

ANÁLISE ECONÔMICA DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E NA AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA

Lucas Cenci¹
Poliana Schneider Durigon²

RESUMO

Este artigo visa propor a implementação de um sistema fotovoltaico em uma instituição de ensino superior privada e analisar qual modalidade de conexão proporciona a maior economia, seja na geração distribuída, como autoconsumo local, ou como autoprodutor de energia com venda do excedente no mercado livre. Para isso, foi necessário analisar o histórico de consumo de 12 meses na fatura, bem como a energia gerada pelo gerador diesel durante o horário de ponta, com o intuito de mantê-lo apenas para *backup*. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi utilizado o *software SOLergo*, fotos e projetos das coberturas com o intuito de enquadrar o sistema com base nas condições físicas que os telhados que a instituição dispõe para implementação dos módulos fotovoltaicos, tendo assim a projeção real da geração de energia que poderá ser extraída deste gerador. O gerador definido é composto por 454 módulos fotovoltaicos de 575 Wp, associados a 3 inversores de 75 kW, totalizando assim uma potência de módulos de 261,05 kWp e 225 kW de inversores. Como conclusão, foram realizadas análises econômicas em ambos os cenários, onde demonstrou-se que o *payback* na geração distribuída é em torno de 3 anos e 3 meses, enquanto na autoprodução é de aproximadamente 3 anos.

Palavras-chave: Geração distribuída; Autoprodutor de energia; Mercado livre.

1 INTRODUÇÃO

Durante o ano de 2021, o setor elétrico brasileiro acabou passando por uma crise hídrica catastrófica, afetando drasticamente grande parte da produção de energia elétrica do Brasil. Segundo o balanço energético de 2022, as fontes de geração hídricas possuíam uma participação de 60,2% na capacidade instalada (EPE, 2022). Em decorrência disso, criou-se a bandeira tarifária escassez hídrica em setembro de 2021, acarretando em um acréscimo de R\$14,20 mais tributos a cada 100 kW/h (*kilo-watt* hora) na conta de energia dos consumidores pertencentes ao ambiente regulado (ANEEL, 2023).

Estes expressivos custos adicionais na conta de energia da maioria dos brasileiros acabaram impulsionando a adoção de medidas protetivas pelos consumidores para evita-los. Uma medida adotada por uma parcela considerável de consumidores foi a implementação de geradores conectados à rede de distribuição das concessionárias, com o intuito de produzir sua

¹ Graduando (a) em Engenharia Elétrica (UCEFF, 2023). E-mail: lucas_cenci@uceff.edu.br.

² Especialista em Engenharia Elétrica – (UNIOESTE). E-mail poliana.durigon@uceff.edu.br.

própria energia elétrica e blindar-se das bandeiras tarifárias, bem como dos reajustes anuais praticados pelas concessionárias (ANEEL, 2023).

O Brasil possui um alto potencial solar quando comparado com outros países mais desenvolvidos. Por exemplo, na Alemanha³, a maior irradiância solar atingida é em torno de 3.500 Wh/m² (*Watt* hora por metro quadrado) enquanto no Brasil, temos valores médios entre as 5 regiões na casa de 5.153 Wh/m² ao longo do ano (Atlas Brasileiro De Energia Solar, 2017).

Com isso, a geração fotovoltaica teve um expansivo crescimento, principalmente pelo fato de ter sua composição literalmente, de módulo a módulo, o que permitiu a ampla adesão a este tipo de geração de energia por todos os tamanhos de consumidores, se enquadrando nos estabelecimentos e casas dos mesmos. Como resultado, houve a inserção de 458.046 novos geradores de fonte fotovoltaica em 2021, um acréscimo de 102,2% quando comparado ao ano de 2020 (ANEEL, 2023).

Além disso, a diversificação da matriz elétrica brasileira traz benefícios significativos para o setor elétrico. Atualmente, o Brasil depende em grande parte de fontes hídricas para sua geração de energia, o que o torna mais vulnerável às crises hídricas, propiciando um impacto maior aos consumidores finais através das bandeiras tarifárias que são acionadas nestes momentos. Portanto, a diversificação da matriz energética ajuda a reduzir esse impacto, pois permite que a demanda por energia seja suprida por outras fontes de geração, preferencialmente por fontes renováveis (Greenvolt, 2021).

Sendo assim, o consumidor que instala uma geração fotovoltaica conectado à rede de distribuição pode participar do sistema de compensação de energia elétrica através da homologação do gerador na geração distribuída convencional. Em alguns casos, também pode analisar o enquadramento deste gerador fotovoltaico como autoprodutor de energia no mercado livre, sendo esta segunda opção a menos explorada atualmente no Brasil. Os números atuais de geradores conectados em ambas as modalidades são os seguintes: 2.187.832 conexões na geração distribuída (ANEEL, 2023) e apenas 106 conexões como autoprodutores de energia no mercado livre (CCEE, 2023).

Nesse contexto, o estudo iniciou-se devido à necessidade da redução de custos operacionais em uma instituição de Ensino Superior Privada. A conta de energia elétrica representa um custo elevado para a instituição, que está localizada no oeste de Santa Catarina, onde pretende-se propor a implementação de um sistema fotovoltaico. Sendo assim questiona-

³ Pioneira na utilização de sistemas fotovoltaicos, se tornando assim uma grande referência no setor fotovoltaico.

se: **qual opção apresenta a maior viabilidade econômica para o gerador fotovoltaico, geração distribuída ou autoprodução de energia?**

Portanto, o objetivo geral deste estudo é propor a implantação deste gerador fotovoltaico e analisar qual modalidade proporciona a maior viabilidade. Inclusive, será considerado que o gerador a diesel fique apenas para *backup*, para analisar qual solução será mais favorável economicamente para a instituição de ensino superior Privada.

Primeiramente, faz-se necessário analisar o histórico de consumo e valores gastos atualmente, tanto na conta de energia, quanto na conta do combustível que alimenta o gerador diesel. Assim, é possível realizar o dimensionamento prévio do gerador fotovoltaico, análise financeira e *payback* para comprovar a viabilidade deste projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO REGULADA

O ambiente de contratação regulada (ACR), também conhecido como mercado cativo, foi regulamentado em 2004 através do decreto nº 5.163 sobre a comercialização de energia. Define-se como o mercado de energia o meio pela qual as operações ocorrem entre agentes vendedores e distribuidores, geralmente através de processos de licitações que permitem concessionárias de energia efetuarem a venda de energia para consumidores finais dentro de sua área de concessão (Brasil, 2004).

Este tipo de mercado é simplista, da ótica do consumidor, tendo em vista que todo seu consumo de energia elétrica resume-se apenas a um agente, neste caso, a distribuidora de energia. Ela é responsável por fornecer, medir e cobrar toda a energia consumida pelos seus consumidores em uma única fatura mensal. O valor da tarifa é anualmente ajustado, podendo incidir a cobrança de bandeiras tarifárias associadas principalmente a más condições climáticas no âmbito energético que afetam diretamente a geração de energia (Omega Energia, 2023).

Para os consumidores do grupo A, a energia elétrica é dividida em dois postos tarifários por se tratar de uma tarifa horária; existe o horário de ponta, considerado um período de três horas definidos pela concessionária com o consentimento da ANEEL, em que a energia é mais cara motivada pela alta demanda de energia neste período. Na concessionária Celesc este período ficou definido entre às 18 horas e 30 minutos e às 21 horas e 29 minutos, exceto nos

sábados, domingos e feriados. Já o horário fora de ponta é o restante do período não compreendido pelo horário de ponta (ANEEL, 2021).

