

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

IVY BEATRIZ FRUTOS MAIRHOFER

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA INSTALADA
NA UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**DOURADOS-MS
2023**

IVY BEATRIZ FRUTOS MAIRHOFER

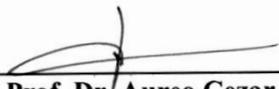
**ANÁLISE DE DESEMPENHO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA INSTALADA
NA UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

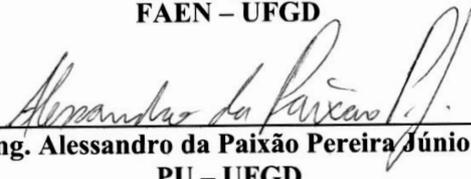
Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

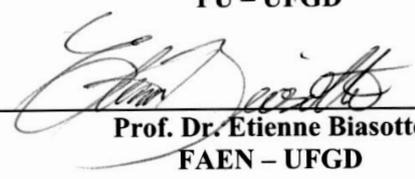
IVY BEATRIZ FRUTOS MAIRHOFER

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA INSTALADA
NA UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.06-1, Instalações Elétricas Prediais e Industriais, pela comissão formada por:


Orientador: **Prof. Dr. Aureo Cezar Lima**
FAEN – UFGD


Eng. **Alessandro da Paixão Pereira Júnior**
PU – UFGD


Prof. Dr. **Etienne Biasotto**
FAEN – UFGD

DOURADOS -MS
8 DE MAIO DE 2023

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA USINA FOTOVOLTAICA INSTALADA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Ivy Beatriz Frutos Mairhofer – ivymairhofer@gmail.com
Universidade Federal da Grande Dourados, Engenharia de Energia

Resumo. A geração solar fotovoltaica tem se destacado como uma alternativa sustentável, economicamente viável e em expansão no Brasil. Assim, torna-se relevante a preocupação com o seu desempenho, bem como a validação do projeto de retorno do investimento. Considerando a implantação de uma usina solar fotovoltaica na Universidade Federal da Grande Dourados de 1,12 MWp, em funcionamento desde janeiro 2020, este trabalho busca determinar os indicadores de desempenho Índice de Produtividade, Fator de Capacidade e Performance Ratio, bem como analisar o comportamento das curvas de demanda e reavaliar o projeto de viabilidade desenvolvido em sua implantação. Para tanto, foi necessário se estimar a geração de energia através da irradiação solar e as perdas associadas ao sistema. Obteve-se, assim, o Índice de Produtividade, Fator de Capacidade e Performance Ratio médio para os anos 2020, 2021 e 2022 iguais a 112,62 kWh/kWp, 15,42% e 89,58% respectivamente, que, quando comparados a um projeto existente, apresentou-se superior entre 15,1% e 33,0%. Quando analisado a variação dos indicadores no período verificou-se um declínio no desempenho do sistema de 2,53% no Índice de Produtividade e Fator de Capacidade e 2,20% no Performance Ratio. Observou-se, ainda, uma produção de energia inferior em 10,9%, sobretudo, um ganho no benefício financeiro de 4,11%. Por fim, a reanálise do projeto econômico superou os benefícios esperados, uma vez que a TIR se elevou de 14,61% para 30,02% e o Payback descontado foi reduzido em um ano e dois meses da expectativa, validando o investimento na usina de geração solar fotovoltaica da UFGD.

Palavras-chave: Usina fotovoltaica, Indicadores de produtividade, análise econômica.

1. INTRODUÇÃO

Considera-se que a energia elétrica é um dos principais pilares do desenvolvimento econômico e social, uma vez que o seu consumo está diretamente relacionado ao contínuo desenvolvimento da humanidade. Nos últimos anos, a demanda por energia elétrica tem aumentado significativamente no Brasil e no mundo, tornando-se uma preocupação e incentivando a exploração de fontes alternativas para sua geração.

De acordo com dados apresentados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), a capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil aumentou 2,7% no período entre 2019 e 2020, sendo a maior expansão observada na geração solar, que encerrou o ano de 2020 com um aumento de 32,9% na potência instalada, destacando-se também em 2021, com um aumento de 55,9% em relação ao ano 2020. Os dados mencionados revelam um cenário positivo em relação à diversificação da matriz energética no Brasil. A adesão a fontes de energia renovável tem sido cada vez maior, evidenciando um avanço significativo em direção à sustentabilidade e à redução da dependência de fontes não renováveis. Devido ao alto nível de irradiação solar, somado a redução dos equipamentos e ao aumento da energia elétrica acima da inflação, o Brasil possui características favoráveis para instalação de sistemas fotovoltaicos, o que torna esta fonte uma importante opção para a geração de energia elétrica.

O aproveitamento do potencial energético de irradiação solar no Brasil teve início nos anos 2011 e 2012 a partir do projeto estratégico 013/2011 (SPE/ANEEL,2012) conhecido como Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira, e teve continuidade com as políticas para incentivar a geração de energia a partir de fontes renováveis regulamentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Em 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL n° 482/12, um marco na regulamentação do micro e mini geração distribuída de energia no Brasil. Essa resolução estabeleceu as condições para a conexão dessas unidades geradoras à rede elétrica e criou um sistema de compensação de energia elétrica, o chamado sistema de créditos de energia.

De acordo com a Resolução n° 482/2012, a microgeração distribuída é a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com potência instalada de até 75 kW. Já a minigeração distribuída tem potência instalada entre 75 kW e 5 MW. As fontes renováveis incluem a energia solar, eólica, hidráulica, de biomassa e cogeração qualificada.

Essas unidades geradoras podem ser instaladas em residências, comércios, indústrias e propriedades rurais, e o excedente de energia gerado pode ser injetado na rede elétrica, gerando créditos de energia para serem utilizados em momentos de menor geração, como durante a noite.

Em 2020, a ANEEL atualizou a resolução, por meio da Resolução Normativa n° 687/2015, estabelecendo novas regras para a micro e minigeração distribuída. Entre as mudanças, destaca-se a redução gradual dos subsídios concedidos aos sistemas de geração distribuída, com a adoção de novas tarifas e encargos para os usuários que adotarem esse sistema.

No mesmo ano, a ANEEL também publicou outras resoluções importantes para o setor de energia solar, como a Resolução Normativa 1000/2020, que estabelece as condições para a implantação da chamada Rede Básica de Sistemas Fotovoltaicos, uma iniciativa que tem como objetivo promover a integração de sistemas de geração distribuída em larga escala ao sistema elétrico brasileiro.

No início de 2022, o Marco Legal da Geração Distribuída foi instituído através da Lei 14300, a qual estabeleceu novas regras para a micro e minigeração distribuída de energia elétrica no Brasil. A principal mudança introduzida pela resolução foi a adoção de um novo modelo de compensação de energia elétrica, denominado "Sistema de Compensação de Energia Elétrica com Escopo Nacional" (ANEEL, 2023).

De acordo com essa regulamentação, os consumidores que possuem unidades geradoras de energia elétrica conectadas à rede elétrica poderão continuar a injetar o excedente de energia gerado na rede e receber créditos de energia para serem utilizados posteriormente, porém com novas regras e prazos.

A resolução também estabeleceu novos limites de potência instalada para a micro e minigeração distribuída, sendo de até 500 kW para a microgeração distribuída e de até 5 MW para a minigeração distribuída. Além disso, foram definidos novos requisitos técnicos e de segurança para a conexão das unidades geradoras à rede elétrica.

A geração distribuída (GD) constitui uma alternativa para a redução dos gastos referentes ao consumo de energia elétrica em residências, condomínios, prédios, entre outros. Por esse motivo, em novembro de 2018, a Universidade Federal da Grande Dourados solicitou a adesão à ata de registro de preços do Instituto Federal do Espírito Santo – Campus de Nova Venécia, para a instalação de uma usina fotovoltaica com potência de 1,126 MWp, de forma a atender parcialmente sua necessidade de energia elétrica.

O projeto da usina foi concluído em novembro de 2019 com a instalação de dezesseis unidades geradoras de 70 kWp, sendo doze unidades alocadas sobre blocos de salas de aula e laboratórios, e quatro unidades em estruturas no solo. O investimento total foi de R\$ 4.525.939,84, e a projeção de retorno do investimento apresentado para o projeto era de 8 anos e 7 meses. O objetivo principal deste trabalho consiste na análise da produção de energia e dos benefícios gerados pela implantação da usina fotovoltaica na Universidade Federal da Grande Dourados ao longo dos anos 2020, 2021, 2022. Além disso, este estudo busca atingir os seguintes objetivos específicos: apresentar os dados relacionados à geração e consumo de energia da Universidade desde a instalação da usina fotovoltaica, avaliar o desempenho anual da usina fotovoltaica por meio de indicadores específicos e comparar o retorno financeiro do projeto com as expectativas previamente estabelecidas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geração distribuída no Brasil

Na Geração distribuída a energia elétrica é obtida em pequena escala, geralmente através de sistemas solares fotovoltaicos, microturbinas eólicas, cogeração de calor e energia, entre outros. No Brasil, a GD tem ganhado cada vez mais importância e se mostra como uma alternativa viável para diversificação da matriz energética e reduzir a dependência de fontes não renováveis.

No que tange às fontes renováveis disponíveis para a geração de energia elétrica no território brasileiro, é possível constatar que a energia solar fotovoltaica apresenta facilidade de instalação e um enorme potencial, conforme observa-se na Fig. 1. Além disso, o custo relativamente acessível torna essa fonte ainda mais atraente. Tais aspectos promoveram o início da expansão da geração fotovoltaica no Brasil, consolidando-a como uma fonte de geração de energia elétrica predominantemente distribuída (SIEWERDT, 2021).

