de produção em conjunto com um engenheiro eletricitista.

- Análise da viabilidade econômica da utilização do biogás para a produção de hidrogênio verde, o qual está crescendo nos países mais desenvolvidos no biogás, como a Alemanha.
- Verificar o enquadramento legal para a utilização dos créditos de energia da propriedade suinocultura, desta vez por meio da geração compartilhada com o modelo de cooperativismo, destinando os créditos de energia ao grupo B, atendidos em baixa tensão.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A.; STEINMETZ, R.; KUNZ, A. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**: Os biodigestores – Capítulo III. p. 41 – 68. v. 1. Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 414/2010**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 1000/2021**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 22. mai. 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 2.886/2021**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20212886ti.pdf>. Acesso em: 22. mai. 2022.

BIZAWU, Kiwonghi.; AGUIAR, Patrícia Leal Miranda. **Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável: Desafios e Perspectivas para os Países Emergentes**. Revista CONPEDI LAW REVIEW, Uruguai. 2, n. 4 | p. 394 - 411 | dez. 2016.

BLANK, Leland; TARQUIN, Anthony. **Engenharia econômica**. AMGH Editora, 2009.

BRASIL. Lei nº 6.404 de 15 de dezembro de 1976 - **CONSÓRCIO**. CAPÍTULO XXII, Art. 279. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1970-1979/lei-6404-15-dezembro-1976-368447-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em 28 abr. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.427 de 26 de Dezembro de 1996. CAPÍTULO XXVI Art. 26. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm. Acesso em: 22. mai. 2022.

BRASIL. **PORTARIA Nº 465, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2019**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-465-de-12-de-dezembro-de-2019.-233554889>. Acesso em: 29 nov. 2021.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. **Viabilidade econômica** da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, set./out. 2010

CIBiogás – **Biogás no Brasil**. História e perspectiva de futuro. 22 de jan. 2020. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog-post/biogas-no-brasil-historia-e-perspectiva-de-futuro/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

COPEL. **Demanda** para sua empresa. 02 abr. 2020. Disponível em: <https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/para-sua-empresa/demanda/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

COSTA, D.F. (2006) **Geração de energia elétrica a partir do biogás** do tratamento de esgoto. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2006/12/01/geracao-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas-do-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

COSTA, Júlia Melo Franco Neves. **Temperatura final de carbonização e queima dos gases na redução de metano**, como base à geração de créditos de carbono. 2012. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3120/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 16 jun 2022.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de **dejetos de suínos**. Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 11, p. 1-32, 1998.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 20 jul. 2021

GRINGS, V. H; WOLOSZYN, N. **Árvore do conhecimento: suínos**. AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. [s.d]. Disponível em: <https://bit.ly/3z6WsnP>. Acesso em: 14 mar. 2022.

IDR-Paraná. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 10 abr. 2022.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para **geração de biogás**. Revista de Política Agrícola, ano 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

LOUREIRO, T. Y. C.; ORLANDO, A. de F. **Medição de vazão de gás em sistemas de flare (Tocha)**. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat06910a&AN=puc.204427&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 14 jun. 2022.

MARQUEZAN, L. H. F.; BRONDANI, G. ANÁLISE DE INVESTIMENTOS. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 35, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/contabilidade/article/view/21>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MONTILHA, F. **Biogás: Energia Renovável**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil com ênfase Ambiental) - Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2005.

MOREIRA, Helena Margarido; GIOMETTI, Analúcia Bueno dos Reis. **Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa**. Contexto internacional, v. 30, p. 9-47, 2008.

OLIVEIRA, P. A. V. Manual de Manejo e Utilização dos **Dejetos de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. 188 p.

OLIVEIRA, P. A. V. Manual de Manejo e Utilização dos **Dejetos de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. 88 p.

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2ª Revisão Quadrimestral das **Projeções da demanda de energia elétrica do SIN**. Disponível em: http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/NT%202%C2%AA%20Revis%C3%A3o%20Quadrimestral%202020_final.pdf. Acesso em 20 jul. 2021

PEREIRA, Warley Augusto; ALMEIDA, L. da S. Método manual para cálculo da taxa interna de retorno. **Revista Objetiva**, v. 4, p. 38-50, 2008.

SCHULTZ, Guilherme. **Boas Práticas Ambientais na Suinocultura**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/525873108/Boas-Praticas-Ambientais-na-Suinocultura-Sebrae>. Acesso em: jun. 2022.

VANNUCCI, Luiz R. **Matemática financeira e engenharia econômica**: princípios e aplicações. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2017. 320 p.

