

## ANÁLISE DO SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ – CAMPUS MARACANAÚ E SUA COLABORAÇÃO NA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>

JÉSSICA SANTOS DE ARAÚJO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

<jessica.santos.araujo04@aluno.ifce.edu.br>

10.21439/conexoes.v16i0.2168

**Resumo.** A energia solar fotovoltaica vem ganhando destaque no cenário mundial devido ao aumento das demandas energéticas e a busca de alternativas de energia limpa. Em razão dos problemas ambientais decorrentes do consumo de energia derivada de fontes poluentes e não renováveis, surge a necessidade de diversificar as matrizes energéticas. Dentro desse contexto, alguns municípios e empresas do Ceará já buscam ações para produção de energia limpa. Este artigo tem como objetivo analisar o sistema de energia fotovoltaica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Maracanaú e sua colaboração na redução da emissão de CO<sub>2</sub>. Para o cálculo da quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas a partir da instalação do sistema de energia fotovoltaica no Campus foi realizado o levantamento de dados in loco e utilizada a equação fornecida pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Verificou-se que, desde a sua instalação, que o sistema produziu uma potência de 48,67 MWh, gerando redução de emissões de CO<sub>2</sub> de 20,07 toneladas de 2015 a 2020, equivalente ao que seria emitido em matrizes não renováveis. Conclui-se que o sistema contribui para uma redução significativa de CO<sub>2</sub> no município e espera-se que este estudo seja referência para que gestores do setor público e privado invistam em alternativas que possam diversificar a matriz energética brasileira.

**Palavras-chaves:** Energia Renovável. Energia Solar. Redução de CO<sub>2</sub>. Sistemas Fotovoltaicos.

## ANALYSIS OF THE PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEM OF THE FEDERAL INSTITUTE OF CEARÁ – CAMPUS MARACANAÚ AND ITS COLLABORATION IN THE REDUCTION OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS

**Abstract.** Photovoltaic solar energy has been gaining prominence on the world stage due to the increase in energy demands and the search for clean energy alternatives. Due to the environmental problems arising from the consumption of energy derived from polluting and non-renewable sources, there is a need to diversify energy matrices. Within this context, some municipalities and companies in Ceará are already seeking actions for the production of clean energy. This article aims to analyze the photovoltaic energy system of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará - Campus Maracanaú and its collaboration in reducing CO<sub>2</sub> emissions. In order to calculate the quantification of avoided CO<sub>2</sub> emissions from the installation of the photovoltaic energy system on the Campus, an in loco data survey was carried out and the equation provided by the Ministry of Science, Technology, Innovation and Communications (MCTIC) was used. It was found that, since its installation, the system has produced a power of 48.67 MWh, generating a reduction in CO<sub>2</sub> emissions of 20.07 tons from 2015 to 2020, equivalent to what would be emitted in non-renewable matrices. It is concluded that the system contributes to a significant reduction of CO<sub>2</sub> in the city and it is hoped that this study is a reference for public and private sector managers to invest in alternatives that can diversify the Brazilian energy matrix.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> reduction. Photovoltaic Systems. Renewable energy. Solar energy.

### 1 INTRODUÇÃO

As termelétricas representam uma das principais usinas energéticas, baseada principalmente na queima de

combustíveis fósseis, como carvão, gás natural, petróleo e seus derivados, processo responsável pela emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e diversos impactos

ambientais. Quando se trata da matriz elétrica brasileira, há participação de 64,9% de hidráulica, 9,3% de gás natural, 8,6% de eólica, 8,4% de biomassa, 3,3% de carvão e derivados, 2,5% de nuclear, 2,0% de derivados de petróleo e 1,0% de solar (EPE, 2020).

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é um dos principais GEE e o acúmulo de altas concentrações na superfície traz problemas como poluição do ar, chuva ácida e o desequilíbrio do efeito estufa. Esses fenômenos contribuem significativamente para o aquecimento global, aumentando a temperatura média do Planeta, causando o derretimento das calotas polares e aumento dos níveis oceânicos, degradando assim os ecossistemas e paisagens (ECYCLE, 2020).

Em razão dos problemas ambientais decorrentes do consumo de energia derivada de fontes poluentes e não renováveis, surge a necessidade de diversificar as matrizes energéticas. Dentro desse contexto, alguns municípios do Ceará já buscam ações para produção de energia limpa. Acredita-se no uso de energia fotovoltaica como uma excelente alternativa, pela irradiação solar no Estado, por sua fonte de origem renovável e sua utilização contribuir com a redução da emissão de CO<sub>2</sub> (ALENCAR et al., 2018).