2.2 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE

Este ambiente possibilita tramitar a compra e venda de energia elétrica (TE)⁴ através de contratos bilaterais, negociados livremente entre as partes interessadas, de acordo com as normas e procedimentos que regulam esta comercialização. Em virtude disso, denomina-se este tipo de mercado como ambiente de contratação livre (ACL), ou, comumente conhecido como mercado livre de energia (Brasil, 2004).

Dentro do ACL, existem divisões de agentes que nele operam, sendo eles destacados no Quadro 1.

Quadro 1 – Agentes do Mercado Livre.

Agentes	Descrição
Consumidor Especial	Consumidor com demanda mínima de 500 kW que adquire a sua energia de fontes incentivadas.
Consumidor Livre	Consumidor com demanda maior de 1.000 kW que adquire a sua energia de qualquer fonte, seja ela incentivada ou não.
Comercializador	Agente que intermedia a compra e venda da energia elétrica.
Distribuidor	Responsável pela conexão e atendimento ao consumidor, cobrando pelo uso da estrutura para que a energia seja entregue.
Produtor Independente	Produz a energia apenas para fins de comercialização.
Autoprodutor	Produz a energia para o seu uso e tem a possibilidade de comercializar a energia excedente.

Fonte: Ajustado de Energês (2021).

As operações no mercado livre se demonstram mais complexas quando comparadas ao ACR. Isso requer o intermédio de uma gestora para gerir os contratos previamente negociados, que incluem detalhes como a fonte de energia, preço, prazos, volume e flexibilidade. Portanto, a previsibilidade do consumo de energia em um horizonte mais longo é de suma importância para moldar as condições do contrato conforme necessário (Omega Energia, 2023).

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) tem a responsabilidade de calcular o preço de liquidação das diferenças (PLD) dentro dos limites máximo e mínimo. Esse preço refere-se ao custo de um MWh de energia no ACL, valor que serve como referência para os contratos, bem como para compra e venda de energia no mercado de curto prazo. Nos últimos cinco anos, o PLD atingiu, em média, o valor de R\$166,89 por MWh para o submercado sul (CCEE, 2023).

⁴ Componente tarifária: Tarifa de energia.

Em ambos os mercados de energia, é possível possuir geração própria para amortização do consumo e, conseqüentemente, dos gastos com o mesmo. Vale ressaltar que cada modelo de conexão possui suas próprias características de operação (Engie, 2023).

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída tornou-se disponível para consumidores comuns pertencentes ao mercado cativo conseguirem conectar seus geradores na rede de distribuição através da Resolução Normativa nº482/2012, que foi publicada com o intuito de permitir que amplos consumidores conseguissem produzir sua própria energia elétrica para autoconsumo (ANEEL, 2012).

Este modelo tem o intuito de trazer os geradores próximo dos consumidores. Com isso, a geração distribuída não requer linhas de transmissão por longas distâncias para conexão à rede, fazendo com que as perdas deste tipo de sistema sejam menores, tornando o sistema elétrico mais eficiente. Além disso, permite a expansão da matriz energética através de energia limpa, o que acaba impactando positivamente no preço e disponibilidade da energia elétrica no país (Canal Solar, 2021).

A geração distribuída possui duas classificações para os geradores, que é determinado através da faixa de potência em que o empreendimento se enquadra. Para usinas de até 75 kW a mesma é considerada uma microgeração distribuída. Usinas que possuem potência de inversor acima de 75 kW e inferior a 3.000 kW para fonte solar são conhecidas como minigeração distribuída (Portal Solar, 2023).

O funcionamento da geração distribuída se dá através do sistema de compensação de energia elétrica (SCEE). A Resolução Normativa nº1000/2021 define como o empréstimo gratuito da energia injetada na rede da concessionária em que o sistema está conectado, para posterior compensação do consumo na fatura em que a energia foi injetada, bem como nas faturas que fazem parte do sistema de compensação. Após a injeção ocorrer e o consumo ser abatido, se houver saldo de energia, a parcela de energia dedicada para cada fatura fica vinculada a ela e ao titular da unidade consumidora (ANEEL, 2021).

Existem 4 modalidades em que os geradores pertencentes à geração distribuída podem se enquadrar, e elas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Modalidades da geração distribuída.

Modalidade	Descrição
Autoconsumo local	Possui o sistema de geração no mesmo local do consumo.
Autoconsumo remoto	Consumidores que possuem sistema de geração de energia elétrica e possuem mais do que uma unidade consumidora com mesma titularidade sendo beneficiadas pelo mesmo.
Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (EMUC)	Composto por unidades consumidoras com titularidades distintas, podendo ser pessoa física ou jurídica, porém desde que sejam situadas em um mesmo local, podem receber os créditos através da formulação do condomínio.
Geração Compartilhada	Caracterizada através de um acordo entre consumidores, através de alguma associação civil, pode ser entre pessoa física e pessoa jurídica, que permite receber crédito de algum gerador mesmo instalado em local distinto, desde que dentro da mesma área de concessão, sem a necessidade de possuir apenas uma titularidade para participar do SCEE.

Fonte: Ajustado de Brasil (2022).

Considerando o exposto, se faz necessário compreender essas modalidades para distinguir os benefícios de cada uma delas, de modo que seja possível analisar o melhor enquadramento possível para os geradores e unidades consumidoras pertencentes ao sistema de compensação de energia elétrica. É importante enfatizar que também pode ser associado autoconsumo local com autoconsumo remoto (Energês, 2020).

Por existir diferenciação no custo da energia de acordo com o horário em que ela é consumida, a energia injetada na rede de distribuição é tratada da mesma forma. Sendo assim, na geração fotovoltaica, em que a mesma ocorre praticamente somente no horário fora de ponta, primeiro é compensada a energia deste posto tarifário, e posteriormente a energia no horário de ponta. No entanto, para ocorrer esta compensação em postos tarifários distintos, se faz necessário considerar o fator de ajuste (Energês, 2020).

Trata-se da relação do valor da tarifa de energia ponta comparada com a fora de ponta para equiparar o valor do crédito com a energia que efetivamente será compensada do posto tarifário distinto do posto em que o crédito foi gerado. Com isso, é necessário produzir uma quantidade maior de energia, pelo fato de a produção ocorrer durante o horário fora de ponta, para que seja possível compensar a energia consumida no horário de ponta (Ayrão, 2019).

2.3.1 Lei 14.300/2022

Em maio de 2018, a ANEEL deu os primeiros passos rumo à revisão da Resolução Normativa 482/2012, que era a resolução que regia as regras do sistema de compensação de energia elétrica (SCEE). Desde 2012, havia paridade tarifária total sobre a energia que era injetada na rede e posteriormente compensada, ou seja, todas as componentes tarifárias eram

compensadas sem nenhum decréscimo no valor quando comparado com o kWh de consumo (Bright Strategies, 2020).

Porém, foi publicada no Diário Oficial da União na data de 06 de janeiro de 2022 a Lei 14.300/2022, que instituiu o marco legal da geração distribuída. Ela traz o intuito de rever as formas de compensações dos novos geradores que se conectarem, ficando assim subdividida em três formatos de compensação para os geradores da microgeração e minigeração distribuída, sendo descritos no Quadro 3, (Brasil, 2022).

Quadro 3 – Formatos de compensação na geração distribuída.

Grupo	Descrição
GD I	Conexões existentes ou com protocolo de solicitação até a data de 07 de janeiro de 2023.
GD II	Conexões solicitadas a partir da data de 08 de janeiro de 2023, desde que não se enquadrem nas condições da GD III.
GD III	Conexões solicitadas a partir da data de 08 de janeiro de 2023, com potência instalada superior a 500 kW, de fonte não despachável na modalidade de autoconsumo local e/ou remoto, ou desde que um único titular não detenha mais do que 25% de participação do excedente de energia elétrica na modalidade de geração compartilhada.