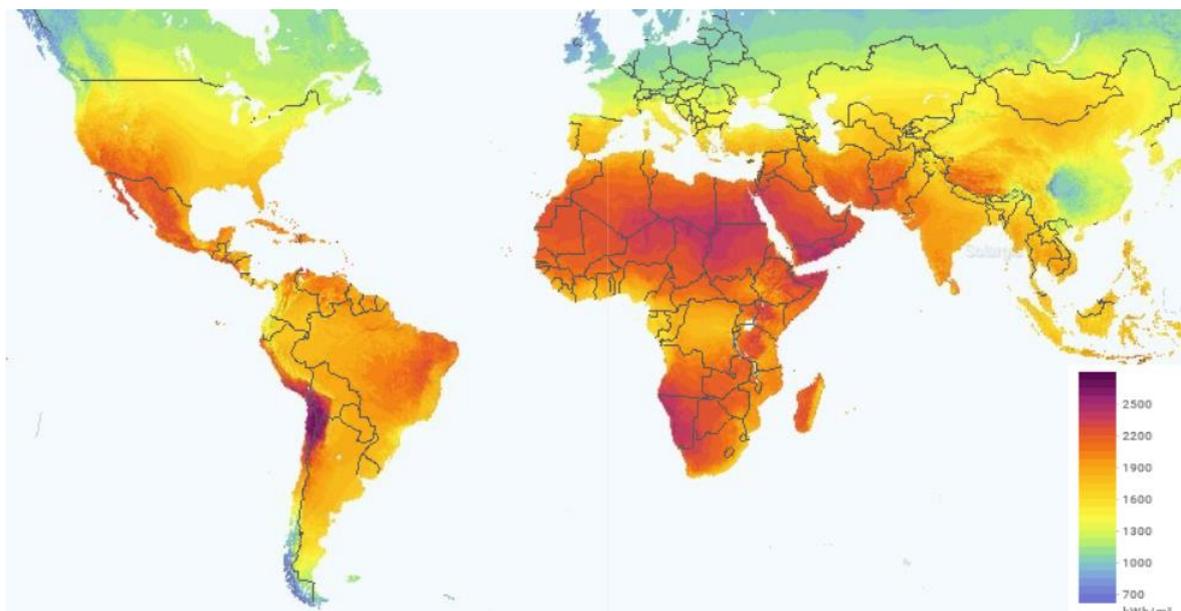


Figura 1- Irradiação Global Horizontal (kWh/m²). Fonte: Adaptado Global Atlas Solar (2023).

No que diz respeito aos sistemas fotovoltaicos, é fundamental destacar que o potencial de geração de energia elétrica depende diretamente do nível de irradiação solar incidente sobre as células fotovoltaicas. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, a incidência de radiação solar global em todo o território brasileiro varia entre 4,200 e 6,700 kWh/m², valores que superam a maioria dos países da União Europeia, como a Alemanha, que apresenta valores entre 0,900 e 1,250 kWh/m², França com valores entre 0,900 e 1,650 kWh/m², e Espanha com valores entre 1,200 e 1,850 kWh/m², colocando o Brasil em uma posição favorável para o aproveitamento da energia solar através da conversão fotovoltaica.

O Mato Grosso do Sul, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil, apresenta uma excelente condição para a geração de energia solar fotovoltaica. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, a região possui uma irradiação horizontal média de 5,082 kWh/m². Além disso, a potência instalada de sistemas de geração distribuída solar fotovoltaica no Estado é de 456,6 MW, o que representa 3,6% da potência total instalada no Brasil (ABSOLAR, 2023).

2.2 Fatores que Influenciam a Geração Fotovoltaica

A produção de energia solar fotovoltaica decorre da conversão da irradiação solar em energia elétrica. A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos é diretamente proporcional à irradiação solar incidente no plano dos módulos. Em outras palavras, quanto maior for a irradiação solar, maior será a produção de energia elétrica. É importante destacar que essa relação é positiva e unitária, ou seja, um aumento de 1% na irradiação solar resulta em um aumento de 1% na energia gerada pelos módulos fotovoltaicos (ROMANELLI, 2022).

As perdas em sistemas fotovoltaicos não estão limitadas apenas às variações causadas pela incidência solar, mas também incluem diversos outros fatores. Entre eles, destacam-se as perdas térmicas, que podem oscilar entre 2% e 10%, as perdas decorrentes de reflexos de objetos diante dos módulos fotovoltaicos, que podem alcançar até 5%, as perdas devido à resistência do cabeamento, bem como as perdas na conversão de corrente contínua em corrente alternada e as perdas por desacoplamento, conhecidas como *mismatch*, e o acúmulo de sujeira na superfície dos módulos (OLIVEIRA, 2017).

A instalação do sistema fotovoltaico, seja em solo ou telhado, também tem um impacto na geração de energia, devido à temperatura de operação do módulo fotovoltaico. Conforme descrito por Pinho e Galdinho (2014), o aumento da temperatura das células resulta em uma redução no nível de tensão, mesmo que haja um ganho quase imperceptível na corrente, o que leva à diminuição da potência de saída do painel. Quando a traseira do painel fotovoltaico é isolada termicamente, a temperatura de operação tende a ser significativamente mais elevada devido à falta de dissipação de calor nessa região.

2.3 Indicadores de desempenho de Usina de Geração Solar Fotovoltaica (UFV)

Para avaliar e comparar a geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos, são empregados indicadores de desempenho. Com a obtenção desses índices, é factível constatar se o sistema de energia solar fotovoltaico está gerando eletricidade de forma otimizada.

A seguir, serão apresentados três índices de desempenho que serão tratados ao longo deste trabalho: o Fator de Capacidade, a Produtividade Final (também conhecida como *Final yield*) e o Índice de Desempenho Global (ou *Performance Ratio*).

A Produtividade Final do sistema (Y_f) é definida como a quantidade de energia gerada pelo sistema em kWh por kWp de potência instalada. Essa medida pode ser expressa em kWh/kWp ou em número de horas, indicando o tempo necessário para que o sistema opere em sua potência nominal e gere a mesma quantidade de energia (MARION et al., 2005).

O Fator de Capacidade (F_c) é definido como a relação entre a energia produzida pelo sistema durante um determinado período e a energia que seria gerada se funcionando continuamente na capacidade nominal. Este valor é geralmente expresso em porcentagem e varia, para os sistemas fotovoltaicos do Brasil entre 13% e 18%, dependendo das suas características e fatores ambientais.

O Desempenho Global, ou *Performance Ratio* (P_r), é um indicador que considera as perdas ocorridas no processo de conversão da energia solar em eletricidade, refletindo a capacidade real do sistema em converter a energia proveniente do sol. Pode ser calculado pela relação entre a energia gerada pelo sistema e a sua estimativa, levando, desta forma, em consideração as condições climáticas e as características do sistema (BENEDITO, 2009).

A partir dos índices obtidos é possível comparar o desempenho de um sistema solar fotovoltaico com outros similares, ou com ele mesmo ao longo dos anos e, assim, determinar se a variação na geração de energia está dentro do esperado. Essa comparação é útil para identificar defeitos e possíveis melhorias, como danos em módulos fotovoltaicos, inversores e demais sistemas auxiliares, ou mesmo a necessidade de limpeza, com o objetivo de aumentar o desempenho do sistema

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada para análise do desempenho da produção de energia e dos benefícios decorrentes da implementação de uma usina solar fotovoltaica compreende várias etapas. Inicialmente, realiza-se a coleta de dados

referentes ao consumo e geração de energia da usina durante o período analisado. Em seguida, é feita uma estimativa da energia gerada pela usina durante o mesmo período, considerando fatores como as características do equipamento e a temperatura de operação que influenciam na geração de energia fotovoltaica. Em seguida, são identificados e calculados indicadores de mérito relevantes para avaliar a produção de energia elétrica da usina, tanto do ponto de vista produtivo quanto financeiro. Por fim, os resultados obtidos são comparados com dados previamente conhecidos a fim de identificar possíveis oportunidades de melhoria.

3.1 Estimativa de Geração

A estimativa da energia gerada no sistema fotovoltaico neste trabalho utiliza a metodologia apresentada por Narimatu et al., (2018). O equacionamento aplicado inclui uma correção relativa à inclinação e temperatura de operação dos módulos, de acordo com a Eq. (1).

$$E_{ger} = \sum R \cdot A_m \cdot n_{dias} \cdot (\eta_m - FT) \cdot \eta_{inv} \cdot N \cdot FC \quad (1)$$

A equação apresentada expressa a energia gerada em um mês E_{ger} em (kWh), sendo influenciada pela taxa média de irradiação incidente R em (kWh/(m².dia)), a área do módulo A_m em (m²), o número de dias n_{dias} (), a eficiência do módulo η_m , o fator de correção decorrente da temperatura de operação das células FT (Eq. 4 ()), a eficiência do inversor η_{inv} (), o número de módulos N e o fator de correção relativo à inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos FC .

Os valores de irradiação incidente foram adquiridos por meio da utilização do programa SunData v 3.0, desenvolvido pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB). A determinação do fator de correção de temperatura foi conduzida com base nas equações (2), (3) e (4).

$$R_p = -0,0043 \cdot (T_{op} - T_t) \quad (2)$$

$$P_c = P_m \cdot (1 + R_p) \quad (3)$$

$$FT = \eta_m - \left(\eta_m \cdot \frac{P_c}{P_m} \right) \quad (4)$$

A taxa de redução de potência do módulo R_p (), a temperatura de operação T_{op} (°C) e a temperatura de testes dos módulos T_t (°C), neste caso fixada em 25°C, e a potência nominal dos módulos P_m (W) permitem a obtenção da potência corrigida dos módulos P_c em Watts (W). Assim sendo, a partir do cálculo da potência corrigida dos módulos e do conhecimento da sua eficiência, é factível determinar o fator de correção FT ().

Os valores de temperatura de operação dos módulos foram obtidos por meio de uma correlação com valores de temperatura de operação atuais. Para tal, foram realizadas medições de temperatura ambiente e temperatura na superfície dos módulos durante um dia ensolarado. Utilizando essas duas variáveis, desenvolveu-se uma correlação por meio de um gráfico de dispersão no software Excel. O gráfico proporcionou uma equação que relaciona as duas variáveis. A partir do gráfico e dos valores de temperatura ambiente dos últimos três anos, obtidos nos boletins de meteorologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), foi possível determinar os valores de temperatura de operação para cada mês de 2020 até 2022.

Para a correção do valor referente à inclinação dos módulos FC foi considerada a análise de ábacos de irradiação desenvolvida por dos Santos et al., (2012), referente à cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

3.2 Indicadores de desempenho

A análise de desempenho foi desenvolvida com base nos indicadores de desempenho, a saber, Produtividade Final ou *Final Yield*, Fator de Capacidade e Desempenho Global ou *Performance Ratio*, métodos expostos por Benedito (2009).

A Produtividade Final do sistema (Y_f), dado em kWh/kWp é definida pela Eq. (5).

$$Y_f = \frac{\int_0^T P_t dt}{P_N} \quad (5)$$

Onde o P_t representa a potência entregue pelo sistema no instante t , em kW, ao longo do período T , parâmetro que corresponde à quantidade de horas por ano, e o P_N representa a potência nominal do sistema, em kWp.

O Fator de capacidade (C_F), dado em %, é definido segundo a Eq. (6).

$$C_F = \left(\frac{\int_0^T P(t) dt}{P_N \cdot T} \cdot 100 \right) \quad (6)$$

A Eq. (6) utiliza as variáveis definidas para (Y_f), outrossim, o período T é definido para as horas de um mês e o resultado, a diferença da produtividade final, é expresso em porcentagem.