Alguns estudos foram realizados no Brasil no tocante aos sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica em instituições de ensino superior públicas, tendo como objetivo analisar o desempenho do sistema e economia dos recursos financeiros. Alguns exemplos são o estudo de caso da usina fotovoltaica do Instituto Federal Campus São Paulo (RAIMO; SOBREIRA; BUENO, 2018) e um trabalho sobre os impactos que a energia solar fotovoltaica causa no sistema de distribuição de energia elétrica do Campus do PICI da Universidade Federal do Ceará – UFC (VIEIRA et al., 2018). Há ainda registros de uma pesquisa realizada por duas universidades do Nordeste analisando a contribuição dos sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica para a redução de CO<sub>2</sub> no Estado do Ceará (LIRA et al., 2019).

De acordo com as proposições, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar o sistema de energia fotovoltaica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Maracanaú e sua colaboração na redução da emissão de CO<sub>2</sub>. E como objetivos específicos verificar o local e a etapa de implantação do sistema de energia fotovoltaica do Campus; identificar quais critérios foram relevantes para a implantação desse sistema; levantar dados da geração de energia desse sistema; avaliar a redução da emissão de CO<sub>2</sub> com o sistema de energia fotovoltaica existente e operante do Campus.

Acredita-se que o desenvolvimento deste trabalho

acrescentará mais conhecimentos específicos sobre a tecnologia de energia solar fotovoltaica, um assunto de discussão relevante, pois nota-se grande potencial para implantação desse tipo de sistema em instituições de ensino no Ceará, por razões climáticas, pelos benefícios econômicos e por sua contribuição na mitigação de problemas ambientais, como a emissão de CO<sub>2</sub>.

### 1.1 Matrizes Elétricas

Uma matriz elétrica é composta pelo conjunto de fontes disponíveis somente para a geração de energia elétrica de um determinado estado, país, ou do mundo. A geração da eletricidade mundial é baseada principalmente na queima de combustíveis fósseis e seus derivados nas termelétricas. Essa intensa utilização de fontes não renováveis é a maior responsável pela emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE (EPE, 2018).

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN de 2019, a matriz elétrica brasileira é constituída principalmente por fonte hidráulica (64,9%) (EPE, 2020), cuja ampliação é limitada por questões ambientais ligadas à instalação das usinas e a crise hídrica desde 2014. Com isso, a utilização de fontes de combustíveis fósseis tem sido um artifício imediato para o suprimento da demanda energética, mesmo que desvantajosa ambientalmente, por provocar o aumento das emissões de GEE, e economicamente, pelo aumento de tarifas devido as condições de geração energética relativamente mais onerosas (CARVALHO; MAGALHÃES; DOMINGUES, 2019).

No Ceará, a produção energética possui duas principais fontes, compondo a capacidade instalada do Estado. São elas do tipo térmica com participação de 52,32% e eólica (47,53%), seguidas pela energia solar fotovoltaica (0,12%) e a hídrica, gerada por meio das Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH (0,03%) (IPECE, 2018).

A partir da aceleração das mudanças climáticas, passou-se a considerar medidas para o uso de energias renováveis, como a eólica, a solar, a biomassa, dentre outras, rumo à essencialidade do desenvolvimento sustentável (LIRA et al., 2019). No tópico a seguir, relata-se como ocorreu a evolução da energia solar fotovoltaica, foco de estudo deste trabalho.

### 1.2 Evolução da Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica originou-se com a pesquisa do físico francês Alexandre Edmond Becquerel a partir dos estudos sobre efeito fotovoltaico em 1839 e com a criação da primeira célula fotovoltaica por Charles Fritts em 1883. Após a criação do processo de do-

pagem de silício por Calvin Fuller e a criação da célula solar moderna por Russell Shoemaker Ohl, além de uma série de ocorridos inclusive um prêmio Nobel para Einstein, iniciou-se à era moderna da energia solar, em 1954 (PORTAL SOLAR, 2016).

Ainda sobre o PORTAL SOLAR (2016), somente em 1958 iniciaram-se as utilizações de painéis solares no satélite Vanguard I que foi enviado ao espaço, onde foi anexado um painel de 1W para alimentar seu rádio na viagem. A partir disso, implementaram-se os primeiros sistemas fotovoltaicos residenciais e comerciais. No ano de 1999 a capacidade total de instalação de energia fotovoltaica no mundo alcançou 1.000 megawatts (MW) e em seguida, no ano de 2000, na maioria dos países de Primeiro Mundo foram desenvolvidos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (on-grid) com o intuito de suprir energia a rede elétrica convencional. Outros marcos importantes foram o crescimento das fábricas solares na China e a consequente redução dos custos de fabricação em 2011, além da Regulação Normativa 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil em 2012. O tópico seguinte refere-se ao potencial solarimétrico do Brasil e do Ceará.

### 1.3 Potencial Solarimétrico do Brasil e do Ceará

Devido a maior parte do Brasil estar presente na zona tropical, obtêm-se níveis médios de radiação solar superiores comparados a maioria dos países europeus e baixa variabilidade sazonal. Mesmo com essa vantagem, o número de projetos voltados para o uso de energia fotovoltaica no Brasil é insignificante diante de alguns países da Europa. Explorar o potencial solar brasileiro pode beneficiar a sociedade em diversos setores e o meio ambiente no que se diz respeito aos impactos decorrentes da instalação e operação das usinas geradoras de eletricidade (ALTOÉ; FILHO; CARLO, 2012).

