

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA  
BOMBEAMENTO DE ÁGUA NA IRRIGAÇÃO DE FEIJÃO-CAUPI  
NO MUNICÍPIO DE MONTES CLAROS (MG)**

**MÔNICA TAMIRES CARDOSO ARAÚJO**



MÔNICA TAMIRES CARDOSO ARAÚJO

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA BOMBEAMENTO DE  
ÁGUA NA IRRIGAÇÃO DE FEIJÃO-CAUPI NO MUNICÍPIO DE MONTES  
CLAROS (MG)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal de  
Minas Gerais, como requisito parcial,  
para obtenção do título de Bacharel  
em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Pereira

Montes Claros  
Instituto de Ciências Agrárias  
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

### ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos dezessete dias do mês de fevereiro de 2022, às 11h 00min, a estudante Mônica Tamires Cardoso Araújo, matrícula 2017430808, defendeu o Trabalho intitulado “Utilização de Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água na Irrigação de Feijão-Caupi no Município de Montes Claros (MG)” tendo obtido a média (85) oitenta e cinco.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

**Nota:** 85 (oitenta e cinco)

**Orientador(a):** Sidney Pereira

**Nota:** 85 (oitenta e cinco)

**Examinador(a):** Marilda Teixeira Mendes

**Nota:** 85 (oitenta e cinco)

**Examinador(a):** Márcia Martins



Documento assinado eletronicamente por **Sidney Pereira, Professor do Magistério Superior**, em 17/02/2022, às 12:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcia Martins, Professora do Magistério Superior**, em 17/02/2022, às 12:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marilda Teixeira Mendes, Professora do Magistério Superior**, em 17/02/2022, às 12:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1259608** e o código CRC **915E2C5E**.

**Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.**

---

**Referência:** Processo nº 23072.209330/2022-34

SEI nº 1259608

*“Ou se tem a chuva e não se tem o sol,  
ou se tem o sol e não se tem a chuva!*

*(Cecília Meireles)*

## RESUMO

O presente trabalho buscou realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado para suprimento de energia para o bombeamento de água de um sistema de irrigação por microaspersão na comunidade Planalto Rural localizada no município de Montes Claros (MG). O estudo se justifica em virtude da necessidade atual e crescente de substituir a matriz energética por fontes renováveis e a consequente criação e facilitação de políticas públicas para sua utilização. Além disso, em muitas localidades rurais não há presença de suprimento de energia elétrica o que justifica a utilização da energia solar. O feijão-caupi é um cultivo de elevada importância econômica para localidades de clima semiárido, explorada principalmente pela agricultura familiar. O déficit hídrico é um dos principais causadores de baixa produtividade, sendo necessário a utilização da irrigação, principalmente em regiões com incertezas concernentes ao clima como é o caso do norte de Minas Gerais. O dimensionamento consiste na obtenção de dados referente ao mês mais crítico no fornecimento de radiação solar coincidente com a época de cultivo do feijão-caupi, sendo em seguida estimada a demanda hídrica da cultura e dimensionamento do sistema de irrigação. Definida a vazão do sistema procede-se a escolha da motobomba ideal ao projeto e seu consumo de energia, a partir da qual será definido a quantidade de painéis, banco de baterias, inversor e controlador de carga. Uma vez selecionados os equipamentos, procedeu-se a estimativa do investimento necessário, verificando a viabilidade do projeto em virtude do aumento de produção da cultivar do feijão-caupi e tempo de retorno do investimento dada a economia proporcionada pela utilização de energia solar. O sistema de irrigação com vazão de 16 m<sup>3</sup>/h, tempo de funcionamento de 4 horas e altura manométrica de 30 mca necessitará de 21 painéis fotovoltaicos, banco de baterias com autonomia de 2 dias e tempo de carregamento de 7 dias. O dimensionamento foi realizado considerando início de produção no mês de novembro para a localidade de implantação, mês no qual é recomendado o plantio da cultura e onde ocorrem valores críticos no que concerne à radiação fotovoltaica. O investimento será de 80 mil reais com retorno do investimento em 9,5 anos ou 6,5 meses caso se considere o aumento da produção proporcionado pela irrigação. O projeto é viável apesar do alto investimento inicial necessário para aquisição das baterias e inversor, sendo necessária a criação de políticas e mecanismos que facilitem a utilização de energia fotovoltaica.

**Palavras chave:** dimensionamento, microaspersão, sistema isolado.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Repartição da oferta interna de energia (OIE) 2020.....	15
Figura 2 – Total diária da irradiação no plano inclinado na latitude (média anual) .....	16
Figura 3 – Junções P e N de um semiconductor de silício .....	17
Figura 4 – Células fotovoltaicas do tipo monocristalina (esq.), policristalina (meio) e de filmes finos (dir.).....	18
Figura 5 – Configurações de células solares .....	19
Figura 6 – Configurações de células solares .....	20
Figura 7 – Configurações de células solares .....	21
Figura 8 – Configurações de células solares .....	21
Figura 9 – Sistema de irrigação por aspersão convencional.....	27
Figura 10 – Sistema de irrigação por microaspersão .....	27
Figura 11 – Sistemas de irrigação por sulcos (esq.) e inundação (dir.).....	28
Figura 12 – Sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo .....	29
Figura 13 – Especificações da fita gotejadora utilizada no dimensionamento ..	32
Figura 14 – Curva características da bomba .....	33
Figura 15 – Eficiência da bomba para a vazão e altura manométrica do projeto .....	34
Figura 16 – Curva de seleção de fusível Weg .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de coeficiente de cultura para o feijão-caupi.....	25
Tabela 2 – Métodos, sistemas e proporção de uso nacional .....	26
Tabela 3 – Irradiação solar diária média mensal para o Município de Montes Claros .....	31
Tabela 4 – Bomba selecionada para o projeto .....	34
Tabela 5 – Painel fotovoltaico escolhido para o projeto.....	35
Tabela 6 – Bateria escolhida para o projeto .....	36
Tabela 7 – Bateria escolhida para o projeto .....	38
Tabela 8 – Controlador de carga escolhido .....	39
Tabela 9 – Principais componentes e preços do sistema .....	42
Tabela 10 – Aumento de produtividade teórico.....	43



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1	Energia solar .....	13
2.2	Fontes renováveis de energia .....	13
2.3	Contexto brasileiro .....	14
2.4	Energia solar fotovoltaica.....	17
2.4.1	Células fotovoltaicas .....	18
2.5	Sistemas fotovoltaicos.....	19
2.5.1	Sistema Conectado à rede ( <i>on grid</i> ).....	20
2.5.2	Isolado ( <i>off grid</i> ).....	20
2.6	Componentes do sistema .....	21
2.6.1	Módulos fotovoltaicos.....	21
2.6.2	Baterias .....	22
2.6.3	Inversor.....	22
2.6.4	Controlador de carga .....	23
2.7	Cultivo de feijão-caupi .....	23
2.8	Tratos culturais .....	24
2.9	Necessidades hídricas .....	24
2.10	Irrigação e bombeamento de água.....	25
2.10.1	Irrigação por aspersão .....	26
2.10.2	Irrigação localizada .....	27
2.10.3	Irrigação superficial.....	28
2.10.4	Irrigação subsuperficial .....	28
2.10.5	Bombeamento de água na irrigação.....	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
3.1	Dimensionamento do sistema.....	31
3.2	Necessidade de água para irrigação .....	32
3.3	Energia necessária para a bomba .....	33
3.4	Placas fotovoltaicas necessárias.....	34
3.5	Banco de baterias .....	36
3.6	Reduzindo tempo de recarga.....	37
3.7	Inversor de carga.....	38

3.8	Controlador de carga.....	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O município de Montes Claros, localizado na macrorregião do Norte de Minas, é o sexto maior em população residente dentre os municípios do estado, estimada em 417.478 mil habitantes, ocupando uma área geográfica de 3.589,8 km<sup>2</sup>, localizado na latitude 16°43'51"S e longitude 43°51'54" (IBGE, 2021a).

Segundo afirma Guimarães, Reis e Landau (2010), o estado de Minas Gerais, em função de sua localização geográfica, relevo, continentalidade, variabilidade de biomas e fitosionomias, apresenta condições termodinâmicas que resultam em diferentes regimes de chuvas. Segundo a classificação climática de Köppen realizada por Martins *et al.* (2018), considerando o clima presente (1981-2010), o Norte de Minas apresenta três classificações climáticas: tropical (Aw), em sua maior parte, árido (BWh) e semiárido (BSh) no extremo norte. Devido a isso, as regiões Norte e do Vale Jequitinhonha apresentam os mais baixos índices pluviométricos do estado, acarretando grandes impactos econômicos e sociais.

Não obstante, chuvas irregulares e secas prolongadas, criaram em Montes Claros uma identidade baseada no clima semiárido, ocasionado principalmente pela oferta incerta de água, atraindo assim programas e agências públicas associadas ao problema da seca (CHIODI *et al.*, 2016). Do ponto de vista agrícola, a água é essencial para o desenvolvimento vegetativo, pois está envolvida em processos metabólicos, sua ausência pode afetar diretamente o desenvolvimento da planta, comprometendo crescimento e produtividade (NACHTIGALL; LONGHI; LISBOA, 2021).

Silva e Reboita (2021) ao caracterizar o regime sazonal de chuvas para todo o estado, observaram os menores índices de precipitação durante todas as estações do ano na região Norte do Estado. No inverno, período mais seco do ano no Estado, enquanto no Sul do Estado foram observados 50-100 mm, centro-oeste e leste 25 mm, no Norte quase não ocorre precipitação.

Assim, a fim de se garantir a produção agrícola, a irrigação pode ser utilizada, sendo definida como uma prática que utiliza equipamentos e técnicas para aplicar água de maneira controlada, uniforme e oportuna no solo, para complementar a precipitação ou realizar a aplicação total de água devido à

ausência de chuvas e repor a água consumida pelas culturas na forma de evapotranspiração (LEVIEN; FIGUEIRÊDO; ARRUDA, 2021).

Ao analisar-se a demanda de evapotranspiração (ET<sub>o</sub>) no estado de Minas Gerais, é possível observar que a ET<sub>o</sub> aumenta do sul para o norte do estado, com maiores valores na região Norte (4,31 mm/dia) em comparação ao Sul (2,91 mm/dia), onde maiores valores de evapotranspiração estão associados a maiores perdas (CUNHA *et al.*, 2021).

Dentre as macrorregiões do Estado o Norte de Minas é a primeira na quantidade de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação, concentrando sozinho 16.258 estabelecimentos, ou o equivalente a 25,2% de todos os estabelecimentos do estado. Em Montes Claros há 1.009 estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação, dos quais mais da metade utilizam o método de irrigação localizada, sendo a irrigação por aspersão a segunda mais utilizada no município (IBGE, 2020). O uso da irrigação, assim, mostra-se não somente justificado como também necessário nesta região com tantas incertezas quanto a chuva.

