



**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Unidade Araxá**

Letícia Ribeiro de Carvalho

Projeto de um sistema fotovoltaico didático para geração *on-grid*

Araxá-MG
2020

Letícia Ribeiro de Carvalho

Projeto de um sistema fotovoltaico didático para geração *on-grid*

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende
Coorientador: Prof. Dr. Henrique José Avelar

Araxá-MG
2020



ATA Nº 16/2020 - DFGAX (11.57.03)

Nº do Protocolo: 23062.032276/2020-80

Araxá-MG, 01 de dezembro de 2020.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL / ARAXÁ
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC - ATA DE DEFESA

ATA DA DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
da aluna **LETÍCIA RIBEIRO DE CARVALHO**

Às dezenove horas do dia primeiro de dezembro de dois mil e vinte, reuniu-se, pelo Microsoft Teams, na turma "Trabalho de Conclusão de Curso", do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG/ Unidade Araxá, a Comissão Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "Projeto de um sistema fotovoltaico didático para geração *on-grid*", como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Dr. Domingos Sávio de Resende, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, concedeu a palavra à candidata, Letícia Ribeiro de Carvalho, para a exposição de seu trabalho. Após a apresentação, seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Ultimada a arguição, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Após a reunião da Comissão Examinadora, a candidata foi considerada: **APROVADA**, obtendo nota final de: 92/100 (noventa e dois pontos). O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. A aluna, abaixo assinada, declara que o trabalho ora identificado é da sua autoria material e intelectual, excetuando-se eventuais elementos, tais como passagens de texto, citações, figuras e datas, desde que devidamente identificada a fonte original. Declara ainda, neste âmbito, não violar direitos de terceiros. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou os trabalhos. A Profa. Dra. Érica Araújo, responsável pela disciplina "Trabalho de Conclusão de Curso II", lavrou a presente ATA, que, após lida e aprovada, será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Araxá, primeiro de dezembro de dois mil e vinte.

(Assinado digitalmente em 02/12/2020 10:03)

DOMINGOS SAVIO DE RESENDE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CEDAX (11.79.30)
Matrícula: 4194738

(Assinado digitalmente em 11/12/2020 08:48)

ERICA DANIELA DE ARAUJO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DFGAX (11.57.03)
Matrícula: 1019759

(Assinado digitalmente em 02/12/2020 01:21)

HENRIQUE JOSE AVELAR
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCAX (11.57)
Matrícula: 392234

(Assinado digitalmente em 01/12/2020 21:49)

KLEBER LOPES FONTOURA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 2330904

(Assinado digitalmente em 02/12/2020 17:59)

MATEUS ANTUNES OLIVEIRA LEITE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 3138470

(Assinado digitalmente em 02/12/2020 17:33)

RENATA CALCIOLARI
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DELMAX (11.57.05)
Matrícula: 2828733

(Assinado digitalmente em 01/12/2020 22:49)

LETICIA RIBEIRO DE CARVALHO
DISCENTE
Matrícula: 201414550235

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **16**, ano: **2020**, tipo: **ATA**, data de emissão: **01/12/2020** e o código de verificação: **cbce9a4cd8**

Aos meus pais, às minhas irmãs e ao meu namorado,
que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu forças nos momentos mais difíceis dessa jornada e me concede minhas maiores conquistas.

Aos meus pais, Ervanio e Marília, que me ensinaram os verdadeiros valores da vida: o amor, o respeito e a honestidade; que me deram suporte para conseguir caminhar durante todo o período de estudos e de incertezas; que acreditaram em mim e me incentivaram com pequenos gestos de muito valor.

Ao meu namorado, Gustavo, por estar ao meu lado, para comemorarmos cada vitória, e por me alegrar em dias que me sentia sobrecarregada.

Aos professores Domingos Sávio de Resende, Érica Araújo, Bruna Gabriela e Henrique José Avelar, por contribuírem com toda sabedoria e ajuda necessária para realização deste trabalho.

Aos professores Kléber, Mateus e Renata por aceitarem o convite para participar da banca de defesa desta monografia.

Aos meus colegas de curso, por fazerem das aulas momentos mais descontraídos e felizes.

*Sonhos determinam o que você quer.
Ação determina o que você conquista.*
Aldo Novak

RESUMO

A utilização dos meios naturais de forma correta tem sido o grande desafio da sociedade moderna. Nesse contexto, gerar energia de maneira a reduzir os impactos ambientais, como a energia fotovoltaica, de forma eficiente, constitui um desses desafios. Porém, no Brasil, ainda se encontra pouco incentivo e divulgação dessa tecnologia de geração elétrica. Em vista desse cenário, a proposta deste trabalho é, por meio da comunidade acadêmica, disseminar conhecimentos científicos sobre essa área. Para tanto, propõe-se a implementação de um sistema fotovoltaico didático, com geração *on-grid*, na instituição de ensino Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG, unidade Araxá). Para isso, elaborou-se, com esta pesquisa, cálculos e simulações, por meio do *software* PVsyst, de modo a: (i) possibilitar o levantamento de dados técnicos e econômicos e (ii) avaliar a viabilidade da geração elétrica *on-grid*, a partir da energia fotovoltaica, em conformidade com a legislação vigente. Como resultados, esta pesquisa comprovou a viabilidade de implementação futura de uma microusina nessa instituição de ensino, além de produzir material de estudos para os estudantes da área.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico. Microgeração. *On-grid*. Didático.

ABSTRACT

The correct use of natural resources has been a great challenge in modern society. In this context, generating energy in a way that reduces environmental impacts, such as photovoltaic energy, efficiently, is one of these challenges. However, in Brazil, there is still little incentive and dissemination of this technology. In view of this scenario, the purpose of this paper is disseminating scientific knowledge in this area through the academic community. To achieve this goal, the implementation of a didactic photovoltaic system, with on-grid generation, is proposed in the educational institution "Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais" (CEFET Araxá-MG). For this purpose, calculations and simulations were made by using PVsyst software, in order to: (i) enable the survey of technical and economic data and (ii) evaluate the feasibility of on-grid photovoltaic electricity generation, in accordance with current legislation. As final results, this research proved the viability of future implementation of a micro plant in this educational institution, in addition to generating study material for students in this area.

Keywords: Photovoltaic system. Microgeneration. *On-grid*. Didactic.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

CA – CORRENTE ALTERNADA

CC – CORRENTE CONTÍNUA

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS S. A.

FC – FATOR DE CORREÇÃO

FP – FATOR DE PERDA

kW – QUILOWATT

kWh/ano – QUILOWATTS-HORA POR ANO

kWh/mês – QUILOWATTS-HORA POR MÊS

kW_p – QUILOWATTS-PICO

MPPT – *MAXIMUM POWER POINT TRACKING*

MW – MEGAWATT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema fotovoltaico on-grid.	15
Figura 2 – Célula fotovoltaica de silício policristalino.	16
Figura 3 – Inversor Fotovoltaico de 1200W.....	17
Figura 4 – Etapas para permissão do acesso de microgeradores aderentes ao sistema de compensação de energia para consumidores de média tensão.	19
Figura 5 – Etapas para permissão do acesso de microgeradores aderentes ao sistema de compensação de energia para consumidores de baixa tensão.	20
Figura 6 – Conta de energia de um consumidor do grupo B.....	26
Figura 7 –Busca da radiação solar no site CRESESB.....	27
Figura 8 – Radiação solar diária no plano inclinado para Araxá-MG.....	28
Figura 9 – Conta de energia do CEFET-MG, unidade Araxá, parte 1.	28
Figura 10 – Conta de energia do CEFET-MG, unidade Araxá, parte 2.	29
Figura 11 – Site da ANEEL utilizado para busca das tarifas TE.	29
Figura 12 – Tarifas encontradas.	30
Figura 13– Parâmetros elétricos do módulo Yingli Solar 245W.	32
Figura 14 – Características do inversor Sunny Boy 1200 SMA.....	32
Figura 15 – Tela inicial do PVsyst.	34
Figura 16 – Tela para escolha ou inserção de localizações geográficas.....	34
Figura 17 – Primeira tela para inclusão dos dados da nova localização.....	35
Figura 18 – Segunda tela para inclusão dos dados da nova localização.....	35
Figura 19 – Primeira tela para sintetização dos dados da nova localização.....	36
Figura 20 – Segunda tela para sintetização dos dados da nova localização.....	36
Figura 21 – Tela para a escolha do tipo de sistema a simular.	37
Figura 22 – Tela inicial da simulação.....	37
Figura 23 – Tela para seleção da localização geográfica para a simulação.	38
Figura 24 – Tela inicial para acesso aos parâmetros iniciais do projeto.	38
Figura 25 – Tela para inserção dos parâmetros iniciais do projeto.	39
Figura 26– Tela inicial para acesso ao parâmetro principal “Orientação”.	39
Figura 27 – Tela para inserção da orientação do sistema.	40
Figura 28 – Tela para acesso ao parâmetro principal “Sistema”.	40
Figura 29 – Tela para definição dos equipamentos utilizados no sistema.	41

Figura 30 – Tela para acesso ao parâmetro principal “Perdas detalhadas”.....	42
Figura 31 – Primeira tela para definição das perdas.....	42
Figura 32 – Segunda tela para definição das perdas.....	43
Figura 33 – Terceira tela para definição das perdas.	43
Figura 34 – Quarta tela para definição das perdas.....	44
Figura 35 – Imagem da possível área de instalação do sistema.	45
Figura 36 – Tela inicial para execução da simulação.....	45
Figura 37 – Tela inicial para visualização dos resultados da simulação.	46
Figura 38 – Relatório gerado para a simulação feita no PVsyst.....	46
Figura 39 – Diagrama de ligação dos módulos.	48
Figura 40 – Diagrama Unifilar Básico.	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	O efeito fotovoltaico, a geração <i>on-grid</i> e seus componentes	15
2.2	Normas vigentes para a implementação de sistemas fotovoltaicos	18
2.3	Sistemas fotovoltaicos e a realidade brasileira – uma questão de educação	20
2.4	Trabalhos relacionados	21
3	METODOLOGIA	24
4	ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES	26
4.1	Dimensionando o sistema fotovoltaico	26
4.2	Escolhendo o arranjo dos módulos	31
4.3	Projetando no PVsyst	34
4.4	Solicitando a ligação do sistema à rede	47
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A energia solar constitui a energia, aproveitada e utilizada por meio de diversas tecnologias, gerada através da transformação da radiação solar em energia. Trata-se de uma energia limpa, renovável e que necessita de pouca manutenção. Entre os tipos de energia solar disponíveis no mercado, cita-se: a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica. Desses tipos, neste trabalho, focaliza-se na energia solar fotovoltaica.

Segundo Nakabayashi (2014), o efeito fotovoltaico consiste na criação de tensão elétrica em um material após a sua exposição ao sol. Em outros termos, trata-se da dopagem de um material semicondutor em vista da exposição desse material ao sol. São nos módulos fotovoltaicos que acontece esse efeito. Esses módulos devem ser ligados a um inversor para a conexão à rede elétrica e, posteriormente, a utilização da energia gerada em residências (cf. MACHADO; MIRANDA, 2015).

No mundo todo, vários países buscam gerar energia de forma sustentável. Nesse cenário, a energia solar fotovoltaica tem tido grande importância para alcançar esse fim (NAKABAYASHI, 2014). Contudo, segundo Machado e Miranda (2015), no Brasil, esse tipo de tecnologia ainda se encontra pouco difundido, devido, principalmente, ao alto custo de instalação. Logo, faz-se necessário promover conhecimentos a respeito dessa tecnologia, bem como incentivar a sua utilização no país.

Seguindo esse intento, vários autores têm pesquisado e encontrado maneiras eficientes de difundir os benefícios da energia fotovoltaica. Entre eles, cita-se Rosa, Gasparin e Moehlecke (2015) e Boitagro et al. (2016), os quais desenvolveram estudos que comprovaram a viabilidade financeira da utilização de um sistema desse tipo. Gomes (2017), Oliveira (2019) e Castro, Souza e Santos (2019), por seu turno, encontraram, na comunidade acadêmica, formas didáticas de propagarem essa energia renovável.

Ante ao exposto, esta pesquisa alinha-se, em certa medida, às pesquisas anteriormente citadas, uma vez que objetiva, com este trabalho, utilizando a energia proveniente do sol para a conversão direta de sua irradiação em energia elétrica, projetar e simular a instalação de um sistema fotovoltaico didático, no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), unidade Araxá, para levantamento de dados técnicos e econômicos e para avaliação da viabilidade por simulação da geração elétrica *on-grid*, a partir da energia fotovoltaica, em conformidade com a legislação vigente. Logo, surge o questionamento de pesquisa que embasa este trabalho, qual seja: é possível projetar um sistema fotovoltaico didático para geração de energia elétrica *on-grid* que seja viável e em conformidade com a

legislação? Ante a esse questionamento, aventa-se a hipótese de que é possível implementar esse sistema. Para tanto, delinea-se os seguintes objetivos específicos:

- Compreender os componentes básicos de um sistema fotovoltaico (gerador fotovoltaico, inversor de frequência e proteções);
- Desenvolver o projeto de instalação de um sistema fotovoltaico didático no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, unidade Araxá;
- Simular a implementação desse sistema fotovoltaico via *software* PVsyst;
- Levantar as normas vigentes para a implementação desse sistema.

Esta pesquisa se justifica na medida em que pode auxiliar os futuros profissionais da área de Engenharia de Automação Industrial na promoção de conhecimentos a respeito dessa tecnologia, uma vez que, com o sistema proposto na instituição de ensino, os alunos poderão entender na prática como ele funciona. Além disso, busca-se contribuir com literatura da área, levantando dados técnicos e econômicos, e avaliando a viabilidade da geração elétrica *on-grid*, a partir da energia fotovoltaica, em conformidade com a legislação vigente.

Metodologicamente, com o objetivo de desenvolver o projeto de instalação proposto, de forma coerente com os objetivos desta pesquisa, algumas etapas foram cumpridas, quais sejam: (i) projetar o sistema por meio do dimensionamento dos componentes; (ii) simular no programa PVsyst; (iii) descrever a documentação necessária para conexão à rede e elaborar os diagramas elétricos do sistema.