O Brasil possui vários aspectos naturais relevantes para que se considere a inserção da tecnologia fotovoltaica na matriz energética, como os altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade que elevam o potencial para produção de silício, células e módulos solares, provocando crescimento atrativo dos investidores e do desenvolvimento no mercado interno brasileiro. Com base nisso, visando o desenvolvimento do potencial regional, a segurança do abastecimento e a redução nas emissões de CO<sub>2</sub>, surgiram os programas de incentivo às fontes alternativas de energia (SILVA, 2016).

Devido a sua localização geográfica e o benefício de forte irradiação solar, o semiárido nordestino, mais precisamente no Ceará, tem fomentado o uso de energia

solar por residências e empresas, visto pelo lado econômico como perspectiva de autossuficiência energética e pelo lado socioambiental como forma de contribuição para a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> pelas termelétricas (ALENCAR et al., 2018).

A Fundação Joaquim Nabuco (FUNDAJ) e o Atlas do Potencial Eólico e Solar do Ceará apresentado em 2019 na Federação das Indústrias do Ceará (FIEC), afirmam que o potencial solar fotovoltaico do Ceará, avaliado em 643 gigawatts (GW), é suficiente para suprir em mais de duas vezes a demanda atual de energia elétrica do Brasil (FUNDAJ, 2019). A seguir, uma revisão sobre as principais definições e características do sistema de energia solar fotovoltaico.

### 1.4 Sistema de Energia Solar Fotovoltaico

O sistema de energia solar fotovoltaico, também denominado de sistema de energia solar ou sistema fotovoltaico, tem capacidade de gerar energia elétrica através da radiação solar. O efeito fotoelétrico, processo no qual os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, ocorre em dispositivos chamados de células fotovoltaicas ou solares, estas são produzidas de materiais semicondutores sendo o silício o material mais utilizado. Como no sistema é utilizado mais de uma célula, conjunto destas é conhecido como painéis fotovoltaicos ou módulos fotovoltaicos (SILVA, 2016).

Esses sistemas se classificam em dois tipos básicos, os sistemas isolados (*Off-grid*) que são comumente utilizados em lugares remotos onde há alto custo de se conectar à rede elétrica e os sistemas conectados à rede (*Grid-tie*) que complementam ou substituem a energia elétrica convencional disponível na rede elétrica (NEOSOLAR, 2020).

O portal NEOSOLAR (2020) afirma ainda que um sistema fotovoltaico tem como componentes básicos os painéis fotovoltaicos, os controladores de carga, os inversores e as baterias. Os sistemas conectados à rede operam somente com os painéis e inversores já que não há a necessidade de armazenar energia como nos sistemas isolados, que além destes, precisam de baterias e controladores de carga.

O sistema fotovoltaico não possui impactos socioambientais como as hidrelétricas, nem contamina o meio ambiente como as termelétricas e não produz resíduos tóxicos como as usinas nucleares (CASARO; MARTINS, 2010). O tópico seguinte trata-se dos aspectos normativos da geração de energia elétrica no Brasil.

### 1.5 Aspectos Normativos da geração de energia elétrica no Brasil

Em 17 de abril de 2012 entrou em vigor no Brasil a Resolução Normativa N° 482 da ANEEL que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, além de dar outras providências. A partir dela, foi permitido que o consumidor gerasse sua própria energia elétrica através de fontes renováveis ou cogeração qualificada e ainda, fornecesse o excedente para a rede de distribuição de sua localidade (ANEEL, 2012).

Em 2015, foi publicada pela ANEEL a Resolução Normativa N° 687 que revisa a Resolução Normativa N° 482/2012, especificando a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (kW) como microgeração distribuída e aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW como minigeração distribuída, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016).

Quando a quantidade de energia gerada é maior que a energia consumida no período mensal, o excedente em Kwh não utilizados gera créditos para o consumidor debitar nas próximas faturas. Com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passa a ser de 36 para 60 meses, além de permitir que estes sejam abatidos em unidades consumidoras do mesmo titular em outros locais, desde que dentro da área de atendimento de uma mesma distribuidora, tipo de utilização denominado como autoconsumo remoto (ANEEL, 2016).

Outra novidade é a permissão da instalação de geração distribuída em condomínios, nessa configuração os condôminos definem a porcentagem de repartição entre eles da energia gerada. Além disso, foi criada a geração compartilhada, onde interessados podem se unir em consórcio ou cooperativa, instalar uma micro ou minigeração distribuída e utilizar a energia gerada para redução das faturas dos membros (ANEEL, 2016). Em seguida, serão revisados estudos relacionados a energia solar fotovoltaica tendo como cenário as instituições de ensino superior públicas no Brasil e no Ceará.