Existem quatro principais métodos de irrigação, por superfície, subterrânea, por aspersão e localizada. No primeiro método, a água é disposta na superfície do solo e seu nível é controlado, para que as plantas possam aproveitá-la. Na irrigação subterrânea a água aplicada abaixo da superfície do solo, formando ou controlando o lençol freático, de forma que possa ser aproveitada pelas raízes das plantas. Na irrigação por aspersão a água é aplicada sob pressão acima do solo, por meio de aspersores, na forma de uma chuva artificial. Já o método localizado, consiste na aplicação em uma área bastante limitada, utilizando pequenos volumes de água sob baixa pressão com alta frequência (ANA, 2021).

A fim de se obter os benefícios máximos, deve-se atentar para selecionar o método de irrigação mais conveniente para que se obtenham os benefícios máximos. A escolha do método inadequado pode ocasionar danos ao solo e às culturas. Diversos fatores devem ser levados em consideração, tais como fatores relacionados a: cultura, solo, local, clima, financeiro e mão de obra (KLAR, 2000).

A irrigação, no entanto, é uma das práticas agrícolas que mais consomem energia elétrica. Diversas são as causas, mas este alto consumo ocorre devido aos grandes volumes de água aplicados, sejam devido a demanda real de água

ou manejo inadequado da irrigação que acarreta irrigação em excesso. Além disso, até mesmo o fato de as fontes de captação estarem localizadas nas regiões mais baixas das propriedades, demandando motores de grande porte (SENAR, 2019).

A dificuldade de se ter produção agrícola constante e de qualidade ocasionada pela ausência ou irregularidade das chuvas torna necessário a utilização da prática de irrigação. Esta, por sua vez, gera uma grande demanda energética. A utilização da energia solar fotovoltaica, dessa forma, se justifica, seja para reduzir os gastos com energia elétrica ou para permitir a prática da irrigação em lugares remotos sem acesso a eletricidade. As placas solares podem ser acopladas diretamente nas bombas de água e, ao captar os raios solares, converter a energia solar em energia elétrica (LIMA, 2019).

O desenvolvimento rural do Norte de Minas é bastante variado, há áreas com forte presença de mecanização e outras regiões, geralmente em áreas de agricultura familiar, com menor presença (FONSECA, 2012). De acordo com o censo agropecuário do IBGE (2020), cerca de 70% dos mais de 3.562 estabelecimentos agropecuários, ou seja, aproximadamente 2.493 propriedades rurais são conduzidas por agricultores familiares. A agricultura familiar é predominante na região nordestina.

Dentre a produção agrícola da região, o feijão (em grão) tem se destacado. No ano de 2020 o Norte de Minas foi responsável por colher 26,6 mil hectares de feijão, o que representou 14,3% da área total colhida de culturas temporárias para a região. A nível estadual a área colhida de feijão alcançou a marca de 314,7 mil hectares, crescimento de 2% com relação ao ano de 2019. Em 2020 Montes Claros produziu 552 toneladas de feijão no ano de 2020, crescendo 20% em relação a 2019 (IBGE, 2021b).

Dado a importância econômica do feijão e da agricultura familiar, não somente para o município como para o estado, o foco do presente trabalho se dará para a irrigação da cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculada*). O feijão-caupi, também chamado de feijão-de-corda, é uma cultura muito difundida entre agricultores familiares nas regiões norte e nordeste do Brasil, pois é uma cultivar rústica e necessita de baixo nível tecnológico para seu cultivo (SILVA, 2001).

Assim, objetivou-se com o presente trabalho dimensionar sistema fotovoltaico isolado (*off-grid*) para bombeamento de água para irrigação de

feijão-caupi no município de Montes Claros (MG), demonstrando os procedimentos metodológicos e viabilidade econômica.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Energia solar

Toda a vida na Terra depende do Sol, pois ele é a nossa fonte de energia primária. A vida na terra, tal como a conhecemos, são dependentes da energia solar, pois a partir dela é realizada a fotossíntese, permitindo aos organismos clorofilianos converter energia eletromagnética em energia química, formando biomassa de maneira direta e indireta (vegetal e animal).

Somado a isso, com a evolução tecnológica/científica pela qual a humanidade passou, foi possível observar outras formas de aproveitá-la, pois com a energia fornecida pelo sol diariamente seria possível alimentar toda a demanda energética do planeta diversas vezes, pois este recebe cerca de 10 mil vezes a mais o montante consumido por toda a população terrestre (MACHADO; MIRANDA, 2015).

Fica notório, portanto, que:

“a energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio. A rigor, a energia proveniente do Sol não é renovável, mas uma fonte inesgotável levando em consideração a escala de tempo da vida no planeta Terra” (PEREIRA et al., 2017, p. 15).

### 2.2 Fontes renováveis de energia

A humanidade, em seu processo de crescimento e desenvolvimento, modifica a natureza. A velocidade das alterações provocadas aos processos naturais do planeta aumenta conforme a busca por recursos necessários à sua evolução, onde “[...] o resultado coletivo de tais processos tem sido o início de uma destruição ambiental generalizada, cuja causa específica não é conhecida e cujas consequências são igualmente difíceis de calcular” (GIDDENS, 2001, p. 66).

Assim, a exploração de energias primárias e secundárias pela sociedade depende do conhecimento dos recursos naturais e de formas de utilizá-lo em larga escala. Do ponto de vista sustentável, é estratégico para a humanidade a mudança da matriz energética, muito embora cada território tenha condições diferenciadas para essa aplicação (DURÃES; SUNDFELD; SILVA, 2008).

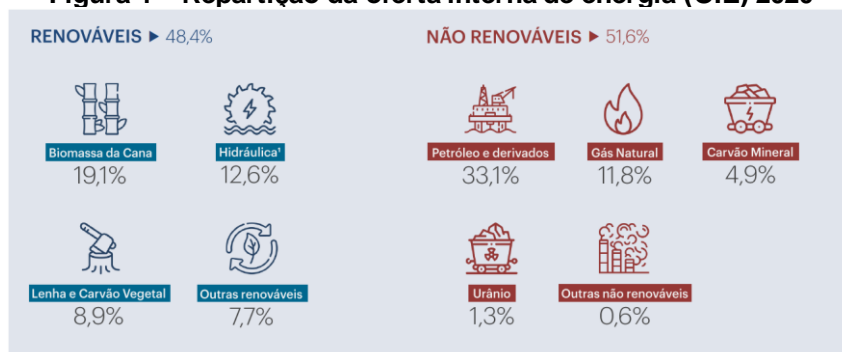
Segundo Sauer (2019) o Brasil, nesse quesito, apresenta grande potencial na geração de energia renovável. A fonte hídrica representa um potencial de 172 GW, sendo mais de um terço na região amazônica, enquanto a energia eólica 441 GW. Já a fonte solar fotovoltaica tem potencial de 164 GW em geração residencial e impressionantes 28.519 GW em geração centralizada. Para fins de comparação, em 2020 a capacidade instalada de geração de energia elétrica foi de 179,5 GW, demonstrando a possibilidade de suprir por meio de fontes renováveis, principalmente pela utilização de energia solar e eólica, as demandas energéticas do país (MME, 2021).

### 2.3 Contexto brasileiro

Segundo o Relatório de Status Global das Energias Renováveis (REN21, 2021) no final de 2020 o Brasil ocupava a terceira posição na capacidade total de energia renovável, atrás apenas de China e Estados Unidos. Além disso, os investimentos em capacidade de energia renovável no Brasil apresentaram sete anos consecutivos de crescimento, crescendo 23% apenas em 2020, sendo responsável por 2,9% dos investimentos globais em capacidade de energia renovável.

Já segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), as energias renováveis foram responsáveis, em 2020, por 48,4% da Oferta Interna de Energia (OIE), ou a energia necessária para movimentar a economia do país (FIGURA 1). A OIE gerada por fontes renováveis é bastante significativa, principalmente ao se comparar com o restante do mundo que em 2018, último ano de referência, teve apenas 13,8% de participação em energias renováveis.

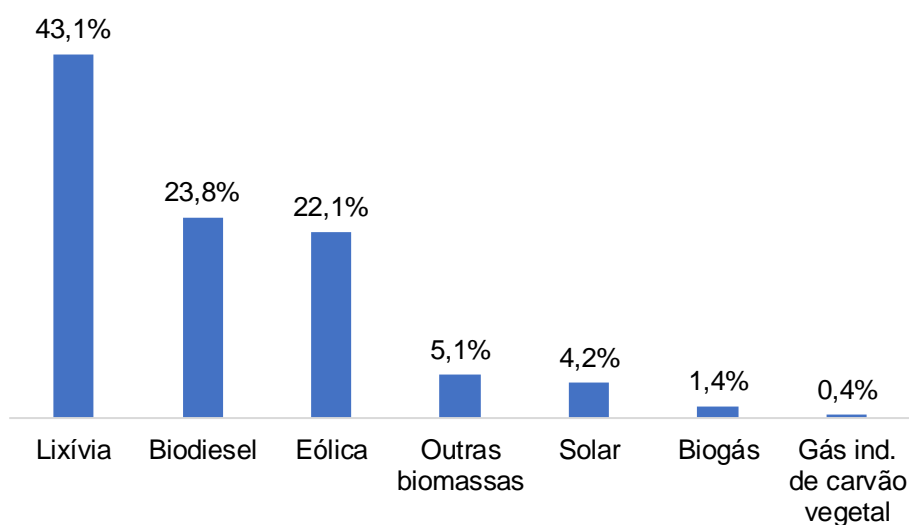
**Figura 1 – Repartição da oferta interna de energia (OIE) 2020**



Fonte: EPE, 2021.

No Brasil, ainda segundo o BEM (EPE, 2021), a energia renovável produzida a partir de Biomassa de cana, hidráulica, lenha e carvão vegetal foram responsáveis por 40,6% da OIE, sendo que os 7,7% restantes equivalem a outras fontes de energia renováveis. Conforme pode ser observado no Gráfico 1, lixívia, biodiesel e eólica representam mais de 80% da oferta de outras renováveis.