O indicador *Performance ratio* (P_R), dado em % é determinado seguindo a Eq. (7).

$$P_R = \frac{\int_0^T P(t)dt}{E_{ger}} \cdot 100 \quad (7)$$

O parâmetro $P(t)$ representa a potência em W, enquanto sua integral no tempo, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico durante o período analisado (um mês). Por sua vez, o parâmetro E_{ger} corresponde à estimativa de geração mensal determinada pela Eq. (1).

Os indicadores de produtividade serão empregados separadamente para os sistemas instalados em solo e em telhados, com o propósito de avaliar a variação existente entre as duas formas de instalação.

3.3 Indicadores Financeiros

Os indicadores financeiros empregados são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* descontado. O VPL do investimento em um projeto é a soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa associado. Os valores do fluxo de caixa são descontados para o valor presente, a partir de uma taxa mínima de atratividade. Na análise, um valor positivo significa que o projeto é viável, pois o retorno é maior que o investimento (OTONELLI et al., 2020). O VPL é dado pela Eq. (8).

$$VPL = -FC_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (8)$$

O parâmetro FC_0 representa o investimento inicial no projeto ou o fluxo de caixa inicial, enquanto o parâmetro FC_t representa o fluxo de caixa para o período t . O parâmetro n é utilizado para indicar o número de períodos considerados na análise, enquanto o parâmetro i corresponde à taxa de desconto estimada para o intervalo de um período.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma medida financeira que permite calcular a taxa de desconto na qual o Valor Presente Líquido (VPL) de um projeto é igual a zero, considerando fixos o valor do investimento, dos fluxos de caixa e o próprio período analisado (OTONELLI et al., 2020). A TIR é dada pela Eq. (9).

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+TIR)^t} \quad (9)$$

Onde FC_t é a entrada de capital distribuído nos períodos t , dado em R\$, definido por: I_0 , investimento no momento zero (R\$); I_t , Fluxo de caixa em cada período t (anos). O último indicador financeiro, por sua vez, consiste-se no *Payback* descontado do investimento (anos), que pode ser determinado seguindo a Eq. (10).

$$Payback = \sum_{t=0}^n \frac{FC_0}{FC_{médio}} \quad (10)$$

A avaliação econômica utilizando o VPL, TIR e *Payback* pode ser calculada diretamente pelo software *Microsoft Excel*, ou utilizando as Equações 8 a 10 para um período de estudo (vida útil dos equipamentos) de 25 anos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.4 Usina solar Fotovoltaica da UFGD

A Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) é uma instituição pública de ensino superior localizada na cidade de Dourados, no Estado do Mato Grosso do Sul. Criada em 2005, a UFGD possui um campus único e suas unidades estão distribuídas na cidade de Dourados – a Unidade II, localizada na Rodovia Itahum, km 12, concentra a maioria dos cursos de graduação, com 32 dos 34 cursos ofertados, além dos programas de pós-graduação da instituição

A UFGD adquiriu a usina fotovoltaica por meio do Sistema de Registro de Preços (SRP) em novembro de 2018, com dezesseis unidades geradoras de 70 kWp, o que resultou em uma potência instalada de 1,12 MWp e um investimento de R\$ 4.525.939,84. A instalação da usina fotovoltaica foi iniciada em maio de 2019 e concluída em setembro do mesmo ano. Das dezesseis unidades geradoras, doze foram instaladas aproveitando a cobertura dos blocos de salas de aula e laboratórios (2.520 módulos), enquanto quatro unidades (840 módulos), em estrutura de solo, ao lado do Auditório Central (QUINTELA, 2020). As Fig. 2 e 3 apresentam a foto aérea da UFGD II, onde podem ser observados os módulos fotovoltaicos.



Figura 2- Vista superior dos sistemas instalados em telhado nos 9 blocos da UFGD II. Fonte: Sairus Engenharia.



Figura 3- (a) Vista superior dos sistemas instalados no telhado da reitora e no solo; (b) Instalações em telhado no bloco D e laboratório de Engenharia de Energia. Fonte: Sairus Engenharia.

O uso de sistemas fotovoltaicos em telhados tem se popularizado como uma solução econômica, uma vez que reduz a necessidade do uso da área útil do imóvel para instalação dos módulos; sobretudo, é importante considerar os materiais empregados na fixação dos equipamentos e a orientação e inclinação dos módulos que, na maioria das vezes, acompanha as telhas. No caso descrito, os sistemas foram colocados sobre telhas metálicas utilizando estruturas de alumínio onde as inclinações e orientações variam entre 6° e 7° , e $10,8^\circ$ a $12,5^\circ$ Oeste para os sistemas instalados em telhado, respectivamente. As unidades instaladas em solo apresentam inclinação de 22° e orientação norte – considerado o ideal para a localização.

Cada sistema é composto por 210 módulos fotovoltaicos de 335 W, fabricados pela BYD modelo BYD335PHK-36, com características conforme a Tab. 1.

Tabela 1 - Especificações dos Módulos Fotovoltaicos. Fonte: Adaptado Quintela (2020).

Especificações dos Módulos	
Eficiência do módulo	16,95%
Potência Nominal (Wp)	335
Tensão de Curto Circuito (V)	45,44
Corrente de Curto Circuito (A)	9,25
Temperatura de Operação ($^\circ\text{C}$)	$45^\circ \pm 2^\circ$
Coefficiente de Temperatura	$(-) 0,43 \%/^\circ\text{C}$
Área (m^2)	1,976064
Peso (kg)	22,3
Número de Módulos	3360

Outro componente importante do sistema fotovoltaico é o inversor, cada unidade utiliza um equipamento de 60 kW de fabricação Huawei Technologies, modelo SUN2000-60KTL-M0 conforme detalhado na Tab. 2.

Tabela 2- Especificações dos Inversores. Fonte: Adaptado Quintela (2020).

Especificações dos Inversores	
Tensão Max. de Entrada (V)	1100
Corrente Max. Por MPPT (A)	22
Número Max de Entradas	12
Potência Ativa de Saída (kW)	60
Frequência de Rede (Hz)	60
Tensão de Saída (V)	220/ 380
Corrente de Saída (A)	91,2 a 380 V
Eficiência Máxima	98,70%

3.5 Estimativa de Geração

Para determinar a estimativa de geração do sistema solar fotovoltaico da UFGD, foi necessário calcular, inicialmente, o fator de correção referente à temperatura (FT) para os sistemas instalados em solo e em telhado, separadamente. Para isso, foram realizadas medições da temperatura ambiente e na superfície dos módulos fotovoltaicos dos sistemas instalados no telhado do prédio da reitoria e em solo.

As medições foram conduzidas com o uso de um termômetro infravermelho da marca HIGHMED, modelo HM-88C, com precisão de $\pm 2\%$. Com base nos valores de temperatura ambiente e temperatura na superfície dos módulos, equações de correlação foram desenvolvidas para estimar as temperaturas de operação ao longo dos anos anteriores. Essas equações foram obtidas por meio de gráfico de dispersão utilizando a ferramenta Microsoft Excel.

Assim, a temperatura de operação do sistema instalado em solo foi determinada seguindo a Eq. (11), e no telhado pela Eq. (12).

$$t_{op(solo)} = 3,0623t_a - 30,377 \quad (11)$$

$$t_{op(telhado)} = 2,5536t_a - 19,064 \quad (12)$$

Os valores de temperatura de operação encontrados, foram substituídos na Eq. (2) e assim, aplicando a Eq. (3) e (4), foram determinados os valores mensais de FT ao longo dos três últimos anos. Utilizando os valores encontrados de FT e considerando um FC de 0,95 para os sistemas em telhado, e 1 para os sistemas em solo, de acordo com Santos et.al. (2012), aplicou-se a Eq. (1), a partir da qual foi possível estimar a geração dos quatro sistemas instalados em solo, dos doze sistemas instalados em telhado e a total. A Tab. 3 mostra a geração estimada para o ano 2020, Tab. 4, 2021 e Tab. 5, 2022.

Tabela 3 - Estimativa de Geração na usina UFGD II em 2020.

Mês	Solo			Telhado			Total
	Temperatura de Operação (°C)	FT	Geração Estimada (kWh)	Temperatura de Operação (°C)	FT	Geração Estimada (kWh)	Geração Estimada Total (kWh)
Janeiro	50,0	1,82%	45.331	47,0	1,60%	131.058	176.389
Fevereiro	54,2	2,13%	39.569	50,2	1,84%	115.000	154.570
Março	56,2	2,27%	39.139	51,7	1,94%	114.028	153.168
Abril	42,3	1,26%	34.316	41,2	1,18%	98.317	132.633
Mai	29,6	0,33%	31.056	31,5	0,47%	87.761	118.817
Junho	32,1	0,52%	27.018	33,4	0,61%	76.550	103.568
Julho	32,3	0,53%	29.063	33,6	0,62%	82.358	111.421
Agosto	52,7	2,02%	33.746	49,0	1,75%	97.888	131.634
Setembro	66,2	3,00%	32.496	59,3	2,50%	95.951	128.448
Outubro	67,7	3,11%	37.385	60,5	2,58%	110.626	148.010
Novembro	65,4	2,95%	40.612	58,7	2,46%	119.785	160.397
Dezembro	60,0	2,55%	46.507	54,6	2,16%	136.175	182.683
Total			436.239			1.265.499	1.701.738

Tabela 4- Estimativa de Geração na usina UFGD II em 2021.

Mês	Solo			Telhado			Total
	Temperatura de Operação (°C)	FT	Geração Estimada (kWh)	Temperatura de Operação (°C)	FT	Geração Estimada (kWh)	Geração Estimada Total (kWh)
Janeiro	57,7	2,38%	43.870	52,8	2,03%	128.066	171.936
Fevereiro	62,3	2,72%	38.671	56,4	2,29%	113.580	152.251
Março	60,0	2,55%	38.537	54,6	2,16%	112.837	151.374
Abril	54,2	2,13%	32.849	50,2	1,84%	95.469	128.318
Mai	45,0	1,46%	29.035	43,2	1,33%	83.447	112.482
Junho	40,0	1,09%	26.111	39,4	1,05%	74.614	100.725
Julho	40,6	1,13%	28.114	39,8	1,08%	80.391	108.506
Agosto	45,4	1,48%	35.031	43,5	1,35%	100.722	135.753
Setembro	67,3	3,09%	32.300	60,2	2,56%	95.527	127.827
Outubro	59,4	2,51%	39.016	54,2	2,13%	114.154	153.170
Novembro	62,1	2,71%	41.374	56,2	2,27%	121.488	162.862
Dezembro	67,1	3,07%	45.041	60,0	2,55%	133.171	178.212
Total			429.949			1.253.467	1.683.416

Tabela 5 - Estimativa de Geração na usina UFGD II em 2022.