VIANA, Fabiana Gama. Relacionamento planejadores energéticos e jornalistas: a análise da **crise energética de 2001**. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/264723/1/Viana_FabianaGama_M.pdf. Acesso em: jul. 2021.

APÊNDICE A - Levantamento de cargas na indústria

No	Local	Ambiente	Modelo	Quantidade	Potência (KW)	Potência (cv)	η (%)	FP	Rotação (rpm)	H. de Funcionamento
1	motor de fracionamento	forno	SEW-EURODRIVE S57 DRN80M4/BE1	1	0,75	1	85,5	0,7	1751	24h
2	motor de empurrar os vagões do forno	forno	SEW-EURODRIVE S57 DRN80M4/BE2	1	0,75	1	85,5	0,7	1751	24h
3	motor redutor	forno	V58344GZFOD00 01	1	1,89	2,57	84	0,85	1750	24h
4	motor de acoplamento motor 3	forno	SEW-EURODRIVE SA77/T DRN80MP4	1	1,10	1,5	84	0,72	1735	24h
5	motor de chaminé	forno		1	7,35	10				24h
6	exaustor do pré forno	forno	WEG IR3 Premium	2	3,68	5	89,5	0,77	1740	24h
7	Motor de recirculação de calor do forno	forno	Sem identificação	1	18,50	25,2	92,5	0,85	1770	24h
8	Exaustor soprador	forno	WEG W22	2	2,20	3,0	85,5	0,84	3450	24h
9	Motor utilitário pros forno de aquecimento	forno	SEW-EURODRIVE R57 DRS71S4	18	0,37	0,5	72,3	0,69	1700	24h
10	Motor esteira de alimentação de material geral	forno	SEW-EURODRIVE SA77/T DRN80MP4	2	1,10	1,5	84	0,72	1735	24h
11	Motor armazenamento-esteira de alimentação geral (10)	forno	SEW-EURODRIVE SA67/T DRN80M4	1	0,75	1,0	85,5	0,7	1751	24h
12	Motor armazenamento-esteira de alimentação geral (10)	forno	SEW-EURODRIVE SA57/T DRS71S4	2	0,37	0,5	72,3	0,69	1700	24h
13	Moto redutor do motor 12	forno	SEW-EURODRIVE SA57/T DRS71S4	2	0,37	0,5	72,3	0,69	1700	24h
14	Motor da peneira de separação	forno	WEG W22	1	1,10	1,5	81,6	0,79	1715	24h
15	Motor da abraçadeira do pallet	forno	WEG IR3 Premium	2	3,68	5	89,5	0,77	1740	24h
16	Motor envelopadora vertical	forno	SEW-EURODRIVE RF07 DRS71S4	1	0,37	0,50	72,3	0,69	1700	24h
17	Motor envelopadora horizontal	forno	SEW-EURODRIVE DRE80M4BE1/FG	1	1,10	1,50	82,8	0,79	1730	24h
18	Motor rotacional da envelopadora	forno	SEW-EURODRIVE RF37 DRS71M4	1	0,55	0,75	75,4	0,71	1690	24h
19	Motor locomoção dos pallets com tijolos prontos	forno	SEW-EURODRIVE R97 DRE90L4	1	2,20	2,99	85,3	0,81	1710	24h
20	Motor sistema de ventilação	Secagem 1	WEG W22 PLUS	4	0,37	0,50	59	0,66	1710	24h
21	Motor sistema de ventilação	Secagem 1	WEG W22 PLUS	6	1,50	2,04	84,2	0,78	1750	24h
22	Motor esteira dos ventiladores	Secagem 1	WEG W22 PLUS	1	0,18	0,24	62	0,67	1710	24h
23	Estrator chaminé	Secagem 1	WEG IR3 Premium	1	3,68	5	89,5	0,77	1740	24h
24	Motor sistema de ventilação	Secagem 2	WEG W22 PLUS	4	0,37	0,50	59	0,66	1710	24h
25	Motor sistema de ventilação	Secagem 2	WEG W22 PLUS	6	1,50	2,04	84,2	0,78	1750	24h
26	Motor esteira dos ventiladores	Secagem 2	WEG W22 PLUS	1	0,18	0,24	62	0,67	1710	24h
27	Estrator chaminé	Secagem 1	WEG		3,68	5				24h
28	Exaustor	Secagem	WEG		14,71	20				24h
29	M. Freio	produção	W22 Motofreio IR3 Premium	2	1,10	1,5	84	0,8	1725	8h
30	Motor	produção	WEG	1	1,10	1,5	84	0,8	1725	8h
31	Motor	produção	W22 IR3 Premium	2	1,47	2	86,5	0,8	1750	8h
32	Motor	produção	W22 IR3 Premium	4	0,74	1	83	0,82	1715	8h
33	Motor da maromba	produção	WEG W22	1	110,00	150	95,2	0,86	1785	8h
34	Bomba de vacuo	produção	Eletro WV	1	7,35	10			1700	8h
35	Motor do cilindro 1	produção	WEG 225S/M0980	1	29,42	40	87	0,87	1180	8h
36	Motor do cilindro 2	produção	WEG	1	15,00	20	89,6	0,78	1170	8h
37	Motor do processo de misturação	produção	WEG W22 PLUS	1	29,42	40	93,4	0,86	3560	8h
38	Motor correia-misturador	produção	SEW-EURODRIVE R47 DRE90M4	1	1,50	2,04	84,3	0,8	1710	8h
39	Motor misturador-cilindro	produção	VOGES	1	1,47	2	81,5	0,8	1730	8h
40	Motor cilindro-maromba	produção	WEG W22 Plus	1	0,74	1	80,5	0,81	1730	8h
41	Compressor de ar da maromba	produção	VOGES 30J56	1	3,68	5	79,4	0,89	3440	8h
42	Motor 1 da caixa de preparação da argila	preparação	VOGES V/100 L6	2	2,21	3	83,8	0,72	1140	8h
43	Motor 2 da caixa de preparação da argila	preparação	VOGES V 132 S4	2	0,74	1	91	0,86	1760	8h
44	Motor separação de pedra	preparação	SIEMENS	1	14,71	20	87	0,74	3525	8h
45	Motor separação de pedra	preparação	WEG 132M 0691	1	11,03	15	92,4	0,83	1760	8h
46	Motor cilindro da preparação	preparação	WEG 225S/M	1	45,00	60	91,6	0,9	1775	8h
47	Motor correia cilindro-maromba	preparação	WEG IR3 Premium	1	3,68	5	89,5	0,77	1740	8h
48	Motor correia separador-cilindro da preparação	preparação	WEG	1	2,20	3	78,3	0,85	1710	8h