**Gráfico 1 – Repartição da oferta de outras energias renováveis**



Fonte: Elaboração própria com base em EPE (2021)

Das sete categorias presentes na repartição da oferta de outras fontes renováveis, a energia solar foi a que apresentou maior crescimento, crescendo



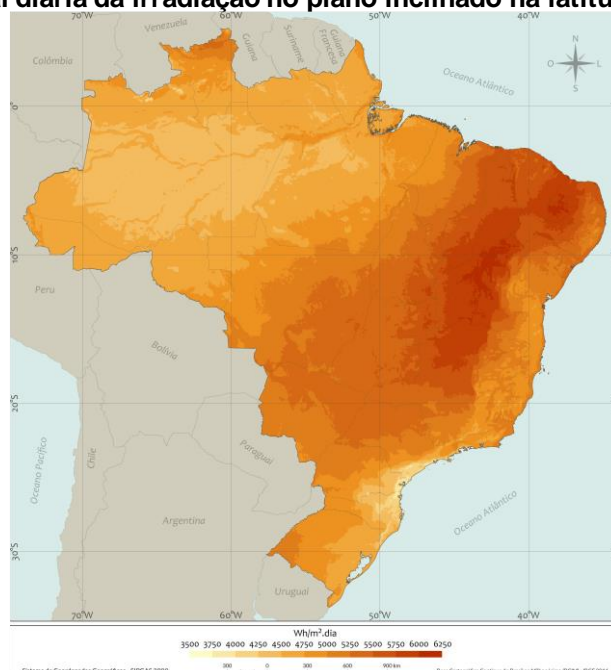
61,5% de 2019 para 2020, muito embora represente apenas 0,3% da OIE (EPE, 2021).

No que se refere ao aproveitamento da radiação solar para produção de energia “a grande extensão territorial e a expressiva área de telhados em unidades residenciais e comerciais, aliadas ao elevado nível de irradiação solar existente no Brasil, representam um enorme potencial para a geração solar centralizada e distribuída” (BEZERRA, 2021, p. 4).

Mesmo dentro do país, devido a sua extensão e variabilidade climática, ocorrem áreas mais viáveis que outras no que concerne a produção de energia solar. É o caso de boa parte de Minas Gerais, principalmente o norte e oeste do estado, que ostenta as maiores taxas de irradiação dentro do chamado Cinturão Solar, faixa que vai do Nordeste ao Pantanal. Não por coincidência, Minas Gerais, segundo a Aneel, é o estado com o maior número de sistemas de microgeração de energia solar instalados no país (PIERRO, 2017).

Na Figura 3, mapa disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através do Atlas Brasileiro de Geografia e Estatística, sendo possível observar a faixa com as duas cores mais escuras do nordeste do país até o norte de Minas Gerais, representando mais de 6 kWh/m<sup>2</sup>.dia de irradiação solar no plano inclinado na latitude.

**Figura 2 – Total diária da irradiação no plano inclinado na latitude (média anual)**



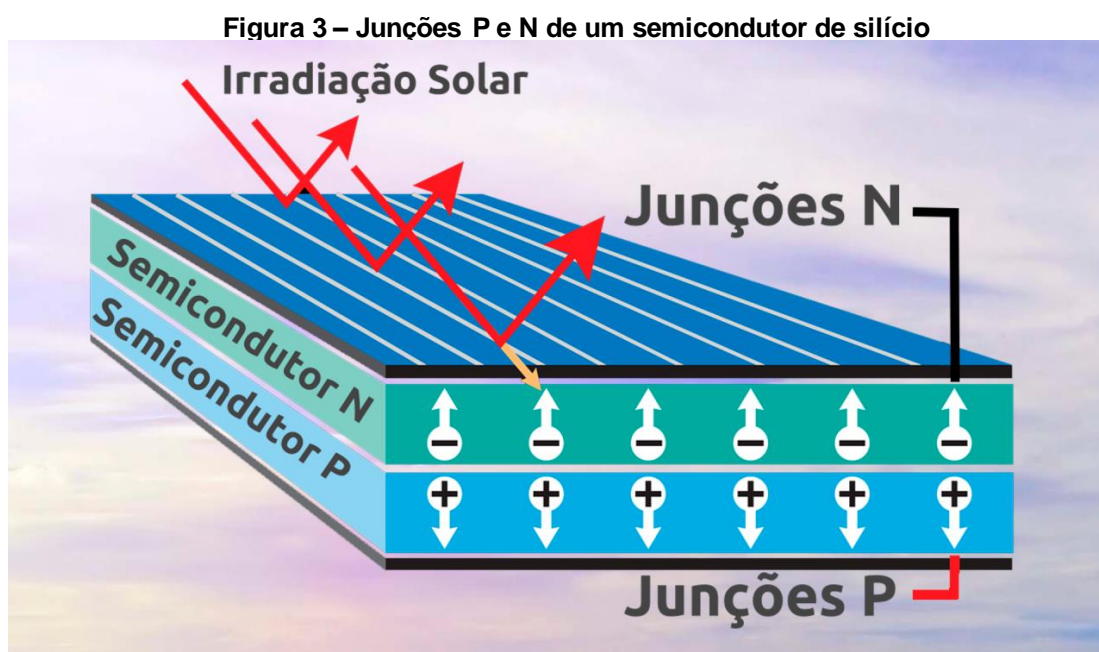
Fonte: PEREIRA *et al.*, 2021.

## 2.4 Energia solar fotovoltaica

Segundo explica Bezerra (2021), existem diversas formas de se gerar energia elétrica a partir da energia solar, porém tem que se destacar a tecnologia fotovoltaica devido, principalmente, a sua praticidade. A tecnologia consiste na utilização de células fotovoltaicas, a partir das quais a luz solar é convertida em eletricidade.

As células fotovoltaicas são materiais semicondutores, apresentando condutividade elétrica intermediárias entre condutores e isolantes. O silício puro extraído da areia, é classificado como virtualmente isolante devido ao fato de não possuir elétrons livres. A fim de contornar isso ele sofre o processo denominado dopagem, no qual fósforo é acrescentado ao silício, criando silício tipo N. O silício do tipo N possui elétrons livres e é um bom condutor elétrico. Diferentemente do silício do tipo N, na produção do silício tipo P é utilizado Boro, sendo este a contraparte do primeiro e também bom condutor, porém sem elétrons livres e com carga negativa (ROCHA; RODRIGUES, 2018).

Conforme observado na Figura 3, uma célula fotovoltaica é composta por uma camada fina de material tipo N e outra camada mais grossa de material do tipo P. Quando unidas um campo elétrico é formado devido ao diferente potencial elétrico, pois um cede e o outro captura elétrons.



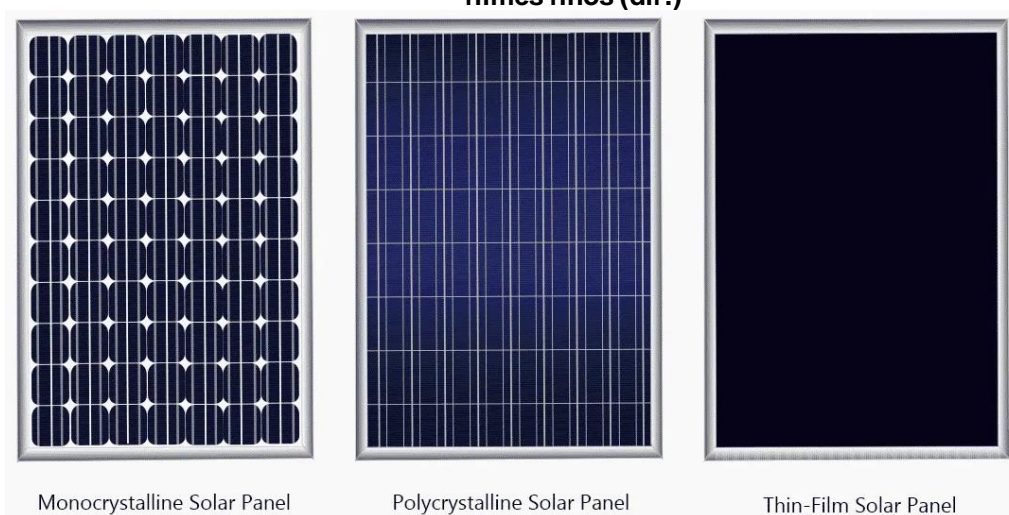
Fonte: RIBAS, 2020.

Os fótons da irradiação solar, ao incidir sobre a célula fotovoltaica, transformam os materiais em condutores lhes fornecendo energia ao chocar-se com os elétrons. Através de uma ligação externa entre as duas diferentes camadas, os elétrons (corrente elétrica) fluem da camada P para a camada N. Essa corrente elétrica, no entanto, irá variar conforme houver variação da irradiação solar sobre a célula (ROCHA; RODRIGUES, 2018).

#### 2.4.1 Células fotovoltaicas

No ano de 2018, por volta de 91% da utilização mundial de placas solares utilizavam alguma forma de tecnologia baseada em silício, que afim de alcançar elevados níveis de pureza precisa ter pureza muito grande (SANTOS, 2018). O silício das células pode, ainda, ser do tipo monocristalino, policristalino e de filmes finos conforme mostra a Figura 4.

**Figura 4 – Células fotovoltaicas do tipo monocristalina (esq.), policristalina (meio) e de filmes finos (dir.)**



Fonte: SOLAR MAGAZINE, 2022.

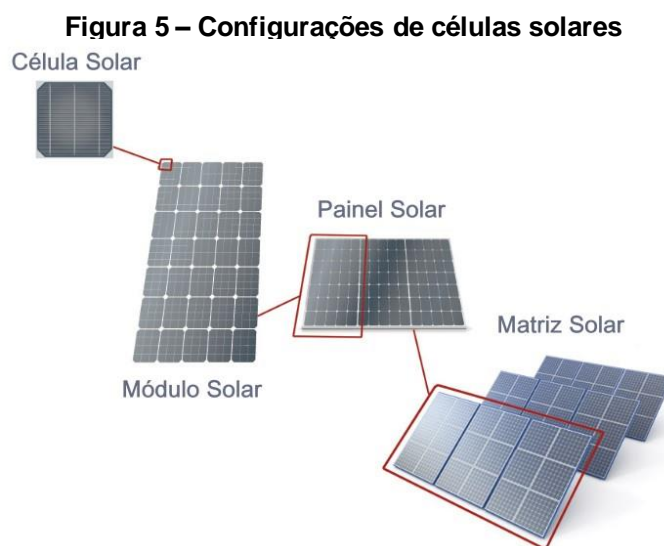
A célula de silício monocristalino é fabricada a partir de altas temperaturas para purificar e solidificar com extrema pureza o cristal de dióxido de silício, podendo atingir de 98% a 99% de pureza. A eficiência na geração de energia pode atingir de 15% a 18% por esta célula, mas as altas temperaturas necessárias para sua fabricação a tornam extremamente onerosa. O processo de fabricação das células de silício policristalino também envolve altas

temperaturas, porém o cristal obtido é menos puro, devido a isso a eficiência na geração de energia elétrica varia de 13% a 15%, porém seu custo de fabricação é menor. A célula policristalina apresenta coloração diferente, tendo diferentes padrões e sendo menos homogênea que a monocristalina (BATISTA; SANTOS; ARAÚJO, 2016).