A fim de realizar a investigação aqui apresentada, este trabalho está estruturado em três capítulos, além desta introdução e das considerações finais. No segundo capítulo, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos implicados na proposta de pesquisa. No terceiro capítulo, detalha-se a metodologia utilizada na projeção do sistema fotovoltaico didático. No quarto capítulo, demonstra-se como fazer o projeto completo de um sistema e apresenta-se os resultados obtidos na simulação, os quais poderão ser considerados, futuramente, na instalação física da microusina do CEFET-MG, Araxá.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

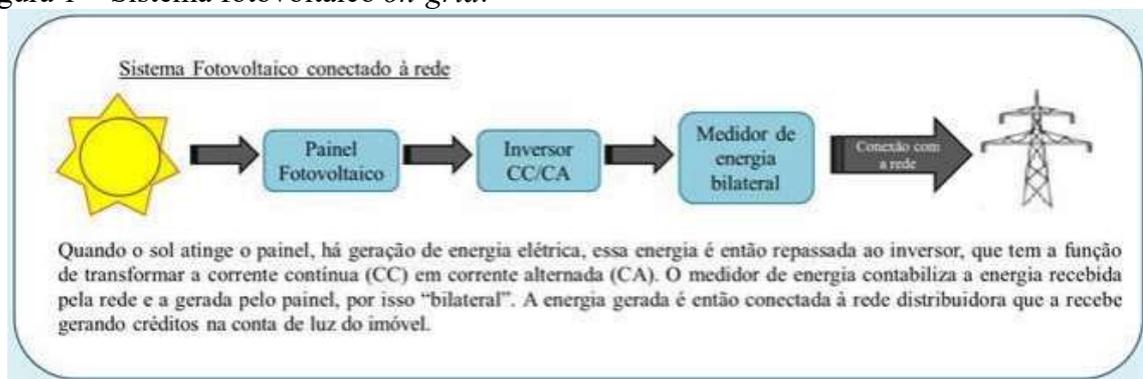
Nesta seção são expostos os principais conceitos e componentes de um sistema fotovoltaico. Na sequência, apresenta-se as normas que são fundamentais para a instalação de uma usina de microgeração. Posteriormente, focaliza-se a realidade brasileira de ensino dos sistemas fotovoltaicos. Por fim, discute-se trabalhos relacionados à pesquisa em tela.

2.1 O efeito fotovoltaico, a geração *on-grid* e seus componentes

A utilização da luz solar para geração de energia se torna factível por meio do efeito fotovoltaico. Esse, conforme definido por Nakabayashi (2014), compreende o aproveitamento da radiação emitida pelo sol, sendo possível gerar energia por meio da dopagem de um material semicondutor e, então, produzir um fluxo de elétrons ao expô-lo ao sol. Essa geração de energia elétrica, segundo o autor, pode ser aplicada ao uso domiciliar e, até mesmo, quando se trata de sistema conectado à rede elétrica (*on-grid*), pode gerar créditos na concessionária, os quais poderão ser utilizados posteriormente pelo dono da residência.

O sistema de geração *on-grid*, modelo projetado neste trabalho, é composto pelos seguintes componentes: (i) módulo fotovoltaico, no qual ocorre o efeito fotovoltaico; (ii) inversor CC/CA, que transforma a corrente contínua gerada em corrente alternada; e (iii) medidor de energia bilateral, necessário para a estimativa da quantidade de energia recebida pela rede e da quantidade de energia gerada pelo sistema (MACHADO; MIRANDA, 2015). É possível analisar o esquema desse tipo de geração na Figura 1.

Figura 1 – Sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: Adaptado de Machado e Miranda (2015).

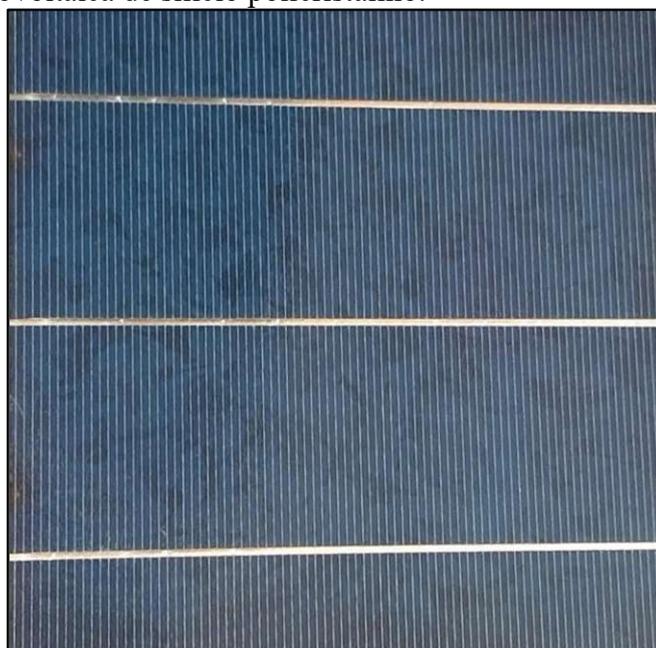
Os módulos fotovoltaicos são construídos por meio da junção, normalmente em série, de várias células fotovoltaicas (cf. VILLALVA, 2015). Essas células são os dispositivos nos

quais ocorrem o efeito fotovoltaico. Segundo o levantamento de Machado e Miranda (2015), existem três tipos delas no mercado, quais sejam: as células de primeira geração; as células de segunda geração e as células de terceira geração.

Sobre as células de primeira geração, os autores explicam que essas são compostas por silício cristalino e se subdividem em silício monocristalino e policristalino (cf. Figura 2). Esse tipo de célula é o mais utilizado e comercializado, devido à sua eficiência na conversão fotovoltaica. Por sua vez, as células de segunda geração, de silício amorfo, apresentam a vantagem, em relação às de primeira geração, de serem mais baratas, porém sua eficiência energética é muito menor. Por fim, as células de terceira geração, conforme definido pelos autores, têm como objetivo unir as vantagens das células anteriores, propiciando boa eficiência e baixo custo, mas, por se tratar de uma nova tecnologia, ainda está na fase de pesquisa.

Ante ao exposto, as células de primeira geração correspondem melhor às condições de pesquisas no país, porque são, dentre aquelas disponíveis no mercado brasileiro, as que apresentam melhor desempenho. Ademais, ao se comparar as células de silício policristalino com as de silício monocristalino, as primeiras apresentam a vantagem de possuir um custo menor.

Figura 2 – Célula fotovoltaica de silício policristalino.



Fonte: Capturada pela autora (2019).

O módulo formado pelo agrupamento dessas células, seja de qual for o tipo, necessita ser posicionado corretamente no momento de sua montagem. Sobre isso, Villalva (2015) destaca que esse posicionamento deve ser orientado com a face voltada para o norte geográfico,

a fim de receber maior incidência solar. Além disso, também deve ser levado em consideração, no momento da montagem, o ângulo para a instalação, de acordo com a latitude geográfica do local. Villalva (2015) explica que, dessa forma, o painel terá melhor aproveitamento da radiação durante as diferentes estações do ano.

Outro dispositivo importante no sistema fotovoltaico é o inversor de frequência, representado na Figura 3. Por meio dele, a corrente recebida pelo módulo passa a ter o mesmo formato senoidal da tensão da rede elétrica. Segundo Villalva (2015), o inversor de frequência é necessário para estabelecer a sincronia entre a saída do inversor e a entrada da rede elétrica. Além disso, conforme o autor, por meio do inversor, é possível potencializar a produção de energia, fazendo os módulos operarem no seu ponto de máxima potência, a partir do sistema MPPT (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência) presente no equipamento. Outro recurso importante, explica o pesquisador, é a detecção de ilhamento e de reconexão automática, as quais mantêm a segurança quando há ausência e em seguida retorno da alimentação da rede elétrica.

Figura 3 – Inversor Fotovoltaico de 1200W.



Fonte: SMA SOLAR TECHNOLOGY (s/d).

Segundo determina as normas NBR 5410 e NBR 16690, os sistemas devem contar com dispositivos de proteção, para garantir a segurança da instalação, das pessoas, dos animais e dos bens. As características básicas de uma *string box*, a qual é disposta antes da entrada do inversor agrupando todos os dispositivos, são: proteção contra choques elétricos, efeitos térmicos, incêndios, sobrecorrentes e sobretensões, além de contar com o seccionamento para interrupção do sistema, quando se fizer necessário.

O medidor de energia bilateral é um dispositivo opcional que, segundo Villalva (2015), tem a finalidade de monitorar a quantidade de energia produzida. Esse dispositivo se faz

imprescindível em sistemas em que a geração é maior do que o consumo, pois, dessa forma, é possível contabilizar os créditos do consumidor.

Por fim, os dados gerados por meio do sistema podem ser coletados e armazenados a partir de um sistema de aquisição e armazenamento de dados, a fim de monitorar e de analisar a geração do sistema. Segundo Pinho e Galdino (2014), dados como tensão, corrente, potência ativa e energia ativa podem ser coletados manualmente ou, até mesmo, de forma remota e enviados a computadores e celulares para detecção e solução de situações indesejadas de forma rápida.

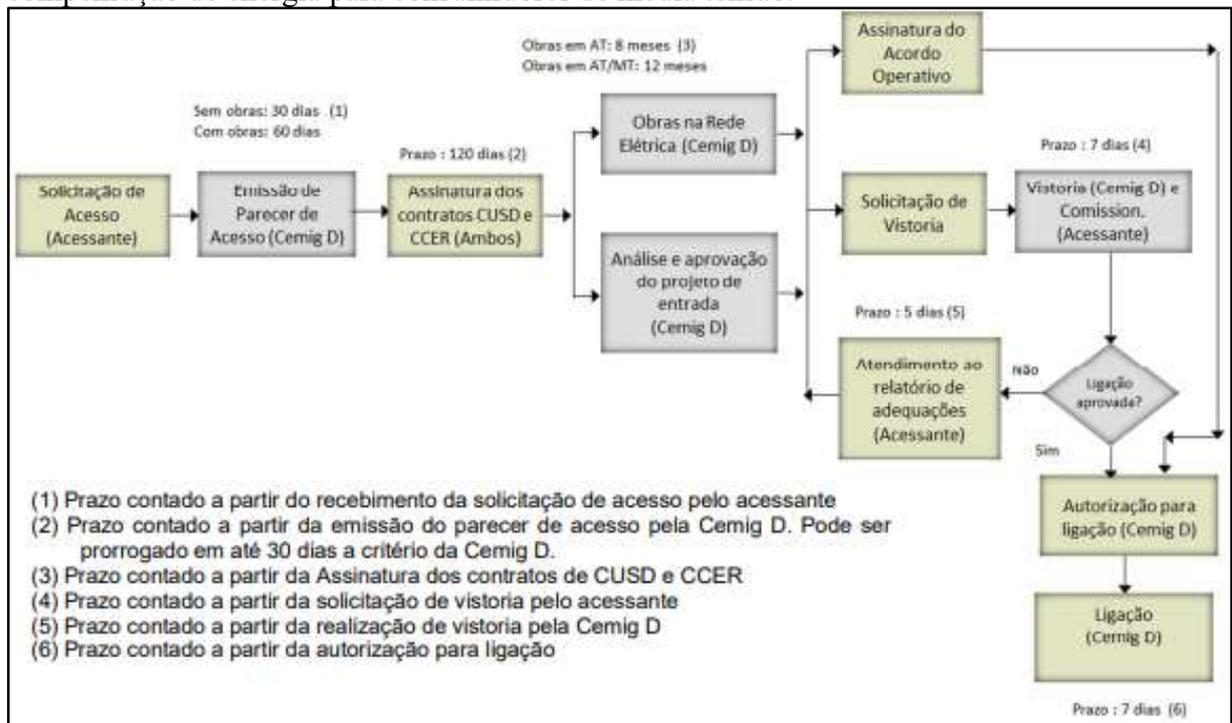
2.2 Normas vigentes para a implementação de sistemas fotovoltaicos

Em 17 de abril de 2012, por meio da Resolução Normativa nº 482, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como o sistema de compensação de energia elétrica. Por meio dessa Resolução, esse órgão regulamenta e autoriza que os consumidores gerem sua própria energia, a partir de fontes renováveis, por meio da microgeração e da minigeração. Segundo a ANEEL, a microgeração inclui sistemas com potências de até 75 kW, já a minigeração compreende os sistemas que possuem potências superiores a 75 kW e abaixo de 5 MW.

Segundo a ANEEL, a primeira etapa necessária para a instalação de sistema de microgeração ou minigeração distribuída é a consulta de acesso com a provedora de energia elétrica mais próxima. Para isso, o acessante envia um formulário, específico para cada provedora, com informações obrigatórias, tais como: ramo de atividade, coordenadas georreferenciadas, potência instalada e gerada, número de máquinas e potência de cada uma delas, entre outras. Essa etapa, no entanto, não é obrigatória para sistemas de compensação, caso em que o usuário gera energia para abater em seu consumo. No caso específico deste trabalho, as consultas de acesso devem ser respondidas pela Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (CEMIG) em até sessenta dias. A resposta da provedora sobre a viabilidade de instalação é enviada ao acessante com o documento “Informação de Acesso”, no qual contém alternativas para conexão da central geradora, entre outras informações de responsabilidade da acessada.

As próximas etapas são obrigatórias para aqueles que tentam instalar um sistema de compensação, as quais estão representadas na Figura 4.

Figura 4 – Etapas para permissão do acesso de microgeradores aderentes ao sistema de compensação de energia para consumidores de média tensão.



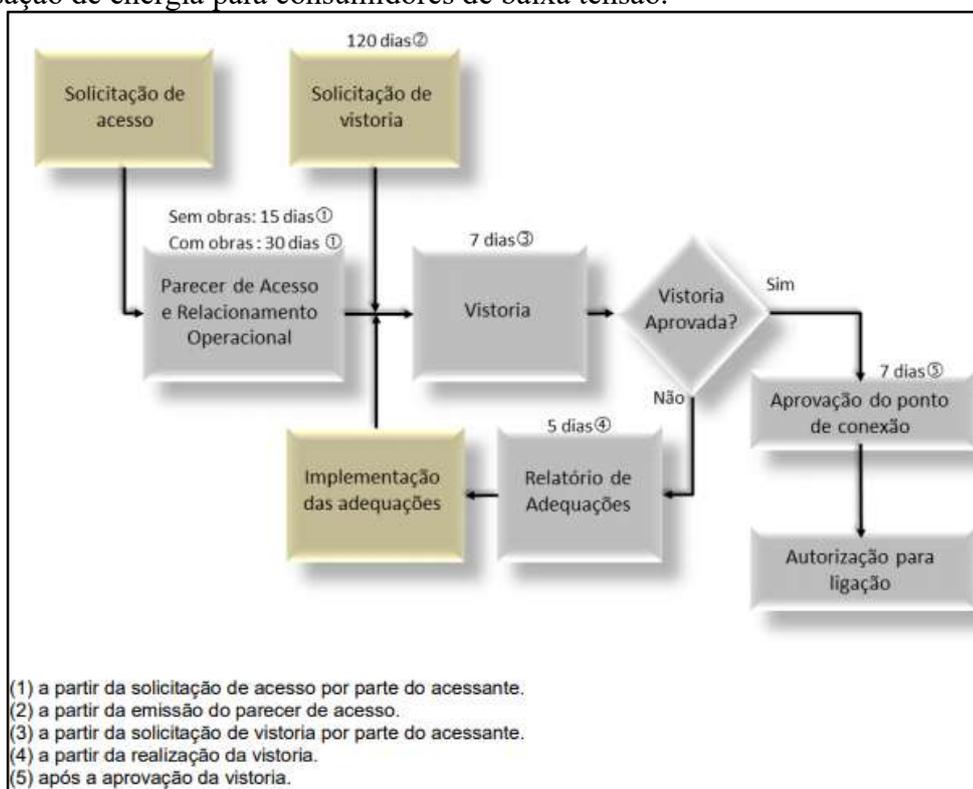
Fonte: CEMIG (s/d).

