



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
CURSO EM INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

AUGUSTO MORAIS BRITO

**ESTUDO DO IMPACTO ECONÔMICO E VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE
UMA MICROUSINA FOTOVOLTAICA DE 62,7 kW_p INSTALADA EM UMA
UNIVERSIDADE PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DA UFERSA CAMPUS -
ANGICOS**

ANGICOS

2021

AUGUSTO MORAIS BRITO

**ESTUDO DO IMPACTO ECONÔMICO E VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE
UMA MICROUSINA FOTOVOLTAICA DE 62,7 kWp INSTALADA EM UMA
UNIVERSIDADE PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DA UFERSA CAMPUS -
ANGICOS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Me. Leonardo Magalhães Xavier Silva

ANGICOS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B862e Brito, Augusto Moraes.
Estudo do impacto econômico e viabilidade de
ampliação de uma microusina fotovoltaica de
62,7kwp instalada em uma universidade pública:
estudo de caso da UFERSA - Campus Angicos /
Augusto Moraes Brito. - 2021.
48 f. : il.

Orientador: Leonardo Magalhaes Xavier Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Fontes renováveis. 2. Energia solar. 3.
Microgeração fotovoltaica. 4. Universidade
pública. 5. Instituições públicas. I. Silva,
Leonardo Magalhaes Xavier , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AUGUSTO MORAIS BRITO

**ESTUDO DO IMPACTO ECONÔMICO E VIABILIDADE DE AMPLIAÇÃO DE
UMA MICROUSINA FOTOVOLTAICA DE 62,7 kW_p INSTALADA EM UMA
UNIVERSIDADE PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DA UFERSA CAMPUS -
ANGICOS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 27/09/ 2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Leonardo Magalhães Xavier Silva (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Marcus Vinicius Sousa Rodrigues (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Adelson Menezes Lima (UFERSA)
Membro Examinador

Aos meus pais:
Irami Moraes Brito
Joana Celestina Moraes Brito

Aos meus avós:
Maria Moraes de Medeiros Araújo
Sebastião Garcia de Medeiros Araújo
Iran Milton de Brito
Maria de Lourdes Moraes Brito

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Irami Moraes e Joana Celestina por todos os esforços feitos para que eu alcançasse meus objetivos na vida profissional, eles são responsáveis por grande parte deste triunfo pois me apoiaram em todas as minhas escolhas, me tornando livre para escolher. Fizeram de tudo para colocar o pão de cada dia em nossa mesa, fizeram de tudo por mim e minha irmã, fizeram de tudo para também construir este sonho juntamente a mim, esse troféu não é só meu. Assim como também aos meus avós e restante da família que em momentos ímpares contribuíram de alguma forma para este momento.

Agradeço ao meu Orientador Me. Leonardo Xavier por acreditar e me auxiliar com os nortes nesta etapa da vida acadêmica, como também deter grande voto de amizade da minha parte, foram diversos momentos de partilha.

Agradeço a todos os docentes da EEJAM, EMFQM, IFRN e UFERSA que participaram e contribuíram com a minha formação, foram de suma importância para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço a querida Prof. Naide Lopes, onde tenho votos de estima e consideração por auxiliar minuciosamente com as palavras e números, primeiras ferramentas da academia da educação, não mediu esforços para que eu dominasse-as.

Agradeço a minha namorada Millena Calline por auxiliar-me e apoiar-me na elaboração deste trabalho e em muitos outros momentos, assim como os meus pais. A sua participação em minha vida, me trouxe paz, tranquilidade e luz, você me fez encarar o mundo de uma forma menos ansiosa e estressante, obrigado por me transbordar de carinho e amor!

Agradeço aos meus amigos que nunca mediram esforços para partilha de conhecimentos e estudos em grupos, em especial aos *Friends of Knowledge*.

Por fim e não menos importante, agradeço a Deus, Santa Luzia protetora dos olhos e Nossa Senhora do Perpétuo Socorro por saúde e sabedoria para exercício dos meus objetivos, estes que abençoaram e interviram nos momentos em que mais precisei.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

A busca pela energia, nas suas mais diversas formas, é uma constante nas sociedades ao redor do globo que desde 1970 sofrem com reflexos oriundos da crise do petróleo. A demanda econômica e ambiental por novas fontes de geração de energia elétrica instalaram novos panoramas. Tendo em visto isto, o interesse nos estudos de análise de impactos econômicos, viabilidade de ampliação, maximização de *feedbacks* e questões socioambientais em unidades consumidoras como a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – *Campus* Angicos, alvo deste estudo, é significativa para a gestão destas. As instituições públicas de ensino superior brasileiras foram incentivadas a implantar sistemas fotovoltaicos por meio do Projeto Prioritário de Energia e Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico nº 001/2016. Com isso este trabalho tem por objetivo identificar a potencialidade dos efeitos econômicos, estimar a economia de energia gerada por uma unidade de Microgeração Fotovoltaica de 62,7kWp presente na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – *Campus* Angicos e incentivar a utilização de fontes renováveis em instituições públicas. Para atingir os referidos objetivos foram analisados parâmetros das faturas de energia elétrica como a demanda contratada, consumo ativo na ponta e fora de ponta, bandeiras tarifárias, dados de geração da unidade desde o seu funcionamento em outubro de 2018, políticas tarifárias e utilização de métodos gráficos e estatísticos para a obtenção dos resultados. Como principais resultados tem-se a contribuição média de 15,22% nos dois primeiros anos de funcionamento, gerando um impacto estimado de R\$ 87.963,39 associado à 9,3 toneladas equivalentes não emitidas de CO² em 30 meses de funcionamento analisados. Outrossim foi constatado que o monitoramento de dados perdeu contato com um dos inversores por um período de 12 meses, os impactos deste período foram levados em consideração e serviram para formular um *feedback* para o setor de lotação da Microgeração do *Campus* sobre a ausência e importância das manutenções preventivas e corretivas. As limitações encontradas por esta pesquisa foram as oferecidas pelo próprio sistema estudado, como também pela pandemia mundial de Covid-19 vivenciada na presente publicação deste trabalho. Portanto, ressalta-se a importância dessa pesquisa por abordar temas de interesse à gestão de recursos energéticos, especialmente em instituições públicas como forma de incentivo e de *feedbacks* para a administração.

Palavras-chave: Fontes renováveis. Energia solar. Microgeração fotovoltaica. Universidade pública. Instituições públicas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema do efeito fotovoltaico	20
Figura 2 - Esquema de geração distribuída por fonte fotovoltaica.....	22
Figura 3 - Microusina solar de 62,7 kWp da UFRSA <i>Campus Angicos</i>	25
Figura 4 - Disposição estrutural dos inversores	26
Figura 5 – Contribuição da capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional, dezembro 2021 – dezembro 2025	35
Figura 6 - Superfície com película de poeira dos módulos solares	36
Figura 7 - Constatação do problema de monitorização da comunicação com um dos inversores de 25kW.....	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo ativo total no período de janeiro de 2018 a março de 2021.....	27
Gráfico 2 - Consumo mensal versus contribuição mensal da USF no 1º ano de funcionamento	30
Gráfico 3 - Consumo mensal versus contribuição mensal da USF no 2º ano de funcionamento	32
Gráfico 4 - Resultado financeiro mensal da Usina Solar desde sua instalação em outubro de 2018	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Etapas do delineamento do estudo de caso	24
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência de diversas tecnologias de células fotovoltaicas	21
Tabela 2- Contribuição da usina no consumo mensal da Universidade em seu primeiro ano de funcionamento	29
Tabela 3-Contribuição da usina no consumo mensal da Universidade em seu segundo ano de funcionamento.	31
Tabela 4-Economia em um ano proporcionada pela Usina Solar	34
Tabela 5-Propostas de ampliação da USF da UFERSA – <i>Campus Angicos</i>	38
Tabela 6 - Análise do desvio padrão da geração dos inversores STP 25000-30 283 e STP 25000-30 689	40
Tabela 7- Estimativa de geração no período de falha técnica do Inversor STP 25000-30 283	41
Tabela 8-Geração no período de falha técnica acrescida do Inversor STP 25000-30 283.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de efeito estufa
IDEMA	Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente
IES	Instituições de Ensino
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PNE	Plano Nacional de Energia
PPEPDE	Projeto Prioritário de Energia e Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
USF	Usina Solar Fotovoltaica

SÍMBOLO

- % Porcentagem
- ® *Registered symbol*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	Energia Renovável	18
2.2	Efeito Fotovoltaico	19
2.3	Sistema de Compensação de Energia Elétrica e Microgeração Distribuída	21
2.4	Energia Solar Fotovoltaica em Universidades Públicas	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	Delineamento do estudo de caso	24
3.2	Caracterização da Microusina Fotovoltaica da UFERSA – <i>Campus Angicos</i> ...	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1	Explicação do consumo de energia da universidade a partir da USF	27
4.2	Contribuição da microusina no consumo mensal total da universidade	28
4.3	Impacto econômico nas faturas da universidade desde sua instalação.....	32
4.4	Previsão do período de retorno orçamentário do valor investido para instalação da usina	33
4.5	Impacto da redução das emissões de CO ² e vantagens socioambientais.....	34
4.6	Diagnosticar possíveis problemas de rendimento	36
4.7	Estabelecer panoramas hipotéticos de ampliação da USF e sua viabilidade	37
4.8	Estimativa e impactos da geração considerando os dados não carregados	38
5	CONCLUSÃO	43
6	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A busca pela energia, nas suas mais diversas formas, é uma constante nas sociedades ao redor do globo. Destacando-se na atualidade a energia elétrica que é utilizada tanto para atender as necessidades cotidianas quanto as necessidades de produção industrial. No entanto, a energia elétrica como produto final sucede outras conversões de energia até que seja obtida, partindo de fontes movidas a combustíveis fósseis em sua grande maioria, a geração de energia elétrica perdurou por muitos anos desta forma até a crise do petróleo na década de 70 que demandou dos governos novas estratégias para suprir a demanda energética.