As células de filmes finos são obtidas a partir de tecnologia mais recente. Células de silício monocristalina e policristalina são fabricadas a partir de fatias de lingotes de silício. Para a fabricação de filmes finos são utilizadas finas camadas de materiais (silício e outros materiais) sobre uma base rígida ou flexível (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A produção em larga escala de filmes finos é possível devido ao seu baixo custo de produção, em contrapartida necessitam de uma área maior para produzir a mesma quantidade de energia que as outras tecnologias (LIMA, 2019).

## 2.5 Sistemas fotovoltaicos

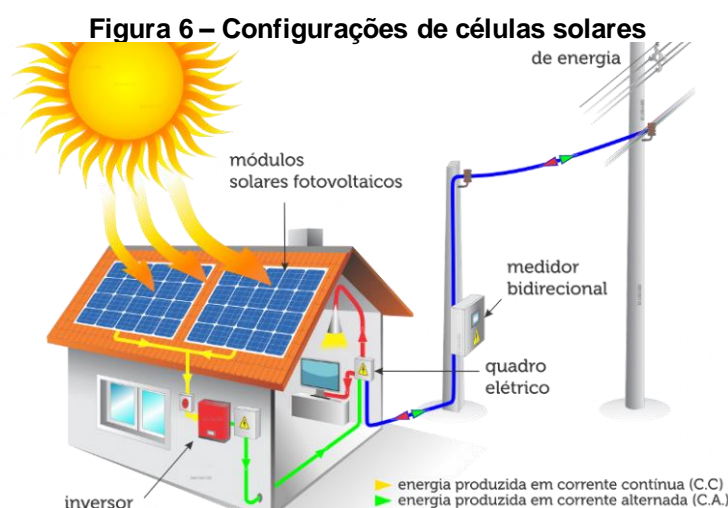
As células fotovoltaicas são reunidas em módulos (painéis) de diversas capacidades de geração de energia, os quais são disponibilizados no mercado (FIGURA 4). Os painéis podem ser utilizados de maneira individual ou então conjunta sendo, assim, capazes de fornecer geração de qualquer porte através de uma matriz solar, tanto em sistemas autônomos (*off grid*) como em sistemas ligadas a rede elétrica (*on grid*).



Fonte: REIS, 2015.

### 2.5.1 Sistema Conectado à rede (*on grid*)

O sistema on-grid funciona conectado à rede de transmissão. Essa modalidade permite que a energia excedente produzida por determinada residência, ou seja, não consumida, seja repassada para a rede de transmissão sendo assim convertida em créditos para a residência. Os créditos ficam, então, reservado pela concessionária de energia elétrica ou passa a pertencê-la caso a residência não os utilize. Caso a residência os utilize, os créditos se traduzem na forma de desconto na conta de energia elétrica (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2022).



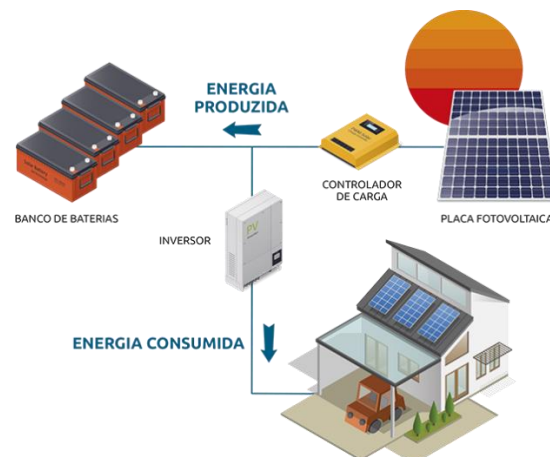
Fonte: SEBRAE, 2020.

### 2.5.2 Isolado (*off grid*)

Diferentemente do sistema conectado à rede (*on-grid*), o sistema isolado é autônomo e precisa armazenar a energia excedente produzida pelas placas fotovoltaicas em baterias. Dessa forma, quando há disponibilidade de radiação solar ocorre produção de energia e quando não há a energia armazenada nas baterias é utilizada para suprir o sistema. O sistema isolado é extremamente dispendioso para sua implementação, devido principalmente a necessidade de se adquirir baterias (BOSO; GABRIEL; FILHO, 2022).



**Figura 7 – Configurações de células solares**



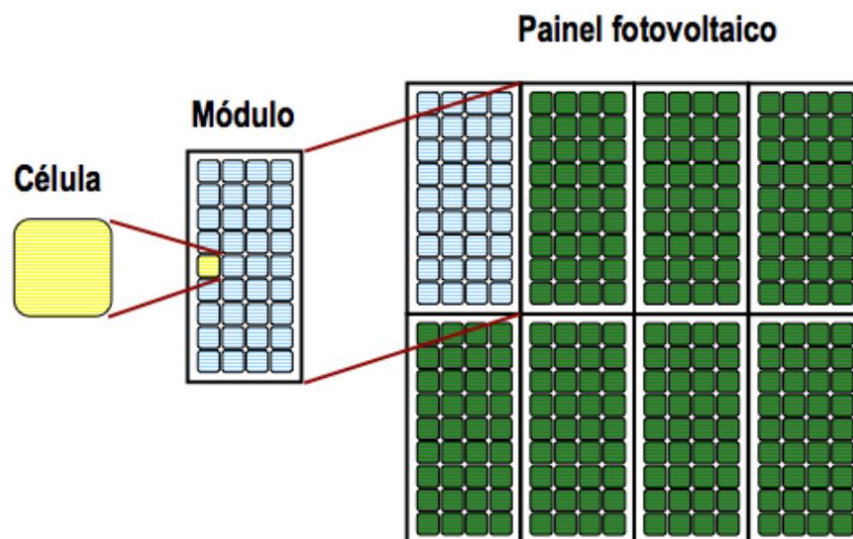
Fonte: BMC ENERGIA, 2022.

## 2.6 Componentes do sistema

### 2.6.1 Módulos fotovoltaicos

Uma única célula fotovoltaica não é suficiente para gerar a energia necessária para a maioria das aplicações necessárias. Dessa forma, as células são ligadas em série ou em paralelo, formando assim um único módulo fotovoltaico, conforme Figura 5. Por sua vez, o agrupamento de mais de um módulo fotovoltaico é necessária a fim de se realizar um painel fotovoltaico.

**Figura 8 – Configurações de células solares**



Fonte: CARNEIRO (2010).

Para o correto dimensionamento e escolha da quantidade ideal de painéis solares, é necessário conhecer as Horas de Sol Pelo (HSP), que é a quantidade de horas por dia cuja radiação solar seja constante e igual a 1 kW/m<sup>2</sup> (SAMPAIO *et al.*, 2018).

### 2.6.2 Baterias

As baterias armazenam energia química e as disponibilizam na forma de energia elétrica, podendo existir baterias recarregáveis e não recarregáveis. Baterias não recarregáveis chegam ao fim de sua vida útil quando descarregam completamente. Já as baterias recarregáveis são baterias de uso geral, utilizadas nas mais diversas aplicações. As baterias recarregáveis disponíveis atualmente são normalmente compostas de chumbo-ácido ou íon-lítio (SÁ, 2010).

Existem diferentes modelos de baterias para diferentes finalidades e aplicações, tais como:

- Automotivas: descargas rápidas, corrente alta e baixa descarga.
- Tração: descarga moderada e ciclos amplos.
- Estacionárias: ciclos de carga e descarga ocasionais.
- Fotovoltaicas: suportam descargas profundas.

### 2.6.3 Inversor

Os inversores são necessários para alternar o fluxo de corrente, convertendo corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Sua tensão varia entre 12, 24 ou 48 V (CC), convertendo para 127 ou 220 V (CA). Com a sua utilização é possível utilizar a energia armazenada na bateria (CC) em aparelhos que utilizam CA (FRANCHI, 2009).

- Os inversores podem, ainda, ser classificados de acordo com a onda gerada, tais como:
- Onda quadrada: saída de muitos harmônicos, usualmente utilizado em cargas resistivas.

- Onda quadrada modificada: onda menos harmônica próxima da senoidal, utilizado para lâmpadas e equipamentos eletrônicos no geral.
- Onda senoidal: tensão e desempenho adequados, podendo ser utilizados para qualquer aparelho que utilize CA.

#### 2.6.4 Controlador de carga

Controladores de carga são necessários ao se utilizar sistemas fotovoltaicos, pois a partir deles é possível transferir potência máxima para ser armazenada no banco de baterias. Além disso protegem as baterias de sofrerem carga e descarga excessivas e protege o sistema da corrente reversa. À medida que as baterias se aproximam da carga máxima os controlares gerem a intensidade da corrente a elas direcionadas.

#### 2.7 Cultivo de feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é de grande importância econômica, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, pois é uma fonte de proteína de baixo custo, além de gerar emprego e renda para a população, sendo bastante adaptado para baixa disponibilidade hídrica e clima tropical (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

De acordo com Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021), na safra 2020/2021 foram plantados 1.349,6 mil hectares de feijão caupi, crescendo 3,2% em relação à safra 2019/2020, produzindo 625,2 mil toneladas do grão.

Segundo Silva *et al.* (2018) essa cultura apresenta bom potencial produtividade e adaptabilidade ao cultivo nas condições do Norte de Minas Gerais. Na região é comum que se prefira cultivar feijão-caupi em vez do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris L.*). O feijão-caupi é produzido, principalmente, por agricultores familiares.

De acordo com IBGE (2020), cerca de 70% dos estabelecimentos agropecuários nortemineiros são conduzidos por agricultores familiares que produzem a maior do feijão, sendo assim, essa cultura além de viabilizar a



segurança alimentar dessas famílias tem também grande importância socioeconômica para a região.

## 2.8 Tratos culturais

Cultivado da latitude 40°N até 30°S, o feijão-caupi tem bom desenvolvimento entre 18°C e 34°C, sendo cultivado no Nordeste do Brasil (clima seco). Para ser cultivado sem a irrigação, necessita de 300 mm de precipitação, onde regiões que variam de 250 mm a 50 mm por ano de precipitação podem cultivá-lo (BASTOS; JUNIOR; NOGUEIRA, 2017).

A distribuição espacial do feijão-caupi pode variar em virtude das condições do solo, clima, variedade, disponibilidade de água, tratos culturais e porte da planta (CARDOSO; MELO, 2017). O espaçamento pode variar de 50 cm entre fileiras em solos firmes, com densidade de sementes de 8 a 10 sementes por metro linear, podendo ser cultivado no preparo convencional e plantio direto.