A central geradora deve solicitar o acesso à provedora de energia elétrica enviando o documento “Solicitação de Acesso”. Esse documento de solicitação formal de acesso deve conter, principalmente, o projeto elétrico de instalações, o memorial descritivo, o diagrama unifilar básico, a ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) e o certificado de conformidade dos inversores. A concessionária envia a resposta ao solicitante através do “Parecer de Acesso”: no prazo de 30 dias, quando não houver necessidade de obras; e de 60 dias, se houver a exigência de obras ou melhorias. Nesse documento, é descrita a relação de obras e serviços necessários e os custos e responsabilidades do acessante. Feito isso, para formalizar a intenção de acesso à rede, devem ser assinados os contratos de uso do sistema de distribuição e de compra de energia regulada em até 120 dias.

Salienta-se, ainda, que as obras de conexão de uso restrito e as instalações do ponto de conexão são de responsabilidade do acessante e só podem ser iniciadas após a autorização da provedora de energia elétrica. Além disso, essas obras devem ser realizadas por empreiteiras credenciadas à provedora, dado que devem seguir os padrões previstos nos documentos citados acima. Se houver necessidade de reforma ou de reforço no sistema de distribuição, cabe à provedora realizar essas melhorias. Após a efetivação das obras, é feita uma vistoria na execução dessas e são realizados testes por parte da concessionária. Se tudo estiver em conformidade, é concedida a autorização para ligação do sistema.

Nos casos de consumidores de baixa tensão, tem-se algumas alterações nas etapas e prazos, conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Etapas para permissão do acesso de microgeradores aderentes ao sistema de compensação de energia para consumidores de baixa tensão.



Fonte: CEMIG (s/d).

2.3 Sistemas fotovoltaicos e a realidade brasileira – uma questão de educação

A energia fotovoltaica tem crescido significativamente no Brasil. Segundo a ANEEL, do ano de 2018 para o ano de 2019, o número de novas mini e microusinas instaladas, cresceu de 35.336 para 76.799, ou seja, houve um aumento de aproximadamente 117%. Ressalta-se que a energia gerada por usinas fotovoltaicas é consumida, em sua maior parte, em residências (73%), em seguida por comércios (17,8%), depois em zonas rurais (6,8%) e o restante em indústrias, iluminação pública e serviço público.

Um bom exemplo de aplicação do sistema fotovoltaico no comércio foi apresentado na pesquisa de Rosa, Gasparin e Moehlecke (2015), na qual esses pesquisadores desenvolvem um estudo econômico da implementação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para um estabelecimento comercial. O sistema analisado foi composto por vinte módulos fotovoltaicos de 250 W, por se tratar de um local com um alto consumo, e um inversor de 5 kW. A instalação do módulo se deu em um ângulo de 30° e foi conectado à rede elétrica de 220 V. A partir da

análise feita pelos autores, pode-se verificar que, em aproximadamente 4 anos, todo o investimento realizado pelo proprietário do comércio seria recuperado. Em vista desse estudo, o presente trabalho baseia-se, também, na utilização de sistemas fotovoltaicos *on-grid*, haja vista todos os benefícios econômicos, sociais e ambientais salientados por Rosa, Gasparin e Moehlecke (2015).

Boitrigo et al. (2016), por sua vez, demonstraram a aplicação desses sistemas em zonas rurais. Os autores realizaram um estudo sobre a viabilidade econômica de captação de água através da geração fotovoltaica. Foi utilizado um sistema isolado (*off-grid*), que se diferencia do sistema *on-grid* por não ser ligado à rede elétrica, e sim às baterias, pois, na região em que a pesquisa ocorreu, a região rural de São Romão-MG, não existia distribuição convencional de energia. Por meio dos cálculos dos autores, fez-se necessária a utilização de dois módulos de 245 W e um inversor de corrente de 24 V para 110 V. Assim como o trabalho de Rosa, Gasparin e Moehlecke (2015), o estudo desses pesquisadores também demonstra que os sistemas fotovoltaicos são economicamente viáveis, por não terem um custo elevado, por terem uma vida útil de aproximadamente 20 anos e por propiciarem menos danos ao meio ambiente.

Outrossim, comparando os sistemas fotovoltaicos com as hidroelétricas, principal matriz elétrica do país com 60,8% do potencial energético, a geração de eletricidade através da radiação solar representa apenas 1,3% da produção total no Brasil. Por ser uma nova tecnologia, ainda em progresso e que reduz os impactos ambientais, é preciso maior divulgação e conscientização da população sobre seus benefícios. Uma boa forma de promover essa ideia e incentivar a utilização desses sistemas é por meio da disponibilidade de recursos para aprendizagem no meio acadêmico. Portanto, a projeção de instalação desse sistema em instituições de ensino pode contribuir para a expansão desse meio de geração de energia, dado que torna possível o primeiro contato dos alunos com a tecnologia especificada.

2.4 Trabalhos relacionados

Trabalhos recentes na literatura, tais como Gomes (2017), Oliveira (2019) e Castro, Souza e Santos (2019), apresentam propostas similares a deste trabalho e revelaram bons resultados no uso de sistema fotovoltaico para fins didáticos, bem como na economia de recursos naturais. Por isso, expõe-se, na sequência, resumidamente, os trabalhos mencionados, de modo a dar a ver a atualidade do tema, bem como as vantagens de sua aplicabilidade em contexto escolar.

Gomes (2017), em sua pesquisa, implementou um sistema de microgeração na Universidade Federal do Rio de Janeiro, a fim de estudar a viabilidade técnica e econômica do sistema, além de contemplar a dimensão didática, ao preparar material para a capacitação dos alunos acerca da energia fotovoltaica. O sistema fotovoltaico instalado por Gomes (2017) foi de 12 kWp, formado por 48 módulos fotovoltaicos, e um inversor de 5,4 kW. A autora apresentou a descrição da modelagem efetuada, bem como o estudo da viabilidade de instalação de um sistema desse tipo. Além disso, através dos cálculos realizados pela pesquisadora, foi possível comprovar a viabilidade econômica do projeto, ao obter uma economia de 4,4% na conta de energia anual da instituição. Essa pesquisa contribui didática e pedagogicamente com outras pesquisas na instituição na qual foi aplicada e fora dela, dado que permite a outros pesquisadores da instituição conhecer e aplicar estudos sobre esse tipo de geração de energia, assim como permite a pesquisadores externos analisar sua aplicabilidade em contextos distintos, tal como o do CEFET-MG, unidade Araxá.

Na mesma esteira, Oliveira (2019) propôs a criação de uma bancada didática para estudo da energia fotovoltaica e divulgação dessa tecnologia em uma instituição de ensino. Para tanto, o autor instalou um sistema de microgeração *off-grid* no laboratório de Automação Predial da Universidade Federal de Ouro Preto. Na implementação desse sistema, os principais componentes utilizados foram: quatro painéis fotovoltaicos de 270 W, um inversor para alimentação de cargas resistivas e uma caixa com elementos de proteção, como fusíveis e dispositivo para proteção contra surtos. A energia gerada foi aplicada à iluminação do laboratório. Os demais alunos da instituição, por meio de instrumentos instalados nas bancadas, podem ser instruídos sobre o sistema de geração isolado, cumprindo o objetivo didático da proposta.

Por fim, Castro, Souza e Santos (2019) elaboraram uma maquete feita com material reciclável e alimentada por energia fotovoltaica, com o propósito de difundir essa fonte renovável de energia nas escolas e nas universidades. O protótipo contou com 5 lâmpadas Led e 2 tomadas, ferramentas utilizadas para simulação dos equipamentos residenciais em funcionamento. O sistema fotovoltaico foi construído com um módulo, controlador e inversor, sendo interligado à bateria. O trabalho foi utilizado em aulas de Física do ensino médio e em projetos da Universidade do Estado do Amazonas, despertando, assim, o interesse da comunidade pelo assunto.

O trabalho de Gomes (2017) foi composto por muito mais módulos fotovoltaicos do que o que futuramente será instalado no CEFET, tendo uma geração consideravelmente maior. Já o de Oliveira (2019), contou com quantidade de módulos e produção aproximada à proposta de

simulação deste trabalho. O de Castro, Souza e Santos (2019) se diferenciou por ter apenas um módulo e por ser geração *off-grid*. O que todas essas pesquisas têm em comum com o presente estudo é que todas têm o intuito didático e caráter de propagar e aprofundar os conhecimentos nessa área.

3 METODOLOGIA

Ante ao delineamento de pesquisa apresentado, neste momento, discorre-se detalhadamente sobre a metodologia utilizada para desenvolver o projeto de instalação de sistema fotovoltaico didático, na instituição de ensino Centro Federal de Educação Tecnológica, CEFET-MG, unidade Araxá, e simular a implementação desse sistema fotovoltaico via *software* PVsyst, de modo a, por meio dessa simulação, obter dados técnicos e econômicos, assim como avaliar a viabilidade na geração elétrica *on-grid*, levando em consideração a legislação vigente. Dito isso, subdividiu-se essa proposta de estudo em quatro etapas, a saber:

Na primeira etapa, demonstrou-se como dimensionar os componentes do sistema e verificou-se a geração para o sistema proposto. Salienta-se que a potência a ser instalada foi limitada à quantidade gerada através de cinco placas fotovoltaicas de 245 W, pois foram utilizados os módulos recebidos por meio de uma doação para o CEFET-MG. Portanto, a capacidade de geração não atenderá ao consumo total da instituição, e sim a apenas uma parcela. Foram empregados os seguintes materiais para o projeto:

- 5 módulos fotovoltaicos de silício policristalino Yingli Solar de 245W cada;
- 1 inversor CC-CA Sunny Boy 1200;
- Conjunto de proteção;
- Cabos diversos;
- Suporte para fixação do tipo telhado americano.

Ainda assim, por se tratar de um projeto com intuito didático, a produção é suficiente para atender todas as necessidades pedagógicas da instituição, tanto na formação de engenheiros, quanto na formação de técnicos em eletrônica.

Na segunda etapa, apresentou-se como definir o arranjo dos módulos e quais as regras que devem ser respeitadas na montagem série e paralelo. Para o presente projeto, definiu-se a ligação em série dos 5 módulos como a mais efetiva.

Na terceira etapa, simulou-se a geração de energia no *software* PVsyst, por ser um *software* intuitivo, fácil de entender e que gera resultados bem próximos à realidade. Foi escolhido o melhor local, dentro do CEFET-MG, unidade Araxá, para a simulação de instalação do sistema. A partir desse programa, foi possível visualizar a irradiação solar em cada área, simular a posição correta de montagem, levando em consideração a perda por sombreamento, a potência instalada e a energia que gerada. Com todos os dados de simulação obtidos, definiu-se que o melhor local de instalação futura do sistema é ao lado do prédio da Mineração, dado

que nesse espaço não se tem sombreamento e, então, é possível obter um melhor aproveitamento da radiação solar.

Por fim, na quarta etapa, descreveu-se a documentação necessária para solicitação de ligação do sistema a rede. Essa documentação é de suma importância, pois é a partir dela que a concessionária libera a instalação do sistema. Além de listar todas as informações imprescindíveis dos documentos, deu-se destaque para os diagramas elétricos, que também são utilizados no momento da montagem.

4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresenta-se de que modo: (i) o sistema fotovoltaico foi dimensionado para ser futuramente instalado no CEFET-MG, unidade Araxá; (ii) o arranjo dos módulos foi projetado; (iii) as simulações e os dados foram obtidos por meio do sistema PVsyst; e (iv) a solicitação de ligação do sistema à rede pode ser feita.

4.1 Dimensionando o sistema fotovoltaico

Para dimensionar um sistema fotovoltaico, primeiramente deve ser feita a análise da conta de energia do consumidor. Nos casos de consumidores do grupo B (baixa tensão), entre os quais se encontram os consumidores residenciais, a análise é mais simples. É necessário tirar a média de consumo mensal diretamente da conta, conforme Figura 6, e aplicar na fórmula abaixo descrita.

Figura 6 – Conta de energia de um consumidor do grupo B.

Nº de Instalação		Subclasse	Classif.		
5		RESIDENCIAL	Residencial		
CS			Residência		
CENTRO			Residência		
ARAXÁ - MG			Residência		
CEP: 38103-184			Residência		
Data de Leitura		Modalidade Tarifária			
Anterior	Atual	Tarifa Convencional			
15/07	12/08	146,00			
MÊNHOR Nº		Informações Técnicas			
15/07	12/08	146,00			
Tipo de Medição		Leitura Anterior	Leitura Atual	Constante de Medição	Consumo kWh
Energia Elétrica		11911	12061	1	150
VALORES FATURADOS					
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)		
Energia Elétrica kWh	150	0,95937077	143,88		
ENCARGOS/COBRANÇAS					
Descrição			Valor R\$		
Contrib.Custeio Ilum. Pública			17,72		
TARIFAS APLICADAS(Sem Impostos)					
Energia Elétrica kWh	0,84463000				
Pág. 1 de 1					
RESERVADO AO FISCO A5A7.AEED.5A43.CB92.A275.EA7D.1546.0842					
REFERENTE A	VENCIMENTO	VALOR A PAGAR			
AGO/2020	08/09/2020	R\$ 161,60			
Base de Cálculo (R\$)		Alíquota%	Valor (R\$)		
ICMS	143,88	30,00	R\$ 43,16		
PASEP	100,72	0,71	R\$ 0,71		
COFINS	100,72	3,30	R\$ 3,32		
Histórico de Consumo		RELAZIO DE CONTAS VENCIDAS / DÉBITOS ANTERIORES			
Mes/Ano	Consumo kWh	Média kWh/mês	Dias de Faturam.		
JUL/2020	131	4,67	28		
JUN/2020	128	4,26	30		
MAR/2020	147	4,74	31		
ABR/2020	155	5,16	30		
MAR/2020	147	4,45	33		
FEV/2020	163	5,62	29		
JAN/2020	172	5,54	31		
DEZ/2019	137	4,69	28		
NOV/2019	156	4,77	33		
OUT/2019	94	3,24	29		
SET/2019	162	5,06	32		
AGO/2019	176	4,08	31		

Fonte: Capturada pela autora (2020).