Mês	Solo			Telhado			Total
	Temperatura de Operação (°C)	FT	Geração Estimada (kWh)	Temperatura de Operação (°C)	FT	Geração Estimada (kWh)	Geração Estimada Total (kWh)
Janeiro	68,1	3,14%	41.306	60,7	2,61%	122.297	163.603
Fevereiro	68,1	3,14%	36.232	60,7	2,61%	107.273	143.505
Março	59,2	2,50%	38.614	54,0	2,12%	112.948	151.561
Abril	50,8	1,88%	33.187	47,6	1,65%	96.038	129.225
Mai	37,9	0,94%	29.846	37,8	0,93%	85.089	114.935
Junho	36,3	0,82%	26.471	36,6	0,85%	75.338	101.809
Julho	47,3	1,63%	27.007	45,0	1,45%	77.829	104.837
Agosto	45,6	1,50%	34.842	43,6	1,36%	100.202	135.044
Setembro	50,4	1,85%	35.253	47,3	1,62%	101.967	137.220
Outubro	55,4	2,21%	39.813	51,1	1,90%	115.877	155.690
Novembro	59,2	2,50%	41.844	54,0	2,12%	122.396	164.239
Dezembro	60,0	2,55%	46.361	54,6	2,16%	135.747	182.108
Total			430.776			1.253.001	1.683.777

Com base nos cálculos realizados para estimar a geração de energia, esperava-se um total de 1.701.738 kWh para o ano de 2020, 1.683.416 kWh para o ano de 2021 e 1.683.777 kWh para o ano de 2022. As diferenças na geração de energia podem ser atribuídas principalmente às variações registradas na irradiação média horizontal, conforme indicado por Romanelli et al. (2022). Vale ressaltar que há uma forte correlação entre a irradiação incidente no plano dos módulos e a energia gerada. Em meses como maio, junho e julho, espera-se uma redução na geração devido ao efeito da inclinação da Terra no Hemisfério Sul, resultando uma redução considerável na incidência de irradiação solar sobre os módulos e, portanto, uma geração menor. A Fig. 4 ilustra a comparação entre a estimativa da energia gerada entre 2020 e 2022.

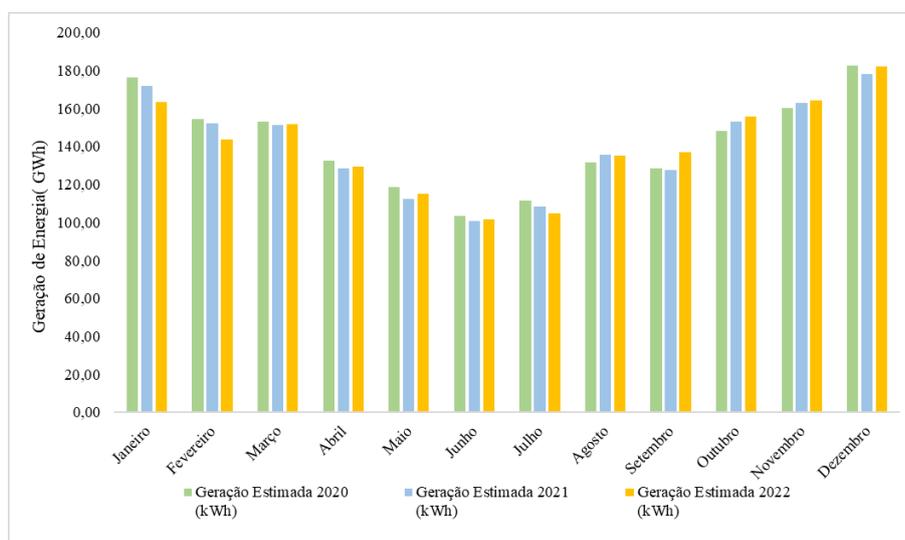


Figura 4- Estimativa de Geração na usina UFGD II nos anos 2020, 2021 e 2022.

Além da influência da irradiação, foi possível constatar que a temperatura de operação também afeta a eficiência dos módulos, apresentando uma variação de até 3,14% da energia irradiante, ou ainda, 18,63% na potência dos módulos, quando as temperaturas chegaram a 68,10°C em janeiro e fevereiro de 2022.

3.6 Geração da Usina Solar Fotovoltaica da UFGD

A obtenção dos dados de geração entre 2020 e 2022 foi realizada por meio da plataforma de monitoramento dos inversores, *FusionSolar*, plataforma disponibilizada pelo fabricante Huawei – o sistema permite acessar os dados por meio de uma interface gráfica e através de tabelas, disponibilizando a produção de energia em tempo real e os dados históricos de geração. A geração de energia do sistema solar fotovoltaico foi organizada e analisada separadamente para os sistemas em solo, telhado e a geração total. Os dados são apresentados na Tab. 6.

Tabela 6 - Geração da usina solar fotovoltaica da UFGD nos anos 2020, 2021 e 2022.

Mês	Ano 2020			Ano 2021			Ano 2022		
	Geração Solo (kWh)	Geração Telhado (kWh)	Geração Total (kWh)	Geração Solo (kWh)	Geração Telhado (kWh)	Geração Total (kWh)	Geração Solo (kWh)	Geração Telhado (kWh)	Geração Total (kWh)
Janeiro	20.170	58.157	78.327	33.529	90.211	123.740	41.308	115.701	157.008
Fevereiro	38.633	111.127	149.760	39.259	100.811	140.070	36.068	94.566	130.634
Março	44.055	119.414	163.469	39.367	96.072	135.439	33.600	76.858	110.457
Abril	45.592	110.536	156.129	41.267	90.529	131.796	37.098	91.465	128.563
Mai	40.656	91.659	132.315	33.205	63.062	96.267	31.066	72.078	103.144
Junho	28.963	66.000	94.963	25.715	52.713	78.428	29.686	65.908	95.595
Julho	34.012	75.528	109.541	38.692	67.227	105.919	34.798	75.024	109.821
Agosto	39.397	77.547	116.943	37.745	66.887	104.631	32.937	78.155	111.092
Setembro	40.656	91.659	132.315	37.922	90.351	128.273	27.376	71.528	98.903
Outubro	36.631	98.442	135.073	27.795	88.243	116.038	34.078	94.600	128.678
Novembro	40.038	107.741	147.779	41.540	115.033	156.573	42.774	125.638	168.412
Dezembro	40.525	110.973	151.498	41.914	123.950	165.864	34.086	113.193	147.279
Total	449.328	1.118.783	1.568.112	437.952	1.045.087	1.483.040	414.873	1.074.714	1.489.586

Durante o ano de 2020, a usina solar fotovoltaica da UFGD gerou um total de 1.568.112 kWh de energia, enquanto no ano de 2021 a geração foi de 1.483.040 kWh e, em 2022, 1.489.589 kWh. Ao comparar esses valores com as estimativas previstas, observa-se uma diferença de 7,85% para o primeiro ano, 11,9% para o ano de 2021 e 11,5% para o ano de 2022. Destaca-se, aqui, que a diferença verificada entre os valores das energias estimadas e geradas podem ser atribuídos aos rendimentos considerados nas Eq. 1 a 4. Observa-se que, ainda que reduza o rendimento do sistema devido as perdas térmicas e do inversor, as equações não consideram as perdas decorrentes de sombreamento, perdas devido à resistência do cabeamento, por desacoplamento, e acúmulo de sujeira na superfície dos módulos.

Outro ponto a ser destacado, considerando a diferença do estimado e o gerado são as variações na irradiação solar e à eficiência dos módulos. Os valores de irradiação utilizados na estimativa de geração foram obtidos a partir da base de dados do programa SunData v 3.0, do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB) para a cidade de Dourados. No entanto, é importante ressaltar que esses valores representam a estimativa da irradiação recebida pelos módulos fotovoltaicos. Para se obter valores mais precisos, seria necessário contar com uma base de monitoramento meteorológico nas instalações da usina solar fotovoltaica.

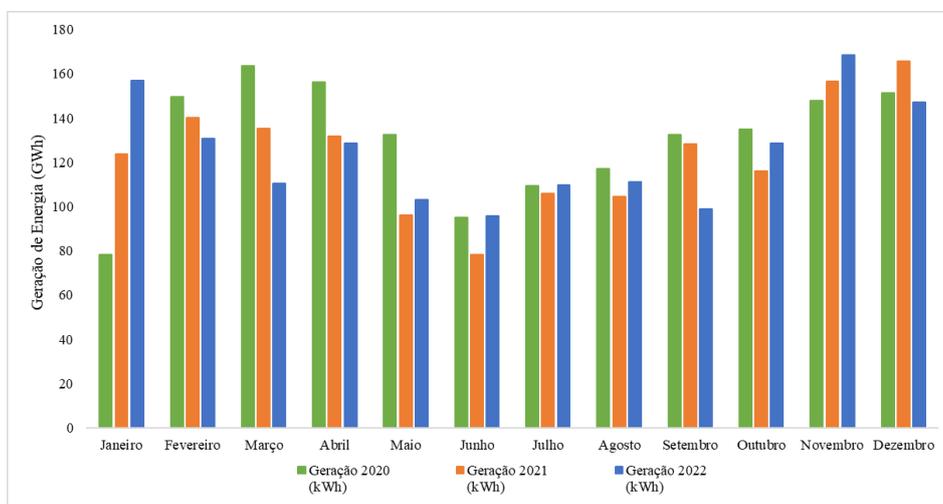


Figura 5- Geração de Energia na usina UFGD II nos anos 2020, 2021 e 2022.

3.7 Índices de desempenho

A seguir serão apresentados e analisados os resultados obtidos a partir da aplicação da Eq. (5), (6) e (7), referentes aos indicadores de Produtividade (Tab. 7), Fator de Capacidade (Tab. 8) e *Performance Ratio* (Tab. 9). Ao se analisar o índice de produtividade do sistema solar fotovoltaico da UFGD nos últimos três anos, é possível observar um comportamento de declínio. Verifica-se, também, uma redução do índice de desempenho nos meses com menor irradiação solar, como é esperado.

Tabela 7 – Produtividade do sistema solar fotovoltaico da UFGD nos anos 2020,2021 e 2022.