O preparo do solo deve ser realizado mediante análise de amostragem da fertilidade, elevando a saturação por bases a 50%, devendo ser monitorado anualmente a fim de manter a saturação. É muito eficiente na fixação de nitrogênio, onde somente em condições de áreas desmatadas, baixo teor de matéria orgânica e solo arenoso é recomendado utilizar 30 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio 15 após a emergência. Além disso necessita em torno de 40 a 80 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo, de 20 a 40 kg.ha<sup>-1</sup> de potássio (BASTOS; JUNIOR; NOGUEIRA, 2017).

## 2.9 Necessidades hídricas

O feijão-caupi é uma cultura bastante tolerante à seca, no entanto o déficit hídrico pode ocasionar graves perdas de produtividade, principalmente quando este se encontra na época de florescimento e enchimento de grãos, afetando alguns processos fisiológicos como a assimilação de nitrato, fixação de nitrogênio, fotossíntese e transpiração (BASTOS; JUNIOR; NOGUEIRA, 2017).

A tabela 1 apresenta os valores do coeficiente de cultura (Kc) disponíveis na literatura, a fim de se calcular as necessidades de água da cultura. Por ciclo,

o consumo de água pode variar de 250 mm a 400 mm dependendo das condições e localidade de plantio.

**Tabela 1 – Valores de coeficiente de cultura para o feijão-caupi**

Ciclo (dia)	Localidades			
	Teresina	Parnaíba	Alvorada do Gurguéia	Apodi
0 – 15	0,5	0,7	0,65 – 0,70	0,52
16 – 44	0,8	0,75 – 1,12	0,70 – 0,90	0,57
45 – 57	1,05	1,12 – 0,80	0,90 – 1,20	1,16
58 – 65	0,75	0,7	0,80	1,16
Lâmina	430,9	415,8	288	385
Total (mm)				
Produtividade (kg/há)	2.220	2.130	1.300	-

Fonte: BASTOS; JUNIOR; NOGUEIRA, 2017.

O feijão-caupi pode ter ciclo médio (71 a 90 dias) ou ciclo precoce (55 a 60) dias. Para ciclo médio, a melhor época de plantio é no meio da estação chuvosa da região onde está sendo plantado, enquanto que o de ciclo precoce deve ser plantado, preferencialmente, dois meses de antecedência ao fim da estação chuvosa (ROCHA *et al.*, 2009).

## 2.10 Irrigação e bombeamento de água

Irrigação pode ser definido como o método de levar até a cultura a água que esta necessita para seu consumo, visando corrigir ou complementar a ausência de chuvas, garantindo máximo desenvolvimento e produtividade (TESTEZLAF, 2011). Existem quatro principais métodos de irrigação, isto é, a forma com a água é aplicada na cultura:

- **Aspersão:** água aplicada sobre a cultura, na forma de chuva.
- **Localizada:** água aplicada no solo, geralmente sobre a área sombreada da cultura.
- **Superficial:** água aplicada quando escoar superficialmente pelo solo.
- **Subsuperficial:** água aplicada abaixo da parte superficial do solo, sendo acessada pelas raízes das plantas.

Cada método de irrigação tem seus sistemas de irrigação, que é a maneira que a água efetivamente é disponibilizada as culturas. A escolha do método ideal irá variar em virtude da cultura a ser irrigada, necessidade de água, tipo de solo e condições climáticas (KLAR, 2000).

Conforme pode ser visto na Tabela 2, cada método de irrigação tem seus sistemas de irrigação, sendo a irrigação localizada amplamente utilizada no Brasil, estando presente em quase metade de todos os estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação no ano de 2017.

**Tabela 2 – Métodos, sistemas e proporção de uso nacional**

Método	Sistema	Uso Nacional
Superficial	Sulcos Inundação	7,1%
Aspersão	Convencional Pivô Carretel	25,2%
Localizada	Gotejamento Microaspersão	49,7%
Subsuperficial	Gotejamento subterrâneo Elevação lençol freático Mesas de subirrigação	18%
Fonte: TESTEZALF, 2011; IBGE, 2017.		

### 2.10.1 Irrigação por aspersão

Na irrigação por aspersão convencional a água é aplicada sobre o dossel da cultura na forma de gotas de água, semelhante a chuva (TESTEZLAF, 2011).. O sistema de irrigação por aspersão, pode, ainda, ser subdividido em:

- **Aspersão Convencional:** sistemas convencionais de irrigação, que utilizam bombeamento, tubulações e aspersores, podendo ser fixos ou móveis (FIGURA 5).
- **Aspersão Mecanizada:** os aspersores são montados em sistemas mecanizados que se movem de forma a aplicar a água em determinada área, como por exemplo a irrigação por pivô central, muito conhecida no Brasil, e a irrigação por carretel.

**Figura 9 – Sistema de irrigação por aspersão convencional**



Fonte: AGROPOS, 2022.

### 2.10.2 Irrigação localizada

Através deste sistema a água é aplicada debaixo da copa da cultura e preferencialmente perto do caule, umedecendo assim o solo ocupado pelo sistema radicular. As vantagens deste sistema são a alta eficiência e baixa vazão necessária, operando desta forma com baixas pressões (TESTEZLAF, 2011).

Os sistemas de irrigação localizada podem, ainda, ser divididos em:

- Gotejamento: a água é aplicada em baixíssimas vazões, na forma de gotas, formando bulbos molhados nas raízes das culturas.
- Microaspersão: aplicada na forma de chuva, ou sprays, possuindo também baixas vazões e uma área de abrangência maior que o gotejador (FIGURA 10).

**Figura 10 – Sistema de irrigação por microaspersão**



Fonte: CAMPEZZA, 2022.

### 2.10.3 Irrigação superficial

Também chamada de irrigação por gravidade, consiste na aplicação da água sobre o solo, que irá escoar e infiltrar-se no perfil do solo, atingindo a zona radicular da cultura, conforme observado na Figura 7 (TESTEZLAF, 2011). A irrigação superficial pode ser realizada por meio de:

- **Sulcos:** através de sulcos escavados ao lado das linhas de plantio da cultura, através do método de inundação.
- **Inundação:** a água é aplicada na totalidade da área a ser irrigada, sendo contida por diques, após acumular-se sobre o perfil do solo irá se infiltrar.

**Figura 11 – Sistemas de irrigação por sulcos (esq.) e inundação (dir.)**



Fonte: REDE AGRONOMIA, 2022; A LAVOURA, 2022.

### 2.10.4 Irrigação subsuperficial

A aplicação da água é realizada diretamente nas raízes do solo, abaixo da superfície do solo, através do fenômeno conhecido como ascensão capilar subindo pelo perfil do solo (TESTEZLAF, 2011). É utilizado nos seguintes sistemas de irrigação:

- **Gotejamento subterrâneo:** os gotejadores ficam localizados no interior do solo, em profundidade viável para fornecimento de água as plantas (FIGURA 8).
- **Elevação do lençol:** através de linhas subterrâneas de drenagem ou até mesmo linhas de irrigação, a profundidade do lençol freático é controlada, esta prática é amplamente utilizada em locais encharcados.

**Figura 12 – Sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo**



Fonte: RIVULLIS, 2022.

#### 2.10.5 Bombeamento de água na irrigação

Os sistemas de irrigação são compostos por partes distintas que trabalham em conjunto para que a irrigação seja realizada. A água é obtida através de captação em uma fonte de água que pode ser superficial (cursos d'água) ou subterrânea (poços), sendo utilizadas bombas de recalque que transportam a água até a área de irrigação. A pressão fornecida pela bomba deve ser suficiente para movimentar a água e para que os aspersores/emissores funcionem com a vazão adequada (TESTEZLAF, 2011).

Os custos ligados aos gastos com energia elétrica para bombeamento na irrigação são significativos, ao se considerar os custos variáveis que envolvem a prática da irrigação. A fim de se reduzir esse custo, o dimensionamento deve ser realizado de maneira adequada a fim de aumentar a eficiência da irrigação e consumo de água (LOUREIRO; CARVALHO, 2015).

Além da redução de custos, a energia elétrica não é universal, sendo de difícil acesso ou inexistente em algumas regiões do Brasil. Segundo o último censo agropecuário realizado (IBGE, 2017) em todo o território nacional 16,4% dos estabelecimentos agropecuários não possuíam fornecimento de energia elétrica. Em contrapartida muito embora no Norte de Minas apenas 6,5% dos estabelecimentos não possuíam fornecimento de energia elétrica, ainda representam um total de mais de 6 mil estabelecimentos.

### 3 METODOLOGIA

Para realização da pesquisa, inicialmente foram obtidos junto ao Centro de Referência para energia Solar e Eólica Sérgio S. de Brito (CRESESB) os valores mensais de irradiação solar convertidos do plano horizontal para o plano inclinado (CRESESB, 2022). A aplicação web destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional, utilizando dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2017), que no momento é que se tem de mais moderno em informações de irradiação solar no Brasil.

Foi obtido o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar, geralmente usado em situações onde o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico para atividade fim. Sendo assim, procura-se minimizar o risco de falta de energia. Foi usado como referência para o dimensionamento do sistema fotovoltaico o menor valor coincidente com a época de cultivo da cultura alvo da irrigação.

O dimensionamento do sistema foi realizado em etapas com procedimentos metodológicos específicos segundo metodologia de Sá (2010), definidas a seguir:

- Determinação da necessidade de água da cultura alvo para uma área fictícia de 1 ha na comunidade Planalto Rural, Montes Claros/MG;
- Definição dos equipamentos utilizados no dimensionamento do sistema fotovoltaico: conjunto-motobomba, painéis solares, baterias e inversor;
- Determinação da quantidade de placas solares necessárias ao sistema;
- Determinação da quantidade de baterias necessárias para manter o sistema em funcionamento na ocasião de ausência de luz solar;
- Determinação do investimento inicial do projeto e seu tempo de retorno.



Os equipamentos foram escolhidos a partir de três critérios de prioridade: primeiro, devem atender as necessidades do projeto; segundo, devem ser de fácil acesso para o local onde foi dimensionado; terceiro, deve ter preço compatível com o mercado. Todos os cálculos foram realizados por meio de planilha eletrônica, utilizando o software Microsoft Office Excel® (2019).