Fonte: Ajustado de Aneel (2022).

Com a introdução desta lei, pretende-se remunerar as distribuidoras pelo uso do sistema de distribuição, que é efetivamente onde estão conectados os geradores, pois é nesse ponto que ocorre a injeção de uma parcela da geração da usina. Assim, o tributo devido pelo consumidor que produz sua própria energia através da geração distribuída incidirá somente sobre a parcela de energia que será injetada e posteriormente compensada na fatura de energia (Energês, 2023).

A conta de energia pode ser dividida em duas grandes componentes, denominadas tarifa de energia (TE) e tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD). As mesmas podem ser divididas em subcomponentes, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 – Componentes tarifários.

Componente tarifários	Subcomponente tarifários
Tarifa de energia elétrica (TE)	Energia
	Transporte - Itaipu
	Perdas
	Encargos
	Outros
Tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD)	TUSD Fio A
	TUSD Fio B
	Perdas
	Encargos
	Outros

Fonte: Ajustado de Energês (2023).

A subcomponente responsável pela remuneração do custo da distribuição de energia é o TUSD fio B. É nela onde está inserido os valores pertinentes à manutenção e à operação da rede de distribuição que fornece a energia entre os consumidores como residências e indústrias (Solmais Distribuidora, 2023). A perda de receita para geradores pertencentes à geração distribuída e enquadrados no grupo G II será de forma gradativa, logo, o valor não compensável do TUSD fio B sofrerá alterações ao longo dos anos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Cobrança das componentes tarifárias grupo G II.

Componente tarifária	Percentual não compensável	Ano
TUSD Fio B	15 %	2023
	30 %	2024
	45 %	2025
	60 %	2026
	75 %	2027
	90 %	2028
	Sujeita às regras tarifárias estabelecidas pela ANEEL	

Fonte: Ajustado de Brasil (2022).

Para os geradores que se enquadram no grupo G III, o TUSD fio B, ao invés de sofrer perdas gradativas, irá partir desde o início sem compensação alguma. Logo, o impacto sobre a receita proveniente destes geradores será maior. Além disso, haverá mais componentes tarifárias que sofrerão sanções no que tange a compensação monetária. A Tabela 2 que demonstra essas componentes (Brasil, 2022).

Tabela 2 – Cobrança das componentes tarifárias grupo G III.

Componente tarifária	Percentual não compensável	Ano
TUSD Fio A	40 %	2023
TUSD Fio B	100 %	
P&D ⁵	100 %	
EE ⁶	100 %	
TFSEE ⁷	100 %	

Fonte: Ajustado de Brasil (2022).

O valor das tarifas compensadas tanto da GD II e GD III são menores, quando comparados à GD I, portanto, se faz necessário a simulação dos cenários para que efetivamente seja identificado a real economia que cada sistema proporcionará dentro das nas novas regras de compensação (Greener, 2023).

⁵ P&D - Pesquisa e Desenvolvimento.

⁶ EE - Eficiência Energética..

⁷ TFSEE - Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica..

2.4 AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA

Define-se como autoprodutor de energia (APE) aquele que recebe concessão ou autorização para produção da própria energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo ser por pessoa física, pessoa jurídica ou empresas reunidas através de um consórcio. Importante ressaltar que o autoprodutor não necessita de potência mínima para ser autoprodutor, apenas de registro para usinas até 5 MW. Para empreendimentos com potência superior a esta, é necessário a obtenção de outorga (Brasil, 1996).

Dois anos após a regulamentação da autoprodução, a Lei nº 9.648/1998 foi publicada, introduzindo algumas alterações para esta modalidade de geração no ambiente de contratação livre. Com essa atualização, tornou-se possível comercializar o excedente de energia elétrica gerada, proveniente do superávit da geração de energia em relação ao consumo, proporcionando novas oportunidades aos autoprodutores (Brasil, 1998).

A autoprodução tem se tornado cada vez mais atrativa para os consumidores em geral por conta dos benefícios concedidos por essa modalidade. Pelo fato de produzir a sua própria energia, sobre a parcela gerada e alocada no seu consumo, diversos encargos são passíveis de abatimento ou isenção, conforme exposto no Tabela 3, (Greener, 2022).

Tabela 3 – Isenção de Encargos e Tributos (APE).

Componente tarifária / Encargos	Isenção
Encargos de Serviço do Sistema - ESS	100 %
Encargo de Energia de Reserva - EER	100 %
Conta de Desenvolvimento Energético - CDE	100 %
Programa de Incentivo às Fontes Alternativas - PROINFA	100 %
Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição	50 %
TUSD Potência (Demanda) e TUSD de horário de ponta	(Fonte Solar sem outorga)

Fonte: Ajustado de Greener (2022).

O consumidor autoprodutor desfruta de benefícios que incluem a capacidade de suprir totalmente ou parcialmente o seu consumo, mitigando riscos como instabilidade nos preços da energia, bem como a incidência dos encargos anteriormente ilustrados, que também podem variar de acordo com o momento em que está o setor elétrico brasileiro. Além disso, com a autoprodução, é possível gerar uma nova fonte de renda proveniente da venda de excedente através do mercado de curto prazo ou de contratos no ACL (Energês, 2022).

Vale ressaltar que, além dos benefícios no âmbito econômico, o autoprodutor que opta por uma fonte renovável, como a energia solar fotovoltaica, se compromete com as metas de sustentabilidades em conjunto com às práticas ESG (*Environmental, Social and Governance*).

Esta adesão promove certificações verdes, que oferecem uma melhor visibilidade ao consumidor por estar utilizando energia efetivamente de uma fonte renovável (Energês, 2022).

2.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O gerador fotovoltaico conectado à rede consiste, primordialmente, de módulos fotovoltaicos e de inversor fotovoltaico *on-grid*. Os módulos são responsáveis por transformar a energia solar em energia elétrica; eles são associados em arranjos e interligados nos inversores *strings*. Os inversores, por sua vez, têm como função converter a energia elétrica de corrente contínua, fornecida pelos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada com tensão e frequência compatíveis com as fornecidas pela concessionária (Ayrão, 2018).

No dimensionamento e projeto deste tipo de sistema, faz-se necessário analisar fatores cruciais para a geração de energia. Isso inclui considerar a orientação e inclinação da instalação dos módulos, a demanda de consumo a ser suprida e a disponibilidade de potência e espaço físico na estrutura existente (Pinho; Galdino, 2014).

Além disso, o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico é de suma importância para o âmbito econômico. Desta forma, avalia-se todas as características da unidade consumidora local, como demanda, consumo total e principalmente o consumo ponta. Isso é feito com o intuito de definir a potência total do gerador fotovoltaico para que se tenha energia para atender todo o consumo, porém, sem sobra demasiada que na geração distribuída ficará retida como saldo (Ayrão, 2019).

No mercado, encontra-se vários *softwares* voltados para projetos fotovoltaicos, como *PVSyst*, *SOLergo* e *Pvsol*. Neste artigo, o *software* escolhido para realizar o dimensionamento do gerador fotovoltaico, bem como para criar o *layout 2D* e conduzir as análises de geração e performance dos equipamentos, é o *SOLergo*. Vale ressaltar que o mesmo utiliza o Atlas Brasileiro como sua base de dados solarimétricos (Electro Graphics, 2023).

2.6 GERADOR A DIESEL

Segundo Asano (2015), o custo proveniente da energia consumida durante o horário de ponta acarreta em um valor expressivo na conta de energia elétrica. Por esse motivo, é comum buscar soluções para mitigar estes gastos. É comum o uso de geradores à diesel durante este

período, o que geralmente resulta em uma economia ao consumidor final, desde que o mesmo não possua geração própria proveniente de outra fonte de energia renovável.