Mês	Ano 2020			Ano 2021			Ano 2022		
	Y Telhado (kWh/kWp)	Y Solo (kWh/kWp)	Y Total (kWhkWP)	Y Telhado (kWh/kWp)	Y Solo (kWh/kWp)	Y Total (kWhkWP)	Y Telhado (kWh/kWp)	Y Solo (kWh/kWp)	Y Total (kWhkWP)
Janeiro	69,2	72,0	69,9	107,4	119,7	110,5	137,7	147,5	140,2
Fevereiro	132,3	138,0	133,7	120,0	140,2	125,1	112,6	128,8	116,6
Março	142,2	157,3	146,0	114,4	140,6	120,9	91,5	120,0	98,6
Abril	131,6	162,8	139,4	107,8	147,4	117,7	108,9	132,5	114,8
Maió	109,1	145,2	118,1	75,1	118,6	86,0	85,8	110,9	92,1
Junho	78,6	103,4	84,8	62,8	91,8	70,0	78,5	106,0	85,4
Julho	89,9	121,5	97,8	80,0	138,2	94,6	89,3	124,3	98,1
Agosto	92,3	140,7	104,4	79,6	134,8	93,4	93,0	117,6	99,2
Setembro	109,1	145,2	118,1	107,6	135,4	114,5	85,2	97,8	88,3
Outubro	117,2	130,8	120,6	105,1	99,3	103,6	112,6	121,7	114,9
Novembro	128,3	143,0	131,9	136,9	148,4	139,8	149,6	152,8	150,4
Dezembro	132,1	144,7	135,3	147,6	149,7	148,1	134,8	121,7	131,5
Média	111,0	133,7	116,7	103,7	130,3	110,3	106,6	123,5	110,8

Tabela 8 – Fator de Capacidade do sistema da UFGD calculado para os meses de 2020, 2021 e 2022

Mês	Ano 2020			Ano 2021			Ano 2022		
	CF Telhado (%)	CF Solo (%)	CF Total (%)	CF Telhado (%)	CF Solo (%)	CF Total (%)	CF Telhado (%)	CF Solo (%)	CF Total (%)
Janeiro	9,3	9,7	9,4	14,4	16,1	14,8	18,5	19,8	18,8
Fevereiro	19,0	19,8	19,2	17,2	20,1	18,0	16,2	18,5	16,8
Março	19,1	21,1	19,6	15,4	18,9	16,3	12,3	16,1	13,3
Abril	18,3	22,6	19,4	15,0	20,5	16,3	15,1	18,4	15,9
Maió	14,7	19,5	15,9	10,1	15,9	11,6	11,5	14,9	12,4
Junho	10,9	14,4	11,8	8,7	12,8	9,7	10,9	14,7	11,9
Julho	12,1	16,3	13,1	10,8	18,6	12,7	12,0	16,7	13,2
Agosto	12,4	18,9	14,0	10,7	18,1	12,6	12,5	15,8	13,3
Setembro	15,2	20,2	16,4	14,9	18,8	15,9	11,8	13,6	12,3
Outubro	15,8	17,6	16,2	14,1	13,3	13,9	15,1	16,4	15,4
Novembro	17,8	19,9	18,3	19,0	20,6	19,4	20,8	21,2	20,9
Dezembro	17,8	19,5	18,2	19,8	20,1	19,9	18,1	16,4	17,7
Média	15,2	18,3	15,9	14,2	17,8	15,1	14,6	16,9	15,1

Tabela 9 – Valores de *Performance ratio* calculado para os anos 2020, 2021 e 2022, da UFGD.

Mês	Ano 2020			Ano 2021			Ano 2022		
	PR Telhado (%)	PR Solo (%)	PR Total (%)	PR Telhado (%)	PR Solo (%)	PR Total (%)	PR Telhado (%)	PR Solo (%)	PR Total (%)
Janeiro	44,4	44,5	44,4	70,4	76,4	72,0	94,6	100,0	96,0
Fevereiro	96,6	97,6	96,9	88,8	101,5	92,0	88,2	99,5	91,0
Março	104,7	112,6	106,7	85,1	102,2	89,5	68,0	87,0	72,9
Abril	112,4	132,9	117,7	94,8	125,6	102,7	95,2	111,8	99,5
Maió	104,4	130,9	111,4	75,6	114,4	85,6	84,7	104,1	89,7
Junho	86,2	107,2	91,7	70,6	98,5	77,9	87,5	112,1	93,9
Julho	91,7	117,0	98,3	83,6	137,6	97,6	96,4	128,8	104,8
Agosto	79,2	116,7	88,8	66,4	107,7	77,1	78,0	94,5	82,3
Setembro	95,5	125,1	103,0	94,6	117,4	100,3	70,1	77,7	72,1
Outubro	89,0	98,0	91,3	77,3	71,2	75,8	81,6	85,6	82,7
Novembro	89,9	98,6	92,1	94,7	100,4	96,1	102,6	102,2	102,5
Dezembro	81,5	87,1	82,9	93,1	93,1	93,1	83,4	73,5	80,9
Média	90,8	109,9	94,5	84,4	101,8	90,7	86,1	99,8	90,4

Os índices de desempenho da usina solar fotovoltaica da UFGD foram comparados com uma unidade de geração apresentada no trabalho desenvolvido na Universidade Federal Tecnológica do Paraná em 2016 (ARAÚJO et al., 2016). A usina solar fotovoltaica localizada no Escritório Verde da UFTPR, com potência de 21 kWp, foi instalada em 2011 e apresenta os índices dispostos na Tab. 10. Foi possível desenvolver o gráfico da tendência de declínio dos indicadores calculados para o período entre 2020 e 2022, considerando, ainda, a média do período, e a comparação com a Usina do Escritório Verde, como podem ser observados nas Fig. 6 e 7.

Tabela 10 – Índices de desempenho da UFGD e do Escritório Verde da UFTPR.

Ano	Usina	Produtividade (kWh/kWp)	Fator de Capacidade (%)	Performance Ratio (%)
2020	UFGD	116,7	15,9	94,5
	Escritório Verde	96,9	13,25	71,33
	Diferença (%)	20,4	20,3	32,5
2021	UFGD	110,3	15,1	90,7
	Escritório Verde	87,5	12,0	68,2
	Diferença (%)	26,1	25,6	33,0
2022	UFGD	110,8	15,1	90,4
	Escritório Verde	95,83	13,16	69,7
	Diferença (%)	15,7	15,1	29,7

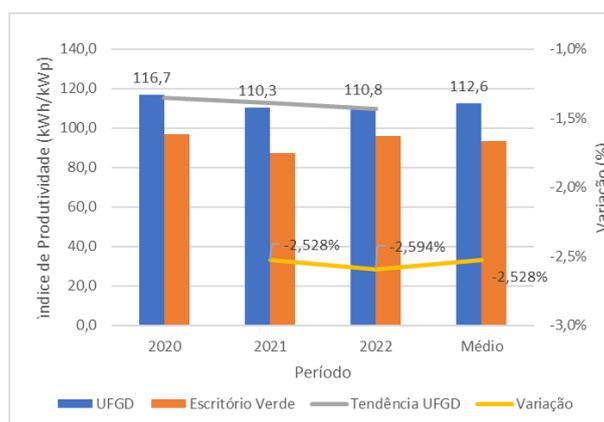


Figura 6 – Índice de produtividade da usina solar fotovoltaica da UFGD e Escritório Verde nos anos 2020, 2021 e 2022

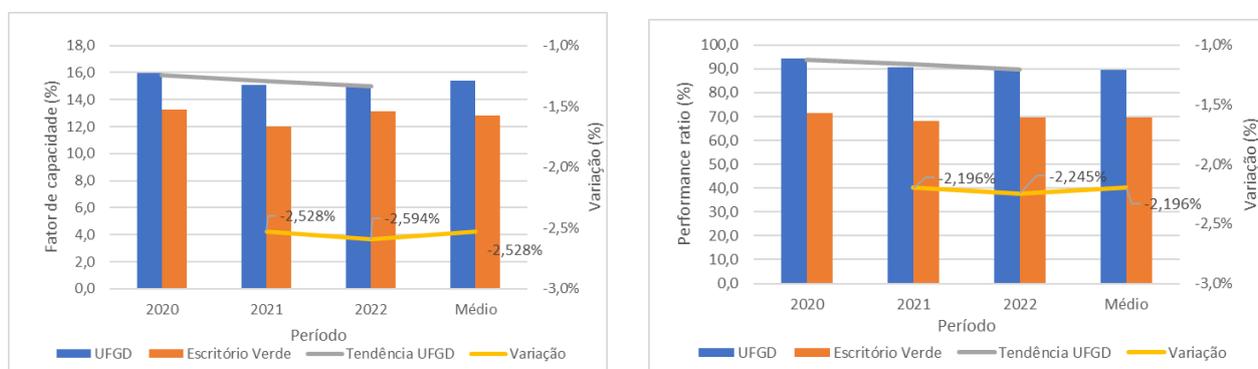


Figura 7 – Fator de Capacidade e Performance Ratio da usina UFGD e Escritório Verde nos anos 2020, 2021 e 2022

Ao se analisar o índice de Produtividade (Tab. 10 e Fig. 6) do sistema solar fotovoltaico da UFGD de 2020 a 2022 (116,7 kWh/kWp e 110,8 kWh/kWp respectivamente) é possível observar um comportamento de declínio, com uma redução de 5,06% em três anos – sendo 2,53% até o segundo ano e 2,59% até terceiro ano. Considerando o mesmo período, o Fator de Capacidade (Tab. 11 e Fig. 7) apresentou a mesma variação, enquanto reduziu, dos valores absolutos obtidos: 15,9% para 15,1% e 15,1% no período analisado. Por fim, o índice *Performance Ratio* reduziu de 94,5% para 90,7% e 90,4% considerando os anos 2020, 2021 e 2022 – sendo 2,20% até o segundo ano, 2,24% até o terceiro, e 4,40% acumulado no período, considerando a linha de tendência determinada.

De acordo com Oliveira (2017), para uma usina fotovoltaica com tecnologia similar a UFGD, no primeiro ano de funcionamento são admitidas perdas energéticas até 8,7% nos fatores listados. A partir dos anos seguintes, é esperada a estabilização em até 7,9%, assim, com valor máximo igual a 2,52%, o sistema solar fotovoltaico de silício policristalino apresenta o declínio de desempenho menor do que a bibliografia.

Observa-se, ainda, a partir das Fig. 6 e 7, que, após o primeiro ano foram realizadas limpezas nos módulos fotovoltaicos do sistema do Escritório Verde, o que resultou em uma melhoria nos índices de desempenho do sistema. Ao se comparar o desempenho das usinas, o sistema da UFGD apresenta índices maiores, em uma faixa variando entre 15,7% e 33,0%, em relação ao sistema do Escritório Verde.