Segundo Costa e Prates (2005, p. 11) a oferta de energia primária mundial passou de 6 bilhões para 10,2 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo entre 1973 e 2002, um aumento de 70% e uma queda na participação dos derivados de petróleo de 45,5% para 34,9% nesse período, sendo substituídos por gás natural e energia nuclear, estas menos poluentes.

Desse modo, além de tentar suprir a demanda de energia o entendimento a respeito das questões ambientais e a finitude das fontes de energia convencionais por parte dos governantes se tornaram pautas por afetar diretamente o desenvolvimento econômico e social. Para Jannuzzi (2005, apud ALTOÉ et al., 2017, p. 285) cabe ao poder público conhecer o comportamento dos consumidores para criar mecanismos que promovam o uso racional de energia nos diferentes setores e, assim, otimizar o uso de energia.

O fato de o uso racional de energia ter ganhando amplo espaço nas pautas governamentais assim como a gestão dos recursos naturais, os incentivos à geração de energia limpa e eficiência energética por fontes renováveis como hidrelétricas, eólica, solar se tornaram recorrentes no Brasil com o Plano Nacional de Energia (PNE 2030).

O Plano Nacional de Energia – PNE 2030 é o primeiro estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos realizado no âmbito do Governo brasileiro. Conduzidos pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE em estreita vinculação com o Ministério de Minas e Energia – MME, os estudos do PNE 2030 originaram a elaboração de quase uma centena de notas técnicas. O trabalho fornece os subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável com vistas ao atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo (EPE, s.d.)

Fomentando as estratégias para oferta de energia econômica e sustentável, o Brasil, com o PNE, passou a diversificar ao máximo a matriz energética brasileira introduzindo novas fontes de energia, especialmente renováveis, logo, promovendo uma maior participação na geração de energia elétrica no país como também preservação dos recursos naturais e diminuição na emissão de poluentes.

Conforme Barros et al. (2019), na geração de energia limpa e renovável destacasse a energia solar fotovoltaica por apresentar um dos preços mais competitivos no mercado elétrico brasileiro.

A energia solar tem sido cada vez mais utilizada como uma solução para questões econômicas e climáticas. As instituições públicas de ensino superior brasileiras foram incentivadas a implantar sistemas fotovoltaicos por meio do Projeto Prioritário de Energia e Pesquisa e Desenvolvimento Estratégico nº 001/2016 - PPEPDE nº001/2016. Nestas circunstâncias, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – *Campus Angicos* tem em suas instalações uma Usina Fotovoltaica de Microgeração de 62,7 kWp de potência instalada, gerando diversos impactos de contexto econômico e ambiental.

Todavia, essa expansão só foi possível a partir da primeira Resolução Normativa de Nº 482 de 17 de abril de 2012, apresentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que autorizou todos os consumidores brasileiros a gerar sua própria energia elétrica, criando o sistema de geração distribuída.

De acordo com a ANEEL (2016), o valor total pago por 63 Universidades Federais em função dos gastos de energia elétrica em 2015 foi aproximadamente R\$ 430.000.000,00 (quatrocentos e trinta milhões de reais), para a época, com a cotação, US\$ 111.688.311,70 (cento e onze milhões, seiscentos e oitenta e oito mil, trezentos e onze dólares e setenta centavos). Outrossim, identificou-se que para grande parte destas Instituições de Ensino - IES, a conta de energia representa uma de suas maiores despesas mensais.

O presente trabalho justifica-se pelo interesse nos estudos para análise dos impactos econômicos, como também, para estimar a viabilidade de ampliação destes equipamentos provenientes dos estímulos do PPEPDE nº001/2016 que são de suma importância para maximizar os *feedbacks* de investimentos em infraestrutura nessas universidades, além do que, a questão socioambiental envolvida é fundamental para a garantia do exercício de utilização de energia limpa e também para a disseminação das pesquisas a respeito de frutos de programas de desenvolvimento em Instituições Públicas, garantindo assim um panorama mais promissor sobre a gestão destas.

Portanto, pretende-se identificar a potencialidade dos efeitos econômicos de uma Usina Solar Fotovoltaica de Microgeração no estado do Rio Grande do Norte na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – *Campus Angicos*. Assim sendo, estimar a economia gerada com energia pela universidade desde o funcionamento da Usina Solar Fotovoltaica (USF) e incentivar a utilização de fontes de energia renováveis em instituições e órgãos públicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Energia Renovável

Energia renovável é uma expressão usada para descrever uma ampla gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica (COSTA; PRATES, 2005, p. 7). Assim, fontes renováveis como os ventos, luz solar, marés, entre outras muitas, se tornaram alternativas de amplo interesse para diminuição dos impactos ambientais e atendimento da demanda de suprimento energético.

Ao nível do setor elétrico, cumpre destacar a importância crescente da componente renovável de geração elétrica, sustentando o aparecimento de novas indústrias globais nos segmentos eólico e solar com padrões de produtividade cada vez mais competitivos (MENDES, 2010, p. 135). A significativa introdução das energias renováveis como fontes de energia para a geração elétrica de energia cresce exponencialmente nos cenários nacionais e internacionais, as questões climáticas a cada dia mostram as suas sequelas em função das sequelas deixadas no meio ambiente.

Segundo o IPCC et al. (2021) aumentos observados nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) vem sendo mensurados desde cerca de 1750, são inequivocamente causados por atividades humanas. Desse modo é fundamental a abordagem crítica e divulgação do conhecimento científico acerca de fontes de novas fontes de energias renováveis para a geração de energia elétrica.

O escopo deste trabalho se trata de uma abordagem contextualizada na energia solar, esta energia renovável e de grande abundância.

A luz do sol é um bem livre, ilimitado e não excludente. Isso significa que além de estar disponível para todos, o seu uso por uns não impede o acesso ou a disponibilidade para outros. Diferentemente da água doce, e também dos combustíveis fósseis, a luz solar é uma fonte inesgotável, tendo-se como base a escala geológica do tempo de nosso planeta (BURSZTYN, 2020, p. 175).

Como visto, Bursztyn (2020) fomenta a infinidade da energia solar considerando a escala geológica do nosso planeta. Para tanto, esta abundância é fundamental para o estabelecimento de políticas públicas e o desenvolvimento de estudos desta alternativa fonte de energia para geração de energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico que será explanado no tópico seguinte.

2.2 Efeito Fotovoltaico

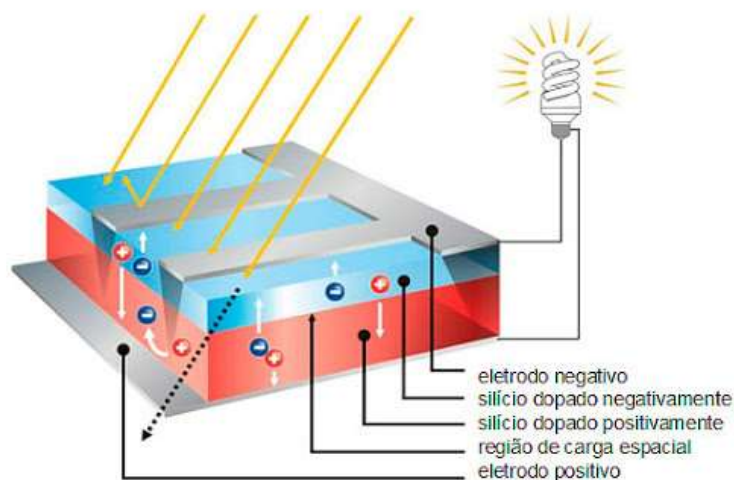
A energia solar considerada uma fonte renovável é utilizada amplamente em nosso planeta, aquecimento das massas de ar, aquecimento dos oceanos, na fotossíntese, no bronzeamento em um fim de semana na praia, enfim, são diversas as formas de conversão e utilização de energia. Para este trabalho, a conversão de energia interessada é aquela proveniente do efeito fotovoltaico para geração de eletricidade em placas solares.