### 1.6 Estudos Relacionados a Energia Solar Fotovoltaica no Brasil e no Ceará

Raimo, Sobreira e Bueno (2018), acompanharam com precisão a geração de energia elétrica e a performance da Micro Usina Fotovoltaica de 70 kWp instalada no Instituto Federal de Educação Campus São Paulo, através simulação das figuras de mérito e acompanhamento da produção de energia ao longo dos dias e meses de vida útil do sistema. Os resultados da ferra-

menta de simulação PVSyst V6.43 foram comparados aos dados do sistema de monitoramento da Micro Usina Fotovoltaica e os resultados obtidos mostraram taxa de desempenho de 65,8%, produtividade anual de 1.115 kWh/kWp e fator capacidade de 13,9%, indicando que o sistema está operando dentro de sua expectativa e proporcionando o benefício de redução da Fatura Mensal de Energia paga a concessionária.

Vieira et al. (2018), apresentaram os resultados dos impactos positivos da expansão da geração solar fotovoltaica no sistema de distribuição de energia elétrica do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), consideraram análises de carregamento, perdas, variação de tensão e fator de potência (FP) através do software ANAREDE, para variações de geração e de demanda em um dia útil da semana sob demanda máxima de carga e em um domingo sob baixa demanda. Os resultados obtidos mostraram que os impactos foram significativos com redução no FP e variação da tensão insignificante. Para a condição em que a geração foi maior do que a carga, o fluxo de potência reverso causou um aumento considerável no carregamento dos alimentadores e um crescimento das perdas técnicas, já na condição em que a geração foi menor do que a carga, houve uma diminuição no carregamento dos alimentadores e nas perdas técnicas.

De forma similar, Lira et al. (2019) realizaram um mapeamento da geração distribuída de energia elétrica de fonte solar fotovoltaica no estado do Ceará, onde os dados utilizados foram coletados no Banco de Geração de Informação (BIG) da ANEEL e foram estimados os dados de energia gerada e as emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, a partir do uso de Geração Distribuída (GD) por fonte solar fotovoltaica entre os anos de 2013 a 2017. Os resultados verificaram um aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> evitadas e que poderia ser justificado pelo crescente aumento da produção de energia oriunda de sistemas fotovoltaicos, comprovando a contribuição dos sistemas fotovoltaicos para a redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa exploratória aconteceu por meio de pesquisa bibliográfica em monografias, dissertações e teses na Biblioteca Virtual Sofia do IFCE e sites de instituições de ensino superior no Brasil, bem como de artigos e periódicos da área em revistas de renome nacional e internacional, a fim da familiarização e obtenção de conhecimentos específicos sobre o objeto de estudo e métodos científicos que possibilitem a análise do sistema de energia fotovoltaica no IFCE - Campus Maracanaú e sua colaboração na redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

Quanto à pesquisa descritiva e explicativa, deu-

se por meio do procedimento técnico de pesquisa de campo. Foi realizado o levantamento de dados sobre localização, critérios e etapa de implantação, além da capacidade de geração de energia do sistema fotovoltaico em operação, através de entrevista com o professor responsável pelo projeto.

## 2.1 Sistema de Energia Fotovoltaica do Campus Maracanaú

A verificação da localização exata do sistema de energia fotovoltaica e em qual etapa de implantação se encontra atualmente, se deu através de visita ao local de instalação e entrevista com o professor responsável pela implantação do sistema no Campus e coorientador deste artigo. Além disso, houve a identificação dos critérios relevantes adotados para justificar o uso do sistema, sejam eles econômicos, ambientais ou outros considerados em trabalhos desenvolvidos dentro dessa temática.

O levantamento de dados acerca da geração de energia desse sistema foi realizado diretamente no campus, consultando os visores dos inversores.

## 2.2 Metodologia de cálculo da redução das emissões de CO<sub>2</sub>

Após a tabulação de dados, a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas a partir da instalação do sistema de energia fotovoltaica no Campus, foi calculada pela Equação 1:

$$ECO_2 = E \times Fe \quad (1)$$

Onde:  $ECO_2$  = emissões anuais de dióxido de carbono evitadas (tCO<sub>2</sub>);  $E$  = energia gerada durante o ano (GWh.ano<sup>-1</sup>);  $Fe$  = fator de emissão (tCO<sub>2</sub>) da energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Esse procedimento foi embasado nas avaliações de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) da categoria de energia solar fotovoltaica pela Comissão Interministerial de Mudanças Globais de Clima (CIMGC) pertencente ao Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) (LIRA et al., 2019).