Por fim, pode se atribuir a maior redução trianual dos índices de Produtividade e Fator de Capacidade (5,06%) e *Performance Ratio* (4,40%) da UFGD à variabilidade climática entre os anos, a degradação das células fotovoltaicas, com a consequente declínio gradativo da eficiência dos módulos e, em especial, ao acúmulo de sujeiras devido à baixa inclinação dos módulos, que reduz a limpeza produzida pelas chuvas, somada a dificuldade de acesso ao sistema dos telhados para a remoção manual.

3.8 Análise da geração e consumo de energia da UFGD II

O consumo ativo é necessário para o funcionamento dos equipamentos eletroeletrônicos, máquinas, iluminação, aquecimento e outros fins. Para a análise da demanda e potência média no intervalo de uma hora, foram utilizados os valores da demanda medida da Energisa e potência medida injetada na rede, disponíveis na memória de massa fornecida pela concessionária, e os dados de geração obtidos na plataforma do inversor. Tem-se, então, que a demanda da Energisa é a energia elétrica consumida da rede da concessionária em uma hora, e a potência injetada, a energia elétrica gerada pela própria Unidade II no mesmo intervalo de tempo, que não foi consumida naquele horário. Destaca-se, sobretudo, que a potência injetada deve ser subtraída da demanda, e acrescido o resultado a potência de geração, para se obter a demanda instantânea da Unidade.

Foi analisada a segunda semana de novembro de 2022, do dia 07/11 ao dia 12/11 (segunda-feira à sábado). Os valores da demanda Energisa e potência injetada disponíveis na memória de massa estão disponíveis em intervalos de 15 em 15 minutos, já a plataforma de monitoramento da geração fornece os valores em 1 minuto. Considerando os valores de demanda, injeção e geração médio horário (em kW), foi elaborado os gráficos dispostos na Fig. 8.

A Fig. 8 ilustra o comportamento das curvas da energia fornecida, injetada, gerada e o consumo da UFGD II ao longo dos dias 7 a 12 de novembro de 2022. Pode se observar que o sistema gera energia entre as 6 horas e 18 horas, com pico das 11 e 13 horas, quando produz o maior excedente que é injetado na rede de distribuição.

O kWh fornecido apresenta maior demanda no período noturno, entre as 18 e 4 horas do dia seguinte. Destaca-se, ainda, que, quando a irradiação solar inicia pela manhã, há uma redução da demanda de energia devido ao desligamento da iluminação das vias públicas da Universidade. Outro ponto que se destaca nos gráficos da Fig. 8 é o aumento de carga entre as 10 e 16 horas, atribuído ao uso mais intenso dos espaços universitários e, conseqüentemente, dos equipamentos de climatização.

Considerando, ainda, a Fig. 8, pode se observar o efeito da energia gerada no contrato de demanda. Para o dia 10/11, às 15 horas, o maior pico de demanda dentre os dias analisados, a média dos quatro intervalos da demanda medida alcançou 597 kW, enquanto era gerado 128 kW, a partir de um pico de geração de 784 kW que ocorreu às 11 horas. Conclui-se, para esse caso, então, que a complementação da demanda de energia da concessionária pela usina de geração solar fotovoltaica pode ser prejudicada pelo deslocamento do pico de produção para o meio dia e do pico de consumo para as 16 horas – de forma a levar a ultrapassagem do contrato de demanda, situação que não se observou nos demais dias analisados, onde os picos de geração e consumo se aproximam.

Por fim, a análise da energia injetada torna-se mais relevante, no momento, com a publicação da Resolução Aneel nº 14.300/22, que define um escalonamento da cobrança do fio B para projetos homologados a partir do ano 2023 – parcela integrante no custo da Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição de energia (TUSD).



Figura 8 – Demanda Energisa, Potência Injetada, Potência da Geração e Demanda Instantânea da UFGD II entre os dias 7 e 11/11/2022.

3.9 Avaliação dos benefícios da geração da usina solar fotovoltaica instalada na UFGD II

O projeto de implantação da usina fotovoltaica na Universidade Federal da Grande Dourados foi desenvolvido com o objetivo de compensar parcialmente o consumo fora de ponta da Unidade II da instituição. De acordo com o projeto inicial, a usina supriria aproximadamente 55% do consumo fora de ponta, com redução de 27% da fatura energia elétrica da instituição.

A concessionária Energisa-MS supre a energia elétrica na Unidade II, através de uma rede de distribuição com tensão nominal de 13,8 kV. A UFGD II está enquadrada na modalidade tarifária Horária Verde, subgrupo A4, com uma demanda contratada de 1.600 kW, que permaneceu até abril de 2022, quando foi reduzida para 960 kW.

A análise considera, para a Tab. 11, a geração, a fatura Energisa, o consumo da UFGD e a redução percentual no consumo a partir da energia gerada. Observa-se, sobretudo, que o consumo da fatura Energisa deve ser subtraído do injetado para se obter a energia real utilizada da concessionária. Uma vez que não há excedente mensal na da UFGD II, injeta-se quando há geração nos horários de irradiação solar, e pouco consumo, e recebe (como consumo) no horário de maior demanda, ou no período noturno, como será apresentado no item a seguir. O consumo de energia da UFGD, por sua vez, é dado pela soma da energia gerada com a energia consumida da concessionária. As Fig. 9 e 10 ilustra as curvas do comportamento do consumo e geração na UFGD.

Tabela 11 – Consumo nos horários ponta, fora de ponta e total das faturas da Unidade II da UFGD.

Mês	Ano 2020				Ano 2021				Ano 2022				Acumulado 2020 a 2022			
	Geração (kWh)	Consumo Energisa (kWh)	Consumo UFGD (kWh)	Redução no Consumo (%)	Geração (kWh)	Consumo Energisa (kWh)	Consumo UFGD (kWh)	Redução no Consumo (%)	Geração (kWh)	Consumo Energisa 2022 (kWh)	Consumo UFGD (kWh)	Redução no Consumo (%)	Geração (kWh)	Consumo Energisa (kWh)	Consumo UFGD (kWh)	Redução no Consumo (%)
Janeiro	78.330	140.188	218.518	35,85%	123.740	69.812	193.552	63,93%	157.010	39.712	196.722	79,81%	359.080	249.712	608.792	58,98%
Fevereiro	149.760	133.798	283.558	52,81%	140.700	64.119	204.819	68,69%	130.630	126.616	257.246	50,78%	421.090	324.533	745.623	56,47%
Março	163.470	187.984	351.454	46,51%	135.440	92.665	228.105	59,38%	76.858	186.898	263.756	29,14%	375.768	467.547	843.315	44,56%
Abril	156.130	29.102	185.232	84,29%	131.800	66.257	198.057	66,55%	128.560	130.657	259.217	49,60%	416.490	226.016	642.506	64,82%
Mai	132.310	54.223	186.533	70,93%	96.270	76.996	173.266	55,56%	103.140	113.139	216.279	47,69%	331.720	244.358	576.078	57,58%
Junho	94.960	65.465	160.425	59,19%	78.430	83.149	161.579	48,54%	95.590	95.601	191.191	50,00%	268.980	244.215	513.195	52,41%
Julho	109.540	67.747	177.287	61,79%	105.920	60.879	166.799	63,50%	109.820	116.288	226.108	48,57%	325.280	244.914	570.194	57,05%
Agosto	113.490	77.245	190.735	59,50%	104.630	81.614	186.244	56,18%	111.090	117.228	228.318	48,66%	329.210	276.087	605.297	54,39%
Setembro	127.220	52.168	179.388	70,92%	128.270	61.200	189.470	67,70%	98.900	115.905	214.805	46,04%	354.390	229.273	583.663	60,72%
Outubro	135.070	59.822	194.892	69,31%	116.040	45.600	161.640	71,79%	128.680	107.142	235.822	54,57%	379.790	212.564	592.354	64,12%
Novembro	147.780	42.255	190.035	77,76%	156.570	99.600	256.170	61,12%	168.410	65.454	233.864	72,01%	472.760	207.309	680.069	69,52%
Dezembro	151.500	25.995	177.495	85,35%	165.860	0	165.860	100,00%	147.280	98.852	246.132	59,84%	464.640	124.847	589.487	78,82%
Total	1.559.560	935.992	2.495.552	62,49%	1.483.670	801.891	2.285.561	64,91%	1.455.968	1.313.492	2.769.459	52,57%	4.499.198	3.051.375	7.550.572	59,59%

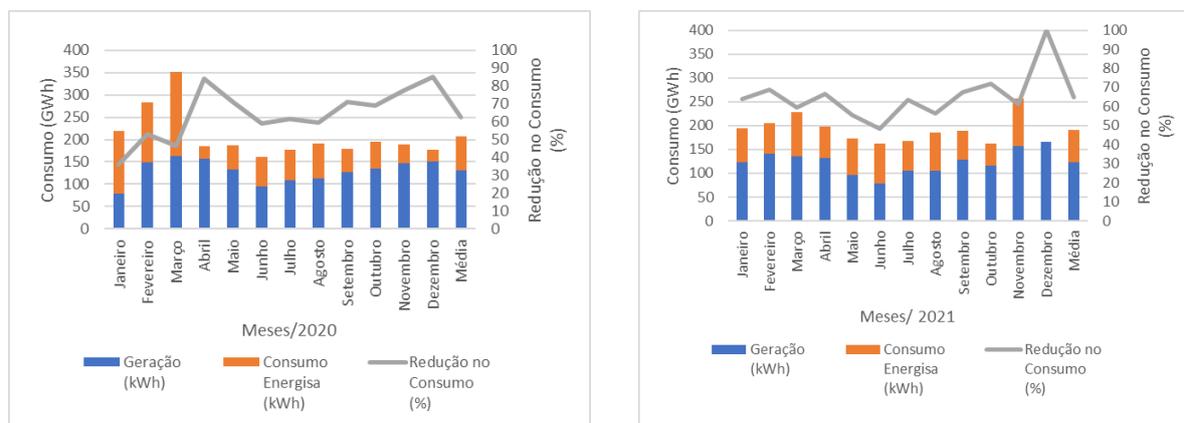


Figura 9 - Energia Fornecida, Injetada, Gerada e Consumo da UFGD II nos anos 2020 e 2021.