Em vista do consumo mensal do consumidor residencial, aplica-se a fórmula:

$$\text{Potência do Gerador} = \frac{\text{média do consumo} \times 12}{\text{fator de perda} \times \text{radiação solar anual}}$$

O fator de perda normalmente utilizado é 0,75, pois, dessa forma, considera-se as perdas por sujeira, por sombreamento e todas as outras possíveis. Já a radiação solar anual pode ser encontrada no site do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), através das coordenadas geográficas da localidade em que se encontra a residência do consumidor. Os procedimentos para localizar essa radiação são demonstrados nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 –Busca da radiação solar no site CRESESB.

a finalidade de auxiliar o dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM e foi adaptado, no ano seguinte, para consulta via web. A primeira e a segunda versão do SunData utilizaram dados do *Valores Médios de Irradiación Solar Sobre Suelo Horizontal* do Centro de Estudos de la Energía Solar (CENSOLAR, 1993) contendo valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. Após a publicação da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017, o CreseSB obteve autorização para utilizá-lo na atualização da base de dados do SunData. Produzido a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite e com informações de mais de 72.000 pontos em todo o território brasileiro, o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição é o que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil. Vale lembrar que as informações apresentadas são indicativas e possuem as limitações dos modelos utilizados. Para avaliações mais precisas recomenda-se a medição da irradiação no local de interesse.

- Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)
- Busca por Coordenadas
- Cálculo da Irradiação no plano Inclinado
- Apresentação dos Dados
- Sobre o Sundata

Coordenada Geográfica

Latitude: Longitude:

Norte:

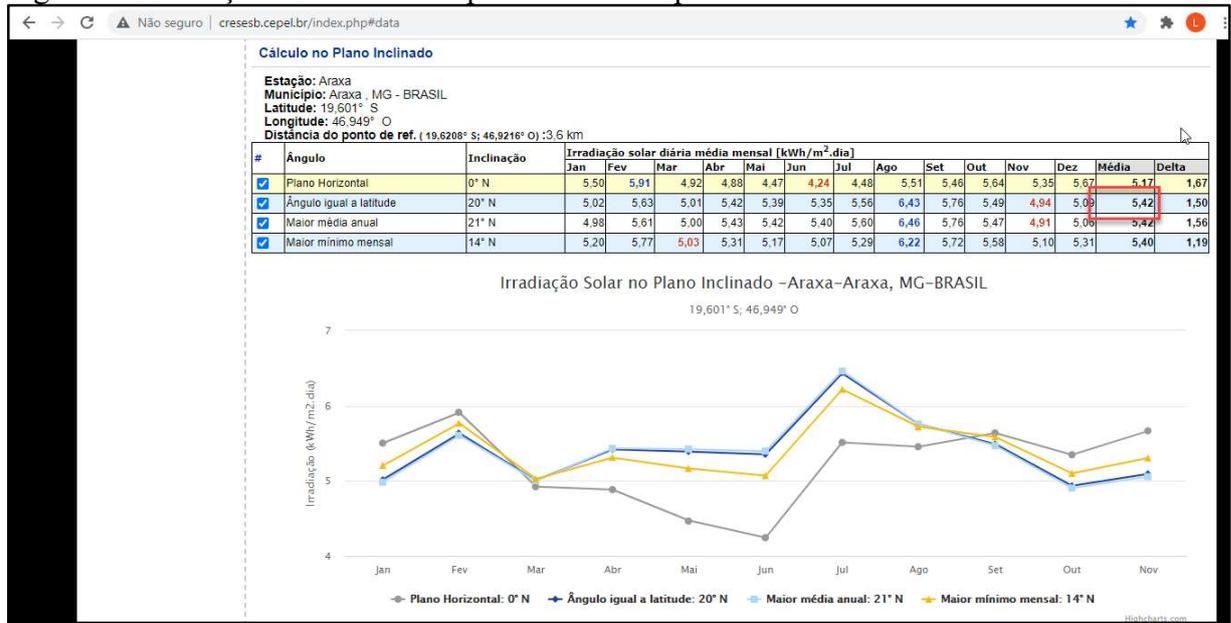
graus decimais (00.00°)

graus, minutos e segundos (00°00'00")

Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

Fonte: CRESESB (2020).

Figura 8 – Radiação solar diária no plano inclinado para Araxá-MG.

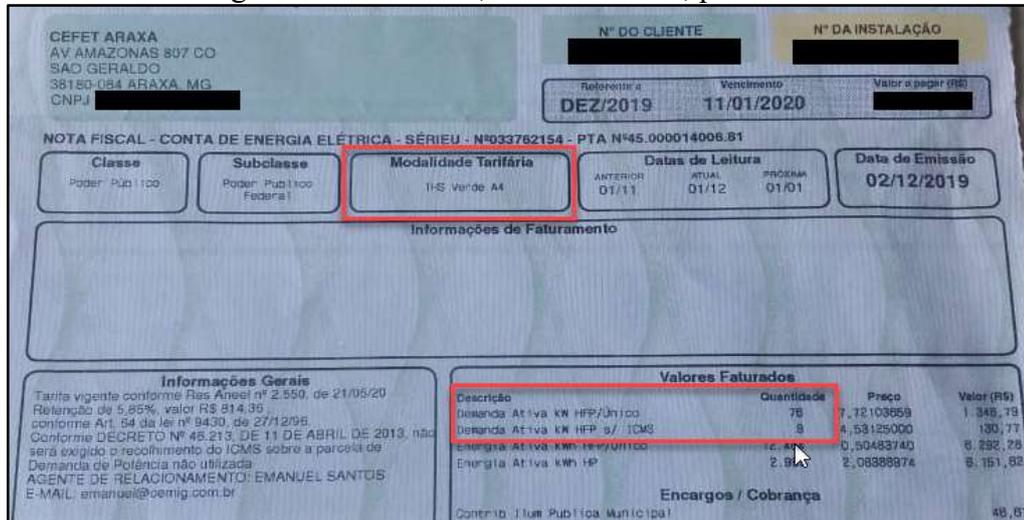


Fonte: CRESESB (2020).

Com esses dados em mãos, divide-se o valor encontrado para a potência do gerador pela potência nominal dos módulos fotovoltaicos e, então, tem-se o número de placas necessárias para a instalação do sistema fotovoltaico. Salienta-se, ainda, que o inversor a ser escolhido para o sistema deve ser compatível, podendo ter potência 20% menor do que a potência do gerador. Por exemplo, em um sistema de 3.1 kWp pode-se utilizar um inversor de 2.5 kW.

Já para os consumidores do grupo A (média e alta tensão), como é o caso do CEFET-MG, unidade Araxá, o dimensionamento é um pouco mais complexo. O primeiro passo também é a análise da conta de energia do consumidor (cf. Figuras 9 e 10), atentando-se para: (i) modalidade tarifária, (ii) demanda ativa e (iii) média do consumo ponta e fora ponta.

Figura 9 – Conta de energia do CEFET-MG, unidade Araxá, parte 1.



Fonte: Capturada pela autora (2020).

Figura 10 – Conta de energia do CEFET-MG, unidade Araxá, parte 2.

Mês/Ano	DEMANDA (kW)		ENERGIA (kWh)		HR
	HP	HFP	HP	HFP	
DEZ/19	76	88	2.952	12.484	0
NOV/19	88	78	3.118	12.028	0
OUT/19	80	73	3.280	13.590	0
SET/19	75	64	2.870	11.582	0
AGO/19	71	50	2.050	8.446	0
JUL/19	72	64	2.706	11.152	0
JUN/19	82	71	3.526	13.202	0
MAI/19	88	78	3.280	13.120	0
ABR/19	83	78	2.870	12.054	0
MAR/19	73	66	2.132	10.004	0
FEV/19	24	18	492	4.756	0
JAN/19	54	44	1.312	7.298	0

Reservado ao Fisco			
92BC.9300.132C.488D.FA2D.17AE.BBF9.32D7			
	Base de cálculo(R\$)	Alíquota(%)	Valor(R\$)
ICMS	13.790,88	18,00	2.482,32
PASEP	11.439,14	0,71	81,20
COFINS	11.439,14	3,28	375,33

Ouvidoria CEMIG: 0800 728 3838 - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares.

Fonte: Capturada pela autora (2020).

Além desses dados, destacados nas Figuras 9 e 10, precisa-se da tarifa TE ponta e da tarifa TE fora ponta. Esses valores podem ser encontrados em algumas contas de energia, porém nas contas da Companhia Energética de Minas Gerais S.A. (CEMIG) essa informação não é apresentada. Com isso ocorre, a alternativa para saber os valores dessas tarifas é buscar diretamente no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para isso, deve-se selecionar a concessionária desejada e abrir o PDF destacado.

Figura 11 – Site da ANEEL utilizado para busca das tarifas TE.

aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao

Calendário e Resultado dos Processos Tarifários de Distribuição

por: SGT - publicado: 02/03/2016 13:38, última modificação: 01/11/2017 17:40

Os processos tarifários de Reajuste e Revisão ocorrem em datas definidas nos contratos de concessão ou permissão. As planilhas abaixo mostram as datas de cada distribuidora:

- Concessionárias e Permissionária de distribuição:**

Cada processo tarifário é aprovado em reunião de diretoria pública da ANEEL e só então as tarifas são publicadas por meio de Resolução Homologatória.

Consulte abaixo as memórias de cálculo dos processos tarifários homologados a partir de 2013.

* A partir de novembro de 2017, o arquivo [TA Internet.xlsx](#) foi incorporado no arquivo [PCAT.xlsx](#), nas abas TA-Aplicação, TA-BE, TA-CVA.

Categoria do Agente: Agente: Tipo de Processo: Ano:

Resultado						
Agente	Categoria do Agente	Tipo de Processo	Data de Aniversário	Status Resultado	Nível TarifárioEstrutura TarifáriaAtos Regulatórios	
CEMIG-D	Concessionária de Distribuição	Reajuste	28/05/2020	Definitivo		

Fonte: ANEEL (2020).

Figura 12 – Tarifas encontradas.

SUBGRUPO	MODALIDADE	ACESSANTE	POSTO	TARIFAS DE APLICAÇÃO			BASE ECONÔMICA		
				TUSD	TE	TE	TUSD	TE	TE
A4 (2,3 a 2,9kV)	GERAÇÃO	NA	NA	9,11	0,00	0,00	9,11	0,00	0,00
	AZUL	NA	P	46,86	94,91	437,83	45,87	86,87	396,87
	AZUL APE	NA	FP	15,32	94,91	260,51	14,81	86,87	242,42
			NA	46,86	28,49	0,00	45,87	25,27	0,00
A5	GERAÇÃO	NA	NA	9,11	0,00	0,00	9,11	0,00	0,00
	AZUL	NA	P	74,59	134,98	437,83	73,52	122,34	396,87
	AZUL APE	NA	FP	15,69	134,98	260,51	14,90	122,34	242,42
	VERDE	NA	P	74,59	61,20	0,00	73,52	54,06	0,00
			NA	15,69	61,20	0,00	14,90	54,06	0,00
			FP	0,00	1.946,43	437,83	0,00	1.907,94	396,87
			NA	0,00	134,98	260,51	0,00	132,34	242,42

Fonte: ANEEL (2020).

Dessa forma, foi encontrado o valor de TE ponta igual a 437.83 e TE fora ponta igual a 260.51. Obtidos esses valores, deve-se utilizá-los nas fórmulas abaixo (KIKUMOTO, 2019), para considerar a compensação no horário de ponta, obter a produção mensal em kWh para atender o consumo da instituição e obter a potência dos equipamentos para essa quantidade de produção:

$$\text{Fator de Correção} = \frac{TE_{\text{ponta}}}{TE_{\text{foraponta}}}$$

$$\text{Fator de Correção}_{\text{CEFET}} = \frac{0,43783}{0,26051} = 1,68$$

Geração necessária = média consumo fora ponta + (FC × média consumo ponta)

$$\text{Geração necessária}_{\text{CEFET}} = 10851,33 + (1,68 \times 2548,83) = 15133,37 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Potência CC do sistema} = \frac{\text{geração necessária}}{(30 \times \text{radiação solar diária} \times FP)}$$

$$\text{Potência CC}_{\text{CEFET}} = \frac{15133,37}{(30 \times 5,42 \times 0,75)} = 124,1 \text{ kWp}$$

$$Potência\ CA\ do\ sistema = \frac{Potência\ CC}{1,25}$$

$$Potência\ CA_{CEFET} = \frac{124,1}{1,25} = 99.28kW$$

Uma observação muito importante para os consumidores do grupo A é que a potência CA não pode ultrapassar a demanda ativa. Conforme encontrado na conta de energia do CEFET-MG, a demanda contratada atualmente é de 85 kW, menor do que o calculado. Em vista disso, para instalar um sistema de 99.28 kW, será necessário solicitar à concessionária o aumento da demanda para 100 kW.

Com relação ao inversor, haja vista os dados coletados, pode-se utilizar um inversor de 100 kW para atender à necessidade desse sistema. Ademais, como os equipamentos para a instalação futura do sistema já foram estabelecidos, percebe-se, tendo em vista os cálculos efetuados e os equipamentos já adquiridos, que 5 módulos de 245 W não atenderão todo o consumo da instituição. Esses módulos poderão gerar 1.225kWp representando uma parcela de quase 1%. Para atender a demanda total, futuramente, a instituição poderá tentar conseguir novas doações a fim de suprir os 99% restante.

4.2 Escolhendo o arranjo dos módulos

Nos *datasheets* são encontradas todas as características dos componentes do sistema. É muito importante observá-las para se ter compatibilidade. Na Figura 13, é apresentado o *datasheet* dos módulos e, na Figura 14, o *datasheet* do inversor.

Figura 13– Parâmetros elétricos do módulo Yingli Solar 245W.

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)							
Module type			YL250P-29b	YL245P-29b	YL240P-29b	YL235P-29b	YL230P-29b
Power output	P_{max}	W	250	245	240	235	230
Power output tolerances	ΔP_{max}	W			-0/+5		
Module efficiency	η_m	%	15.3	15.0	14.7	14.4	14.1
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	30.4	30.2	29.5	29.5	29.5
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	8.24	8.11	8.14	7.97	7.80
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	38.4	37.8	37.5	37.0	37.0
Short-circuit current	I_{sc}	A	8.79	8.63	8.65	8.54	8.40

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM 1.5g spectrum according to EN 60904-3
Average relative efficiency reduction of 5.0% at 200W/m² according to EN 60904-1

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)							
Power output	P_{max}	W	181.1	177.9	174.3	170.7	167.0
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	27.6	27.2	26.6	26.6	26.6
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	6.56	6.54	6.56	6.42	6.29
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	35.4	34.5	34.2	33.8	33.8
Short-circuit current	I_{sc}	A	7.12	6.99	7.01	6.92	6.81

NOCT: open-circuit operating cell temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1 m/s wind speed

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2				
Temperature coefficient of P_{max}	γ	%/°C	-0.15				
Temperature coefficient of V_{oc}	β_{Voc}	%/°C	-0.33				
Temperature coefficient of I_{sc}	α_{Isc}	%/°C	0.06				

Fonte: YINGLI SOLAR (2012).