A constante operação do gerador a diesel para atender o consumo ponta requer a utilização de artifícios, como manutenções periódicas, a fim de prolongar a vida útil do equipamento e garantir o seu bom funcionamento. De acordo com Nocera, Gomes e Pereira (2015), propõe-se a realização de manutenções periódicas a cada trimestre, com base em 200 horas de operação, o que acarreta em um custo estimado de R\$ 4.251,67 para um grupo gerador de 500 kVA⁸.

Por conta de todos os custos associados para atender o consumo durante o horário de ponta com o gerador diesel, faz-se necessário avaliar a utilização de um gerador fotovoltaico *on-grid* maior, para que possa ser feita a compensação deste consumo ponta. Solução esta que tem como objetivo minimizar os custos com manutenção e com o próprio consumo de combustível fóssil, contribuindo positivamente com a redução de emissão de gás carbônico (Solarvolt, 2023).

Desta forma, nos casos em que o gerador diesel já opera durante o horário de ponta, é necessário realizar um levantamento do seu custo real de produção para justificar a sua operação. Conforme informações fornecidas pelo fabricante Stemac (2023), o grupo gerador diesel de 500 kVA – 364 kWe⁹, abordado neste estudo de caso, consome 92,1 litros de combustível para operar com 100% de sua capacidade. Informação esta que permite encontrar a energia produzida pelo mesmo para compor o consumo total da instituição.

2.7 ANÁLISE DE *PAYBACK*

Conforme observado por Diógenes (2018), o método mais simplista de análise do retorno do capital investido, conhecido como *payback*, tem como premissa a avaliação do fluxo de caixa ao longo dos anos. Este método tem como objetivo quantificar o período de tempo necessário para que o valor inicial seja recuperado. Vale ressaltar que o *payback* pode ser categorizado de duas maneiras, simples ou descontado.

Segundo Helenco e Rigon (2015), o *payback* tem como função determinar se o investimento que estiver sendo analisado se justifica ou não, artifício este muito utilizado para tomadas de decisões. A avaliação pelo método do *payback* simples objetiva determinar o tempo

⁸ kVA: *kilo volt-ampère*.

⁹ Potência Prime: Operação em regime permanente.

mínimo para que o somatório das receitas e o valor inicial do investimento se equiparem, todavia, sem levar em consideração valor do dinheiro no tempo.

O *payback* descontado possui o mesmo conceito do simples, entretanto, é feito a correção do valor ao longo do tempo, ou seja, o fluxo de caixa sofre decréscimos de acordo com uma taxa mínima de atratividade (TMA). Trata-se de um instrumento mais refinado no âmbito de análise dos investimentos com aporte provenientes de recurso próprio (Helenco; Rigon, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve as etapas realizadas para obtenção dos resultados do objetivo geral proposto neste artigo, bem como a ordem de acontecimento dos fatos, conforme descrito no Quadro 5:

Quadro 5 – Materiais e Métodos.

Etapas	
1. Levantamento e coleta de dados da instituição de ensino privada.	
	1.1 – Faturas de energia elétrica do ano de 2022.
	1.2 – Modelo, potência e performance do gerador diesel.
	1.3 – Consumo de combustível do ano de 2022 do gerador diesel.
	1.4 – Projetos do telhado da edificação, bem como suas dimensões reais.
	1.5 – Regime e créditos tributários usáveis pela instituição.
	1.6 – Potência de transformação disponibilizada, bem como a demanda contratada atual.
2. Análise do histórico de consumo durante o ano de 2022.	
	2.1 – Somatório do consumo registrado na fatura de energia.
	2.2 – Quantificação da energia elétrica produzida pelo gerador diesel.
3. Elaboração do dimensionamento do sistema fotovoltaico.	
	3.1 – Definição da potência total do gerador fotovoltaico.
	3.2 – Escolha dos equipamentos.
	3.3 – Elaboração do layout de instalação.
4. Estudo da geração de energia do gerador fotovoltaico.	
	4.1 – Avaliação das condições de instalação, como inclinação e azimute.
	4.2 – Simulação da geração de acordo as características de instalação com o <i>software SOLergo</i> .
5. Análise financeira e comparativo de cenários.	
	5.1 – Simulação da economia na geração distribuída.
	5.2 – Simulação de economia na autoprodução de energia.
	5.3 – Análise das economias e respectivos <i>paybacks</i> em um horizonte de 30 anos, considerando a depreciação e garantia de produção do módulo fotovoltaico.
	5.4 – Avaliação do tempo de retorno do investimento em ambas as modalidades.

Fonte: Dados do estudo (2023).

Este projeto analisou a viabilidade financeira de instalação de um sistema fotovoltaico na instituição de ensino privado nas modalidades de geração distribuída e na autoprodução. Com isso, foi preciso realizar a análise do histórico de consumo. O montante de consumo

registrado na fatura de energia elétrica não reflete integralmente a energia efetivamente consumida devido à utilização do gerador diesel durante o horário de ponta.

Portanto, houve a necessidade de coletar as faturas e o consumo total em litros de combustível no último ano. Associado a isso, foi fundamental coletar o modelo e as características técnicas do grupo gerador, com o intuito de encontrar a energia total fornecida pelo mesmo no último ano de operação. Para isso, foi utilizado a potência de operação em regime permanente, designada pelo fabricante na folha de dados como potência *prime*.

Após a totalização do consumo, deu-se início à fase de elaboração dimensionamento do sistema fotovoltaico. Para isso, foi fundamental utilizar as informações anteriormente levantadas, tais como a área disponível, inclinação, orientação, tipo de telha, ponto de conexão com a rede elétrica e a potência existente de transformação. Isso possibilitou a formulação de um possível layout e, como resultado, a definição da potência total do gerador fotovoltaico.

Dessa forma, foi escolhido utilizar o *software SOLergo*, que tem como base o Atlas Brasileiro no banco de dados de irradiância, para simulação da geração. *Software* este que proporciona uma ampla versatilidade, possibilitando contemplar todos os cálculos de queda de tensão e dimensionamento dos condutores de acordo com o seu método de instalação, tornando mais eficiente e rápida a análise.

Para utilizá-lo, é necessário efetuar o preenchimento de informações, como a cidade, inclinação e ângulo de exposição de cada aba que receberá os módulos fotovoltaicos, com o intuito de extrair na simulação a geração que cada módulo proporcionará.

Os componentes do gerador fotovoltaico, módulo e inversor fotovoltaico, foram definidos em acordo com suas características elétricas atrativas, com eficiências altas onde ocupam uma menor área da cobertura, e também maximizam a geração de energia. Além disso, fator importante é a presença de mercado nacional, ponto este que facilita os trâmites de garantia caso venha a ser necessário utilizar.

Iniciou-se a projeção de inserção dos módulos fotovoltaicos nas abas de telhados em que a irradiância solar é mais intensa, visando uma maior produção de energia. Neste processo, já foram analisadas e quantificadas as perdas de produção, resultando na geração líquida fornecida pelo sistema fotovoltaico. Os valores adotados estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Perdas do gerador fotovoltaico.

Descrição	Valores
Perdas pelo aumento de temperatura	5,5 %
Perdas por <i>mismatch</i>	4 %
Perdas em corrente contínua e alternada	0,8 %

Perdas devido à conversão do inversor de frequência	1,6 %
Outras perdas (Sujeira, linha de horizonte)	7,5 %

Fonte: Dados do estudo (2023).

Com a conclusão do dimensionamento do sistema fotovoltaico, iniciou-se à elaboração de orçamentos para implementação do mesmo. Isso envolveu contemplar os materiais, mão de obra, projetos e os trâmites perante a concessionária para homologação do gerador fotovoltaico.