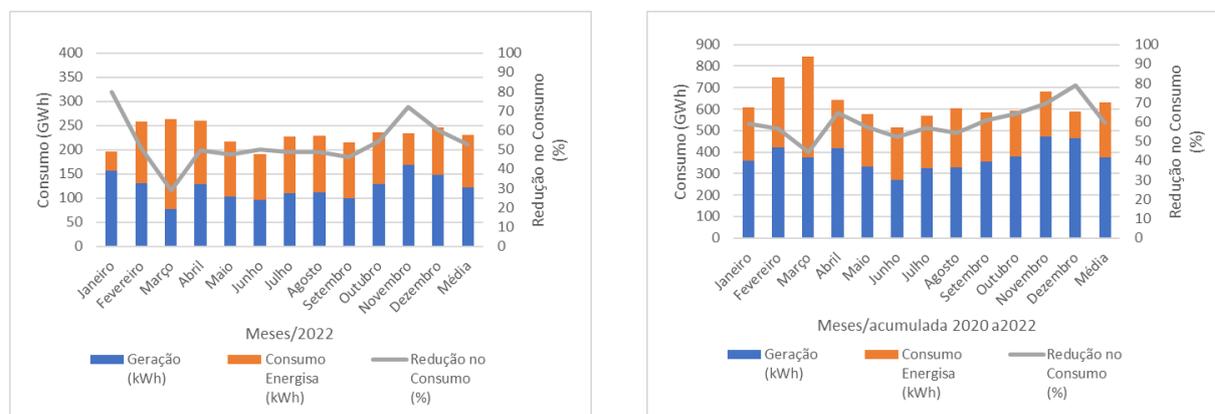


Figura 10 - Energia Fornecida, Injetada, Gerada e Consumo da UFGD II no ano 2022 e médio.

Pode se destacar, a partir da Fig. 10b, que a redução média do consumo de energia elétrica da UFGD para o período entre 2020 e 2022 é igual 59,6%, considerando, ainda o consumo total da Universidade (horário de ponta e fora de ponta), superando, assim, a expectativa do projeto que era de 55%. Observa-se, ainda, que nos anos 2020 e 2021 houve uma redução significativa no consumo devido ao trabalho remoto, sobretudo, em 2022, com consumo igual a 2.769.459 kWh, ainda se encontra em 81,14% do registrado em 2019 (3.412.825) kWh.

A segunda análise considera a redução na fatura de energia – estimada inicialmente em 27%. Considerando a variação do comportamento do consumo, e seu custo, foi utilizada a fatura da Energisa e, a partir do custo unitário da energia fora de ponta, considerando impostos e bandeira, obteve-se o benefício da geração da energia – geração multiplicada pelo custo do kWh. Assim, foi possível se obter a Tab. 12 e os gráficos apresentados nas Fig. 11 e 12, que relacionam o benefício monetário da geração, a fatura de energia e a sua redução, assim como também apresenta, para a soma dos primeiros, a fatura que seria paga na ausência da usina (indicado na tabela como custo sem geração).

Tabela 12 – Custo da energia nos horários ponta, fora de ponta e total das faturas da Unidade II da UFGD.

Mês	Ano 2020				Ano 2021				Ano 2022				Acumulado 2020 a 2022			
	Benefício Geração (R\$)	Fatura Energisa (R\$)	Custo sem geração (R\$)	Redução na Fatura 2020 (%)	Benefício Geração (R\$)	Fatura Energisa (R\$)	Custo sem geração (R\$)	Redução na Fatura (%)	Benefício Geração (R\$)	Fatura Energisa (R\$)	Custo sem geração (R\$)	Redução na Fatura (%)	Benefício Geração (R\$)	Fatura Energisa (R\$)	Custo sem geração (R\$)	Redução na Fatura (%)
Janeiro	34.116	133.238	167.354	20,39%	55.544	106.031	161.575	34,38%	69.243	107.836	177.080	39,10%	158.903	347.105	506.009	31,40%
Fevereiro	63.580	153.127	216.707	29,34%	63.028	109.583	172.611	36,51%	56.523	175.661	232.184	24,34%	183.130	438.371	621.502	29,47%
Março	69.403	180.186	249.590	27,81%	61.650	131.590	193.240	31,90%	33.975	232.033	266.008	12,77%	165.028	543.809	708.837	23,28%
Abril	67.023	91.190	158.213	42,36%	58.492	111.767	170.258	34,35%	60.467	189.492	249.959	24,19%	185.981	392.449	578.430	32,15%
Maió	56.798	96.963	153.761	36,94%	46.766	129.305	176.071	26,56%	52.523	156.244	208.767	25,16%	156.087	382.512	538.599	28,98%
Junho	40.399	101.663	142.063	28,44%	39.443	132.159	171.602	22,98%	50.805	137.834	188.639	26,93%	130.647	371.656	502.303	26,01%
Julho	47.006	103.184	150.190	31,30%	53.848	125.627	179.475	30,00%	57.752	156.268	214.020	26,98%	158.606	385.080	543.686	29,17%
Agosto	49.057	106.939	155.996	31,45%	54.014	135.821	189.835	28,45%	60.491	166.220	226.712	26,68%	163.562	408.980	572.543	28,57%
Setembro	56.632	103.400	160.032	35,39%	68.220	123.857	192.077	35,52%	54.888	156.167	211.056	26,01%	179.741	383.424	563.165	31,92%
Outubro	60.162	108.107	168.269	35,75%	56.629	112.267	168.896	33,53%	68.827	151.566	220.392	31,23%	185.618	371.940	557.557	33,29%
Novembro	65.305	96.601	161.906	40,34%	89.854	145.676	235.530	38,15%	103.044	132.947	235.991	43,66%	258.203	375.224	633.428	40,76%
Dezembro	68.790	92.122	160.911	42,75%	71.924	49.715	121.640	59,13%	69.890	148.731	218.621	31,97%	210.604	290.568	501.172	42,02%
Total	678.271	1.366.720	2.044.991	49,63%	719.412	1.413.398	2.132.811	50,90%	738.428	1.911.000	2.649.428	38,64%	2.136.111	4.691.118	6.827.229	31,29%

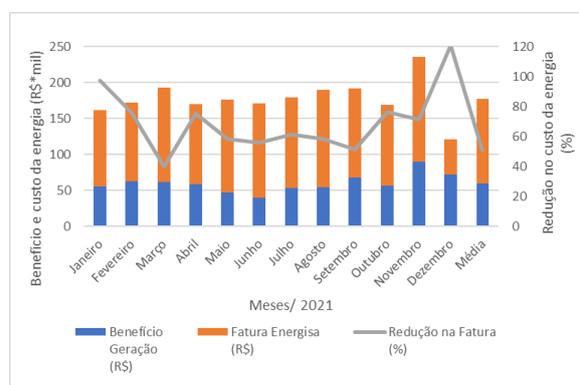
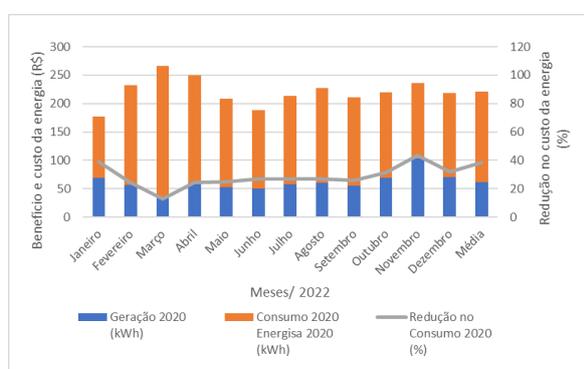


Figura 11 – Benefício da geração, fatura Energisa e redução da fatura da UFGD II nos anos 2020 e 2021.

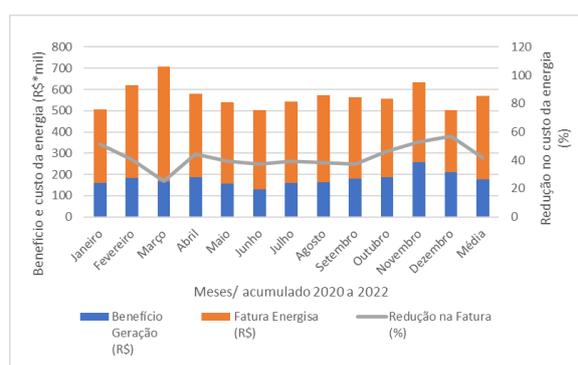
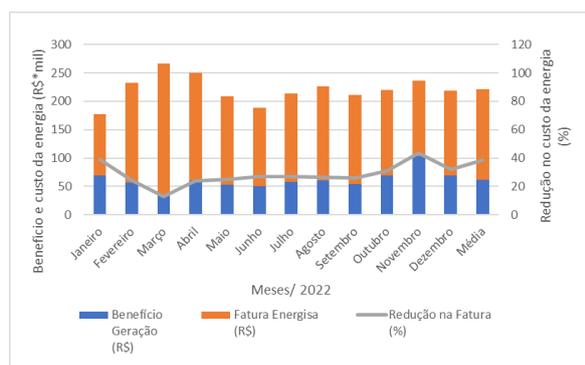


Figura 12 – Benefício da geração, fatura Energisa e redução da fatura da UFGD II nos anos 2020 e 2021.

No ano de 2022, a UFGD II teve uma despesa com energia diretamente na fatura Energisa de R\$ 1.911.000,00, e um benefício produzido pela usina de R\$ 738.428,00 – a Unidade teria um custo em energia igual R\$ 2.649.428, sem o pleno funcionamento da unidade geradora, o que representa uma redução de 38,64%.

Observa-se, a partir da Tab. 12 e Fig. 11 e 12, que a redução média do custo da fatura nos três anos foi igual a 31,39%, uma vez que, considerando a inexistência da usina a fatura de energia seria igual R\$ 2.275.743,10, foi gerado o equivalente a R\$ 712.037,05 e pago a Energisa R\$ 1.563.706,06. Destaca-se, sobretudo, que, mesmo gerando-se 59,59% da energia consumida pela UFGD, a redução na fatura alcança somente 31,39% - isso deve-se a outros custos, como a demanda de energia e o custo da energia no horário de ponta que é superior ao fora de ponta. Por fim, a média da redução na fatura obtida (31,39%) é, ainda, 11,59% superior ao estimado para o projeto (27%), quando computado o período entre 2020 e 2022.

3.10 Indicadores Financeiros

Para a avaliação econômica do investimentos foram consideradas taxas SELIC e a energia estimada nas condições iniciais do projeto, conforme simulado em janeiro de 2020, e atualizado o benefício advindo da energia gerada real. Somou-se a isso o custo de manutenção de R\$ 10,00 por ano por módulo (R\$ 33.600,00), o reajuste da energia acima da inflação (IPCA + Reajuste: 4,19%+1,5%) para se determinar o VPL, *Payback* e o TIR. O resultado pode ser observado na Tab. 13.

Tabela 13 – Verificação dos indicadores financeiros de projetados em 2020 para usina da Unidade II da UFGD.