Uma variável que merece atenção na Equação 1 é o Fator de Emissão de CO<sub>2</sub>, um parâmetro que relaciona a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida em função da geração de energia elétrica, o valor do fator varia dependendo do tipo de fonte associada e da época do ano em estudo. De forma prática, esse fator é utilizado a nível internacional para quantificar a contribuição de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede, em termos de redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Ele pode ser calculado por uma combinação do fator de emissão da margem

de operação (MO, intensidade das emissões da energia despachada na margem) com o fator de emissão da margem de construção (MC, intensidade das emissões das últimas usinas construídas). Essa combinação pode ser expressa na equação do Fator de Emissão, criada pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), expressa na Equação 2 a seguir (UNFCCC, 2018).

$$Fe = (0,75 \times MO) + (0,25 \times MC) \quad (2)$$

Onde:  $Fe$  = fator médio de emissão do ano de estudo, em (tCO<sub>2</sub>);  $MO$  = margem de operação do ano de estudo, em (tCO<sub>2</sub>/MWh);  $MC$  = margem de construção do ano de estudo, em (tCO<sub>2</sub>/MWh).

As variáveis  $MO$  e  $MC$  foram obtidas das tabelas disponibilizadas pelo MCTIC, geradas anualmente. O resultado de  $Fe$  é aplicado na Equação 1, para calcular efetivamente as emissões evitadas pelo sistema em estudo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar a análise do desempenho do sistema de energia solar fotovoltaico do IFCE, considerou-se um período de seis anos, 2015 até 2020. O sistema é do tipo Grid-Tie que possui potência instalada total de 13 kWp, com um total de 52 placas fotovoltaicas. Foram divididos, para este trabalho, em três sistemas:

- Sistema 1: Composto por dois inversores de 3kw cada, localizado no estacionamento do Bloco Administrativo. Composto por 24 placas de silício policristalino, fabricante SunEdison, modelo SE-P265NPB-A4 (Figura 1).
- Sistema 2: Composto por dois inversores de 3kw cada, localizado no estacionamento do Bloco de Ensino 2. Conta com 24 placas de silício policristalino, fabricante SunEdison, modelo SE-P265NPB-A4 (Figura 2).
- Sistema 3: Quiosque localizado no jardim do Bloco de Ensino 2, com 4 placas do fabricante Day4 Europe, modelo DAY4 60 MC-I (Figura 3). Diferente dos demais, possui um medidor integrado a quatro microinversores que controlam as placas.

No sistema solar fotovoltaico do IFCE-Maracanaú, como na maioria dos sistemas fotovoltaicos, a luz solar chega aos painéis solares, que geram energia de corrente contínua, que segue para os inversores de frequência (Figura 4). Os inversores transformam a energia corrente contínua em alternada. A energia segue para um

**Figura 1:** Componentes do Sistema 1.



Disposição das placas



Inversor 1



Inversor 2

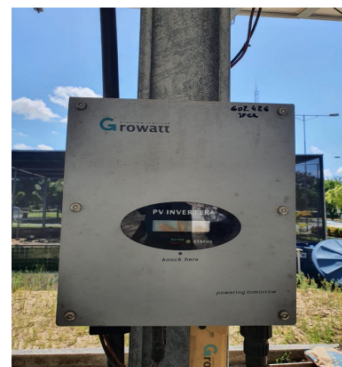
**Figura 2:** Componentes do Sistema 2.



Disposição das placas



Inversor 1



Inversor 2

**Figura 3:** Componentes do Sistema 3.



Espaço Quiosque com 4 placas

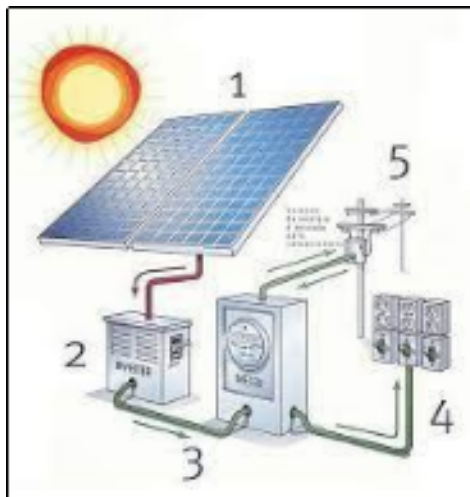


Medidor



Medidor Bidirecional, que contabiliza a energia recebida pela rede e a energia gerada pelo painel. A energia excedente do consumo da unidade produtora é embutida na rede distribuidora, gerando créditos na Fatura Mensal de Energia do Campus.

**Figura 4:** Esquema do funcionamento de um sistema solar.

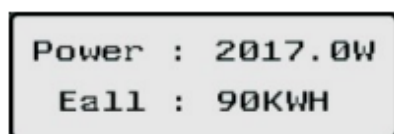


Fonte: Google Imagens (2021).

Toda a energia gerada é lida pelo inversor e disponibilizada no display LCD. Para este trabalho, os dados foram coletados de forma manual. A consulta aos dados e forma de funcionamento dos inversores foram obtidos por meio do manual da fabricante.

Nos estacionamento, locais dos Sistemas 1 e 2, os inversores disponibilizam a cada momento, entre outros dados, o valor da geração de energia total (Eall) em quilowatt-hora (kWh) e o tempo de funcionamento ligado total (Tall) em horas (h) desde a instalação do equipamento (Figura 5).