Segundo Lima et al. (2020) o efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, que utilizou uma célula eletroquímica para gerar uma diferença de potencial entre dois eletrodos, quando o dispositivo era submetido a luz, este fenômeno passou a ser amplamente estudado com o desenvolvimento dos primeiros painéis solares por Charles Fritts em 1880 por meio de junções p-n de silício que se tornaram a solução para o experimento de Edmond Becquerel.

Do ponto de vista clássico, a luz é um fenômeno eletromagnético ondulatório descrito pelas equações de Maxwell clássicas. Entretanto, não é possível compreender inteiramente a interação da luz com a matéria através dessa descrição ondulatória, sendo necessário introduzir o conceito de fóton, que representa o quantum de energia da radiação eletromagnética, evidenciando dessa forma o aspecto corpuscular da luz. A energia de um fóton está associada diretamente à frequência da radiação eletromagnética através da relação de Planck (LIMA et al., 2020).

Os fótons colidem com os cristais de silício ou germânio das células fotovoltaicas e uma parte é absorvida, garantindo, assim, o surgimento de uma diferença de potencial proveniente da característica semicondutora. Logo, com uma diferença de potencial surge o fluxo de elétrons proveniente dos elétrons livres dos semicondutores supracitados, consequentemente corrente elétrica e a capacidade de realização de trabalho. O esquema apresentado na Figura 1 exemplifica o fenômeno.

Figura 1- Esquema do efeito fotovoltaico



Fonte: Fotovoltec (2016)

Ainda no contexto do efeito fotovoltaico adentrando as células fotovoltaicas, vale destacar os tipos de células em função dos cristais dos semicondutores utilizados, hoje, em sua grande maioria é utilizado dos cristais de silício em células fotovoltaicas.

Segundo Nascimento (2004) existem células de silício monocristalino, aquelas que são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino em fornos especiais e o corte das barras em forma de pastilhas finas de 0,4 a 0,5 mm² de espessura, policristalino que são produzidos a partir de blocos de silício obtidos por fusão do silício puro em moldes especiais e amorfo, obtidos por meio de deposição de camadas finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. A eficiência é superior em células fotovoltaicas de silício monocristalino, esta eficiência é superior a 12% na maioria dos casos.

Apresentado por Moreira Júnior e Souza (2020, apud WOODHOUSE et al., 2019) Na década de 1950, os painéis solares convertiam em média apenas 4,5% da energia solar em energia elétrica, o que correspondia a 13 Wp/m², a um custo de US\$ 1.785/Wp. Hoje em dia, a eficiência média mundial triplicou para 15% (143 Wp/m²), a um custo 1.370 vezes mais barato, de US\$ 1,30/Wp. Conforme Tabela 1 apresenta-se outra realidade de valores de eficiência de diversas tecnologias de células fotovoltaicas.

Tabela 1 - Valores de referência de diversas tecnologias de células fotovoltaicas

TECNOLOGIA	EFICIÊNCIA DA CÉLULA EM LABORATÓRIO (%)	EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS COMERCIAIS (%)
SILÍCIO MONOCRISTALINO	25,00	14,00 – 21,00
SILÍCIO POLICRISTALINO	21,30	14,00 – 16,50
SILÍCIO AMORFO	13,60	6,00 – 9,00
SILÍCIO MICROMORFO	12,00	7,00 – 9,00
CIGS	18,80	8,00 – 14,00
TELURETO DE CÁDMIO	16,40	9,00 – 12,00

Fonte: Adaptado de Moreira Júnior e Souza (2020, apud CSS et al.,2016)

Por fim, entende-se que o efeito fotovoltaico está associado aos fótons provenientes da energia solar e a característica de semicondutores portadores de elétrons livres como o silício e germânio.

2.3 Sistema de Compensação de Energia Elétrica e Microgeração Distribuída

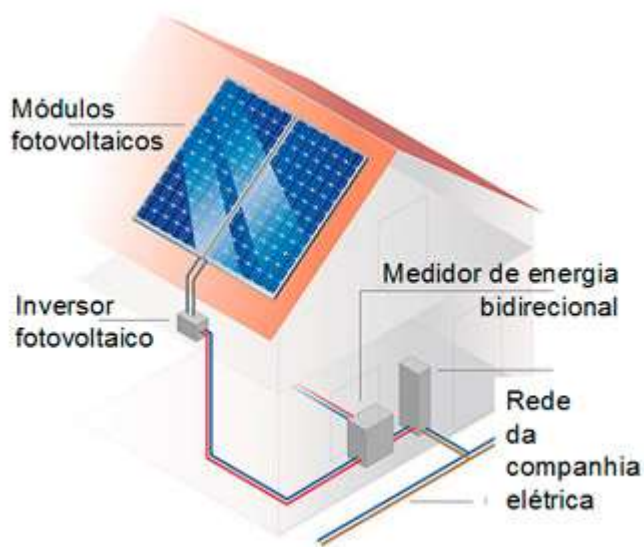
Conforme apontado por Alves (2019) existem dois tipos de sistemas de geração fotovoltaica, o Sistema *On-grid* e o Sistema *Off-grid*, o primeiro sistema é aquele conectado à rede de energia elétrica da concessionária de energia por meio de um medidor de energia bidirecional. Já o segundo é um sistema no qual não há conexão com a rede elétrica, é uma conexão direta com um sistema de baterias associado ao inversor para posterior utilização em equipamentos de corrente alternada. Desse modo, o sistema de compensação de energia elétrica é detentor do Sistema *On-grid*, aquele conectado à rede elétrica de energia da concessionária.

O sistema de compensação de energia elétrica como o próprio nome sugere é uma compensação que viabiliza a geração distribuída, onde, a energia elétrica injetada pela unidade consumidora através da micro ou mini geração distribuída é cedida como empréstimo gratuito a distribuidora local, gerando-se créditos de energia, que são utilizados para compensar o consumo de energia elétrica pela unidade.

Outrossim segundo a ANEEL (2016) a microgeração distribuída consiste na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts.

Segue Figura 2 com esquema de geração distribuída por uma unidade consumidora.

Figura 2 - Esquema de geração distribuída por fonte fotovoltaica



Fonte: Fotovoltec (2016)

O esquema da Figura 2 apresenta de forma generalizada a disposição do sistema de microgeração distribuída na maioria das unidades geradores de energia elétrica por módulos solares fotovoltaicos.

2.4 Energia Solar Fotovoltaica em Universidades Públicas

Como mencionado, o gasto com energia elétrica é um dos principais nos orçamentos destinados para desempenho das atividades diárias de uma universidade pública. No ano de 2012 com a Resolução nº 482 de 2012 foi sancionada as regulamentações para a geração distribuída, no entanto em 2015 foi atualizada para a Resolução nº 687 que vigora até então.

De acordo com ANEEL (2015) com a Resolução nº 687 a potência máxima instalada na minigeração para fontes renováveis com exceção da hídrica passa a ser 5 MW e o período no qual a energia permanece em forma de crédito passou para 60 meses ao invés de 36 meses. Este sistema de compensação de créditos promove uma segurança maior em investimentos públicos a longo prazo.

Desse modo, segundo o Portal Solar (2019) o Ministério da Educação anunciou a liberação de R\$ 125 milhões em recursos extras para 63 universidades federais brasileiras investirem em energia solar fotovoltaica e obras para garantir a eficiência do ensino na pesquisa e na extensão dos campi e visando uma economia de R\$ 25,5 milhões ao ano e visando uma iniciativa de aumento da autonomia das universidades. Estes incentivos servem de grande combustível para um futuro autônomo e sustentável das universidades públicas como a

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, isso tendo em vista a durabilidade média dos sistemas de 25 anos e adicionalmente a redução no custo de fornecimento dos materiais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delineamento do estudo de caso

Este trabalho é uma continuação e aprimoramento de uma pesquisa desenvolvida no âmbito da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, *Campus Angicos* no estado do Rio Grande do Norte publicada por Brito et al. (2020). Fundamenta-se por uma investigação de caráter exploratório e descritivo, com uma abordagem de dados realizada quantitativamente, tendo em vista o levantamento numérico das variáveis analisadas assim como a interpretação. Estruturada nestes métodos de pesquisa, o trabalho foi estruturado conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas do delineamento do estudo de caso

ETAPAS DO DELINEAMENTO DO ESTUDO DE CASO	DESCRIÇÕES
FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	Impactos de uma Microusina Solar Fotovoltaica de 62,7 kWp e viabilidade de ampliação
UNIDADE CASO	UFERSA – <i>Campus Angicos</i>
COLETA DE DADOS	- Análise de parâmetros, demanda contratada, demanda ativa na ponta e fora de ponta e bandeiras tarifárias nas faturas no período de janeiro de 2018 a março de 2021 fornecidas pelo setor de finanças da UFERSA – <i>Campus Angicos</i>; - Análise online da geração da usina por meio da homepage da <i>Solar Technology AG</i>; - Coleta de dados da redução das emissões de CO²; - Ficha técnica da usina solar.
AVALIAÇÃO DOS DADOS	- Passagem dos dados coletados para planilhas; - Avaliação por métodos gráficos e estatísticos; - Compreensão da política tarifária da concessionária de energia do estado (COSERN); - Análise dos mecanismos administrativos responsáveis para viabilidade de ampliação.