Ano	Benefício geração (R\$)	Taxa SELIC (%)	IPCA (%)	Reajuste Energia (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback Descontado
Projeto	683.889				4.261.541	14,61	8 anos e 7 meses
2020	678.271	5,94	4,19	5,69			
2021	719.412				13.620.096	30,02	7 anos e 5 meses
2022	738.428						
Total	2.136.111						

Com um investimento inicial de R\$ 4.525.939,84, uma vida útil de 25 anos, taxa de juros equivalente à taxa Selic de 5,94% a.a., o Valor Presente Líquido (VPL) passou de R\$ 4.261.541,00 para R\$ 13.620.096,00, enquanto a TIR cresceu de 14,61% para 30,02% e o *Payback* descontado reduziu de 8 anos e 7 meses para 7 anos e 5 meses, concluindo, que, para as condições reais de geração e benefício da energia, o investimento demonstrou-se mais atrativo que o estimado em 2020.

Por fim, quando se considera a energia gerada, pode se observar uma produção menor do que a estimada em 10,9%, uma vez que esperava-se, em 2020, 1.682650 kWh e foi obtido, através das informações dos inversores, 1.499.733 kWh médios no período de três anos. Outrossim, a expectativa de benefício era de R\$ 683.889,00, enquanto o obtido foi de R\$ 712.037,00 considerando a média no mesmo período, ou seja, um ganho de 4,11%, indicando que o benefício superou o estimado na reanálise após três anos de operação da usina.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia elétrica é um dos principais pilares do desenvolvimento econômico e social, uma vez que o seu consumo está diretamente relacionado ao contínuo desenvolvimento da humanidade. Considerando que a capacidade instalada de geração de eletricidade no Brasil aumentou 2,7% em 2019, destacando-se um crescimento na geração solar de 32,9% na potência instalada em 2020, e de 55,9% para o ano 2021. Observe-se, assim, a relevância da avaliação dos sistemas quanto ao seu desempenho, bem como a validação das estimativas de geração e benefícios financeiros.

Assim, este trabalho consistiu na análise dos indicadores de desempenho da usina solar fotovoltaica na Unidade II da Universidade Federal da Grande Dourados nos anos de 2020, 2021 e 2022, bem como, na revisão da avaliação econômica do investimento, agora considerando a energia gerada e os benefícios reais calculados da redução da fatura de energia.

Os indicadores de desempenho determinados foram o Índice de Produtividade, o Fator de Capacidade e o *Performance Ratio*. Para tanto foi necessário estimar a energia gerada pelo Equação definida por Narimatu et al., (2018), que, entre as variáveis, destaca-se as perdas por temperatura nos módulos, a eficiência do inversor, bem como o ângulo de inclinação e azimute na determinação de energia gerada.

Os resultados indicaram um cenário favorável para a produção da usina em comparação com outro sistema instalado no Escritório Verde da UFTPR. Os Índices de Produtividade, Fator de Capacidade e *Performance Ratio* médio para os anos 2020, 2021 e 2022 na usina da UFGD encontrados foram de 112,62 kWh/kWp, 15,42% e 89,58% respectivamente, com valores entre 15,1% e 33,0% melhores que o projeto em comparação.

Verificou-se, sobretudo, uma taxa de declínio no desempenho do sistema, que apesar de estar dentro do esperado, deve ser acompanhada ao longo do tempo, sendo: 2,53% no Índice de Produtividade e Fator de Capacidade e 2,20% no *Performance Ratio*.

Quando se considera a energia gerada, pôde se observar uma produção menor do que a estimada em 10,9% (estimado em 2020 1.682650 kWh e obtido, através das informações dos inversores, 1.499.733 kWh médios no período de três anos. Outrossim, a expectativa de benefício era de R\$ 683.889,00, enquanto o obtido foi de R\$ 712.037,00 considerando a média no mesmo período, ou seja, um ganho de 4,11%.

Observou-se, ainda um ganho considerando a complementaridade da energia gerada, o que pôde justificar a redução do contrato de demanda uma vez que a usina é capaz de fornecer parte da demanda – a maior geração tem seu pico próximo ao meio dia, enquanto a maior demanda de energia é registrada três horas depois, às 15 horas.

Por fim, a reavaliação econômica mostrou-se mais favorável para o investimento do que quando se utilizou a estimativa de benefício. Verificou-se que Valor Presente Líquido (VPL) passou de R\$ 4.261.541,00 para R\$ 13.620.096,00, enquanto a TIR cresceu de 14,61% para 30,02% e o *Payback* descontado reduziu de 8 anos e 7 meses para 7 anos e 5 meses, concluindo que o investimento, em sua reanálise após três anos de operação, melhorou em sua atratividade, a justificar, em especial, pelo aumento da tarifa de energia. Por fim, deve-se ressaltar que os benefícios de uma usina de geração solar fotovoltaica estão além dos econômicos, consistindo-se, acima de tudo, uma alternativa sustentável para o setor energético, bem como, um laboratório para o curso de Engenharia de Energia da instituição.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram ao longo deste processo. Em especial, quero agradecer a meus pais, que sempre me incentivaram e auxiliaram em todos os momentos da minha vida acadêmica. Aos meus amigos e colegas, que me ajudaram a manter o equilíbrio emocional e me proporcionaram palavras de incentivo, paciência, críticas construtivas e disposição, fundamentais para o sucesso do meu trabalho. E aos meus professores, que me orientaram com dedicação e sabedoria, transmitindo conhecimentos e experiências valiosas que serão levadas comigo para toda a vida. Sem o apoio de cada um de deles, eu não teria conseguido alcançar essa conquista tão importante. Muito obrigada

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Infográfico. Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo**. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: maio. 2DC.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. 2012. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: dez. 2DC.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e Minigeração Distribuída**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acesso em: abr. 20DC.
- ARAÚJO, A. J.; RANK, N.; BUENO, T. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, 2016.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. 2023. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em: abr. 10DC.
- BENEDITO, R. **Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório**. 2009. Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Energia PPGE, 2009.
- DOS SANTOS, Í.; RUTHER, R.; NASCIMENTO, L.; JUNIOR, L. **Ábacos para Análise Simplificada de Orientação e Inclinação de Sistemas Solares Fotovoltaicos Integrados a Edificações**. 2012. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2022**. 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>.
- GHENSEV, A. **Materiais e Processos de Fabricação de Células Fotovoltaicas**. 2006. Universidade Federal de Lavras, 2006.
- Global Solar Atlas**. 2023. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088>>. Acesso em: mar. 28DC.
- KROTH, G. **Análise de Indicadores de Desempenho e de Qualidade de Energia de um Sistema Fotovoltaico com Distintos Fatores de Dimensionamento de Inversor**. 2021. Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.
- MARION, B.; ADELSTEIN, J.; BOYLE, K. **Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems**. 2005. National Renewable Energy Laboratory, 2005.
- NARIMATU, B.; CRIBARI, F.; GUIMARÃES, W. **Avaliação de Desempenho de um Sistema Fotovoltaico Comercial de 14,56 kWp no Município de Serra**. 2018. Congresso Brasileiro de Energia Solar - Centro Univeritário FAESA, 2018.
- OLIVEIRA, L. **Avaliação de Fatores que Influenciam na Estimativa da Geração e Operação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 2017. Universidade Federal de Minas Geras. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2017.
- OTTONELLI, J.; ALMEIDA, A.; ALMEIDA, I. **Retorno de Investimento de Usina Fotovoltaica Conectada à Rede de Distribuição: Estudo de Caso**. 2020. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2020.
- PINHO, J.; GALDINHO, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. CEPEL-CRESESB, 2014.
- PORTAL UFGD. **PID 2022/2026**. Disponível em: <<https://portal.ufgd.edu.br/secao/pdi-2022-2026/pdi-versao-final>>. Acesso em: 05 maio. 2023.
- QUINTELA, L. **Análise dos Benefícios da Implantação de uma Usina Fotovoltaica na Universidade Federal da Grande Dourados**. 2020. Universidade Federal da Grande Dourados. Faculdade de Engenharia, 2020.
- ROMANELLI, E.; DOS SANTOS, F.; TIEPOLO, G.; SOARES, J.; NASCIMENTO, L. **Análise de Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede do IFAM Campus Manaus Centro em seu Primeiro Ano de Operação**. 2022. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, 2022.

- SIEWERDT, F. **Comparativo da Geração Distribuída de Unidades Consumidoras de Microgeração e Minigeração Eólica e Fotovoltaica no Brasil**. 2021. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.
- SILVA, R. **Análise de Desempenho de Usina Solar Fotovoltaica Utilizando Simulações com Dados de Entrada Medidos**. 2022. Instituto Federal de Pernambuco, 2022.
- SPE; ANEEL. **Resultados da CHAMADA Nº 013/2011 Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”**. (2011). Disponível em: <http://www.rio12.com/download/proceedings_workshop/RIO12-Workshop2_Fabio_Stacke_ANEEL_Projectos_Estrategicos.pdf>. Acesso em: 5 maio. 2023.
- STAMBUK, R. **Influência da Temperatura de Operação no Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos**. 2017. Monografia de Especialização - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- TEIXEIRA, V. **Análise de Produtividade de Usinas Solares Fotovoltaicas no Agreste Pernambucano a Partir de Dados Medidos**. 2019. Instituto Federal de Pernambuco, 2019.

FORMAT INSTRUCTIONS FOR PAPER SUBMISSION TO REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR

Abstract: Photovoltaic solar generation has stood out as a sustainable, economically viable and expanding alternative in Brazil. Thus, it becomes relevant to concern with its performance, as well as the validation of the return-on-investment project. Considering the implementation of a 1.12 MWp photovoltaic solar plant at the Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), in operation since January 2020, this work seeks to determine the performance indicators Productivity Index, Capacity Factor and Performance Ratio, as well as to analyze the behavior of the demand curves and reevaluate the feasibility project developed in its implementation. Therefore, it was necessary to estimate the generation of energy through solar irradiation and the losses associated with the system. Thus, Productivity Index, Capacity Factor and Performance Ratio average for the years 2020, 2021 and 2022 were obtained equal to 112.62 kWh/kWp, 15.42% and 89.58% respectively, which, when compared to an existing project, represented a higher rate between 15.1% and 33.0%. When the variation of the indicators in the period v was analyzed, a decline in the performance of the system of 2.53% in the Productivity Index and Capacity Factor and 2.20% in the Performance Ratio was erected. It was also observed a lower energy production in 10.9%, above all, a gain in financial benefit of 4.11%. Finally, the reanalysis of the economic project exceeded the expected benefits, since the TIR rose from 14.61% to 30.02% and the discounted Payback was reduced in one year and two months from the expectation, validating the investment in UFGD's photovoltaic solar generation plant.

Keywords: Photovoltaic plant, Productivity indicators, economic analysis.