### 3.1 Dimensionamento do sistema

Baseado no índice de radiação diária média mensal, disponibilizado na internet pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB,2022), para as coordenadas 16°54'03.6"S e 43°50'56.4"O, localizado na comunidade rural Planalto Rural, a 20 km de distância da área urbana de Montes Claros. Os valores mensais para quatro diferentes planos de inclinação encontram-se discriminados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Irradiação solar diária média mensal para o Município de Montes Claros**

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Plano Horizontal	0° N	6,13	6,36	5,38	5,17	4,72	4,51	4,84	5,68	6,06	5,95	5,35	5,91	5,51
Ângulo igual a latitude	17° N	5,62	6,08	5,44	5,63	5,5	5,46	5,79	6,43	6,34	5,79	4,98	5,37	5,7
Maior média anual	18° N	5,58	6,05	5,44	5,64	5,53	5,5	5,83	6,46	6,34	5,77	4,95	5,33	5,7
Maior mínimo mensal	11° N	5,83	6,22	5,46	5,51	5,27	5,17	5,5	6,21	6,29	5,89	5,14	5,59	5,67

Fonte: CRESESB, 2022.


O ângulo de inclinação dos painéis solares será de 11°N, pois é o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar, geralmente usado em situações onde o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico para atividade fim e por isso procura-se minimizar o risco de falta de energia. Será usado como referência para o dimensionamento do sistema fotovoltaico o valor referente ao mês de novembro, coincidente com a época de cultivo do feijão-caupi.



### 3.2 Necessidade de água para irrigação

O sistema foi dimensionado para uma área hipotética de 1 hectare na comunidade Planalto Rural, considerando espaçamento entre plantas de 0,2 m e entre linhas de 0,5 m, segundo recomendação de EMBRAPA (2002), sendo, portanto, 100 mil plantas por hectare. Será utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, considerando-se fita gotejadora da marca AZUD de 1,6 L/h e pressão de serviço de 10 mca, conforme Figura 9.

**Figura 13 – Especificações da fita gotejadora utilizada no dimensionamento**



Seasonal Dripline Tubo estacional		AZUD SPRINT							
		160				220			
		0.7L	1L	1.6L	2.1L	0.7L	1L	1.6L	2.1L
Nominal Flow Vazão nominal	l/h - 1 bar gph - 14.5 psi	0.70 0.18	1 0.26	1.6 0.42	2.1 0.55	0.70 0.18	1 0.26	1.6 0.42	2.1 0.55
Flow Vazão	l/h - 0.7 bar gph - 10 psi	0.57 0.15	0.8 0.22	1.3 0.35	1.77 0.47	0.57 0.15	0.8 0.22	1.3 0.35	1.77 0.47
Inner Diameter Diâmetro interior	mm "	16 0.63				22.2 0.88			

Fonte: Adaptado de AZUD BRASIL, 2022.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) é calculada a partir do produto do fator da cultura ( $K_c$ ) e da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), sendo considerada neste trabalho 5,11 mm/dia conforme estudo realizado por Alencar *et al.* (2015). O valor de  $K_c$  utilizado foi de 1,2 (adimensional), calculado em região de clima semelhante (semiárido).

$$ET_c = K_c \cdot ET_o = 1,2 \cdot 5,11 = 6,13 \text{ mm}/\text{dia} \quad (1)$$

A lâmina bruta diária da cultura considerando a eficiência do sistema de irrigação, sendo considerada eficiência de 95% conforme Coelho, Filho e Oliveira (2005).

$$LB = \frac{ET_c}{E_f} = \frac{6,13}{95} 100 = 6,45 \text{ mm}/\text{dia} \quad (2)$$

A quantidade de água por planta é calculada a partir do espaçamento entre linhas e entre plantas, considerando que 1 mm é igual a 1 L/m<sup>2</sup>.

$$\frac{\text{Litros}}{\text{planta}} = LB \cdot EP \cdot EL = 0,65 \text{ L/planta} \quad (3)$$

O tempo de operação por setor é calculado a partir da vazão do aspersor, considerando que haverá 1 emissor por planta.

$$TO = \frac{LB}{(Qe \cdot NE)} = \frac{6,45}{(1,6 \cdot 1)} = 0,403 \frac{h}{dia} \quad (4)$$

A fim de se reduzir a vazão do sistema, a área será dividida em 10 setores, cada um funcionando durante 24 minutos (0,4 horas), para uma jornada diária de irrigação de pouco mais de 4 horas.

$$TD = TO \cdot NS = 0,403 \cdot 10 = 4,03 \text{ h/dia} \quad (5)$$

A vazão do sistema, conforme equação abaixo, será de 16 m<sup>3</sup>/h.

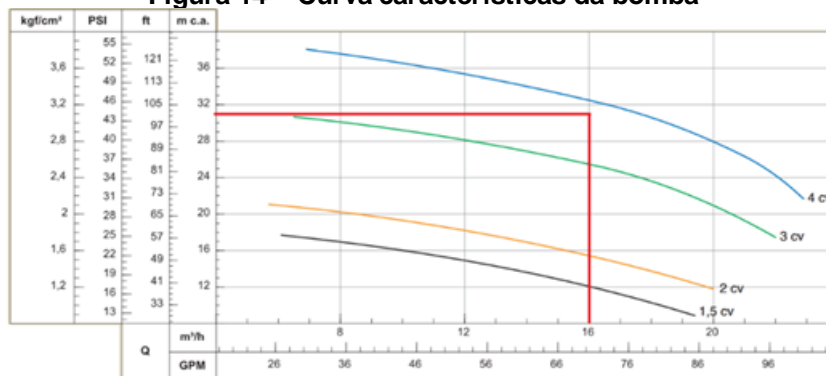
$$Q_s = 10 \cdot \frac{\left(\frac{A}{NS}\right)/A \cdot 10^4}{NP} \cdot Qe \cdot NE = 10 \cdot \frac{\left(\frac{A}{NS}\right)/A \cdot 10^4}{100000} \cdot 1,6 \cdot 1 = 16 \text{ m}^3/\text{h} \quad (6)$$

O sistema de irrigação, portanto, funcionara durante 4 horas, com vazão de 16 m<sup>3</sup>/h cuja captação será feita de poço artesiano. Considerando altura de sucção, perdas de carga na rede adutora, principal, distribuição e laterais, além da própria pressão de operação do aspersor igual a 10 mca, será considerada altura manométrica do sistema igual a 30 mca. A altura manométrica do sistema considera sistema de recalque com tubulações em situação de active.

### 3.3 Energia necessária para a bomba

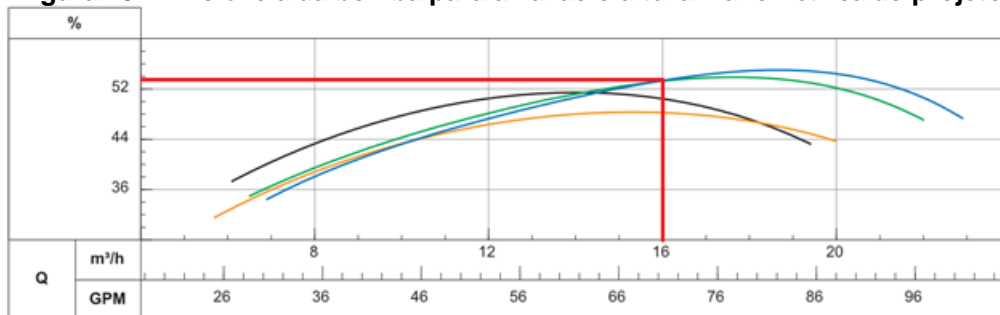
O conjunto motobomba foi selecionado de forma que atendesse a vazão e altura manométrica do projeto, conforme Tabela 4.

**Figura 14 – Curva características da bomba**



Fonte: Schneider, 2022.

**Figura 15 – Eficiência da bomba para a vazão e altura manométrica do projeto**



Fonte: Schneider, 2022.

**Tabela 4 – Bomba selecionada para o projeto**

Marca	Schneider
Modelo	BC 21 R 1 1/4
Altura Manométrica	32 mca
Vazão	16,5 m³/h
Potência	4 cv
Tensão	220 V
Corrente	24,3 A

Fonte: Schneider, 2022; THERMAK, 2022.

A potência elétrica máxima (PEB<sub>Max</sub>) da bomba foi calculada a partir da expressão abaixo, onde V é a tensão e I a corrente da bomba selecionada, conforme Tabela 4.

$$PEb_{Max} = V \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 24,3 \text{ A} = 5.346 \text{ VA} \quad (7)$$

A fim de se determinar a energia necessária para funcionamento da bomba (EB), é necessário considerar o seu tempo de funcionamento. O tempo de funcionamento da bomba é igual ao tempo de operação (TO) do sistema.

$$EB = (PEb_{Max} \cdot TO) = \frac{(5.346 \cdot 4,03)}{1000} = 21,6 \text{ kWh/dia} \quad (8)$$

### 3.4 Placas fotovoltaicas necessárias

Considerando ângulo de inclinação de 11°N, haverão 5:08 horas de Sol Pleno (HSP), conforme conversão abaixo referente ao mês de novembro,

coincidente com a época de plantio onde o maior mínimo mensal é a situação mais extrema que o projeto irá enfrentar.

$$HSP = \frac{5,14 \frac{kWh}{m^2 \cdot dia}}{\frac{1}{m^2}} = 5,14 \text{ h/dia} \quad (9)$$

As características técnicas da placa fotovoltaica escolhida para o projeto encontram-se discriminada na Tabela 5.

**Tabela 5 – Painel fotovoltaico escolhido para o projeto**

Marca	Resun Solar
Modelo	RS6C 280P
Máxima Potência	280 W
Tensão Máxima	31,7 V
Corrente Máxima	8,58 A

Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2022.

A fim de se determinar a quantidade de painéis necessários, é necessário calcular a quantidade de energia gerada por cada painel solar (EP), conforme equação abaixo, onde PP é a máxima potência conforme Tabela 5.

$$EP = PP \cdot HSP = \frac{5,14 \cdot 280}{1000} = 1,44 \text{ kWh/dia} \quad (10)$$

A quantidade de painéis solares necessários ao projeto é obtida a partir da razão entre a energia da bomba e energia gerada individualmente por cada painel. Apesar de 15 painéis serem suficientes para fornecer energia a bomba, o tempo para recarga das baterias seria extremamente longo considerando que a energia excedente seria de apenas 0,01 kWh/dia. Dessa forma, considerou-se inicialmente 16 painéis para o funcionamento do projeto.

$$NP = \frac{EB}{EP} = \frac{21,6}{1,44} = 14,99 \cong 16 \text{ painéis} \quad (11)$$

Assim, novamente é necessário calcular a energia de suprimento (ESup) proporcionada pelos painéis, considerando agora 16 placas solares, onde NP são a quantidade de painéis solares.

$$ESup = NP \cdot EP = 16 \cdot 1,44 = 23,03 \text{ kWh/dia} \quad (12)$$

Por fim, procedeu-se com o cálculo da energia excedente (EExc), conforme equação que se segue.

$$EExc = E_{sup} - EB = 23,03 - 21,6 = 1,46 \text{ kWh/dia} \quad (13)$$

### 3.5 Banco de baterias

A fim de se determinar a quantidade de baterias necessárias para fornecer a bomba a energia necessária para seu funcionamento no caso de ausência de luz solar foi escolhida a bateria discriminada na Tabela 6, pois possui elevada capacidade de armazenamento.