Fonte: Adaptado de Brito et al. (2020)

As avaliações dos dados são estruturadas por meio dos seguintes tópicos:

- Explicação do consumo de energia na Universidade antes da USF;
- Contribuição da usina no consumo mensal total da Universidade;
- Impacto econômico nas faturas da Universidade desde sua instalação;
- Previsão do período de retorno orçamentário do valor investido para instalação da usina;
- Impacto da redução das emissões de CO² e vantagens socioambientais;
- Diagnosticar possíveis problemas de rendimento;
- Estabelecer panoramas hipotéticos de ampliação da USF e sua viabilidade;
- Estimativa e impactos da geração considerando os dados não carregados.

Para mais, foram desenvolvidas reuniões para análises e construção dos resultados desta pesquisa, além da construção de hipóteses e levantamento de variáveis determinantes nos resultados como: como calendário acadêmico, construção de novos blocos durante o funcionamento e problemas técnicos de monitoramento dos dados de geração.

3.2 Caracterização da Microusina Fotovoltaica da UFERSA – *Campus Angicos*

Como determinado pela classificação da ANEEL (2016) e apresentado neste trabalho a Microusina Fotovoltaica da UFERSA – *Campus Angicos* com potência instalada de 62,7 kWp, encontra-se na Mesorregião Central Potiguar. Segundo dados do IDEMA (2008), a caracterização climática da região é do tipo: clima quente e semiárido, com período chuvoso de fevereiro a abril, tendo como umidade relativa média anual 70% e 2.400 horas de insolação, as temperaturas médias anuais apresentam máxima de 33°C e mínima de 21°C. Ademais a Microusina Fotovoltaica apresenta 190 módulos em solo com inclinação de 10° como pode ser visto na Figura 3, com potência de 330 Wp.

Figura 3 - Microusina solar de 62,7 kWp da UFERSA *Campus Angicos*



Fonte: Adaptado de Brito et al. (2020)

O sistema possui três inversores, conforme a Figura 4, fabricados pela SMA *Sunny Tripower*, conectados à rede operando em uma tensão de 380V fase-fase. Dois desses inversores são do mesmo modelo e consequentemente apresentam as mesmas características. Cada inversor possui uma potência de operação equivalente a 25kW, no entanto, o terceiro inversor apresenta uma potência inferior, igual a 15kW.

Figura 4 - Disposição estrutural dos inversores



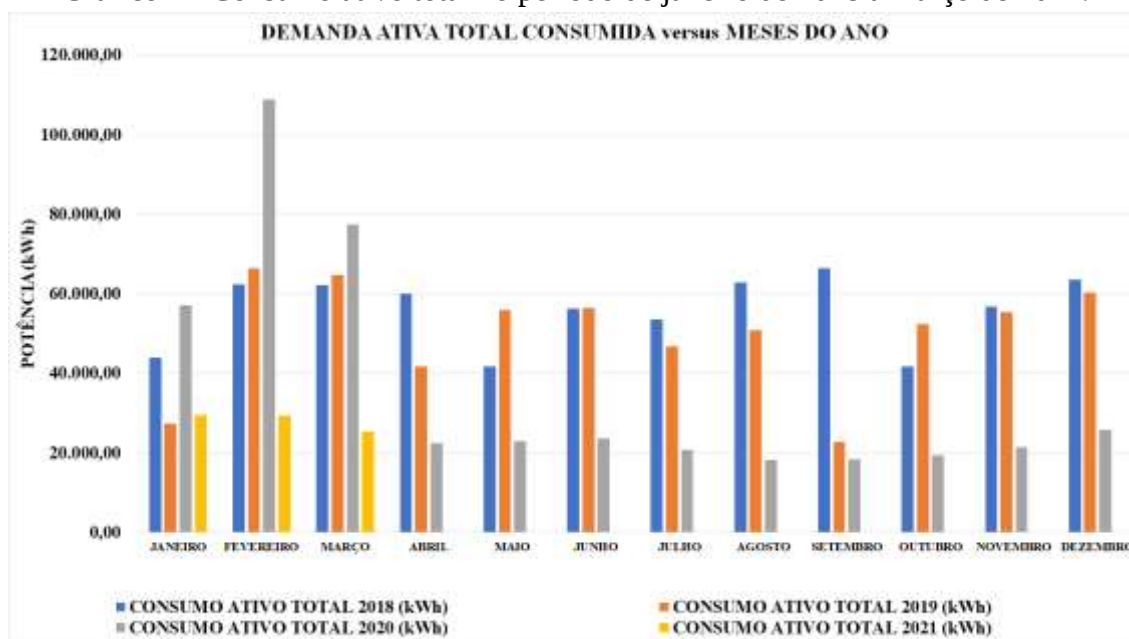
Fonte: Adaptado de Brito et al. (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Explanação do consumo de energia da universidade a partir da USF

Conforme análise das faturas do período janeiro de 2018 a março de 2021, realizou-se a comparação do comportamento do consumo ativo total na ponta e fora de ponta, propondo diagnosticar possíveis comportamentos de consumo da unidade em questão. A explanação é apresentada no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Consumo ativo total no período de janeiro de 2018 a março de 2021.



Fonte: Elaboração própria (2021).

O consumo de energia do *Campus* se dá especialmente em função do calendário acadêmico que frequentemente se adequa a diferentes períodos do ano em virtude de correção de greves passadas e agora com a recente pandemia do Covid -19, sofrendo adicionalmente influência de fatores naturais apresentados em diferentes épocas do ano. O consumo do primeiro trimestre do ano de 2018, 2019 e 2020, apresentado no Gráfico 1, contemplou parcialmente fins ou meio de períodos letivos, em que há uma maior concentração de pessoas nos estabelecimentos da Universidade. Assim sendo, por se tratar de uma época do ano de elevadas temperaturas, o consumo de energia foi bem mais elevado do que em outros trimestres dos referidos anos, logo, justifica-se esse aumento em razão do alto consumo de condicionadores de ar.

Além disso, o consumo ativo a partir de abril de 2020 foi drasticamente reduzido em função da paralisação das atividades presenciais gerenciada pela Portaria do Ministério da Educação nº 343 de 17 de Março de 2020 em função da pandemia do Covid-19, assim sendo, a

participação da geração da usina nas faturas foi intensificada, já que o consumo da unidade foi logicamente menor.

Analisando superficialmente o consumo de energia da Universidade, depois da instalação da USF, é visto que a participação da usina fotovoltaica é bastante considerável economicamente, logo, implicando na ciência do consumo que antecedia a instalação desta.

4.2 Contribuição da microusina no consumo mensal total da universidade

Antes de iniciar estas considerações, vale salientar que devido a problemas físicos a plataforma de monitoramento da *Solar Technology AG* perdeu contato com um dos dois inversores de 25kW, essa falha foi ocasionada em função da oxidação e corrosão do cabo responsável pelo contato com o banco de dados. Não foram carregados dados desde abril de 2020 a março de 2021, estes efeitos serão analisados em um tópico específico.

A geração de energia por meio de uma usina fotovoltaica é compensada através do excedente injetado na rede através da fatura de energia do consumidor quando não é consumo instantâneo, sendo um dos impactos deste sistema a porcentagem de contribuição no consumo total da unidade consumidora. A contribuição é dada pela Equação 1.

$$\text{Contribuição Mensal (\%)} = \frac{\text{Geração Mensal (kWh)}}{\text{Consumo Mensal (kWh)}} \times 100 \quad (1)$$

Assim sendo, o funcionamento da usina fotovoltaica foi iniciado em outubro de 2018, para tanto, já está em funcionamento em um total de 30 meses (2 anos e 6 meses), implicando assim em dados consideráveis de geração, onde o consumo mensal é o consumo ativo no horário fora de ponta e na ponta. Será apresentado inicialmente dados do primeiro ano de funcionamento da usina na Tabela 2.