Figura 14 – Características do inversor Sunny Boy 1200 SMA.

Technical data	Sunny Boy 1200	Sunny Boy 1700	Sunny Boy 2500
Input (DC)			
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$)	1320 W	1850 W	2700 W
Max. DC voltage	400 V	400 V	600 V
MPP voltage range	100 V - 320 V	147 V - 320 V	224 V - 480 V
DC nominal voltage	120 V	180 V	300 V
Min. DC voltage / start voltage	100 V / 120 V	139 V / 180 V	224 V / 300 V
Max. input current / per string	12.6 A / 12.6 A	12.6 A / 12.6 A	12 A / 12 A
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	1 / 2	1 / 2	1 / 3
Output (AC)			
AC nominal power (@ 230 V, 50 Hz)	1200 W	1550 W	2300 W
Max. AC apparent power	1200 VA	1700 VA	2500 VA
Nominal AC voltage; range	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V	220, 230, 240 V; 180 V - 265 V
AC grid frequency; range	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz	50, 60 Hz; ± 4.5 Hz
Max. output current	6.1 A	8.6 A	12.5 A
Power factor ($\cos \varphi$)	1	1	1
Phase conductors / connection phases	1 / 1	1 / 1	1 / 1

Fonte: SMA SOLAR TECHNOLOGY (s/d).

Para determinar a quantidade de módulos em série a serem instalados, deve-se considerar que a corrente será a mesma em todos os módulos e que a tensão de cada um é somada. Logo, as seguintes regras devem ser respeitadas (HAGGE, 2020):

1- A tensão dos módulos deve ser menor que a tensão máxima de entrada do inversor.

$$Voc_{max} = N^{\circ} \text{ de módulos} \times Voc$$

$$Voc_{max(CEFET)} = 5 \times 37,8 = 189V$$

Conforme verificado no *datasheet*, a tensão máxima de entrada do inversor é 400V, então, essa regra foi obedecida.

2- Como a tensão dos módulos aumenta à medida que a temperatura ambiente cai, deve-se considerar a maior tensão que os módulos podem alcançar.

$$Voc_{max,corrigida} = \{Voc \times [1 + (\beta_{Voc} \times (Temp_{min} - 25))]\} \times n^{\circ} \text{ módulos}$$

$$Voc_{max,corr(CEFET)} = \{37,8 \times [1 + (-0,0033 \times (0 - 25))]\} \times 5 = 204,59V$$

Dessa forma, confirma-se que, na pior temperatura, a tensão dos módulos ainda será menor que a tensão máxima de entrada do inversor.

3- Já com o aumento da temperatura, tem-se uma diminuição na tensão dos módulos. Assim sendo, deve-se verificar se a menor tensão dos módulos será maior que a tensão mínima de entrada no inversor.

$$Voc_{min,corrigida} = \{Vmpp \times [1 + (\beta_{Voc} \times (Temp_{max} - 25))]\} \times n^{\circ} \text{ módulos}$$

$$Voc_{min,corr(CEFET)} = \{30,2 \times [1 + (-0,0033 \times (60 - 25))]\} \times 5 = 133,56V$$

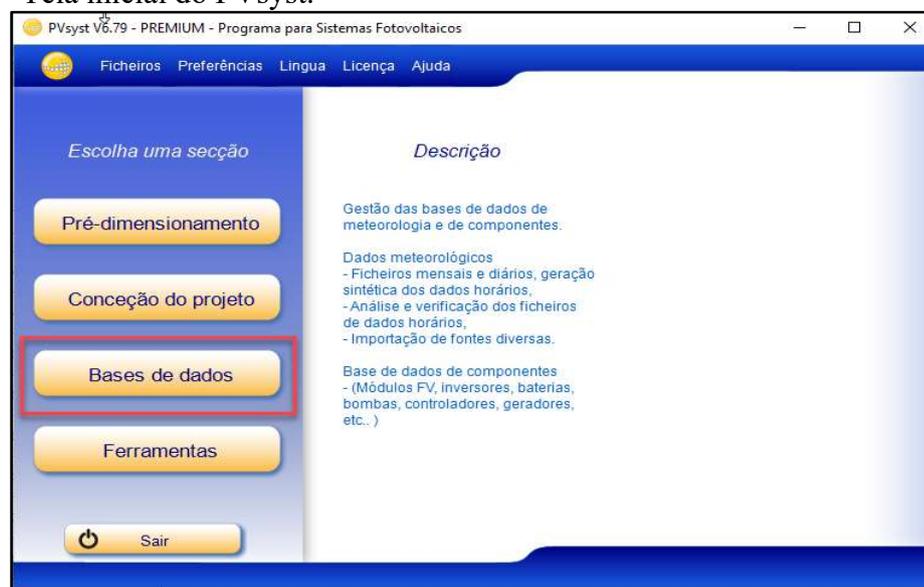
Conforme verificado no *datasheet*, a tensão mínima de entrada do inversor é 100V, então, esse requisito também foi atendido.

Como os três requisitos foram obedecidos, pode-se ligar os 5 módulos em série. Caso algum desses requisitos não sejam atendidos, deve-se colocar *strings* em paralelo ou em diferentes entradas do inversor, de modo a sanar esse problema. Para isso, deve-se observar no *datasheet* se o inversor possui mais de uma entrada, o número de *strings* permitido por entrada e, para ligação em paralelo, se a soma das correntes dos módulos é menor que a corrente máxima na entrada do inversor.

4.3 Projetando no PVsyst

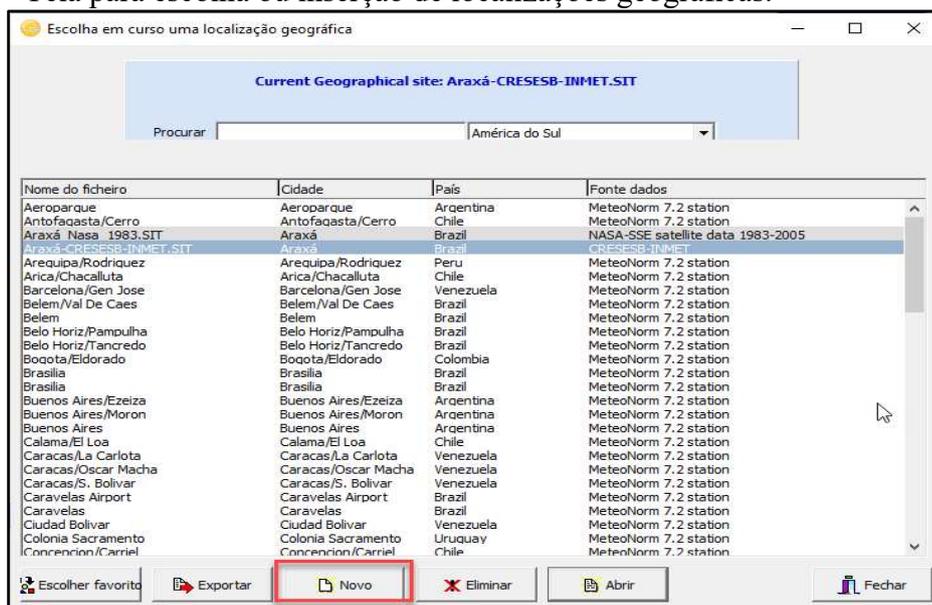
Tendo em vista os dados anteriormente obtidos, iniciou-se a simulação no PVsyst. Antes, é necessário ter as informações meteorológicas da região na qual o sistema será instalado. Como esse *software* é estrangeiro, algumas localidades podem não vir por padrão. Para resolver isso, basta acessar a aba “Bases de dados” e inserir os dados necessários, conforme demonstrado da Figura 15 a Figura 20.

Figura 15 – Tela inicial do PVsyst.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 16 – Tela para escolha ou inserção de localizações geográficas.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 17 – Primeira tela para inclusão dos dados da nova localização.

Geographic site parameters for Araxá-CRESESB-INMET.SIT

Geographical Coordinates | Meteorologia mensal | Mapa interativo

Ver mapa

Local

Localização: Araxá

País: Brazil | Região: América do Sul

Get from coordinates

Coordenadas geográficas

Trajetórias do sol

Latitude: Decimal: -19.6208 [°] Deg. min. sec.: -19 37 14 (+ = Norte, - = Hemisf. Sul)

Longitude: -42.9216 [°] -42 55 17 (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitude: 0 M acima do nível do mar

Fuso horário: -3.0 Correspondente a uma diferença média

Tempo legal - Tempo solar = 0h -7m

Get from name

Importar meteorologia

Meteornorm 7.2

NASA-SSE

PVGIS TMY

NREL / NSRDB TMY

Importar

Tabelas I/O (folha de cálculo)

Importar

Exportar a linha

Exportar a tabela

Nova localização | Imprimir | Fechar

Fonte: PVsyst (2020).

Figura 18 – Segunda tela para inclusão dos dados da nova localização.

Geographic site parameters for Araxá-CRESESB-INMET.SIT

Geographical Coordinates | **Meteorologia mensal** | Mapa interativo

Localização: **Araxá (Brazil)**

Fonte dos dados: CRESESB-INMET

	Irradiação global horizontal kWh/m ² .dia	Temperatura °C	Velocidade do vento m/s
Janeiro	5.50	22.4	4.85
Fevereiro	5.91	22.5	4.85
Março	4.92	22.2	6.13
Abril	4.88	21.5	6.13
Mai	4.47	19.4	6.13
Junho	4.24	18.5	6.96
Julho	4.48	18.4	6.96
Agosto	5.51	20.0	6.96
Setembro	5.46	21.6	6.23
Outubro	5.64	22.3	6.23
Novembro	5.35	22.0	6.23
Dezembro	5.67	21.9	4.85
Ano	5.17	21.1	6.0

Dados exigidos

Irradiação global horizontal

Temperatura exterior média

Dados suplementares

Irradiação difusa horizontal

Velocidade do vento

Linke Turbidity

Relative Humidity

Unidades de Irradiação

kWh/m².dia

kWh/m².mês

MJ/m².dia

MJ/m².mês

W/m²

Índice de transparência Kt

Nova localização | Imprimir | Fechar

Fonte: PVsyst (2020).

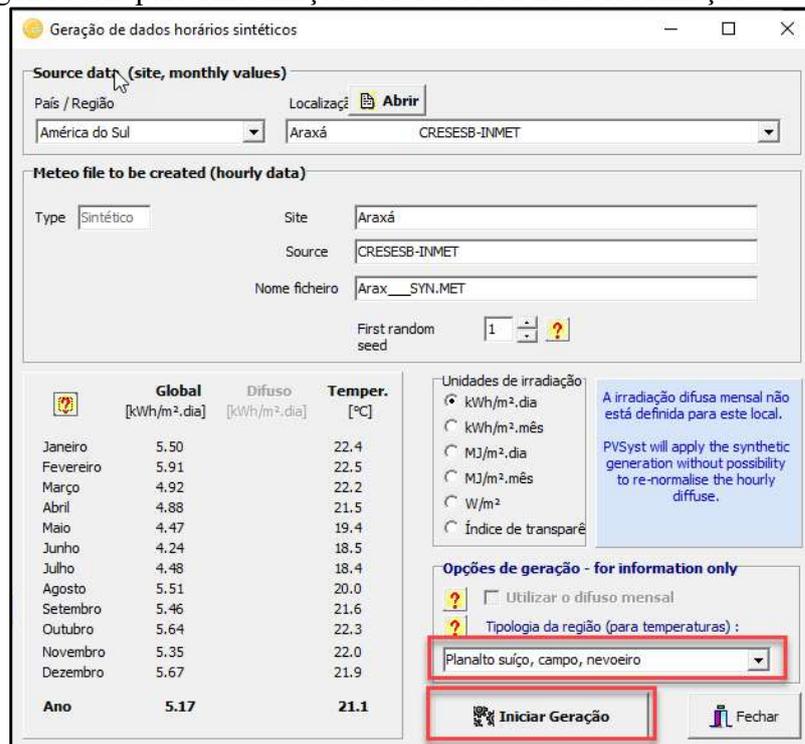
Os dados para a velocidade do vento e da irradiação global, apresentados na Figura 18, também podem ser obtidos a partir do site do CRESESB. Por sua vez, os dados para temperatura podem ser obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Inseridos esses dados, é preciso sintetizá-los para a nova localização na aba “Geração horária sintética”, conforme Figuras 19 e 20.

Figura 19 – Primeira tela para sintetização dos dados da nova localização.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 20 – Segunda tela para sintetização dos dados da nova localização.



Fonte: PVsyst (2020).

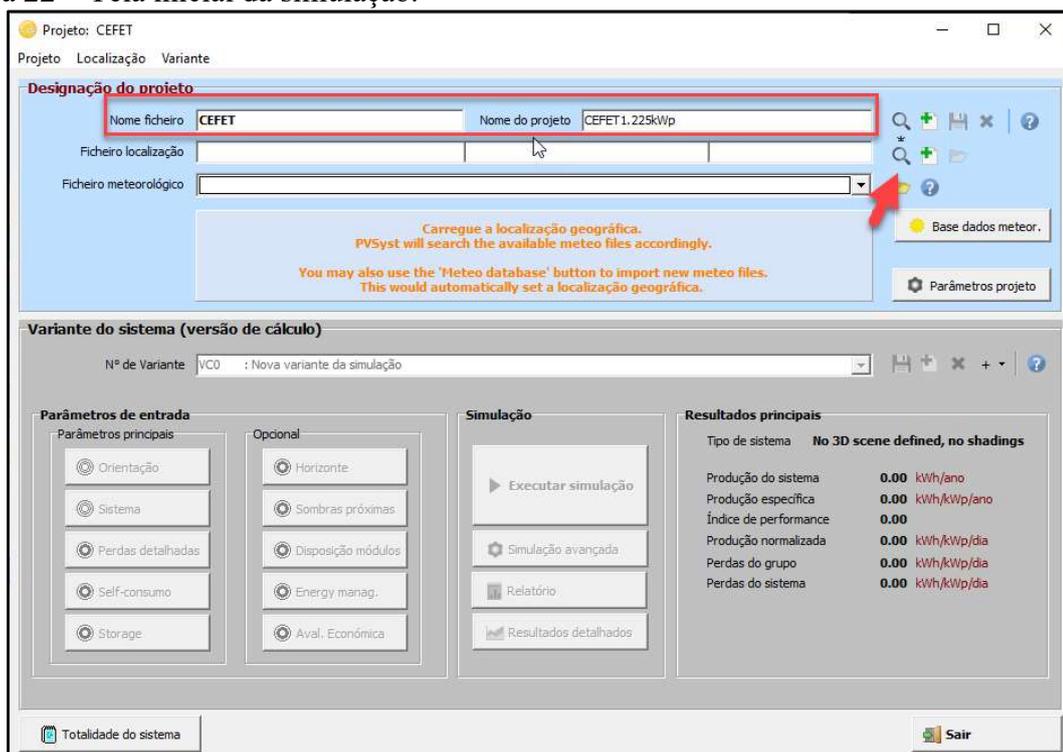
Com todos os dados sintetizados, a simulação foi iniciada. Como o sistema a ser instalado futuramente no CEFET-MG será conectado à rede elétrica, é necessário escolher essa opção na aba de concepção de projetos e seguir a ordem de inserção de dados oferecida pelo *software*, conforme demonstrado da Figura 21 a Figura 38.