A partir disso, foi possível analisar a viabilidade econômica do projeto em ambas as modalidades. O cálculo das projeções econômicas foi realizado a partir de uma planilha, analisando as componentes tarifárias em cada cenário, em acordo com as peculiaridades que cada um dos ambientes de contratação proporciona, bem como os custos adicionais oriundos da implantação do sistema fotovoltaico.

Na análise financeira, foi utilizado o método de *payback* simples, que tem como premissa determinar o período de tempo necessário para que o investimento inicial seja recuperado. Utilizou-se deste método em ambos os cenários, analisando os valores de investimento e economia distintos entre eles, além dos custos de manutenções preventivas necessárias.

Para isso, considerou-se um período de 30 anos (período de garantia de eficiência do módulo de no mínimo 87,4% de acordo com o fabricante), levando em conta um reajuste tarifário de 4% ao ano nos primeiros 10 anos, e nos demais considerado 2%, bem como uma depreciação gradativa do módulo de 1% no primeiro ano e 0,4% nos anos subsequentes. Por se tratar de um longo período, considerou-se a substituição dos inversores no 15º ano de operação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de viabilidade do projeto de implementação do gerador fotovoltaico foi desenvolvida levando em conta a geração junto à carga da instituição de ensino privada, contemplando somente o consumo da mesma. Para isso, foi considerado o consumo presente nas faturas de energia, bem como a energia elétrica que o gerador diesel produziu e evitou de ser registrado pelo medidor de energia presente na subestação.

Desta forma, foi realizada a transformação da quantidade de combustível consumido no ano de 2022 em energia elétrica. Utilizou-se como base os dados da Tabela 5, que ilustram as características do grupo gerador, permitindo correlacionar as informações concedidas pela instituição com o intuito de cessar a utilização do gerador diesel durante o horário de ponta.

Tabela 5 – Dados do gerador diesel.

Descrição	Valores
Potência à plena carga	364 kW
Consumo de combustível à plena carga	92,1 litros

Fonte: Ajustado de Stemas (2023).

Após a transformação, foi possível consolidar o consumo total que a instituição teve durante o ano de 2022 de forma mensal, conforme exposto na Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo de energia.

Mês	Consumo Fora Ponta	Consumo Ponta (Fatura de Energia)	Consumo Ponta (Gerador à diesel)	Consumo total Ponta	Consumo total (Ponta + Fora Ponta)
Jan/22	19.640	209	3.885	4.094	23.734
Fev/22	16.666	245	7.549	7.794	24.460
Mar/22	15.808	238	8.221	8.459	24.267
Abr/22	20.487	380	8.300	8.680	29.167
Mai/22	16.594	327	8.331	8.658	25.252
Jun/22	19.518	493	7.825	8.318	27.836
Jul/22	19.761	215	5.612	5.827	25.588
Ago/22	17.441	128	7.588	7.716	25.157
Set/22	18.125	194	7.904	8.098	26.223
Out/22	17.796	220	7.509	7.729	25.525
Nov/22	17.734	243	7.904	8.147	25.881
Dez/22	17.170	395	7.173	7.568	24.738
Total	216.740	3.287	87.801	91.088	307.828

Fonte: Dados do estudo (2023).

A unidade consumidora local é atendida em tensão primária, ou seja, pertence e é faturada como grupo A4, neste estudo de caso A4 verde. Existe, assim, a diferenciação dos horários de ponta e fora de ponta.

Logo, para que ocorra a compensação do consumo ponta total na geração distribuída, foi necessário considerar o fator de ajuste. Na concessionária Celesc, isso se reflete em um fator de 1,585 vezes o consumo total no horário de ponta.

Portanto, a energia total necessária para abater o consumo ponta é de 144.374 kWh, totalizando assim uma geração mínima de 361.114 kWh para permitir o abatimento integral do consumo da instituição. A partir deste valor, foi possível iniciar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, tendo como premissa os telhados disponíveis na fase de coleta de dados.

A Tabela 7 indica quais as exposições e inclinações foram utilizadas na simulação do *software SOLergo*, bem como suas respectivas médias de irradiância solar ano.

Tabela 7 – Exposições dos telhados.

Exposição	Inclinação	Orientação	Irradiância solar (kWh/m ² ano)
Exp 1 – Telhado Norte	8,5°	-174,1°	1.729,6 kWh/m ²

Exp 2 – Telhado Leste	8,5°	-85,2°	1.663,7 kWh/m ²
Exp 3 – Telhado Oeste	8,5°	94,8°	1.674,4 kWh/m ²

Fonte: Dados do estudo (2023).

Com o levantamento dos telhados disponíveis, foi determinado os equipamentos do sistema fotovoltaico que pretendem ser utilizados nesta implementação do gerador fotovoltaico, sendo estes descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Descrição dos equipamentos do gerador fotovoltaico.

Fabricante	Tipo	Modelo	Potência
Sungrow	Inversor Fotovoltaico	SG75CX	75 kW
Sunova Solar	Módulo Fotovoltaico	SS-575-72MDH (T)	575 Wp

Fonte: Adaptado de Sungrow e Sunova Solar (2022).

O gerador fotovoltaico proposto neste estudo de caso, é composto por 454 módulos fotovoltaicos de 575 Wp, estes associados a 3 inversores fotovoltaicos de 75 kW, totalizando assim uma potência de 261,05 kWp com 225 kW de potência ativa do sistema. Com este conjunto, a projeção de geração anual será de 362.000 kWh, com uma performance média de 1.386,7 kWh por kWp instalado. A Figura 1 indica esta projeção da inserção dos módulos no telhado da instituição.

Figura 1 – Layout prévio do sistema fotovoltaico.



Fonte: Dados do estudo (2023).

Após a definição do gerador fotovoltaico, foi realizada a cotação de todos os equipamentos e materiais necessários para implementação do mesmo com uma empresa especializada na cidade de Chapecó-SC. Desta forma, o custo total de investimento deste gerador é de R\$625.000,00, sendo esta uma solução *turn-key*¹⁰ do empreendimento. Com a definição e levantamento de custos para instalação do gerador fotovoltaico, é necessário comprovar a viabilidade econômica em sua implantação.

Com este propósito, foi realizado o levantamento dos gastos arcados pela instituição de ensino para manter o seu consumo de energia no ano de 2022. Em decorrência deste compilado, foi encontrado os valores discriminados na Tabela 9. Todos os valores a seguir constam com o decréscimo dos impostos PIS e COFINS, sendo a alíquota adotada de 9,25%, em que a instituição pode fazer a apropriação do crédito proporcionados pelos mesmos.

Tabela 9 – Valores médios de custo com energia elétrica no ano de 2022.

Descrição (Componentes tarifárias)	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$) Médio mês	Relação percentual do custo global (%)
TUSD fora ponta	R\$ 0,114	R\$ 2.075,03	7,72 %
TE fora ponta	R\$ 0,319	R\$ 5.744,87	21,38 %
TUSD ponta	R\$ 1,119	R\$ 306,57	1,14 %
TE ponta	R\$ 0,504	R\$ 138,08	0,51 %
COSIP (Iluminação pública)	R\$ 0,011	R\$ 203,14	0,76 %
Demanda contratada consumo	R\$ 21,243	R\$ 6.373,02	23,72 %
Energia reativa	R\$ 0,342	R\$ 173,36	0,65 %
Combustível gerador diesel	R\$ 5,695	R\$ 10.543,72	39,25 %
Manutenção periódica para o gerador diesel (a cada 200 horas de operação)	R\$ 3.925,25	R\$ 1.308,41	4,87 %
Total médio gasto mês		R\$ 26.866,21	100 %
Total médio gasto ano		R\$ 322.394,52	

Fonte: Dados do estudo (2023).