**Figura 5:** Informações do display do Inversor Grow.



Fonte: SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY (2010).

Como o monitoramento desses dados não é automatizado e, portanto, não gera relatórios, foi necessário calcular a geração de energia anual a partir da geração total (Eall) de cada inversor dividida pelo tempo de funcionamento dele (Tall). Neste cálculo foi necessária a

transformação da geração para a unidade mega watt-hora (MWh) e para o tempo em anos. Essas transformações se deram, respectivamente, dividindo a geração total (Eall) por mil e o tempo total (Tall) pelo tempo de funcionamento efetivo em horas por dia, visto que os sistemas não funcionam por 24 horas. Conforme o manual de funcionamento, os inversores desligam automaticamente em períodos de pouca ou nenhuma iluminação solar (SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY, 2010). O display não disponibiliza o tempo real de funcionamento dos inversores por dia, logo foi necessário realizar estimativas. No caso dos dois inversores do Sistema 2, para encontrar um número estimado de horas que o inversor fica ligado por dia, utilizamos as informações fornecidas pelo responsável técnico, que informou tempo total em anos da instalação do sistema (exatidão comprovada pela data do vídeo de instalação) e a média de horas de funcionamento do inversor por dia, que seria em torno de 9 a 10 horas.

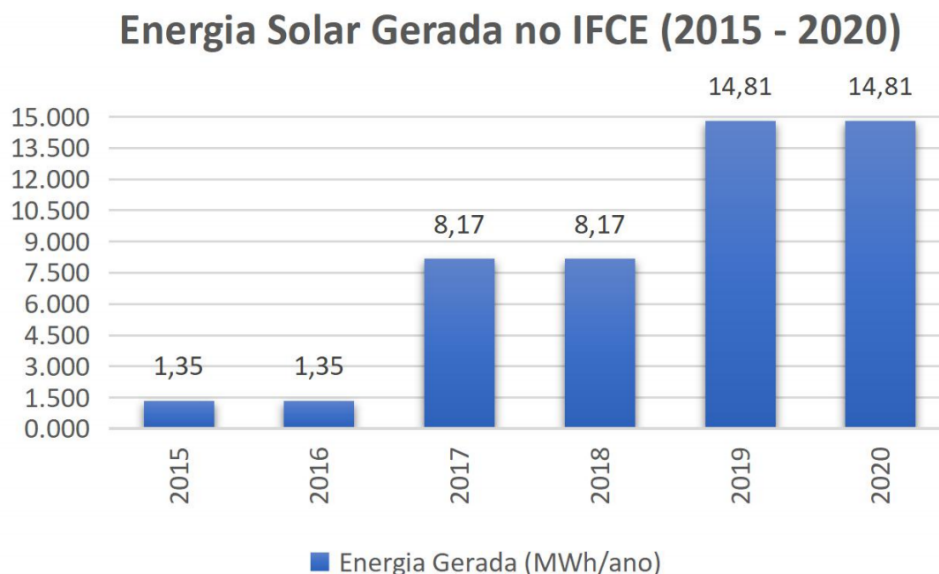
A partir do tempo de funcionamento ligado total (Tall) dado pelo inversor, foi possível testar hipóteses da quantidade de horas ligadas por dia, dividindo-se o (Tall) por números entre 9 a 10 horas, resultando assim em um número de dias que, divididos por 365 dias transformaram-se em anos. Com os dados dispostos dessa forma e comparando os resultados com o tempo total em anos fornecido, inferiu-se o número de 9,1 horas de funcionamento por dia. Assim, adotou-se esse mesmo valor para os inversores do Sistema 1, que são do mesmo modelo, gerando o número de anos de funcionamento de cada sistema (Tabela 1). Após as devidas transformações, dividiu-se a geração de energia total (Eall) em MWh, pelo tempo de funcionamento total (Tall) em anos, para que se obtivesse a estimativa da energia gerada em MWh/ano, gerando dados de energia dos anos de 2015 a 2020 (Figura 6).

No caso do Sistema 3, o medidor disponibiliza o valor da geração de energia total (r) em KWh e o tempo de funcionamento total ligado em anos foi estimado pelo responsável pela implantação do sistema (Tabela 1). Da mesma forma que nos outros inversores, foi necessário a transformação da geração em MWh e só então através do mesmo cálculo se obteve a estimativa da energia gerada em MWh/ano.

De acordo com o gráfico da Figura 6, percebe-se que ocorreu um salto de 1,35 MWh em 2015 para 14,81 MWh em 2020, uma das causas desse crescimento de energia gerada pelo sistema se deve ao fato de novas aquisições e instalações de novas placas solares no Campus.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados dos cálculos realizados através da Eq. 1 que quantificam as

**Figura 6:** Energia solar gerada no IFCE de 2015 a 2020.



**Tabela 1:** Tempo de funcionamento dos sistemas em horas e em anos

Sistema	Funcionamento em horas	Funcionamento em anos
Sistema 1	8746,3 horas (Inversor 1) e 8805,1 horas (Inversor 2)	3 anos
Sistema 2	15788,2 horas/inversor.	4,75 anos
Sistema 3	(indisponível)*	6,67 anos

Fonte: elaborado pela autora.