Figura 21 – Tela para a escolha do tipo de sistema a simular.



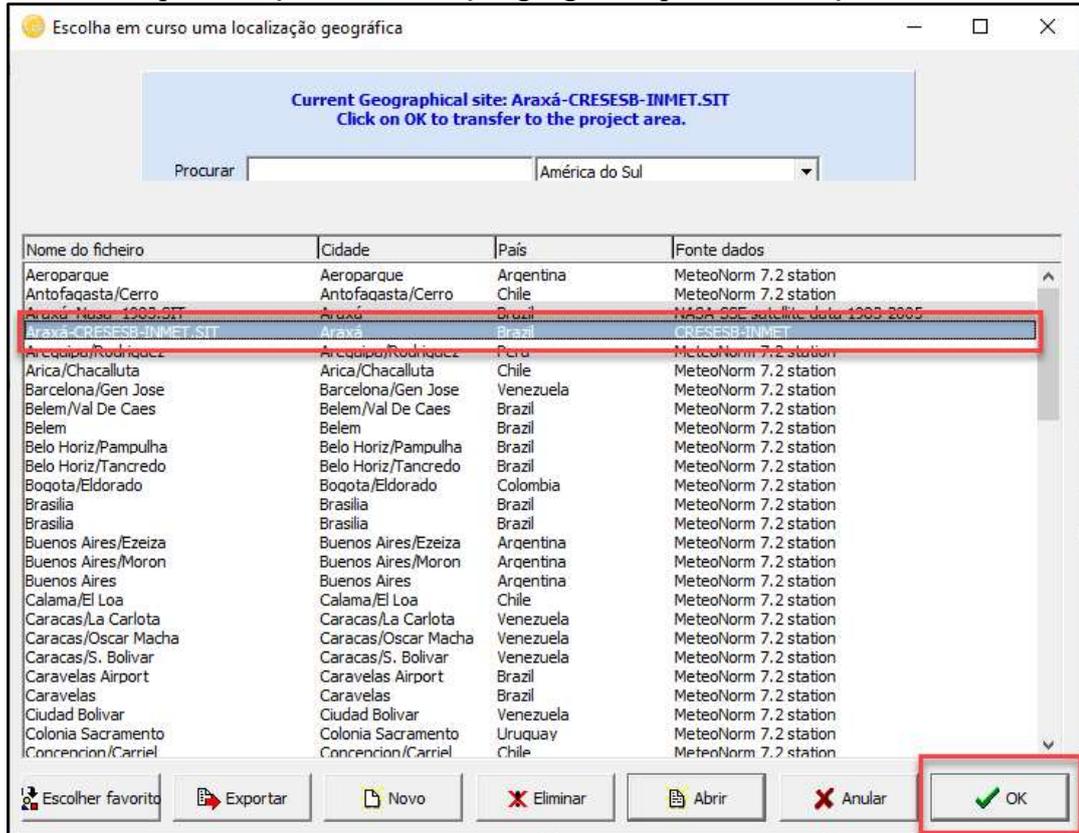
Fonte: PVsyst (2020).

Figura 22 – Tela inicial da simulação.



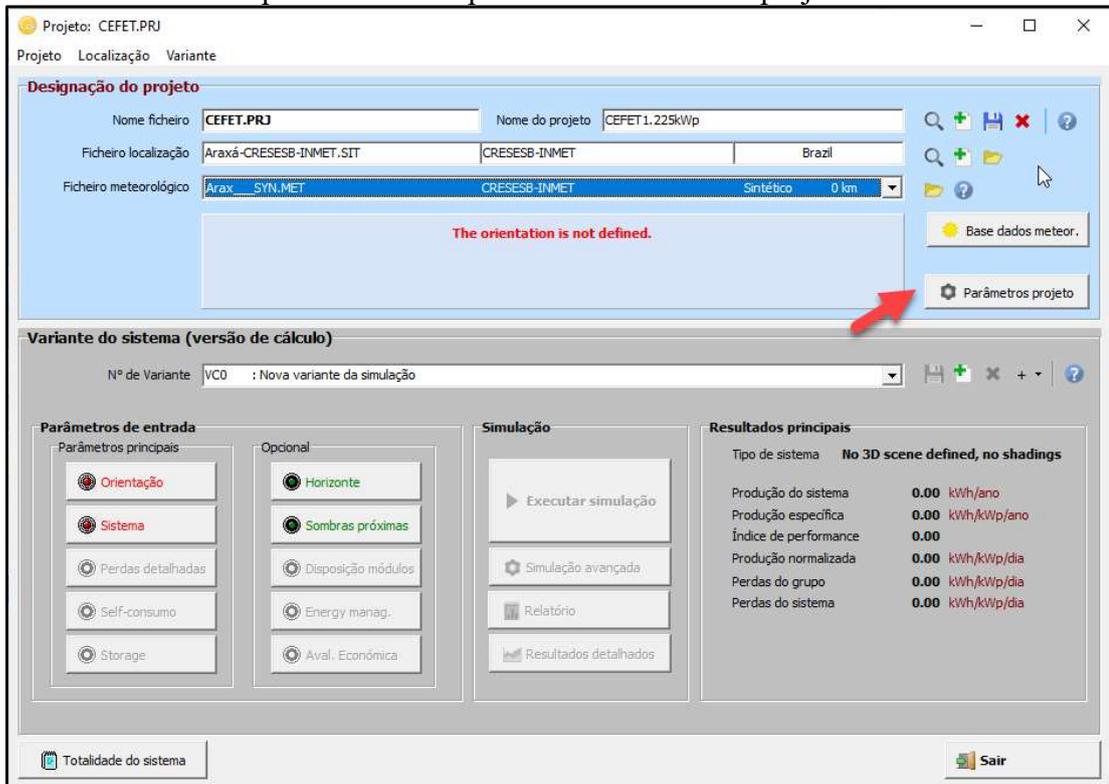
Fonte: PVsyst (2020).

Figura 23 – Tela para seleção da localização geográfica para a simulação.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 24 – Tela inicial para acesso aos parâmetros iniciais do projeto.



Fonte: PVsyst (2020).

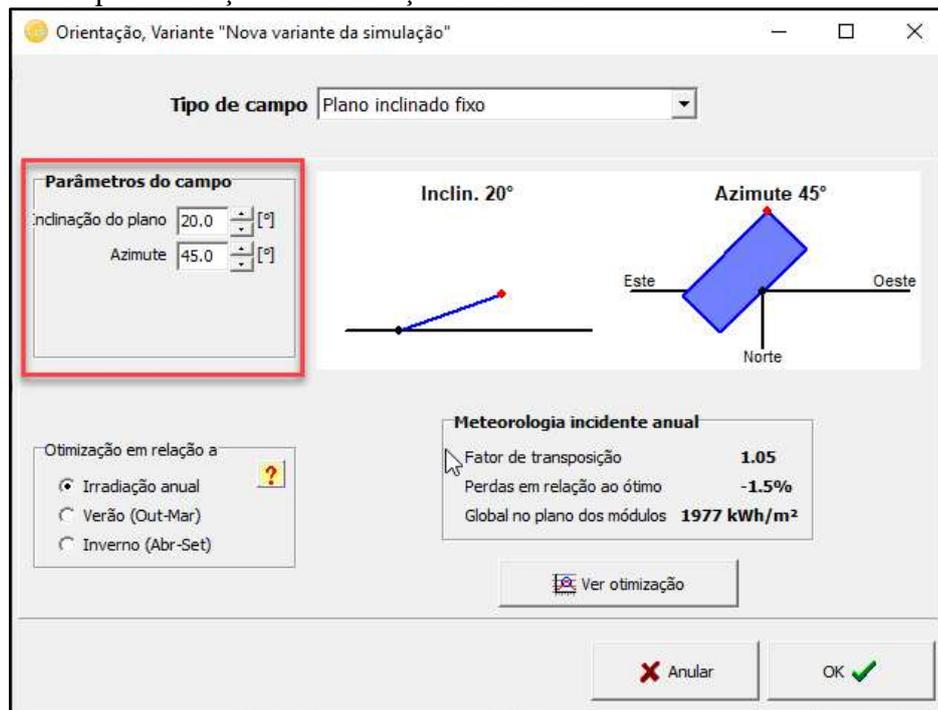
Figura 25 – Tela para inserção dos parâmetros iniciais do projeto.

Fonte: PVsyst (2020).

Figura 26– Tela inicial para acesso ao parâmetro principal “Orientação”.

Fonte: PVsyst (2020).

Figura 27 – Tela para inserção da orientação do sistema.

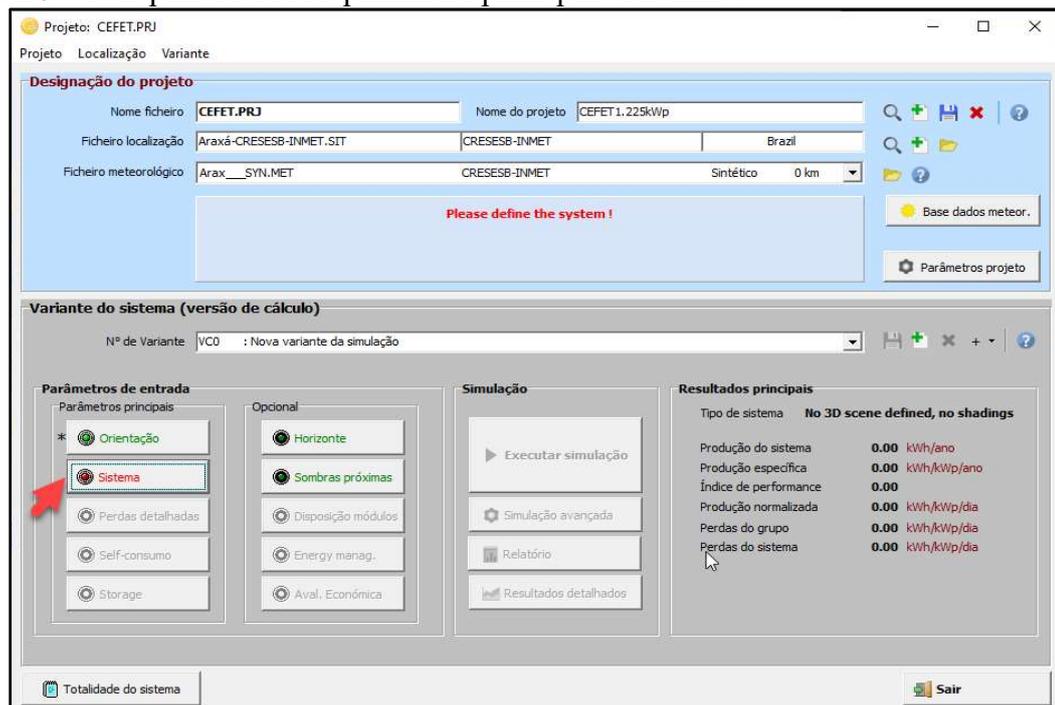


Fonte: PVsyst (2020).

Os dados de inclinação do plano e azimute, apresentados na Figura 27, variam de acordo com a localidade, para Minas Gerais a inclinação deve ser igual a latitude.

A próxima etapa da simulação consistiu em selecionar os equipamentos do sistema, conforme as Figuras abaixo.

Figura 28 – Tela para acesso ao parâmetro principal “Sistema”.



Fonte: PVsyst (2020).

Nesse momento da simulação, é importante atentar-se ao local indicado pela seta vermelha, na Figura 29. Nesse quadro, são apresentadas as advertências quando há alguma inconsistência no sistema, como quando os módulos e os inversores não estão compatíveis. A ausência de advertências mostra que o sistema está projetado corretamente, o que confirma a exatidão dos cálculos feitos na sessão 4.2.

Figura 29 – Tela para definição dos equipamentos utilizados no sistema.

Configuração global do sistema

1 Número de tipo de sub-grupos

Esquema simplificado

Sumário do sistema global

Número de módulos	5	Potência FV nominal	1.2 kWp
Superfície módulos	8 m ²	Potência máxima FV	1.2 kWdc
N.º de inversores	1	Potência AC nominal	1.2 kWac

Grupo FV

Nome e orientação do sub-grupo

Nome: Grupo FV

Oriente: Plano inclinado fixo

Inclinação: 20°

Azimute: 45°

Ajuda para o dimensionamento

Sem pré dim. introduza Pnom desejado kWp

... ou superfície disponível(módulos) m²

Seleção do módulo FV

Disponíveis: Filter: All PV modules

Yingli Solar 245 Wp 25V Si-poly YL245P-29b Since 2015 Manufacturer 2015

Dimens. das tensões :_p (60°C) 25.5 V

Voc (0°C) 40.6 V

Use Optimizer

Seleção do inversor

Todos os inversores Output voltage 230 V Mono 50Hz

SMA 1.2 kW 100 - 320 V LF Tr 50/60 Hz Sunny Boy 1200 Until 2013

N.º de inversores 1 Tensão de funcionamento: 100-320 V Potência global inv. 1.2 kWac

Tensão máxima entrada: 400 V **Inversor string com 2 entradas**

Dimensionamento do grupo

Número de módulos e strings

Mod. em série 5 entre 4 e 9

Nr. strings 1

Perdas sobre-pot. 0.0 %

Rácio Pnom 1.02

?