A projeção de implementação do sistema fotovoltaico tem como principal premissa extrair o máximo de retorno econômico que o mesmo pode proporcionar. Com isso, foi analisada a viabilidade na conexão do gerador como geração distribuída, bem como na autoprodução de energia com venda de excedente no mercado livre.

Em virtude disso, a economia final proporcionada pelo gerador em ambas as modalidades foi calculada, comparando os custos atuais com os custos que continuará tendo em cada cenário com a inserção do gerador fotovoltaico. Desta forma, a Tabela 10 explicita esses valores, juntamente com os novos custos que eventualmente podem existir.

¹⁰ Turn-key: Solução completa do início ao fim.

Tabela 10 – Valores médios de custo com energia elétrica em 2024 após implementação do sistema fotovoltaico.

Descrição (Componentes tarifárias)	Conta média mês na geração distribuída (R\$)	Conta média mês na autoprodução de energia (R\$)
TUSD fora ponta	R\$ 291,41	R\$ 386,79
TE fora ponta	R\$ 0,00	R\$ 0,00
TUSD ponta	R\$ 2.975,00	R\$ 3.975,77
TE ponta	R\$ 0,00	R\$ 0,00
COSIP (Iluminação pública)	R\$ 0,00	R\$ 173,12
Demanda contratada consumo	R\$ 6.373,02	R\$ 3.187,90
Energia reativa	R\$ 173,36	R\$ 173,36
Encargos CCEE (ESS + EER)	R\$ 0,00	R\$ 30,96
Gestão no mercado livre	R\$ 0,00	R\$ 738,58
Combustível gerador diesel	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção periódica para o gerador diesel (a cada 200 horas de operação)	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Compra do déficit de geração	R\$ 0,00	R\$ 311,18
Receita com a venda do excedente	R\$ 0,00	- R\$ 953,84
Total médio gasto mês	R\$ 9.812,79	R\$ 8.023,82
Total médio gasto ano	R\$ 117.753,48	R\$ 96.285,84

Fonte: Dados do estudo (2023).

Através das projeções de custos, é possível determinar as reais economias que cada cenário proporciona. Dessa forma, a Tabela 11 descreve estes valores mensais e anuais de economia. Vale ressaltar que o cenário de APE, tem necessidade de mais equipamentos, projetos e taxas quando comparado ao cenário de GD. Sendo assim, o valor de implementação sofre um acréscimo em R\$55.000,00.

Tabela 11 – Valores médios de economia e rentabilidade com energia elétrica em 2024.

Descrição	Geração distribuída (Mercado Cativo)	Autoprodução (Mercado Livre)
Valor de investimento	R\$ 625.000,00	R\$ 680.000,00
Percentual de economia	63,48 %	70,13 %
Total de economia média mês	R\$ 17.053,41	R\$ 18.842,38
Total de economia média ano	R\$ 204.640,92	R\$ 226.108,56
Rentabilidade média mês	2,73 %	2,77 %
Rentabilidade média ano	32,74 %	33,25 %

Fonte: Dados do estudo (2023).

Como este tipo de investimento é de longo prazo, faz-se necessário analisar em um horizonte mais amplo. Isso se dá também pelo fato de que a geração distribuída possui regras de perdas na compensação com o passar dos anos. Desta forma, a Tabela 12 demonstra o *payback* e fluxo de caixa do empreendimento, já contemplando essas perdas gradativas da GD.

Tabela 12 – Fluxo de caixa e Payback na geração distribuída (GD).

Geração anual (kWh)	Valor economizado (R\$ / kWh)	Gasto com O&M (R\$)	Economia gerada ano (R\$)	Ano	Fluxo de Caixa
				0	-R\$ 625.000,00

Geração anual (kWh)	Valor economizado (R\$ / kWh)	Gasto com O&M (R\$)	Economia gerada ano (R\$)	Ano	Fluxo de Caixa
362.000	R\$ 0,5653	-R\$ 4.945,36	R\$ 199.691,94	1	-R\$ 425.308,06
358.380	R\$ 0,5608	-R\$ 5.143,17	R\$ 195.836,33	2	-R\$ 229.471,73
356.896	R\$ 0,5534	-R\$ 5.348,90	R\$ 192.157,35	3	-R\$ 37.314,38
355.412	R\$ 0,5467	-R\$ 5.562,86	R\$ 188.740,88	4	R\$ 151.426,50
353.927	R\$ 0,5531	-R\$ 5.785,37	R\$ 189.971,65	5	R\$ 341.398,15
352.443	R\$ 0,5752	-R\$ 6.016,78	R\$ 196.708,43	6	R\$ 538.106,58
350.959	R\$ 0,5982	-R\$ 6.257,45	R\$ 203.686,22	7	R\$ 741.792,80
349.475	R\$ 0,6222	-R\$ 6.507,75	R\$ 210.935,60	8	R\$ 952.728,40
347.991	R\$ 0,6471	-R\$ 6.768,06	R\$ 218.416,92	9	R\$ 1.171.145,32
346.506	R\$ 0,6729	-R\$ 7.038,78	R\$ 226.125,11	10	R\$ 1.397.270,43
345.022	R\$ 0,6864	-R\$ 7.179,56	R\$ 229.643,54	11	R\$ 1.626.913,97
343.538	R\$ 0,7001	-R\$ 7.323,15	R\$ 233.187,80	12	R\$ 1.860.101,77
342.054	R\$ 0,7141	-R\$ 7.469,61	R\$ 236.791,15	13	R\$ 2.096.892,92
340.570	R\$ 0,7284	-R\$ 7.619,00	R\$ 240.452,19	14	R\$ 2.337.345,11
Valor para troca de inversores					-R\$ 96.000,00
339.085	R\$ 0,7430	-R\$ 7.619,00	R\$ 244.321,16	15	R\$ 2.485.666,27
337.601	R\$ 0,7578	-R\$ 7.771,38	R\$ 248.062,66	16	R\$ 2.733.728,93
336.117	R\$ 0,7730	-R\$ 7.926,81	R\$ 251.891,63	17	R\$ 2.985.620,56
334.633	R\$ 0,7885	-R\$ 8.085,35	R\$ 255.772,77	18	R\$ 3.241.393,33
333.149	R\$ 0,8042	-R\$ 8.247,06	R\$ 259.671,37	19	R\$ 3.501.064,70
331.664	R\$ 0,8203	-R\$ 8.412,00	R\$ 263.651,98	20	R\$ 3.764.716,68
330.180	R\$ 0,8367	-R\$ 8.580,24	R\$ 267.681,37	21	R\$ 4.032.398,05
328.696	R\$ 0,8535	-R\$ 8.751,84	R\$ 271.790,20	22	R\$ 4.304.188,25
327.212	R\$ 0,8705	-R\$ 8.926,88	R\$ 275.911,17	23	R\$ 4.580.099,42
325.728	R\$ 0,8879	-R\$ 9.105,42	R\$ 280.108,47	24	R\$ 4.860.207,89
324.243	R\$ 0,9057	-R\$ 9.287,53	R\$ 284.379,36	25	R\$ 5.144.587,25
322.759	R\$ 0,9238	-R\$ 9.473,28	R\$ 288.691,48	26	R\$ 5.433.278,73
321.275	R\$ 0,9423	-R\$ 9.662,75	R\$ 293.074,68	27	R\$ 5.726.353,41
319.791	R\$ 0,9611	-R\$ 9.856,01	R\$ 297.495,12	28	R\$ 6.023.848,53
318.307	R\$ 0,9804	-R\$ 10.053,13	R\$ 302.015,05	29	R\$ 6.325.863,58
316.822	R\$ 1,0000	-R\$ 10.254,19	R\$ 306.567,81	30	R\$ 6.632.431,39

Fonte: Dados do estudo (2023).