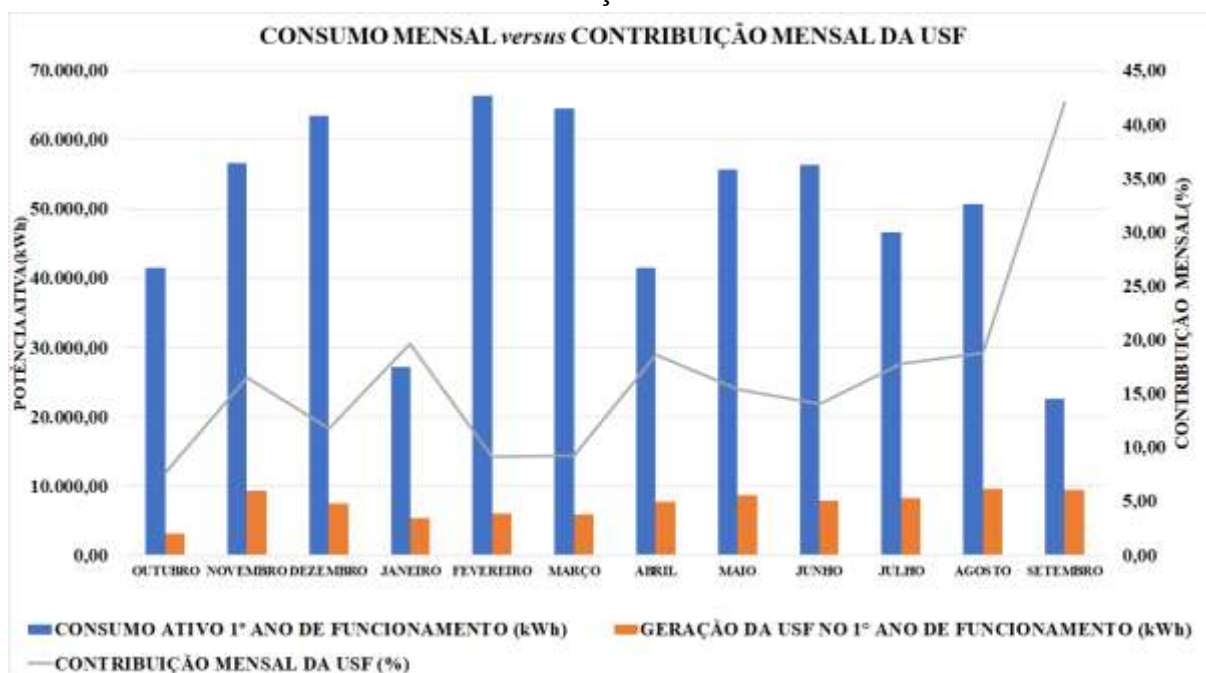
Tabela 2 - Contribuição da usina no consumo mensal da Universidade em seu primeiro ano de funcionamento

CONSUMO MENSAL (kWh)		GERAÇÃO MENSAL (kWh)	CONTRIBUIÇÃO MENSAL (%)
<i>OUT - 2018</i>	41.604,78	3.200,00	7,69
<i>NOV – 2018</i>	56.685,09	9.360,00	16,51
<i>DEZ – 2018</i>	63.517,02	7.480,00	11,78
<i>JAN – 2019</i>	27.250,02	5.360,00	19,67
<i>FEV – 2019</i>	66.361,47	6.080,00	9,16
<i>MAR – 2019</i>	64.629,39	5.970,00	9,24
<i>ABR – 2019</i>	41.591,34	7.740,00	18,61
<i>MAI – 2019</i>	55.803,93	8.630,00	15,46
<i>JUN – 2019</i>	56.391,93	7.940,00	14,08
<i>JUL – 2019</i>	46.670,40	8.310,00	17,81
<i>AGO – 2019</i>	50.752,59	9.560,00	18,84
<i>SET – 2019</i>	22.676,85	9.530,00	42,03
<i>TOTAL (kWh)</i>	593.934,81	89.160,00	MÉDIA - 15,01

Fonte: Elaboração própria (2021).

Evidencia-se que há uma participação média em torno de 15,01%, uma contribuição considerável tendo em vista os panoramas para instalação de tal equipamento. Mediante os valores obtidos, foram representados no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Consumo mensal versus contribuição mensal da USF no 1º ano de funcionamento



Fonte: Elaboração própria (2021)

Do mesmo modo, para o 2º ano de funcionamento na Tabela 3.

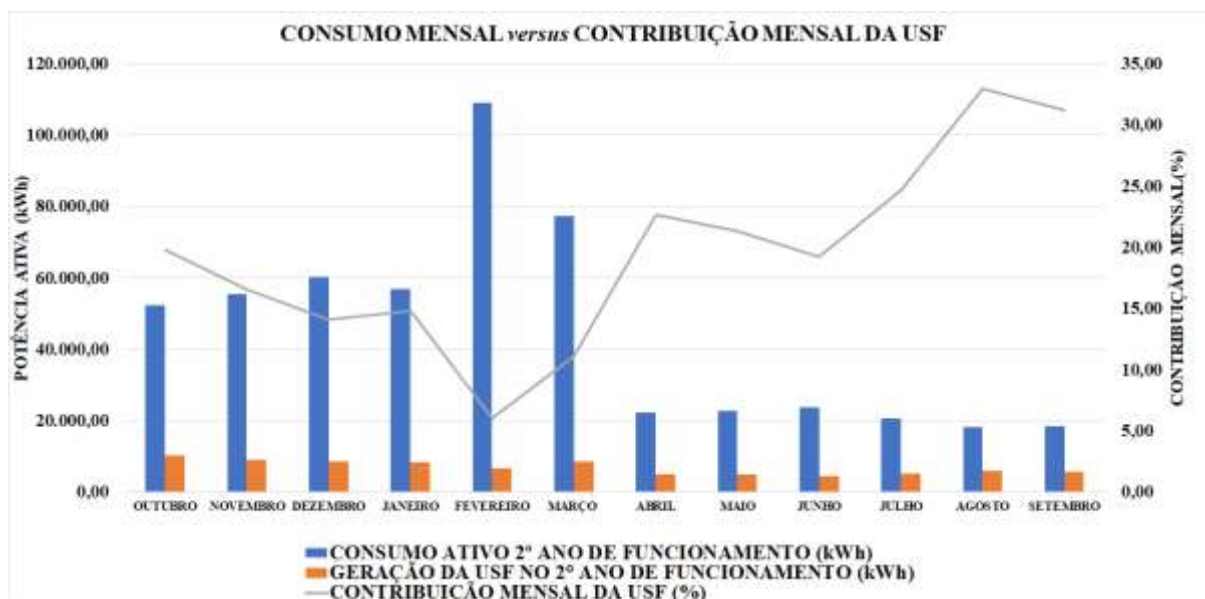
Tabela 3 - Contribuição da usina no consumo mensal da Universidade em seu segundo ano de funcionamento.

	CONSUMO MENSAL (kWh)	GERAÇÃO MENSAL (kWh)	CONTRIBUIÇÃO MENSAL (%)
<i>OUT - 2019</i>	52.306,17	10.340,00	19,77
<i>NOV – 2019</i>	55.366,08	9.150,00	16,53
<i>DEZ – 2019</i>	60.294,78	8.520,00	14,13
<i>JAN – 2020</i>	56.974,26	8.424,22	14,79
<i>FEV – 2020</i>	108.895,08	6.562,14	6,03
<i>MAR – 2020</i>	77.298,48	8.578,00	11,10
<i>ABR – 2020</i>	22.292,76	5.055,02	22,68
<i>MAI – 2020</i>	22.834,14	4.874,33	21,35
<i>JUN – 2020</i>	23.596,44	4.532,77	19,21
<i>JUL – 2020</i>	20.662,32	5.098,51	24,68
<i>AGO – 2020</i>	18.129,72	5.976,11	32,96
<i>SET – 2020</i>	18.322,08	5.716,28	31,20
<i>TOTAL (kWh)</i>	536.972,31	82.827,38	MÉDIA – 15,42

Fonte: Elaboração própria (2021)

Nota-se também que há uma participação média em torno de 15,42%, está maior que o 1º ano de funcionamento da usina, um valor bastante considerável tendo em vista os panoramas para instalação de tal equipamento e a diminuição no consumo ativo da universidade tendo em vista a paralisação das atividades presenciais. Mediante os valores obtidos, é possível representá-los no Gráfico 3 apresentado.

Gráfico 3 - Consumo mensal versus contribuição mensal da USF no 2º ano de funcionamento



Fonte: Elaboração própria (2021).

Vale salientar que desde a paralização das atividades devido a pandemia do Covid-19 foram construídos alguns novos espaços, estes a Quadra Poliesportiva e o Abrigo de Resíduos Sólidos, além disso a adequação do Memorial Paulo Freire como ambiente para desenvolvimento de atividades artísticas, acadêmicas e tecnológicas, logo, implicará no consumo da universidade, sabendo que estes novos espaços serão efetivamente utilizados pela comunidade em um futuro retorno das atividades presenciais, demandando assim o consumo de energia para realização destas.