Nr. módulos 5 Superfície 8 m²

Condições de funcionamento

Vmpp (60°C)	127 V
Vmpp (30°C)	147 V
Voc (0°C)	203 V

Irradiância no plano 1000 W/m²

Imp (STC)	8.2 A
Isc (STC)	8.7 A
Isc (em STC)	8.7 A

Max. dados STC

Potênc. Máx. em funcionamento 1.1 kW em 1000 W/m² e 50°C

Potência nominal do grupo (51.2 kWp)

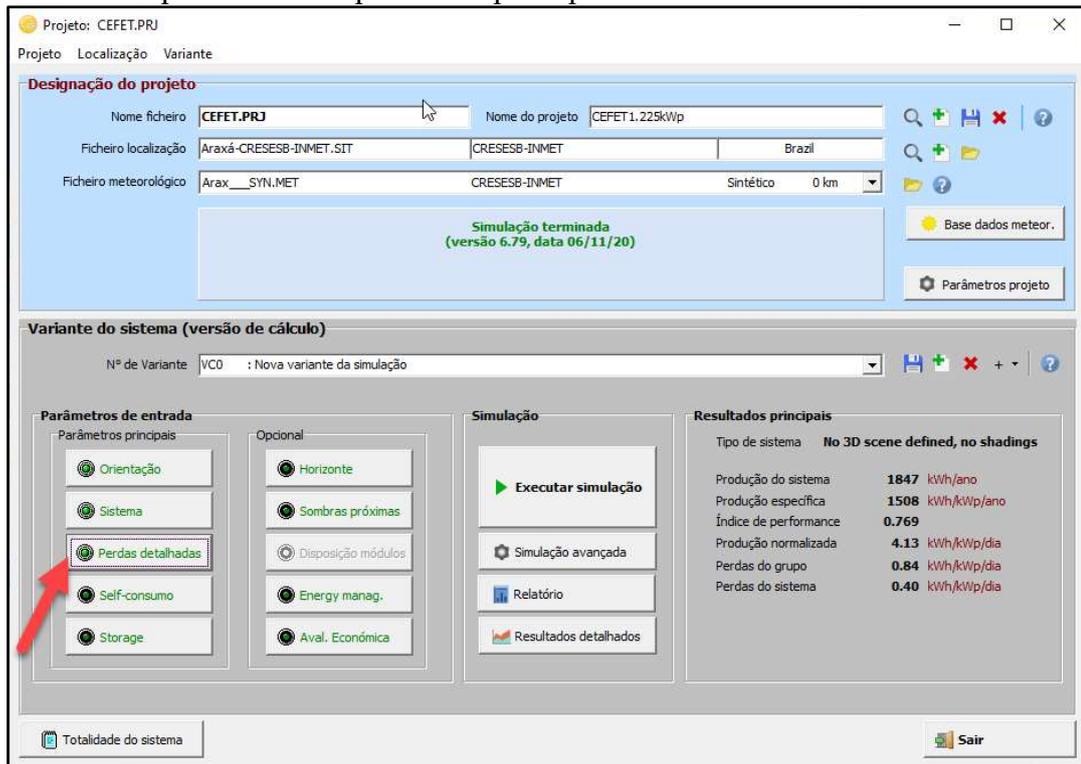
Totalidade do sistema

Anular OK

Fonte: PVsyst (2020).

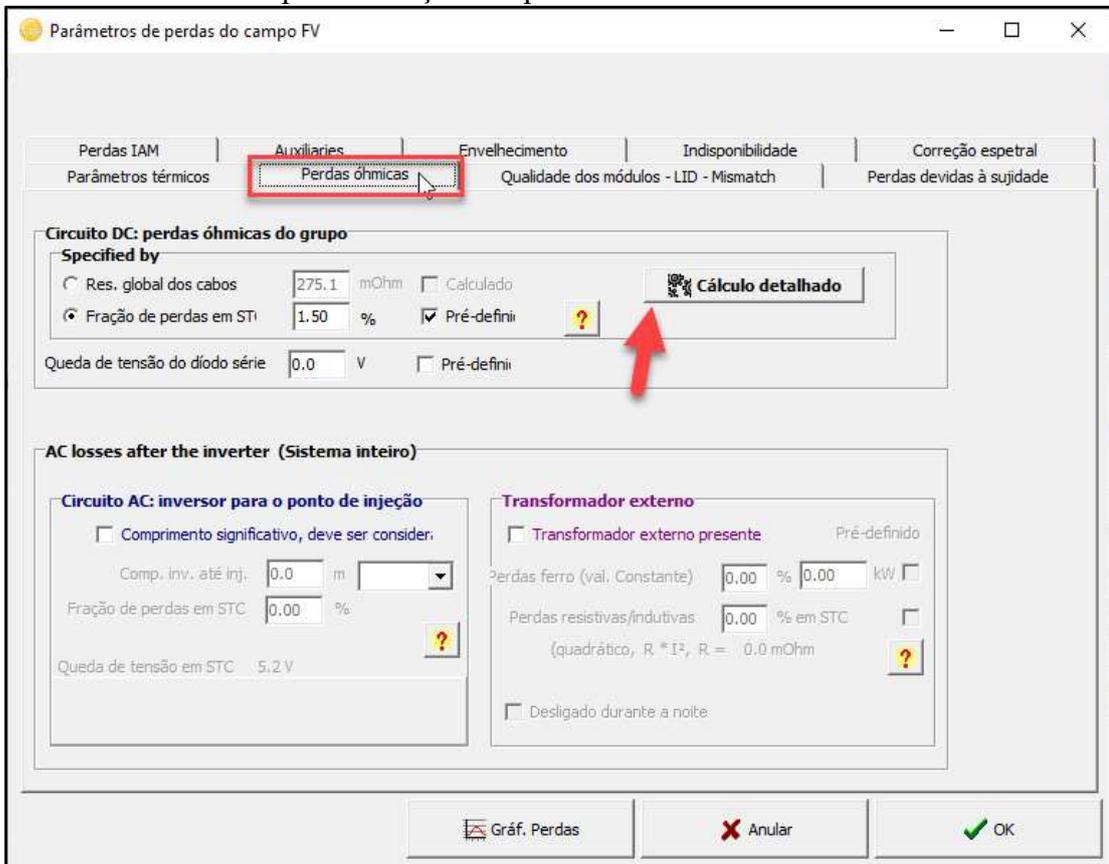
Nos parâmetros de perdas detalhadas, o *software* empregado já traz alguns valores pré-definidos que podem ser considerados para a simulação. Porém, alguns parâmetros podem ser definidos para se adequar melhor à realidade de instalação do sistema, como as perdas ôhmicas, perdas por sujeiras e perdas auxiliares, conforme demonstrado da Figura 30 a Figura 34.

Figura 30 – Tela para acesso ao parâmetro principal “Perdas detalhadas”.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 31 – Primeira tela para definição das perdas.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 32 – Segunda tela para definição das perdas.

Wiring resistance

Wiring layout: Groups of parallel strings

One string = 5 modules:

	Aver. length m / circuit	Section mm ²
String module connexions	3	4 mm ²
Main box to inverter	3	6 mm ²

Please specify the total wire lengths for each circuit (try "Schema" button)

Per circuit		Global array
Current A	Resistance mOhm	Resistance mOhm
8.2	14	1 strings: 14.1
8.2	9	9.40

Field global wiring resistance 23.5 mOhm

MPP Loss fraction at STC 0.1 %

Total copper mass 0 kg

Total wire cost 0

Wiring layout

Parallel strings
 Groups of parallel strings

Optimisation

Target Loss fraction 1.5 %

Minimize copper mass
 Minimize cost

Schema Wires

Cancel OK

Fonte: PVsyst (2020).

O sistema a ser instalado no CEFET-MG é do tipo sobre o solo, por isso a distância entre os módulos e o inversor foi considerada pequena.

Figura 33 – Terceira tela para definição das perdas.

Parâmetros de perdas do campo FV

Perdas IAM Auxiliares Envelhecimento Indisponibilidade **Correcção espectral**

Parâmetros térmicos Perdas óhmicas Qualidade dos módulos - LID - Mismatch **Perdas devidas à sujidade**

Fator de perdas anual sujidade

Fator anual de perdas 3.0 % Default

Definir valores mensais

Gráf. Perdas Anular OK

Fonte: PVsyst (2020).

Figura 34 – Quarta tela para definição das perdas.

The screenshot shows the 'Parâmetros de perdas do campo FV' window. The 'Auxiliaries' tab is active. The 'Auxiliaries energy losses' section is expanded, showing a checked checkbox for 'Auxiliaries consumption defined'. Below this, there are two sub-sections: 'Auxiliaries during operation (day)' and 'Night auxiliaries losses'. The 'Auxiliaries during operation (day)' section has four input fields: 'Continuous auxiliary loss (fans, etc.)' (0 W), '... from inverter output power threshold' (0.0 kW), 'Proportional to the inverter output power' (0 W / kW), and '... from inverter output power threshold' (0.0 kW). The 'Night auxiliaries losses' section has one input field: 'Night auxiliaries consumption excluding inverter night loss' (0 W). A red arrow points to the 'Auxiliaries consumption defined' checkbox. At the bottom, there are three buttons: 'Gráf. Perdas', 'Anular', and 'OK'.

Fonte: PVsyst (2020).

Feito isso, o próximo passo da simulação seria realizar o cálculo das perdas por sombreamento. Para isso, o PVsyst permite inserir, por uma ferramenta simples, o desenho de onde o sistema será instalado e a indicação dos possíveis pontos de sombreamento, como árvores e construções próximas.

Devido ao local escolhido para instalação futura do sistema do CEFET não possuir pontos próximos de sombreamento, conforme é possível verificar na Figura 35, não foi necessário, na simulação, considerar esse tipo de perda. Porém, essa escolha depende também se o local futuramente passará a ser utilizado para construção de mais prédios da instituição. Nesse caso, o sistema pode ser deslocado para outro local, e então, devem ser considerada as perdas por sombreamento, em nova simulação, utilizando a aba “Sombras próximas” do *software*.

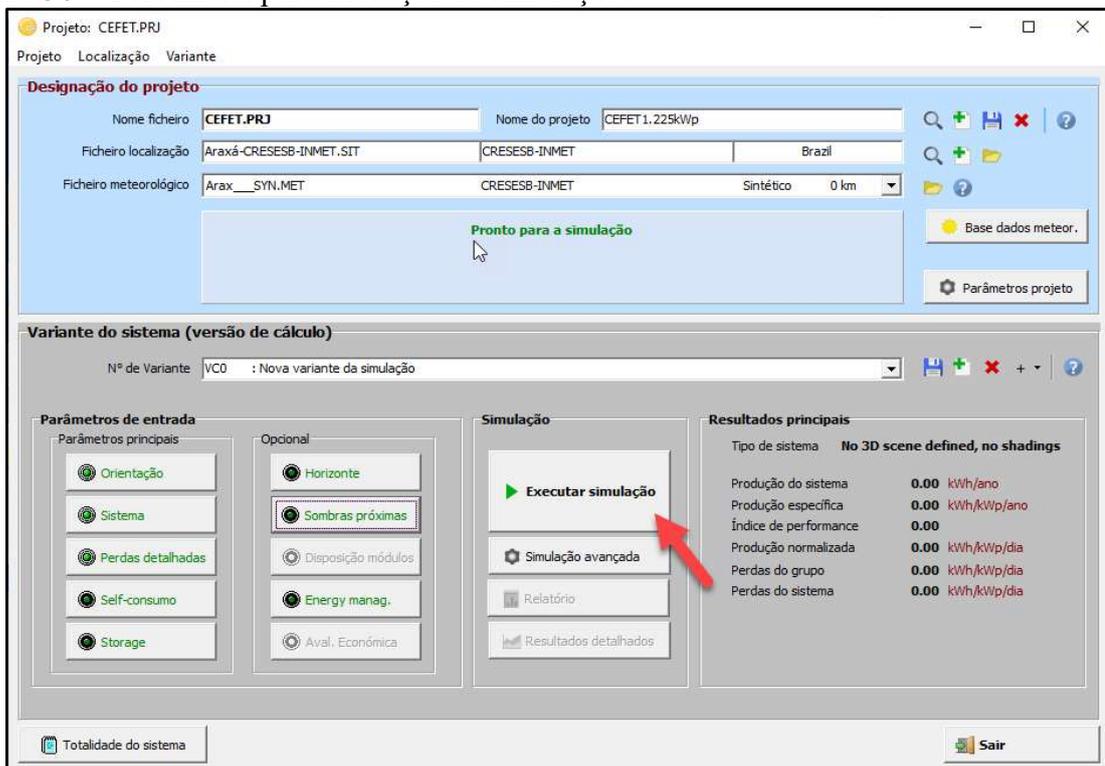
Figura 35 – Imagem da possível área de instalação do sistema.



Fonte: Google Earth (2020).

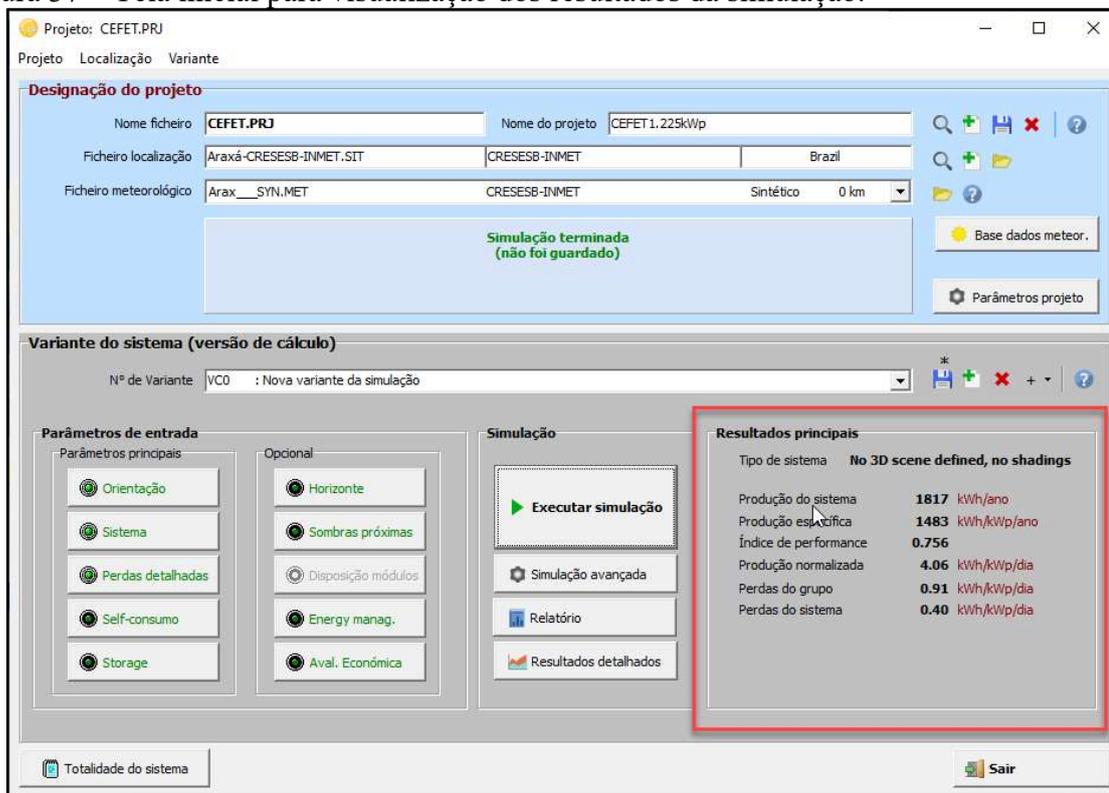
Com todas as etapas anteriormente feitas, é possível simular a geração *on-grid* e analisar os dados que o PVsyst prevê para o sistema, por meio do relatório gerado, conforme imagens abaixo.