O investimento na geração distribuída tem o seu capital inicial investido retornado em aproximadamente 3 anos e 3 meses, e acumulando no decorrer da vida útil dos módulos mais de 6,6 milhões.

Entretanto, se faz necessário analisar a projeção ao longo dos anos na autoprodução, cenário este que não possui perdas diretas no sistema de alocação da geração para o seu próprio consumo. A Tabela 13 demonstra estes valores de economia proporcionados como APE.

Tabela 13 – Fluxo de caixa e Payback na autoprodução (APE).

Geração anual (kWh)	Valor economizado (R\$ / kWh)	Gasto com O&M (R\$)	Economia gerada ano (R\$)	Ano	Fluxo de Caixa
				0	-R\$ 680.000,00
362.000	R\$ 0,6246	-R\$ 4.945,36	R\$ 221.159,58	1	-R\$ 458.840,42
358.380	R\$ 0,6496	-R\$ 5.143,17	R\$ 227.660,48	2	-R\$ 231.179,94
356.896	R\$ 0,6756	-R\$ 5.348,90	R\$ 235.770,04	3	R\$ 4.590,10
355.412	R\$ 0,7026	-R\$ 5.562,86	R\$ 244.149,61	4	R\$ 248.739,71
353.927	R\$ 0,7307	-R\$ 5.785,37	R\$ 252.829,09	5	R\$ 501.568,80

Geração anual (kWh)	Valor economizado (R\$ / kWh)	Gasto com O&M (R\$)	Economia gerada ano (R\$)	Ano	Fluxo de Caixa
352.443	R\$ 0,7599	-R\$ 6.016,78	R\$ 261.804,66	6	R\$ 763.373,46
350.959	R\$ 0,7903	-R\$ 6.257,45	R\$ 271.105,45	7	R\$ 1.034.478,91
349.475	R\$ 0,8219	-R\$ 6.507,75	R\$ 280.725,75	8	R\$ 1.315.204,66
347.991	R\$ 0,8548	-R\$ 6.768,06	R\$ 290.694,65	9	R\$ 1.605.899,31
346.506	R\$ 0,8890	-R\$ 7.038,78	R\$ 301.005,05	10	R\$ 1.906.904,36
345.022	R\$ 0,9068	-R\$ 7.179,56	R\$ 305.686,39	11	R\$ 2.212.590,75
343.538	R\$ 0,9249	-R\$ 7.323,15	R\$ 310.415,15	12	R\$ 2.523.005,90
342.054	R\$ 0,9434	-R\$ 7.469,61	R\$ 315.224,13	13	R\$ 2.838.230,03
340.570	R\$ 0,9623	-R\$ 7.619,00	R\$ 320.111,51	14	R\$ 3.158.341,54
Valor para troca de inversores					-R\$ 96.000,00
339.085	R\$ 0,9815	-R\$ 7.619,00	R\$ 325.040,55	15	R\$ 3.387.382,09
337.601	R\$ 1,0012	-R\$ 7.771,38	R\$ 330.079,31	16	R\$ 3.717.461,40
336.117	R\$ 1,0212	-R\$ 7.926,81	R\$ 335.157,33	17	R\$ 4.052.618,73
334.633	R\$ 1,0416	-R\$ 8.085,35	R\$ 340.306,67	18	R\$ 4.392.925,40
333.149	R\$ 1,0624	-R\$ 8.247,06	R\$ 345.525,50	19	R\$ 4.738.450,90
331.664	R\$ 1,0837	-R\$ 8.412,00	R\$ 350.844,04	20	R\$ 5.089.294,94
330.180	R\$ 1,1054	-R\$ 8.580,24	R\$ 356.229,13	21	R\$ 5.445.524,07
328.696	R\$ 1,1275	-R\$ 8.751,84	R\$ 361.677,86	22	R\$ 5.807.201,93
327.212	R\$ 1,1500	-R\$ 8.926,88	R\$ 367.188,38	23	R\$ 6.174.390,31
325.728	R\$ 1,1730	-R\$ 9.105,42	R\$ 372.791,41	24	R\$ 6.547.181,72
324.243	R\$ 1,1965	-R\$ 9.287,53	R\$ 378.483,47	25	R\$ 6.925.665,19
322.759	R\$ 1,2204	-R\$ 9.473,28	R\$ 384.232,33	26	R\$ 7.309.897,52
321.275	R\$ 1,2448	-R\$ 9.662,75	R\$ 390.067,11	27	R\$ 7.699.964,63
319.791	R\$ 1,2697	-R\$ 9.856,01	R\$ 395.985,50	28	R\$ 8.095.950,13
318.307	R\$ 1,2951	-R\$ 10.053,13	R\$ 401.985,21	29	R\$ 8.497.935,34
316.822	R\$ 1,3210	-R\$ 10.254,19	R\$ 408.062,59	30	R\$ 8.905.997,93

Fonte: Dados do estudo (2023).

Na autoprodução, o investimento teve o seu retorno em aproximadamente 3 anos, acumulando ao longo da vida útil dos módulos quase 9 milhões. Esses dados demonstram a viabilidade e atratividade neste tipo de investimento, que possui um retorno relativamente rápido e proporciona valores altos de economia por muitos anos.

Portanto, comparando ambos os cenários, mesmo a autoprodução tendo um custo inicial maior no empreendimento, o mesmo justifica-se pelo fato de possuir uma maior rentabilidade, um *payback* menor e, conseqüentemente, um fluxo de caixa maior ao longo dos anos proporcionados pela maior economia final. Desta forma, demonstra-se que a maior viabilidade econômica ocorre no cenário de autoprodução de energia com venda de excedente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo de analisar a implantação de um gerador fotovoltaico em ambas as modalidades de conexão, em conjunto com o desligamento do gerador diesel durante o horário

de ponta, partiu da ideia de maximizar a economia que o mesmo pode proporcionar, visando a maior redução de custos para a instituição de ensino privado.

Desta forma, o estudo iniciou-se analisando o histórico de consumo presente na fatura de energia da instituição, bem como a transformação da quantidade de litros de diesel que foram utilizados durante o ano de 2022, efetivamente, em energia elétrica, permitindo encontrar a energia total consumida.

Após o levantamento dos telhados, foi possível dimensionar o sistema fotovoltaico. Ficou definida a composição do gerador da seguinte forma: composto por 454 módulos fotovoltaicos de 575 Wp, associados a 3 inversores de 75 kW, totalizando assim uma potência de módulos de 261,05 kWp e 225 kW de inversores. Pretende-se instalar o gerador em 4 abas dos telhados disponíveis, sendo priorizada a instalação nas abas voltadas ao norte, onde possuem uma maior média de irradiância solar ao longo do ano, maximizando assim a geração de energia.

As projeções econômicas em ambos os cenários tiveram como objetivo simular os custos reais que se manteriam, possibilitando assim encontrar a economia real. A redução de custos com energia elétrica da instituição ficaria em 63,48 % para a conexão como GD e 70,13% para a conexão como APE. Os valores de investimento previstos foram de R\$625.000,00 e R\$680.000,00, respectivamente, tendo como diferença basicamente os projetos e equipamentos adicionais, pelo fato de que na autoprodução, o proprietário do empreendimento é responsável por fornece-los.

Os *paybacks* em ambas as modalidades ficaram bem próximos, sendo que na GD o retorno do investimento se dá em torno de 3 anos e 3 meses, enquanto na autoprodução é de aproximadamente 3 anos. Porém, quando analisados os dados a longo prazo, fica perceptível os benefícios proporcionados pela autoprodução, gerando mais de 2,2 milhões adicionais quando comparado com a geração distribuída.