4.3 Impacto econômico nas faturas da universidade desde sua instalação

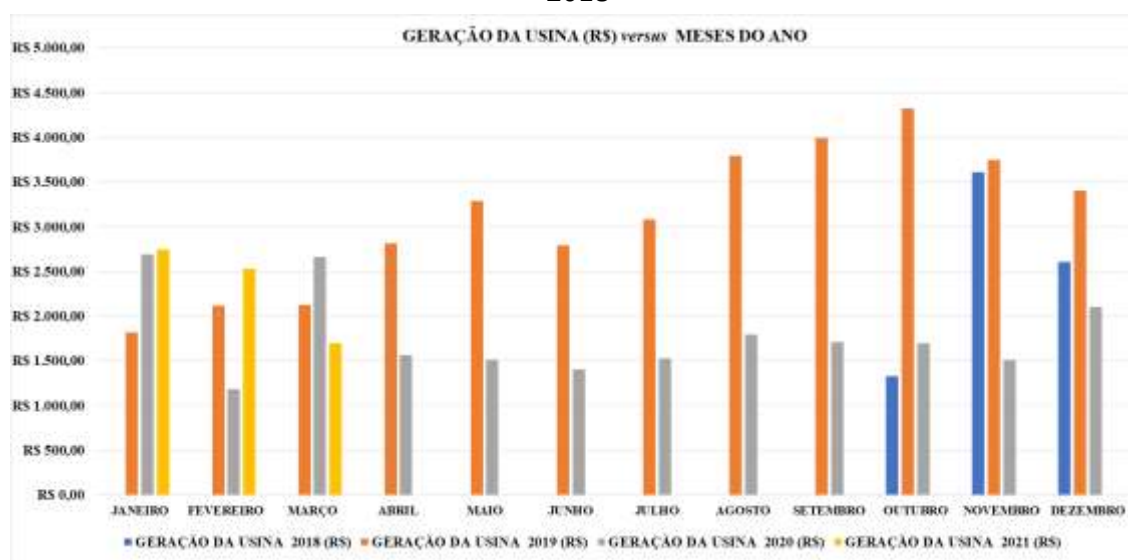
O impacto econômico nas faturas da universidade desde a instalação da USF é um dado relevante para explanação, implicando diretamente a parcela de contribuição nos orçamentos destinados a custeamento de gastos primários. Para tanto, é necessário entender que esta abordagem foi feita com base na energia gerada (kWh), sem distinção entre energia injetada e energia consumida instantânea por meio da unidade.

Tendo em vista as diferentes bandeiras tarifárias aplicadas durante um mês, foi feito a média aritmética da tarifa equivalente por kWh consumido naquele período analisado. Além disso a outra consideração a ser feita é a geração da usina e os horários de ponta e fora de ponta, sabendo que a UFERSA é uma unidade consumidora de Classe – A e a geração adentrar por alguns minutos do horário de ponta, logo a tarifa chega a ser até quatro vezes maior, então,

devido a não precisão com a geração no dado momento, a tarifa média aplicada a geração mensal é a tarifa média fora de ponta no referido mês.

Foi elaborado o Gráfico 4, de modo a apresentar toda a geração e o resultado financeiro desde a instalação da USF.

Gráfico 4 - Resultado financeiro mensal da Usina Solar desde sua instalação em outubro de 2018



Fonte: Elaboração própria (2021).

Desse modo toda a energia gerada até então proporcionou um valor economizado de R\$73.211,77 (setenta e três mil, duzentos e onze reais e setenta e sete centavos) em energia elétrica no período de trinta meses. No entanto, este valor é bem mais significativo considerando os dados não carregados de geração no período mencionado anteriormente, isso pode ser notado pela discrepância entre os gráficos nos anos de 2019 e 2020.

4.4 Previsão do período de retorno orçamentário do valor investido para instalação da usina

Conforme a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2018) No dia 12 de junho de 2019 foi inaugurada oficialmente a usina fotovoltaica na UFERSA – *Campus Angicos*, sendo fruto de um investimento de, aproximadamente, R\$ 260 mil, no entanto a sua operação foi iniciada desde outubro de 2018. Segundo Brito et al. (2020) a usina é instalada no solo e apresenta potência de 62,7 kWp. Os módulos fotovoltaicos são da empresa Trina Solar, com garantia de desempenho de 30 anos. Já os inversores são da *Fronius*®, um dos principais fabricantes mundiais. Em razão dessas características, a usina solar apresenta excelente qualidade, especialmente por ter um dimensionamento dos inversores que atenda às suas características de máxima geração.

Assim é obtida a economia de energia em reais no primeiro ano de funcionamento conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Economia em um ano proporcionada pela Usina Solar

PERÍODO ANALISADO	ECONOMIA GERADA (R\$)
OTUBRO – DEZEMBRO (2018)	7.551,56
JANEIRO – SETEMBRO (2019)	25.843,91
TOTAL	33.395,47

Fonte: Elaboração própria (2021).

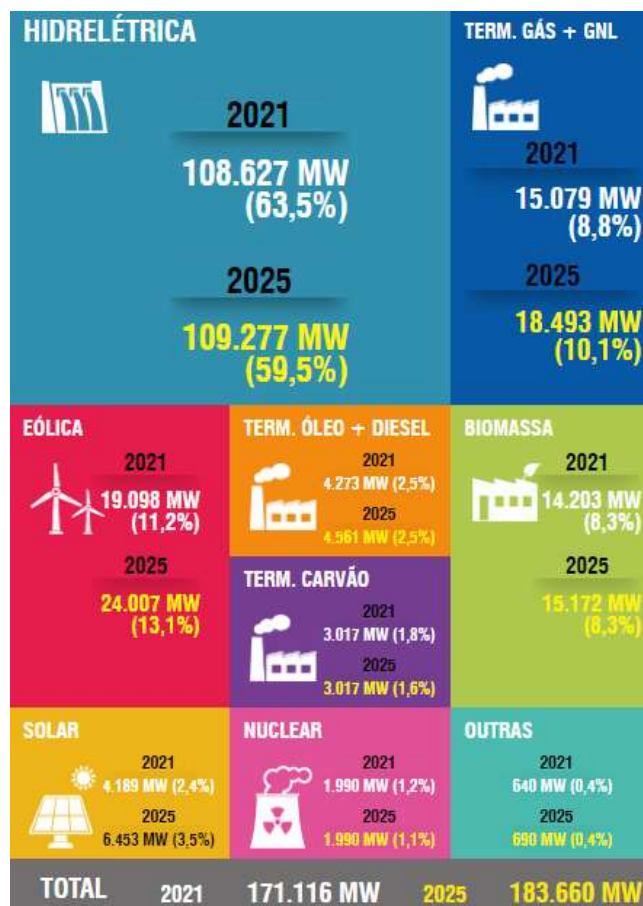
Considerando que o valor se repita a cada 12 meses, estima-se que em torno de 7 anos o investimento inicial será suprido, tendo em vista que eventuais gastos não são atribuídos, por exemplo, manutenção. Essa estimativa é dada pelo quociente entre o investimento aplicado e a economia em reais durante o período de 12 meses. Portanto, é analisável até uma possível ampliação do sistema

4.5 Impacto da redução das emissões de CO² e vantagens socioambientais

Dentre as mais diversas formas de geração de energia, as energias renováveis e limpas ganham destaque devido a diminuição de GEE's lançados à atmosfera, especialmente o CO².

Segundo Oliveira et al. (2020) a queima de combustíveis fósseis, incêndios florestais e práticas agropecuárias são as maiores fontes de emissão antropogênica dos gases poluentes na atmosfera, toda e qualquer sociedade viva precisa de energia para se desenvolver. Com o advento das Revoluções Industriais e o ideal capitalista, as fontes de energia foram sempre sendo aperfeiçoadas e mais bem manejadas, como também mais exigidas, hoje, na geração de energia elétrica a grande parte da geração em alguns países é por fontes renováveis que são responsáveis por atender essa demanda, por exemplo o caso do Brasil, segue Figura 5 de dados disponíveis na homepage do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS.

Figura 5 – Contribuição da capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional, dezembro 2021 – dezembro 2025



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2021)

Assim, demonstra-se que a capacidade instalada na matriz energética brasileira é composta em sua grande maioria por hidrelétricas (63,5%) e eólica (11,2%), estas fontes mais limpas e menos poluentes que por exemplo termoeletricas a gás que representam 8,8% da geração.

Porém, a participação das usinas solares ainda é pouco significativa representando apenas 2,4% da capacidade instalada na matriz energética brasileira, mas até então apresenta um grande potencial para expansão junto à eólica, especialmente na região nordeste do país, logo, incentivos para essa expansão irão representar fortes efeitos nas questões socioambientais, especialmente na emissão de GEE's.

Para tanto, a USF estudada é uma pequena parcela dessa capacidade instalada e uma já significativa forma de amenização de emissão de GEE's como o CO². Estima-se com valores de projeto e com valores analisados que a USF proporciona uma redução de CO² aproximada de 9,3 toneladas anuais, atualmente com 30 meses de funcionamento já houve uma redução total de 25 toneladas de CO², valor bastante significativo tendo em vista que está uma das fontes

mais limpas só proporciona emissão de GEE's na sua fabricação, transporte e instalação, logo, após sua instalação sendo quase que desprezada esta emissão.

4.6 Diagnosticar possíveis problemas de rendimento

Problemas de rendimento em gerações de energia elétrica por usina solares geralmente são associadas à equivocada parametrização dos inversores ou ausência de manutenções preventivas como reaperto de cabos, reaperto das estruturas e também limpeza das superfícies das placas em períodos com ausência de chuvas, no caso da unidade estudada por efeitos de sazonalidade no período de agosto a dezembro a sujeira na superfície das placas é considerável devido à falta de chuvas, assim a necessidade de uma limpeza evitando problemas de sombreamento, principal fator no rendimento de módulos após a execução do projeto. Segue Figura 6 apresentando a superfície dos módulos solares.