Nota: \*o Sistema 3 não disponibiliza o tempo total em horas de funcionamento.

emissões de CO<sub>2</sub> evitadas.

De acordo com os dados obtidos e calculados, verificou-se uma prevenção maior nas emissões de CO<sub>2</sub> durante os anos de 2017 até o ano de 2020, isso pode ser devido a maiores perdas energéticas associadas a diminuição dos fatores médios de emissão anual do SIN. Vale ressaltar que, no período de estudo, não foi possível obter dados de energia gerada em alguns arranjos fotovoltaicos do Campus, isso impactou nos resultados finais das emissões de CO<sub>2</sub> evitadas, que poderiam obter um resultado mais significativo. O total de CO<sub>2</sub> evitado para o meio ambiente foi de 20,07 toneladas em seis anos de funcionamento.

Os resultados encontrados por Queiroz et al. (2019) em uma usina fotovoltaica situada na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) no estado do Rio Grande do Norte tem uma potência total de 150,8 kWp e foi estimado por evitar um total de 44,19 toneladas de CO<sub>2</sub> para a atmosfera durante o período analisado (novembro/2016 a junho/2019).

Um estudo realizado por de Sá e Moraes (2020), em seu sistema fotovoltaico de potência de 150 kWp ins-

talado em um campus no Piauí, obteve-se um total de 442 toneladas de CO<sub>2</sub> evitado para a atmosfera em um período de estudo de três anos e cinco meses. Estima-se que seriam aproximadamente 126 toneladas de CO<sub>2</sub> evitados a cada ano.

Avaliando potências e tempo de funcionamento dos sistemas de Queiroz et al. (2019), de Sá e Moraes (2020) com este trabalho, desconsiderando modelos de placas e inversores, o sistema que parece ter mais eficiência, em termos de CO<sub>2</sub> evitado, é o estudado por Queiroz et al., que evitaria 0,84 toneladas por ano por kWp instalado, enquanto o sistema de De Sá e Moraes evitaria apenas 0,11 ton/ano/kWp. O sistema deste estudo chega a 0,31 ton/ano/kWp.

Com base nessas pesquisas, percebe-se que não há uma relação direta entre as emissões evitadas e a potência instalada dos sistemas, visto que há outras variáveis que interferem na geração elétrica, como incidência solar, manutenção dos equipamentos e fabricante, por exemplo.

Apesar das diferenças em eficiência, quando se trata de emissões evitadas ao todo, é possível inferir que,



**Tabela 2:** Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas no sistema fotovoltaico do IFCE (2015-2020).

ANO	Fator médio de emissão anual (tCO <sub>2</sub> /MWh)	Energia gerada (MWh/ano)	Emissões (tCO <sub>2</sub> /ano)
2015	0,48	1,35	0,65
2016	0,51	1,35	0,69
2017	0,44	8,17	3,61
2018	0,44	8,17	3,58
2019	0,41	14,81	6,13
2020	0,36	14,81	5,40
<b>Total</b>			20,07

considerando apenas esses três sistemas no tempo de funcionamento, já foram recuperadas pelo menos 506,3 toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Mesmo assim, esse valor só equivale a 0.0000012% das emissões do setor de energia só em 2019 (IEMA, 2020). É necessário um investimento cada vez maior em energia solar, seja em setor público e setor privado, trazendo mais benefícios ao meio ambiente, reduzindo os impactos das mudanças climáticas no mundo. Para isso, essa tecnologia deve se tornar mais acessível para a população e deve ser incentivada nos setores público e privado.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se com este estudo que o sistema solar fotovoltaico do Instituto Federal – Campus Maracanaú contribui para uma redução significativa de CO<sub>2</sub>, de 20,07 toneladas, visto que esse sistema é um dos poucos alocados no município, deste porte. Comparando-o a outros sistemas estudados, pode-se dizer que possui uma eficiência de 0,31 toneladas de dióxido de carbono por ano por kWp instalado, sendo considerada média em comparação com os trabalhos de Queiroz et al. (2019), onde estimou-se redução de 0,84 tCO<sub>2</sub>/ano/kWp, enquanto o sistema de Sá e Moraes (2020) evitaria 0,11 tCO<sub>2</sub>/ano/kWp.

Para melhores resultados, recomenda-se que a instituição tenha um controle dos dados do sistema de forma a calcular a sua eficiência e, com o passar do tempo, o Campus possa adquirir novas placas solares para reduzir cada vez mais os custos com energia elétrica e contribuir para redução de CO<sub>2</sub> no município e no estado. Espera-se, que este estudo seja referência para que gestores do setor público e privado invistam em alternativas que possam diversificar a matriz energética brasileira, possibilitando o incremento desta fonte de energia renovável e sustentável, através do seu uso para a redução de gases tóxicos ao meio ambiente, na busca então do equilíbrio do ecossistema.