Figura 36 – Tela inicial para execução da simulação.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 37 – Tela inicial para visualização dos resultados da simulação.



Fonte: PVsyst (2020).

Figura 38 – Relatório gerado para a simulação feita no PVsyst.

Nova variante da simulação								
Balanços e resultados principais								
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR
Janeiro	170.5	88.84	22.40	157.2	147.5	159.3	145.0	0.753
Fevereiro	165.5	70.36	22.50	162.2	153.0	162.6	148.1	0.745
Março	152.5	73.12	22.20	154.0	145.0	155.7	141.6	0.751
Abril	146.4	50.61	21.50	160.5	152.0	162.5	148.0	0.753
Maio	138.6	46.72	19.40	159.4	150.7	164.4	150.0	0.768
Junho	127.2	36.63	18.50	152.0	143.6	157.7	144.0	0.773
Julho	138.9	41.02	18.40	162.9	154.0	168.8	154.2	0.773
Agosto	170.8	38.56	20.00	193.0	183.2	196.4	179.3	0.758
Setembro	163.8	56.84	21.60	170.7	161.6	171.8	156.5	0.748
Outubro	174.8	81.88	22.30	170.1	160.5	171.5	156.2	0.750
Novembro	160.5	86.51	22.00	154.4	145.2	156.8	142.6	0.754
Dezembro	175.8	84.29	21.89	163.9	154.1	166.3	151.2	0.753
Ano	1885.3	755.39	21.05	1960.4	1850.5	1993.8	1816.6	0.756

Legendas: GlobHor Irradiação global horizontal
 DiffHor Irradiação difusa horizontal
 T_Amb Temperatura ambiente
 GlobInc Incidência global no plano dos sensores
 GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras
 EArray Energia efetiva à saída do grupo
 E_Grid Energia injetada na rede
 PR Performance Ratio (Quociente de performance)

Fonte: PVsyst (2020).

Conforme dados obtidos pela simulação, apresentados nas Figuras 37 e 38, a produção estimada é de 1817 kWh/ano. Dividindo esse dado por 12 meses, encontra-se a geração mensal

de 151.42 kWh/mês, o que é exatamente os 1% da geração necessária para abastecer o campus todo, assim como foi obtido nos cálculos da seção 4.2. Além disso, o fator de perda, denominado como índice de performance e calculado pelo *software* como 0,756, demonstra que o valor utilizado na seção 4.2 também estava correto.

4.4 Solicitando a ligação do sistema à rede

Essa etapa consiste em obter aprovação da concessionária para instalação do sistema projetado. Para isso, é fundamental que toda a documentação seja feita corretamente, conforme exigências legais e demonstrando o perfeito dimensionamento do sistema. Descreve-se, na sequência, o passo a passo a ser realizada para essa solicitação.

Para isso, deve ser entregue à concedente um memorial descritivo com algumas informações, a saber: (i) dados de responsabilidade técnica da empresa e do engenheiro responsável; (ii) número da ART, (iii) detalhamento do consumidor e da localidade da instalação; (iv) descrição do sistema com os dados principais dos módulos, inversores e outros equipamentos; (v) especificação da estrutura de fixação, da sinalização de segurança, dos dispositivos de proteção e do aterramento a serem utilizados; (vi) detalhamento da previsão de geração e (vii) lista com outras unidades que irão compensar os créditos, se houver.

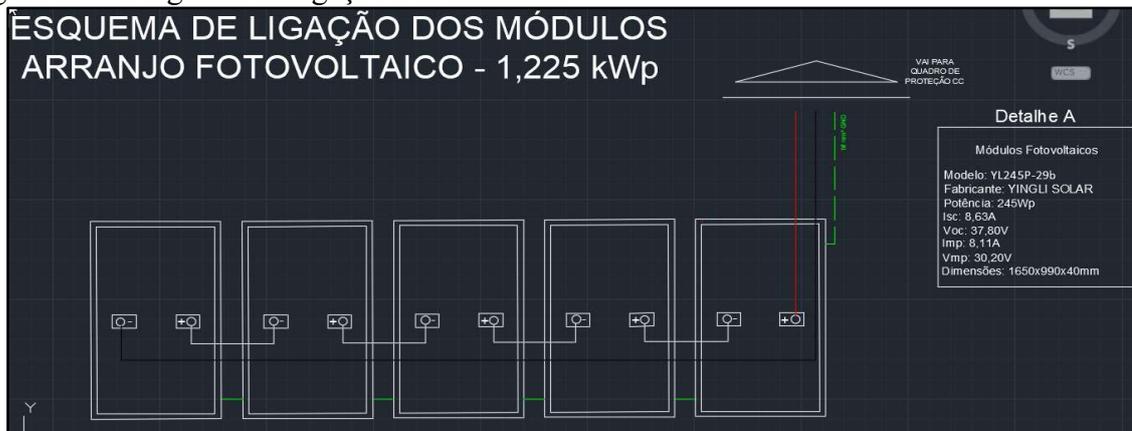
Além desse memorial, é necessário enviar: (i) formulário de solicitação de acesso; (ii) diagrama unifilar básico da instalação; (iii) a ART de projeto e execução; (iv) o registro no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) do inversor; (v) o arranjo dos módulos; (vi) o *datasheet* dos módulos e inversor e (vii) cópia do documento de identificação do titular.

As Figuras 39 e 40 que representam os diagramas do sistema fotovoltaico aqui projetado e a ser futuramente instalado no CEFET-MG. No diagrama de ligações dos módulos, foi demonstrada a ligação em série dos 5 módulos, com positivo chegando no primeiro módulo, ligados entre si e o negativo saindo do último módulo. Além disso, no detalhe A foram descritas as especificações principais dos módulos.

O diagrama unifilar básico demonstra que os 5 módulos estão ligados em série e equipotencializados com a estrutura metálica, o que é estabelecido por lei. Além disso, as seções dos cabos estão representadas na figura e os cabos que fazem as ligações entre módulos e inversores devem ser cabos solares. No quadro de proteção CC, o DPS e a chave seccionadora devem ser próprios para corrente contínua e são obrigatórios por norma. O inversor possui apenas 1 entrada e 1 MPPT, por isso apenas um SPMP representado na figura. No quadro de

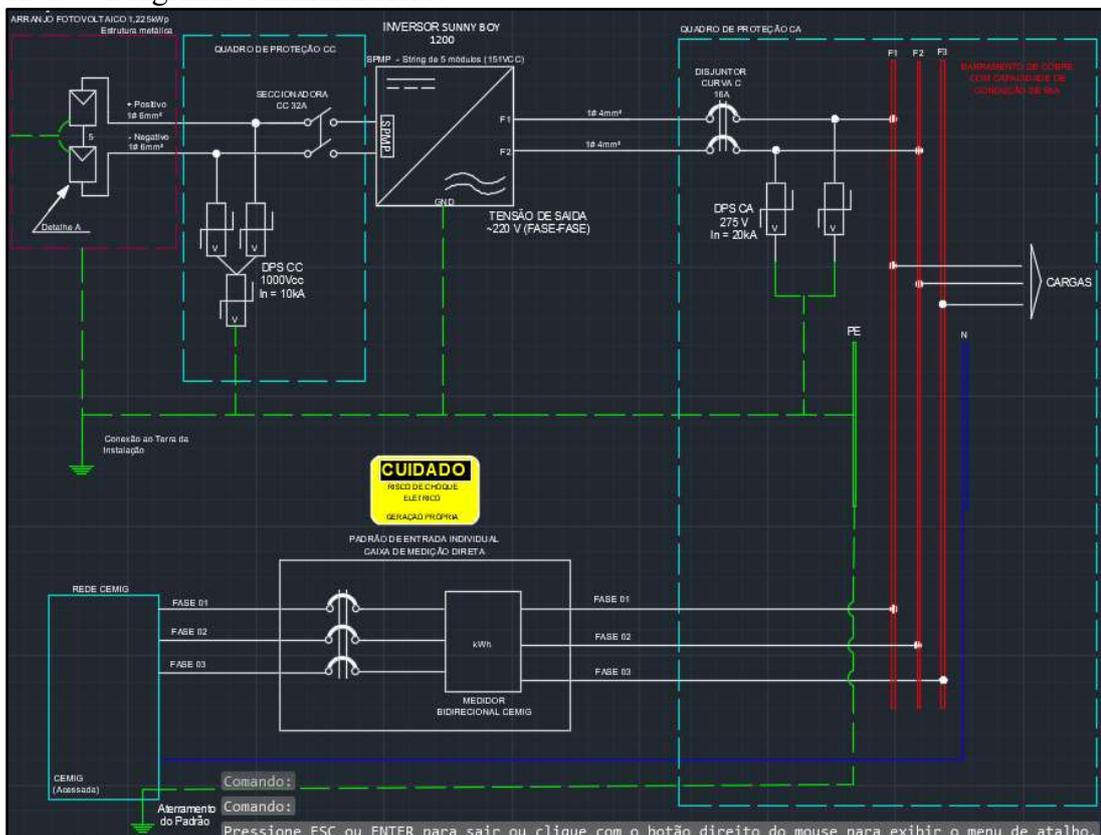
proteção CA, a escolha do disjuntor de 16A foi feita devido a corrente de saída do inversor ser de 6,1A e o cabo de 4mm² suportar até 26A, tendo assim um acionamento do disjuntor antes que uma sobrecorrente chegue ao máximo que o cabo suporta. A escolha do DPS CA de 275V se deu devido a facilidade em encontrá-lo e a corrente nominal de 20kA é suficiente para a quantidade de raios que a região de Araxá recebe. No padrão de entrada é necessário demonstrar a existência da placa de aviso de geração própria e mencionar o modelo da caixa do padrão, pois alguns modelos não são aceitos devido ao tamanho.

Figura 39 – Diagrama de ligação dos módulos.



Fonte: Capturado pela autora (2020).

Figura 40 – Diagrama Unifilar Básico.



Fonte: Capturado pela autora (2020).

Com todas as etapas acima feitas, o projeto do sistema está completo e, assim que a concessionária emitir o Parecer de Acesso, a instalação pode se iniciar, seguindo fielmente os protocolos de segurança e todos os detalhes do projeto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia solar fotovoltaica tem ganhado espaço nos meios de abastecimento elétrico residencial, industrial e rural por conta de seus benefícios em relação a outros tipos de geração elétrica. O presente estudo buscou, por meio da disseminação da teoria e da prática de elaboração e simulação de um projeto desse sistema, contribuir para a implementação futura de uma microunidade fotovoltaica na instituição de ensino CEFET-MG, unidade Araxá.

Os cálculos e as simulações anteriormente descritos demonstram que é possível e viável instalar o sistema proposto, o qual gerará uma pequena parcela do consumo geral da instituição. Ademais, outro fator positivo deste trabalho consiste na possibilidade de servir como exemplo e instrumento de estudos a outros alunos da instituição, tanto da graduação, quanto do ensino técnico, fomentando aprendizagens e possibilidades de análises outras sobre esse tipo de geração elétrica.

Salienta-se que, quando da elaboração do projeto desta pesquisa, o intuito era, além da simulação, desenvolver a implementação real do sistema na instituição, comparando os dados simulados nesta pesquisa com os dados obtidos por meio do sistema instalado. Contudo, devido à pandemia do COVID-19, não foi possível a realização dessas etapas por conta de um atraso na montagem da estrutura de fixação que é de responsabilidade de profissionais independentes dessa pesquisa. Tais etapas, poderão ser realizadas em outro trabalho de conclusão de curso, lembrando que caso a montagem ocorra em outro local, a simulação deverá ser feita novamente considerando o possível sombreamento da área. Além disso, não foi possível verificar a existência de aterramento na instituição devido a dificuldade de acesso nessa situação, por isso na implementação será necessário fazer essa verificação por ser item estabelecido por norma.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Calendário e Resultado dos Processos Tarifários de Distribuição**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acesso em: 05 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTl1MjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 13 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 13 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 482**: condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. 2012. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto**. Rio de Janeiro, 2019.

BOITRAGO, S. A. et al. Captação de água por sistema fotovoltaico para consumo humano na localidade rural Ilha Caiapós, São Romão, Minas Gerais. In: **Reec-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 12, n. 2, p. 43-52, jun.-dez. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/EricaAraujo/Downloads/37490-Texto%20do%20artigo-176828-1-10-20160704.pdf>. Acesso em: 12 out. 2019.

CASTRO, R. R. P.; SOUZA, J. L. S.; SANTOS, A. M. Sistema fotovoltaico: fontes renováveis como elemento educacional no ensino de ciência. In: **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 6, p. 6008-6019, jun. 2019. Disponível em: <http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/1824>. Acesso em: 10 nov. 2019.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **ND 5.31**: requisitos para conexão de acessantes produtores de energia elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Clientes/Documents/Normas%20T%C3%A9cnicas/ND.5.31.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2019.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉGIO DE S. BRITO. **Potencial Solar – SunData** v. 3.0. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 5 nov. 2020.

GOMES, A. E. **Modelo de projeto de uma planta fotovoltaica de microgeração para capacitação em energia solar**. 2017. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia em

Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021935.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.

HAGGE, M. **Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico Conectado à rede**. Disponível em: <http://udemy.com/course/curso-dimensionamento-de-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede/>. Acesso em: 05 nov. 2020.

KIKUMOTO, B. **Dimensionamento de sistemas para o grupo A**. Disponível em: <https://www.canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/10-dimensionamento-de-sistemas-fv-para-consumidores-do-grupo-a>. Acesso em: 30 nov. 2020.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. In: **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em: <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664/508>. Acesso em: 17 nov. 2019.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/publico/Dissertacao_Renno_vfinal.pdf. Acesso em: 13 nov. 2019.

OLIVEIRA, R. P. **Bancada didática para sistema fotovoltaico off-grid**. 2019. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1933/1/MONOGRAFIA_BancadaDid%C3%A1ticaSistema.pdf. Acesso em: 13 nov. 2019.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**, CEPTEL-CRESESB, 2014.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P.; MOEHLECKE, A. Redução de custos de energia elétrica por meio de um sistema fotovoltaico interligado à rede. In: 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo, SP. AGRENER GD, Universidade de São Paulo, 2015. Disponível em: http://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/12366/2/Reducao_de_custos_de_energia_e_letrica_por_meio_de_um_sistema_fotovoltaico_interligado_a_rede.pdf. Acesso em: 17 nov. 2019.

SMA SOLAR TECHNOLOGY. Disponível em: <https://www.sma.de/en.html>. Acesso em: 17 nov. 2019.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2015.