Figura 6 – Superfície com película de poeira dos módulos solares



Fonte: Adaptado de Brito et al. (2020)

Assim, é de ciência que desde a instalação do equipamento não foi feita nenhuma manutenção preventiva, destacando-se a não limpeza da superfície dos módulos que, só é feita por consequência das chuvas, não garantindo por exemplo a retirada de sujeira mais consistentes na superfície, adicionalmente o acúmulo de sujeira no período de ausência de chuvas.

Outrossim na elaboração deste trabalho foi diagnosticado um problema no repasse de monitoramento dos dados para a *homepage* da *Solar Technology AG*, implicando na inconsistência da monitoração da potência gerada do sistema. Inicialmente acreditava-se que fosse um problema de rendimento, mas explorando a monitoração do sistema foi constatado

por meio do problema de monitorização da comunicação de um dos inversores como apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Constatação do problema de monitorização da comunicação com um dos inversores de 25kW.



Fonte: Print adaptado da homepage da Solar Technology(2020)

Após a detecção do problema foi contactado via e-mail a direção da universidade e encaminhado para o servidor de lotação da usina, o problema foi previamente solucionado, mas após 28 dias retornou, a manutenção consistiu apenas por um aperto na conexão e não foi feito por um profissional habilitado ou contratado.

4.7 Estabelecer panoramas hipotéticos de ampliação da USF e sua viabilidade

Como apresentado, um dos propósitos deste trabalho é apresentar panoramas de ampliação da USF e a viabilidade financeira e administrativa para isso. No entanto, para atendimento de demandas acerca deste trabalho, só será feito até então a apresentação dos panoramas no que diz respeito ao potencial gerador da USF. Os panoramas serão apresentados conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Propostas de ampliação da USF da UFERSA – *Campus Angicos*

POTÊNCIA INSTALADA		ENERGIA GERADA	VALOR
		TOTAL (kWh)	ECONOMIZADO (R\$)
REFERÊNCIA	62,70kWp	216.543,38	73.211,77
1º HIPÓTESE (5%)	65,84kWp	227.370,55	76.872,36
2º HIPÓTESE (15%)	72,11kWp	249.024,89	84.193,54
3º HIPÓTESE (25%)	78,38kWp	270.679,23	91.514,71
4º HIPÓTESE (35%)	84,65kWp	292.333,56	98.835,90

Fonte: Elaboração própria (2021)

Logo, constata-se os impactos provocados pela ampliação da usina, nota-se que feita a consideração da 4º hipótese em considerações ideais desta usina de 84,65kWp, poderá nos mesmos 30 meses de funcionamento uma economia acrescida de R\$ 25.624,13 (vinte e seis mil, seiscentos e vinte e quatro reais e treze centavos) comparada com a referência, recurso este que pode ser realocado para custeamento de bolsas de pesquisa, manutenção do *campus*, entre outras aplicações.

Vale lembrar que esses valores não levam em conta o problema da passagem de dados do inversor, logo, são bastante acrescidos e será apresentado em um tópico específico.

Financeiramente, os resultados obtidos giram em torno destes valores, mas quando adentrarmos a viabilidade de ampliação da usina deve se levar em conta o projeto para readequação, visto que os inversores já estão dimensionados para atenderem somente a potência instalada de referência, além do que as universidades federais passam por bastantes cortes nos últimos meses, outrora não impactando, mas em um cenário não propício é provável que recursos para P&D não sejam tão frequentes nos setores administrativos.

4.8 Estimativa e impactos da geração considerando os dados não carregados

Este tópico foi desenvolvido devido ao problema técnico de carregamento de dados do Inversor STP 25000-30 283 para a plataforma de monitoramento, o mesmo ficou um período de 12 meses, de Abril de 2020 à Março de 2021 sem carregamento dos dados de geração. Vale destacar que foi informado ao setor de lotação da USF e foram tomadas medidas momentâneas para solução.

Para esta análise foi empregada a técnica estatística do desvio padrão populacional, uma medida que expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados, logo, o quanto este conjunto

de dados é uniforme. Assim como também foi aplicada a média aritmética para análise. Segue Equação 2 e Equação 3 abaixo.

$$\text{Desvio Padrão} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - Méd)^2}{n}} \quad (2)$$

Onde:

$\sum_{i=1}^n$ – Somatório;
 x_i – Valor individual;
 $Méd$ – Média aritmética;
 n – Número de valores.

$$\text{Média} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}} \quad (3)$$

Onde:

$\sum_{i=1}^n$ – Somatório;
 x_i – Valor individual;
 n – Número de valores.

A análise consistiu no cálculo do desvio padrão do conjunto dos dados de geração dos inversores STP 25000-30 283 e STP 25000-30 689 nos primeiros meses de funcionamento até a falha técnica do carregamento de dados de geração do inversor STP 25000-30 283, foram 12 meses com ausência de carregamento de dados. Os inversores são de mesmo modelo e potência, objetivou-se comparar a geração dos dois inversores em função da média de geração, tendo em vista o estabelecimento das hipóteses desta seção. Segue Tabela 6 com análise de desvio padrão e a média.

Tabela 6 - Análise do desvio padrão da geração dos inversores STP 25000-30 283 e STP 25000-30 689

GERAÇÃO (kWh)		
MÊS DE GERAÇÃO	INVERSOR STP 25000-30 283	INVERSOR STP 25000-30 689
1	1.274,46	1.286,33
2	3.730,95	3.753,91
3	2.130,73	3.571,33
4	3.800,04	3.803,06
5	2.046,36	2.999,50
6	1.245,57	3.148,46
7	2.573,69	3.444,79
8	3.451,78	3.457,40
9	3.177,56	3.190,35
10	3.322,33	3.332,19
11	3.825,11	3.827,70
12	3.814,61	3.811,17
13	4.122,25	4.142,79
14	3.635,43	3.678,82
15	3.383,22	3.428,78
16	3.349,74	3.387,01
17	2.614,63	2.634,41
18	3.423,62	3.437,06
Desvio Padrão (kWh)	848,98	605,10
Média da Geração (kWh)	3.201,59	

Fonte: Elaboração própria (2021).

Os desvios padrões encontrados foram 848,98 kWh para o Inversor STP 25000-30 283 e 605,10 kWh para o Inversor STP 25000-30 689, ou seja, quanto menor o valor do desvio padrão menor é a discrepância da geração média de energia pelos inversores nos 18 meses iniciais de geração de energia.

Nota-se que o Inversor STP 25000-30 283 apresenta uma menor uniformidade com relação a geração média individual dos inversores desde o funcionamento, isso pode se justificar devido a fatores construtivos do equipamento, sombreamento do grupo de módulos fotovoltaicos no qual o inverso está conectado e especialmente indícios do futuro problema de carregamento de dados para a plataforma que foi descoberto, entre outros. Outrossim, estas questões podem ser temas de estudo para um novo trabalho, sendo de grande importância para apresentação a administração do *Campus*.

Desse modo, após a análise da uniformidade das gerações individuais de cada inversor, foi analisada a estimativa e impactos da geração levando em conta os dados não carregados. Considerando os desvios padrões, para fins práticos, foi considerado que a geração média do Inversor STP 25000-30 283 apresenta uma margem para menos de 5% do valor da geração do Inversor STP 25000-30 689 no referido período em que não foi computado no banco de dados a sua geração, esta consideração foi feita tendo em vista que nos 18 meses iniciais de geração até a interrupção do carregamento dos dados o Inversor STP 25000-30 283 apresentou uma geração menor comparada ao outro inversor.

Então, podemos fazer a seguinte análise para a geração dos inversores no período de falha técnica conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Estimativa de geração no período de falha técnica do Inversor STP 25000-30 283

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO NO PERÍODO DE FALHA TÉCNICA (ABRIL DE 2020 A MARÇO DE 2021)	
INVERSOR	GERAÇÃO (kWh)
STP 25000-30 689 (REAL)	41.967,63
STP 25000-30 283 (ESTIMADO)	39.869,25

Fonte: Elaboração própria (2021)

Com a análise das faturas e da geração acrescida do Inversor STP 25000-30 283 no período de falha técnica (Abril de 2020 a Março de 2021), temos os seguintes dados na Tabela 8.

Tabela 8 - Geração no período de falha técnica acrescida do Inversor STP 25000-30 283

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO NO PERÍODO DE FALHA TÉCNICA (ABRIL DE 2020 A MARÇO DE 2021)	
GERAÇÃO	Potência (kWh)
Sem geração do STP 25000-30 283	62.945,79
Com geração do STP 25000-30 283	102.815,04

Fonte: Elaboração própria (2021)

Por fim, observou-se que com a aplicação do preço médio do kWh fora de ponta de R\$0,37 nos 12 meses, na geração acrescida do Inversor STP 25000-30 283 o valor economizado com energia elétrica foi R\$ 38.041,56 (trinta e oito mil, quarenta e um reais e cinquenta e seis centavos), já para o período sem a geração do Inversor STP 25000-30 283 foi de R\$ 23.289,94 (vinte e três mil, duzentos e oitenta e nove reais e noventa e quatro centavos). Subtraindo e somando ao valor estimado economizado nos 30 meses analisados neste presente trabalho,

temos uma economia por volta de R\$ 87.963,39 (oitenta e sete mil, novecentos e sessenta e três e trinta e nove centavos), valor de extrema importância para conhecimento da UFERSA – *Campus Angicos*.