Recomenda-se continuidade desta pesquisa in-

cluindo mais anos de funcionamento e buscando outros sistemas, para que se possa fazer uma comparação mais detalhada.

#### REFERÊNCIAS

ALENCAR, M. P.; NETO, J. L. de A.; MARANHÃO, T. L. G.; TAVARES, C. V. C. C. Políticas públicas para micro e minigeração de energia solar no estado do ceará: um estudo levando-se em consideração o contexto nacional e municípios no semiárido cearense. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 12, n. 39, p. 192–223, 2018.

ALTOÉ, L.; FILHO, D. O.; CARLO, J. C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, SciELO Brasil, v. 12, n. 3, p. 75–87, 2012.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial de 19.04.2012, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76.** 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. **Micro e Minigeração Distribuídas.** 2016. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset\\_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false)>. Acesso em: 09 mar. 2021.

CARVALHO, M. M. d.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Impactos econômicos da ampliação do uso de energia solar residencial em minas

gerais. **Nova Economia**, SciELO Brasil, v. 29, n. 2, p. 459–485, 2019.

CASARO, M. M.; MARTINS, D. C. Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica**, SciELO Brasil, v. 21, n. 2, p. 159–172, 2010.

de Sá, F. N.; MORAES, A. M. de. Abordagem ambiental e econômica sobre a energia solar fotovoltaica implantada em um instituto federal de educação no Brasil. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA**, v. 24, n. 1, p. 118–129, 2020.

ECYCLE. **O que é aquecimento global?, Brasil, [entre 2010 e 2020]**. 2020. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/1294-aquecimento-global.html>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

FUNDAJ. **Potencial solar do Ceará é suficiente para suprir em duas vezes a necessidade do País**. 2019. Disponível em: <<https://www.fundaj.gov.br/index.php/a-questao-energetica/11546-potencial-solar-do-ceara-e-suficiente-para-suprir-em-duas-vezes-a-necessidade-do-pais>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

IEMA. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. 2020. Disponível em: <<https://energiaambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

IPECE. **O Ceará ocupa o 13º lugar no ranking energético nacional e tem como principais matrizes de energia a termelétrica e a eólica. Panorama da produção de energia elétrica no Estado do Ceará: Um enfoque para a matriz eólica**. 2018. Disponível em: <<https://www.ipece.ce.gov.br/2018/12/12/ceara-ocupa-o-13o-lugar-no-ranking-energetico-nacional-e-tem-como-principais-matrizes-de-energia-a-termelétrica-e-a-eólica/>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

LIRA, M. A. T.; MELO, M. L. d. S.; RODRIGUES, L. M.; SOUZA, T. R. M. d. Contribuição dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica para a redução de CO<sub>2</sub> no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, SciELO Brasil, v. 34, n. 3, p. 389–397, 2019.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. 2020. Disponível em:

<<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 15 dez. 2020.

PORTAL SOLAR. **História e origem da Energia Solar**. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html#:~:text=Qual%20%C3%A9%20a%20origem%20da,em%201883%2C%20por%20Charles%20Fritts>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

QUEIROZ, L. G. O.; FREITAS Ébete Valter da S.; MENDES, M. A.; TONINI, L. G. R.; BATISTA, O. E. Geração distribuída fotovoltaica e seu impacto na redução de emissões de CO<sub>2</sub>: estudo de caso de uma usina fotovoltaica situada no semiárido potiguar. In: **I CONIMAS e III CONIDIS**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. p. 1–12.

RAIMO, P. A.; SOBREIRA, R. L.; BUENO, E. A. Análise de desempenho da usina fotovoltaica de 70 kw p estudo de caso: Instituto federal – campus são paulo. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Gramado: CBENS, 2018.

SHENZHEN GROWATT NEW ENERGY TECHNOLOGY. **Manual de instalação e operação**. China: Inovacare, 2010. Disponível em: <<https://inovacare.solar/docs/growatt-1000-s-3000-s-manual-portugues.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SILVA, F. A. **Estimativa da redução de custos com a implantação de sistema solar de geração de energia elétrica na ETA Tauá**. Dissertação (Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos Para A Gestão Municipal de Recursos Hídricos) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2016.

UNFCCC. **Methodological tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system. United Nations**. 2018. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

VIEIRA, C. R.; SAMPAIO, R. F.; LEÃO, R. P. S.; RIBEIRO, S. D. C.; MEDEIROS, E. B.; SILVA, K. D. M.; GARCIA, F. R. P. Análise do fluxo de potência e do fator de potência no sistema elétrico de distribuição de um campus universitário com a inserção da geração solar fotovoltaica. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Gramado: CBENS, 2018.