Além disso, pelo fato deste tipo de fonte ser de energia limpa e renovável, contribui positivamente para todo o ecossistema. Portanto, o investimento em um sistema fotovoltaico se demonstra extremamente rentável, sendo na autoprodução onde ocorre a melhor economia ao longo da vida útil do empreendimento.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras tarifárias**. 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 13 ago. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração distribuída**. 2023. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução homologatória ANEEL n° 3.169**. 2022. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20223169ti.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução homologatória ANEEL n° 2.921**. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20212921ti.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa ANEEL n° 1.000**. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa ANEEL n° 1.059**. 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2023.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa ANEEL N° 482**. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2023.

ASANO, Alexandre Massayuki. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização de geração diesel no horário de ponta**. 2015. 59 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2015.

ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. **Panorama Elétrico Nacional**. 2017. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 19 ago. 2023.

AYRÃO, Vinicius. **Como calcular FV para clientes do Grupo A**. 2019. <https://viniciusayrao.com.br/como-calcular-fv-para-clientes-do-grupo-a/>. Acesso em: 10 set. 2023.

AYRÃO, Vinicius. **Energia solar fotovoltaica no Brasil - conceitos, aplicações e estudos de caso**. International Copper Association Brazil, Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. **Decreto n° 2.003, de 10 de setembro de 1996**. Regulamenta a produção de energia elétrica por autprodutor [...]. Brasília, DF, [1996]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2003.htm#:~:text=D2003&text=DECRETO%20N%C2%BA%202.003%2C%20DE%2010,Autoprodutor%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em: 01 out. 2023.

BRASIL. **Decreto n° 5.163, de 30 de julho de 2004**. Regulamenta a comercialização de energia elétrica [...]. Brasília, DF, [2004]. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163compilado.htm. Acesso em: 10 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída [...]. Brasília, DF, [2022]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 03 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998**. Reestruturação das Centrais Elétricas Brasileiras [...]. Brasília, DF, [1998]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm. Acesso em: 01 out. 2023.

BRIGHT STRATEGIES. **O que esperar da revisão da REN 482?** 2020. Disponível em: https://barbararubim.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Ebook_REN482_BarbaraRubim.pdf. Acesso em: 27 ago. 2023.

CANAL SOLAR. **O que é geração distribuída de energia elétrica?** 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/#:~:text=Expans%C3%A3o%20da%20matriz%20energ%C3%A9tica%3A%20a,de%20energia%20el%C3%A9trica%20no%20pa%C3%ADs>. Acesso em: 13 ago. 2023.

CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Nossos Associados**. 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/nossos-associados>. Acesso em: 12 nov. 2023.

CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Painel de Preços**. 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/precos/painel-precos>. Acesso em: 01 out. 2023.

CELESC, Centrais Elétricas de Santa Catarina. **Revisão e reajustes tarifários**. 2023. Disponível em: <https://ri.celesc.com.br/informacoes-financeiras/revisao-e-reajustes-tarifarios/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

DIÓGENES, Leonardo Augusto Toaldo. **Análise econômico-financeira de investimentos na gestão de uma propriedade na agropecuária**. 23f. Artigo Curso de graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2019.

ELECTRO GRAPHICS. **Solergo projeto fotovoltaico**. 2023. Disponível em: <https://www.electrographics.com.br/products/img/folders/folder-solergo-20230310161032.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

ENERGÊS. **As 5 maiores dúvidas sobre créditos de energia**. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/as-5-maiores-duvidas-sobre-creditos-de-energia/>. Acesso em: 10 set. 2023.

ENERGÊS. **Autoprodução de Energia**. 2022. Disponível em: <https://energes.com.br/autoproducao-de-energia/>. Acesso em: 01 out. 2023.

ENERGÊS. **Modalidades de geração distribuída**. 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/modalidades-de-geracao-distribuida/>. Acesso em: 20 ago. 2023.

ENERGÊS. **Quem são os agentes da CCEE e do Mercado Livre de energia.** 2021. Disponível em: <https://energes.com.br/agentes-da-ccee-e-do-mercado-livre-de-energia/>. Acesso em: 24 set. 2023.

ENGIE. **Descubra as diferenças entre autoprodução e geração distribuída.** 2023. Disponível em: <https://blog-solucoes.engie.com.br/energia-solar/autoproducao-e-geracao-distribuida/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2022.** 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2023.

GREENER. **Análise do Marco Legal da Geração Distribuída.** 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/analise-do-marco-legal-da-geracao-distribuida-lei-14-300-2022/>. Acesso em: 26 ago. 2023.

GREENER. **Geração Distribuída Mercado Fotovoltaico.** 2023. Disponível em: https://www.greener.com.br/estudos/sumario-executivo-estudo-de-geracao-distribuida-2023-1o-sem-2023/?utm_campaign=estudo_gd_1s2023_lancamento_-_14_de_setembro&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 17 set. 2023.

GREENER **Guia da Autoprodução Solar – Modelos de decisão para o consumidor.** 2022. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/guia-da-autoproducao-solar-modelos-de-decisao-para-o-consumidor/>. Acesso em: 01 de out. 2023.

GREENVOLT. **A importância da diversificação da matriz energética.** 2021. Disponível em: <https://greenvolt.com.br/a-importancia-da-diversificacao-da-matriz-energetica/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

HELENCO, Rafael; RIGON, Cleide Marisa. **Viabilidade econômica para implantação de um aviário para produção de ovos de galinha.** 2015. 76 f. TCC (Graduação) – Curso de Administração, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa - Rs, 2015.

NOCERA, Allison Diniz; GOMES, Giancarlo; PEREIRA, Vinicio Carrara. **Análise da viabilidade técnica e financeira da implantação do gerador a diesel no horário de ponta em um hospital de Curitiba.** 2015. 104 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica / Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – Pr, 2015.

OMEGA ENERGIA. **O que é Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Livre (ACL)?** 2023. Disponível em: <https://www.omegaenergia.com.br/news/o-que-e-ambiente-de-contratacao-regulada-acr-e-livre-acl>. Acesso em: 10 set. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (Orgs). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Cresesb 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 23 set. 2023.

PORTAL SOLAR. **Geração distribuída de energia (GD):** o que é, regras, benefícios e como fazer parte. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: 13 ago. 2023.

RUBIM, Bárbara. **Lei 14.300: Valoração dos créditos de energia.** 2022. Disponível em: <https://barbararubim.com.br/e-book-lei-14-300-2022/>. Acesso em: 27 ago. 2023.

SOLARVOLT. **Gerador solar produz maior economia do que gerador a diesel.** 2023. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/gerador-solar-elimina-diesel/>. Acesso em: 08 out. 2023.

SOLMAIS DISTRIBUIDORA. **O que é tarifa Fio B?** 2023. Disponível em: https://solmais.com.br/blog/o-que-e-tarifa-fio-b-entenda-como-ficara-a-cobranca/?gclid=CjwKCAjwxaanBhBQEiwA84TVXCu_xRxSvCTN1AwiX3ynbag6uno3MOEu-xJHYfPzFIH3dLc4ajwtrxoCqfQQAuD_BwE. Acesso em: 26 ago. 2023.

STEMAC. **Grupo Gerador Diesel – 500 kVA.** 2023. Disponível em: https://www.stemac.com.br/uploads/20230420084859_carenagem-fechada.pdf. Acesso em: 08 out. 2023.

SUNGROW. **Inversor fotovoltaico Sungrow SG75CX.** 2022. Disponível em: https://br.sungrowpower.com/upload/file/20220628/SG75CX%20Datasheet_V1.1.1_PTBR.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.

SUNOVA SOLAR, **Módulo fotovoltaico SS-575-72MDH (T).** 2022. https://www.sunova-solar.com/fileadmin/dateiablage/files-PRT/downloads/productsheets/Hi-Milo/Tangra_M_SS-555_575_-72MDH_T_.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.