5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados por meio desta pesquisa permitiram alcançar o objetivo apresentado. Foi estimado o impacto gerado pela instalação da Microusina, em que essa opera dentro das expectativas, implicando em valores consideráveis de economia na faixa de R\$87.963,39 (oitenta e sete mil, novecentos e sessenta e três e trinta e nove centavos) de energia que podem ser remanejados e ampliados se unida forças para expansão deste equipamento, especialmente após o estabelecimento de possíveis panoramas hipotéticos de ampliação. Outras demandas de manutenções do *Campus* podem ser atendidas com mais economia gerada com a ampliação, além do que recursos quando bem manejados podem resultar significativamente em melhorias em programas de assistência estudantil e pesquisa.

Foi alcançado a formulação de um *feedback* acerca dos investimentos em infraestrutura como também uma explanação do impacto da redução das emissões de CO² com esta respectiva apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso.

Como mencionado o gasto com energia elétrica é um dos principais problemas nos orçamentos destinados para desempenho das atividades diárias de uma universidade pública, cada vez mais busca-se junto ao Ministério da Educação a liberação de recursos para um futuro autônomo e sustentável das universidades públicas como a Universidade Federal Rural do Semi-Árido, sistemas fotovoltaicos como o estudado neste trabalho, apresentam durabilidade média de 25 anos ou mais, logo, sendo um investimento muito benéfico e eficiente.

A Microusina do *Campus* Angicos serve de objeto de estudo para novos projetos de pesquisa, em que após essa primeira análise existem duas propostas de estudos visando a aplicação de medidas preventivas ao sistema, como limpeza dos módulos e verificação do seu pleno funcionamento, além do estudo para instalação de um sistema trocador de calor com os módulos fotovoltaicos que tem por objetivo fazer com que as placas operem em sua temperatura ideal, proporcionando assim uma análise mais crítica da eficiência e vida útil do sistema, este um patrimônio público e muito importante para o âmbito Universitário.

Ademais, as limitações encontradas por esta pesquisa foram as oferecidas pelo próprio sistema estudado, como também pela pandemia mundial de Covid-19 vivenciada na presente publicação deste trabalho. A ausência de manutenções preventivas por parte da UFERSA – *Campus* Angicos comprometeu a precisão dos resultados dos impactos da geração, tendo em vista que foi constatado uma falha técnica de carregamento dos dados de 12 meses por parte de um Inversor de Frequência que não era de ciência da unidade de lotação da USF, outrora, poderia ter sido evitada e assim potencializado os resultados deste trabalho.

Portanto, é sugerido que novas pesquisas sejam desenvolvidas para conhecimento dos impactos gerados por patrimônios públicos encontrados nas universidades, são ferramentas que irão proporcionar vantagens aos usuários e podem ser potencializadas por meio de estudos em prol da apresentação de resultados as unidades gerenciadoras. A importância do incentivo direto a pesquisa no âmbito das universidades é imensurável tendo em vista a crise política e científica no qual se passa no cenário nacional, as ferramentas produzidas com o desenvolvimento das atividades são potencialmente transformadoras de realidades, seja no desenvolvimento produtivo, econômico, social e principalmente ambiental.

6 REFERÊNCIAS

ALTOÉ, Leandra *et al.* **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética.** 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/vPxbFKL9Jvwg559c6cgCZWp/?lang=pt#>. Acesso em: 22 jun. 2021.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **ENERGIA SOLAR: ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID.** 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 28 ago. 21.

ANEEL (Brasília). Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel (org.). **Micro e Minigeração Distribuída:** sistema de compensação de energia elétrica. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 17 jul. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Chamada Nº. 001/2016 Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: Eficiência energética e minigeração em instituições públicas de educação superior.** 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656831/15136291/Chamada+Priorit%C3%A1rio+e+Estrat%C3%A9gico+001+-+2016++V10+%28revis%C3%A3o+do+edital%29pdf/41ea76fd-a85a-fc98-4921-96ea4b4a4048?version=1.0>. Acesso em: 13 mar. 2021.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012.** 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

BARROS, Ricardo; SAUAIA, Rodrigo; KOLOSZUK, Ronaldo. **Perspectivas para a geração centralizada solar fotovoltaica no Brasil.** 2019. O Setor Elétrico, ed. 160, pp. 50.

BRASIL. Ministério da Educação. Governo Federal (org.). **PORTARIA Nº 343, DE 17 DE MARÇO DE 2020.** 2020. Veiculado por ABMES. Disponível em:

<https://abmes.org.br/arquivos/legislacoes/Portaria-mec-343-2020-03-17.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2021.

BRITO, Augusto Moraes *et al.* **Impactos De Uma Ufv No Semi-Árido Potiguar: Estudo De Caso Da Ufersa – Campus Angicos. In: Congresso Brasileiro De Energia Solar**, 8., 2020, Fortaleza. Anais CBENS 2020. [Fortaleza]: Associação Brasileira de Energia Solar, 2020. p. 1-8. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1014>. Acesso em: 23 jan. 2021.

BURSZTYN, Marcel. **Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 34, n. 98, p. 167-186, abr. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/HRtVCv9DddGGWWD3ZGmHvfK/?lang=pt>. Acesso em: 03 jul. 2021.

CENTER FOR SUSTAINABLE SYSTEMS (CSS). **Photovoltaic energy factsheet. University of Michigan**, ago. 2016. Disponível em: http://css.umich.edu/sites/default/files/Photovoltaic%20Energy_CSS07-08_e2019.pdf. Acesso em: 28 ago. 2021

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel T. **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento e barreiras à sua penetração no mercado.** 2005. Banco Nacional do Desenvolvimento. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2436>. Acesso em: 22 jun. 2021.

EPE (org.). **Plano Nacional de Energia - 2030.** [s.d]. Elaborado por Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. Acesso em: 22 jun. 2021.

FOTOVOLTEC (Londrina). **Energia Fotovoltaica.** 2016. Disponível em: <http://www.fotovoltec.com.br/front/tecnologia>. Acesso em: 22 jul. 2021.

IDEMA - Instituto de Defesa do Meio Ambiente, 2008. **Perfil do seu município: Angicos**. Disponível em: <<http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=PASTAC&TARG=875&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=>>> Acesso em: 24 abr. 2021.

IPCC, Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climática - et al (ed.). **Climate Change 2021: The Foundation of Physical Sciences**. 6. ed. Genebra: Ipcc, 2021. 42 f. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf. Acesso em: 29 ago. 2021.

LIMA, Ariane A. *et al*. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, n. 19, p. 1-16, jan. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?lang=pt>. Acesso em: 03 jul. 2021.

MENDES, João Nuno. A política energética no contexto das dinâmicas globais. **Relações Internacionais**, Lisboa, n. 28, p. 133-138, dez. 2010. Disponível em <http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1645-91992010000400010&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 29 ago. 2021.

MOREIRA JÚNIOR, Orlando; SOUZA, Celso Correia de. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Interações**, Campo Grande, v. 21, n. 2, p. 379-387, jun. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/t7NryC6KdCmwL4RXL4pjVfN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 ago. 2021.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 03 jul. 2021.

OLIVEIRA, Manuela Macedo; RIBEIRO, Luiz Carlos de Santana; CARVALHO, Terciane Sabadini. **Decomposição estrutural das emissões de gases de efeito estufa dos países do BRIC**. Geosul, [S.L.], v. 35, n. 75, p. 506-532, 9 jun. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n75p506>. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2020v35n75p506/43458>.

Acesso em: 07 ago. 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS (org.). **EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA NO SIN - DEZ2021/ DEZ2025**. Disponível em:

<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 20 jul 2021.

SOLAR, Portal (org.). **MEC libera R\$ 125 milhões para energia solar em universidades**.

2019. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/mec-libera-r-125-milhoes-para-energia-solar-em-universidades.html>. Acesso em: 03 jul. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO (org.). **Mais 4 usinas solares são inauguradas:**

ufersa tem a maior potência instalada de energia fotovoltaica entre as universidades federais. Ufersa tem a maior potência instalada de energia fotovoltaica entre as universidades federais. 2018. Elaborado pela ASSECOM UFERSA. Disponível em: <https://assecom.ufersa.edu.br/2019/06/14/mais-4-usinas-solares-sao-inauguradas-e-ufersa-continua-no-topo-na-geracao-de-energia-limpa-entre-as-universidades-federais/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

WOODHOUSE, MICHAEL A.; SMITH, BRITTANY; RAMDAS, ASHWIN; MARGOLIS, ROBERT M. **Crystalline Silicon Photovoltaic Module Manufacturing Costs and Sustainable Pricing: 1H 2018 Benchmark and Cost Reduction Road Map**. United States: n. p., 2019. Web. DOI: 10.2172/1495719. Acesso em: 28 ago. 2021.