Fonte: Autoria própria (2021)

ANEXO A - Fatura de energia elétrica dez/2021 da indústria


COPEL

 Copel Distribuição S.A.
 José Izidoro Biazetto, 158 bl.C - Mossunguá - Curitiba PR - CEP 81200-240
 CNPJ: 04.368.898/0001-06 - IE 90.233.073-99 - IM 423.992-4

página 1 / 1

www.copel.com

0800 643 75 75

Mês de Referência

Dezembro/2021

Unidade Consumidora

VENCIMENTO

04/01/2022

VALOR A PAGAR

R\$ 41.385,21

FAT-01-20212344057658-31

Emitida em 03/12/2021

EXTRATO DE FATURAMENTO - TARIFA HORARIA VERDE
Informações Técnicas

Mês/Ano Consumo/uso do Sistema: 12/2021 Indust/Fabr de Artef de Ceramica Barro Constr
 Data de Emissão 10/12/2021 Perdas de Transformação: 2.5%
 Data Real Leit Atual 30/11/2021 Rel. Transform. Corrente: 400/5
 Data Real Leit Anterior 31/10/2021 Rel. Transform. Potencial: 000000/000
 Data Provável Prox Leitura 01/01/2022

Grandezas e Valores para Faturamento

Produto	Leitura Anterior	Leitura Atual	Medido	Contratado	Faturado	Tarifa	Total
ENERGIA ELET CONSUMO PTA	2327713	2391615	1571,00		1571,00	2,152858	3.382,14
ENERGIA ELET CONSUMO F PTA	45403737	46908795	37024,00		37024,00	0,551607	20.422,68
ENERGIA REAT EXC F PONTA	328037	353974	638,00		638,00	0,445172	284,02
DEMANDA	2836	2696	265,28	230,00	265,28	26,304358	6.978,02
DEMANDA ULTRAPASSAGEM23/11/21 - 08:45			35,28	0,00	35,28	52,608277	1.856,02
ENERGIA CONS B ESCASSEZ HID							8.445,28
ENERGIA ELETRICA CONSUMO	47731450	49300410	38596,00				
ENERGIA REAT EXC PONTA	212	212	0,00				
ENER. REAT. INDUTIVA	12915631	13407908	12110,00				

Informações Suplementares

Tarifas
 CONSUMO F PONTA 0,357960
 CONSUMO PTA 1,397090
 DEMANDA 17,070000
 DEMANDA ULTRAP. 34,140000

Tensão Contratada: 33000 volts
 Limite Adequado de Tensão: 30690 a 34650 volts

Histórico de Consumo e Pagamentos