**Tabela 6 – Bateria escolhida para o projeto**

Marca	Dyness
Modelo	B3
Capacidade	234 Ah
Tensão	12 V
Capacidade descarga	90%

Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2022.

Inicialmente procedeu-se convertendo a energia necessária para o funcionamento da bomba (CB) de kWh para Ampere-hora, onde T<sub>Bat</sub> é a tensão da bateria (TABELA 5) e Ef<sub>Conv</sub> (decimal) a eficiência de conversão da energia, aqui considerada como 80%.

$$CB = \frac{(EB \cdot 1000)}{(T_{Bat} \cdot Ef_{Conv})} = \frac{(21,6 \text{ kWh/dia} \cdot 1000)}{(12 \text{ V} \cdot 0,80)} = 2.246,6 \text{ Ah/dia} \quad (14)$$

A capacidade de armazenamento de energia do banco de baterias (Cap<sub>Banco</sub>) foi calculada considerando-se o consumo diário da bomba, 2 dias de autonomia do sistema e 90% de capacidade de descarga da bateria

$$Cap_{Banco} = CB \cdot Dias_{Aut} = \frac{2.246,6 \cdot 2 \text{ dias}}{0,9} = 4.992,3 \text{ Ah} \quad (15)$$

A quantidade de baterias necessárias é calculada a partir da razão entre a capacidade requerida do banco de baterias e a capacidade de armazenamento de uma única bateria (Cap<sub>Bat</sub>).

$$N_{Bat} = \frac{Cap_{Banco}}{Cap_{Bat}} = \frac{4.992,3 Ah}{234 Ah} = 21,3 \cong 22 \text{ baterias (16)}$$

A fim de se determinar o tempo de recarga (TRec), é necessária efetuar a conversão da energia excedente de kWh para Ampère, conforme equação abaixo.

$$EExc = \frac{(EExc \cdot 1000)}{Tb} = \frac{(1,46 \cdot 1000)}{12} = 121,7 Ah/dia (17)$$

Dessa forma, o tempo de recarga é obtido a partir da razão entre a capacidade do banco e a energia excedente do sistema, sendo necessárias 41 dias para que o banco de baterias recarrega completamente após descarga.

$$TRec = \frac{Cap_{Banco}}{EExc} = \frac{4.992,3}{121,7} = 41,02 \text{ dias (18)}$$

### 3.6 Reduzindo tempo de recarga

Um tempo de recarga de 41 dias é extremamente longo para a condição de irrigação. Portanto, a fim de se reduzir o tempo de recarga para 7 dias, procedeu-se dividindo a capacidade do banco de baterias pelo número de dias de recarga desejados.

$$EExc_N = \left( \frac{Cap_{Banco}}{Dias} \right) = \frac{4.992,3}{7 \text{ dias}} = 713,2 \frac{Ah}{dia} (19)$$

Conhecendo-se a quantidade diária de energia excedente necessária a ser armazenada para que o banco de baterias recarregue, deve-se primeiramente converter essa energia de Ampère-dia para kWh/dia, conforme se segue.

$$EExc = \frac{EExc_N}{1000} T_b = \frac{713,2}{1000} \cdot 12 = 8,56 kWh/dia (20)$$

Obtido o valor da energia excedente necessária, basta somá-la a energia necessária para o funcionamento da bomba a fim de se obter a energia de suprimento.

$$ESup = EB + EExc = 21,6 + 8,56 = 30,1 kWh/dia (21)$$

Dessa forma, serão necessários mais 5 painéis solares para produzir a energia de suprimento necessária para que o banco de baterias recarregue em 7 dias.

$$PN = \frac{ESup}{EP} = \frac{30,1}{1,44} = 20,9 \cong 21 \text{ painés (22)}$$

Por fim, calcula-se novamente o tempo de recarga das baterias para a nova configuração de 21 painéis, conforme se segue, sendo necessários 6,9 dias para que o banco de baterias recarregue completamente.

$$Exc_{Novo} = \frac{((PN \cdot NP) - EB) \cdot 1000}{Tb} = \frac{((21 \cdot 1,44) - 21,6) \cdot 1000}{12} = 721,4 \text{ Ah/dia (23)}$$

$$DiasRec = \frac{CapRec}{CapBanco} = \frac{4.992,3}{721,4} = 6,92 \text{ dias (24)}$$

### 3.7 Inversor de carga

Para motores de indução monofásicos, a corrente de partida é 5 vezes maior na partida do que sua corrente nominal. O inversor, discriminado na Tabela 7, foi escolhido em virtude da corrente de pico.

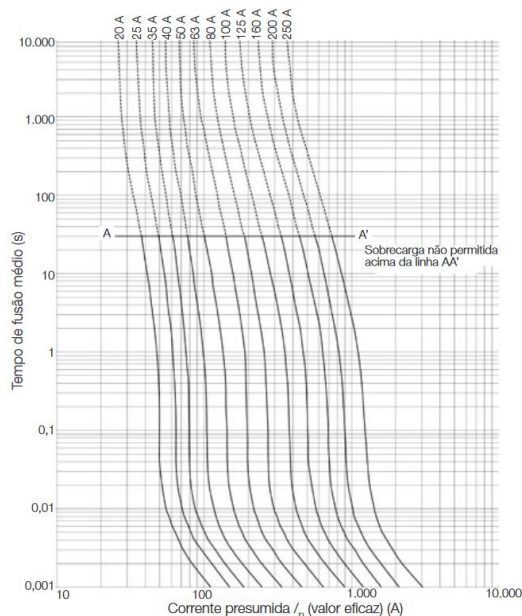
**Tabela 7 – Bateria escolhida para o projeto**

Marca	Canadia Solar
Modelo	CSI-20KTL-GI-FL
Potência nominal	20 kW
Potência de surto	30 kW
Tensão Entrada (Máxima)	40 A
Tensão Saída	220 V

Fonte: Canadian Solar (2022)

É necessário incluir ao projeto um sistema de proteção contra curto circuito, considerando corrente de partida 5 vezes acima da corrente nominal, é necessária uma corrente de partida de 510,3 A. Considerando tempo de partida de 5 segundos, um fusível de 80 A será suficiente para preservar o motor da bomba de acordo com a Figura 16.

**Figura 16 – Curva de seleção de fusível Weg**



Fonte: WEG (2022)

### 3.8 Controlador de carga

A fim de se dimensionar corretamente os controladores de carga, é necessário conhecer a corrente de curto-circuito dos painéis solares, para o modelo RS6C 280P da marca Resun Solar é igual a 9,24 A (MINHA CASA SOLAR, 2022). Conhecendo a quantidade de painéis solares em paralelo a corrente de curto-circuito do sistema ( $I_{CC}$ ) é calculada, adicionando-se uma margem de segurança de 25% para maior confiabilidade do sistema.

$$I_{CC} = (NP \cdot 9,24) \cdot 1,25 = (21 \cdot 9,24) \cdot 1,25 = 242,55 \text{ A (25)}$$

Obtida a corrente de curto circuito e conhecendo a corrente máxima suportada pelo controlador de carga (TABELA 8), pode se determinar a quantidade de controlares (NCC) necessários ao sistema.

**Tabela 8 – Controlador de carga escolhido**

Marca	Tracer
Modelo	8415AN
Tensão Suportada	12V – 48 V
Corrente Máxima	80 A

Fonte: MINHA CASA SOLAR, 2022.



Dessa forma, a quantidade de controladores necessárias é calculada a partir da equação abaixo.

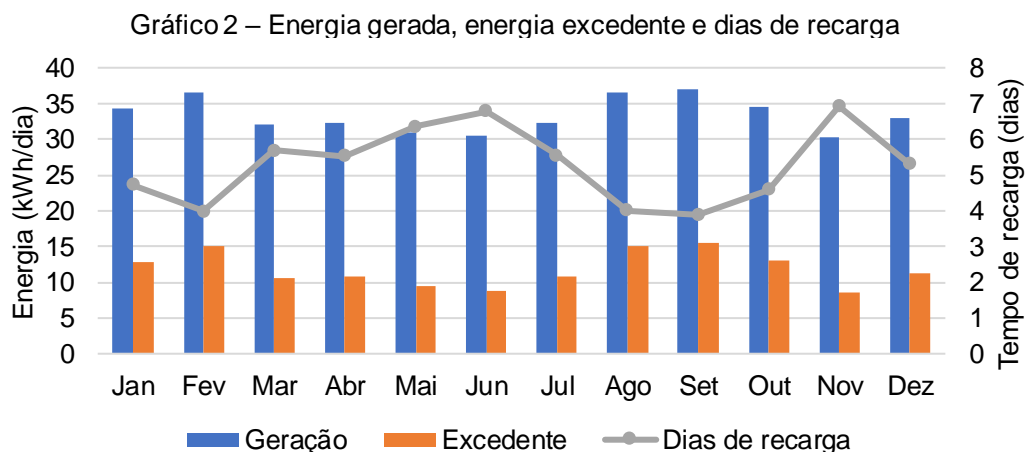
$$N_{cc} = \frac{242,55}{80} = 3 \text{ controladores (26)}$$

Serão necessários 3 controladores de 80 A funcionando em paralelo para suportar a corrente total máxima estimada para o sistema.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema será composto por 21 painéis fotovoltaicos e um banco de baterias com autonomia de 2 dias, sendo necessários aproximadamente 7 dias para que o banco de baterias recarregue completamente enquanto a bomba continue funcionando.

De acordo com o Gráfico 2 é possível observar energia gerada mensalmente considerando o maior mínimo mensal. O mês de maior geração de energia será o mês de setembro, enquanto o mês de menor produção será o mês de novembro, considerado como mês de referência para o dimensionando do projeto. Em consonância, o mês recarga mais rápida, ou menos dias necessários para recarga, será em setembro, enquanto novembro será o dia com maior número de dias necessários para recarga completa do banco de baterias.

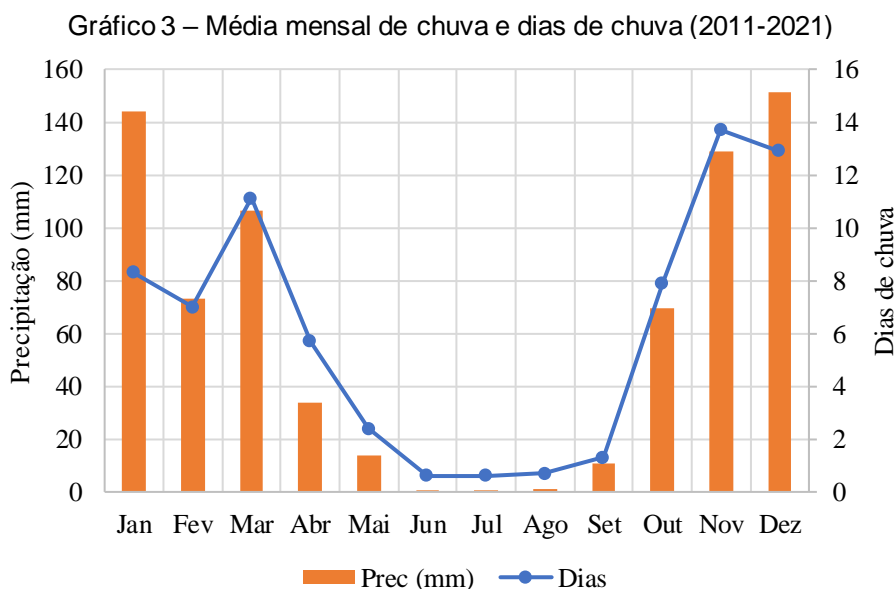


Fonte: INMET (2022)

Martins, Diniz e Araújo (2015) ao dimensionar sistema fotovoltaico isolado para o bombeamento de água em Ponta Grossa, semiárido Paranaense, definiram 4 painéis de 250 Wp para suprir bomba de 1 cv, operando 5 h/dia, com vazão de 3 m<sup>3</sup>/h e 15 m de altura manométrica. Para a localidade a menor disponibilidade energética ocorre no mês de Junho, com 4,86 horas de sol pleno. Apesar de Montes Claros apresentar mais horas de sol pleno, a demanda hídrica e altura manométrica do sistema de irrigação é muito superior.

O gráfico 3 apresenta a média mensal de precipitação e de dias de chuva entre os anos de 2011 e 2021, coletado para a estação A506 localizada na região urbana de Montes Claros. O mês mais chuvoso do ano é dezembro, seguido do

mês de janeiro. O mês de novembro apresenta a maior quantidade de dias com precipitação, ou 14 dias com precipitação. Caso o banco de baterias descarregue completamente em novembro, mês de implantação da cultura, não será necessário utilizar o sistema de irrigação. Além disso, em períodos longos de precipitação a lâmina d'água acumulada no solo torna desnecessária a utilização da irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em INMET (2022).

A tabela 9 apresenta os componentes principais que compõe o sistema dimensionado, com quantidade e preços médios. O total necessário a se investir em equipamentos para a implementação do sistema será igual a R\$ 79.790,00

**Tabela 9 – Principais componentes e preços do sistema**

Descrição	Unitário	Qtd	Total Unt (R\$)
Bomba Schneider 4cv	3.000	1	3.000
Painel Resun Solar 280W	790	21	16.590
Bateria Dyness 234 Ah 12 V	1.800	22	39.600
Inversor Canadian Solar	18.000	1	18.000
Controlador de carga Tracer 80 A	2.600	1	2.600
Total Geral			R\$ 79.790

Fonte: Autor, 2022.

Considerando o tempo de funcionamento de 4 horas e consumo diário da bomba igual a 21,6 kW por dia e de 647 kW mensais, aplicando-se a tarifa rural

vigente em fevereiro de 2022 (CEMIG, 2022) de 1,08 R\$/kWh (desconsiderando-se as tarifas e taxas aplicáveis), seriam necessários 9,5 anos para obter retorno do investimento realizado ao se utilizar o sistema de irrigação por todo o ano, uma vez que ele pode ser utilizado para irrigar outras culturas e outras áreas.

Melo, Oliveira e Cordeiro (2021) ao estudarem o uso de energia fotovoltaica no semiárido nordestino com carga diária de 24 kW para diversas fontes consumidoras além de bombas elétricas, determinaram investimento inicial de 27,6 mil reais. Apesar da demanda energética diária ser muito próxima da calculada para Montes Claros, utilizaram 10 módulos fotovoltaicos de 285 Wp e 4 baterias estacionárias. Dessa forma, para o semiárido nordestino, o sistema fotovoltaico foi dimensionado para se manter fornecimento contínuo por 24 horas, e os custos com o inversor reduziram consideravelmente pois a energia de alimentação das bombas não ultrapassou 6 kW, tendo uma corrente de partida muitas vezes menor. Não havia, também, criticidade no tempo de recarga do banco de baterias.

A produtividade do feijão-caupi, no entanto, aumenta consideravelmente ao se utilizar a técnica da irrigação. Considerando o preço de venda do feijão-caupi como R\$ 7/kg, seriam obtidos anualmente R\$ 4.088 adicionais de produção conforme Tabela 9, somados a redução mensal de R\$ 698 mensais (R\$ 8.376 anuais), o investimento se pagaria em um prazo de 6,5 anos.

**Tabela 10 – Aumento de produtividade teórico**

	Produtividade (kg/ha)	Preço de Venda
Não irrigado	852	5.964
Irrigado	1.436	10.052
Diferença	584	4.088

Fonte: SILVA; NEVES, 2020.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização de placas fotovoltaicas é viável para o bombeamento de água para a sistemas de irrigação. Os custos para a implementação de sistemas *off-grid*, no entanto, são extremamente altos, sendo necessários estudos quanto a viabilidade de bombas projetadas exclusivamente para utilização em sistemas fotovoltaicas.

Além disso, para fins de dimensionamento considerou-se uma altura manométrica extremamente elevada, de 30 mca, o que aumentou a potência exigida para a motobomba e conseqüentemente a energia necessária para seu funcionamento. Para sistemas de irrigação cuja altura manométrica de projeto seja menor, a potência da bomba diminuirá consideravelmente, o que reduzirá as necessidades do projeto (como quantidade de baterias) e conseqüentemente os custos.

A utilização de energia solar fotovoltaica é uma tecnologia promissora, porém os custos elevados para sua implementação a tornam menos atraente, sendo necessário outras formas de incentivo para sua utilização. No entanto, para locais onde não há acesso à energia elétrica, sua utilização é viável quando comparado aos benefícios que este proporciona.

## REFERÊNCIAS

AGROPOS. Irrigação por Aspersão: Saiba tudo sobre esse assunto. 2022. Disponível em: < <https://agropos.com.br/irrigacao-por-aspersao/>>. Acesso em: jan. 2022.

ALENCAR, LEONIDAS P.; SEDIYAMA, GILBERTO C.; MANTOVANI, EVERARDO C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub> padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 39-50, 2015.

A LAVOURA. Atlas Irrigação aponta que área agrícola irrigada no Brasil totaliza 8,2 milhões de hectares. Disponível em: <<https://alavoura.com.br/colunas/panorama/atlas-irrigacao-aponta-que-area-agricola-irrigada-no-brasil-totaliza-82-milhoes-de-hectares/>>. Acesso em: jan. 2022.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021. 130p. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br>>. Acesso em: 05/11/2021.

AZUD BRASIL. AZUD LINE, tubo gotejador de parede fina, com gotejador plano. 2022. Disponível em: <<http://www.azudbrasil.com.br/irrigacao/azud-line/>>. Acesso em: fev. 2022.

BASTOS, E. A.; JÚNIOR, A. S. A.; NOGUEIRA, C. C. P. Cultivo de feijão-caupi. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Brasília, Brazil**, 2017.

BATISTA, L. L. B.; SANTOS, A. N.; ARAÚJO, E. C. M. CRITÉRIOS PARA O EMPREGO DE PLACAS SOLARES E PROPOSTAS DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS PARA ESCOLAS PÚBLICAS DO DISTRITO FEDERAL. **Programa de Iniciação Científica-PIC/UniCEUB-Relatórios de Pesquisa**, v. 2, n. 1, 2016.

SCHNEIDER. BC-21. 2022. Disponível em: < <https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/large/centr%C3%ADfugas-monoest%C3%A1gio/bc-21/>>. Acesso em: dez. 2021.

BEZERRA, D. B. Energia solar. **Caderno Setorial ETENE**, Ano 6, nº 174, julho de 2021. Disponível em: < <https://198.17.121.65/s482-dspace/handle/123456789/834> >. Acesso em: 27 out. 2021.

BMC ENERGIA. Como funcionam, 2022. Disponível em: <<http://www.bmcenergia.com.br/como-funcionam>>. Acesso em: fev. 2022.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; FILHO, L. R. A. G. Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil. **Revista Científica ANAP**

**Brasil**, v. 8, n. 12, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.17271/1984324081220151138>>. Acesso em: fev. 2022.

CANADIA SOLAR. Inversor String Canadian Trifásico 15kW, 2022. Disponível em: <<https://genyx.com.br/produto/inversor-string-canadian-trifasico-15kw/>>. Acesso em: Fev. 2022.

CARNEIRO, J. Módulos fotovoltaicos: características e associações. 2010.

CEMIG. Valores de tarifas e serviços. 2022. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: fev. 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO – CRESESB. Potencial Solar – SunData v 3.0. Rio de Janeiro: 2022. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 05/11/2021.

CHIODI, R. E. *et al.* Água, agricultura e políticas públicas: um estudo sobre agricultores familiares irrigantes no norte de Minas Gerais. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 46, n. 4, p. 79-96, 2015.

COELHO, E. F.; FILHO, M. A. C.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: 2013, 98p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: jan. 2022.

CUNHA *et al.*, 2021. Evapotranspiração de referência ao longo do estado de Minas Gerais como guia para a gestão regionalizada da irrigação. *Irriga*, v. 1, n. 3, p. 458-467, dez. de 2021. Disponível em: <<https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4382>>. Acesso em: 29 out. 2021.

DURÃES, F. O. M.; SUNDFELD, E.; SILVA, J. E. Fontes Alternativas de Energia e Perspectivas do Uso da Agroenergia no Mundo. **Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina: Embrapa Cerrados**, p. 837-860, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional 2021: Ano base 2021. Rio de Janeiro: 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

FONSECA, A. I. A. **Agricultura familiar como sustentabilidade**: Estudo de caso do Planalto Rural de Montes Claros - MG. Orientador: Darlene Aparecida Ferreira de Oliveira. 2012. 182 p. Dissertação (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro,

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, [S. l.], 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/104412>. Acesso em: 23 nov. 2021.

GIDDENS, A. **Sociologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

CAMPEZA. Gotejadores e microaspersores. 2022. Disponível em: <<https://www.campezza.com.br/gotejadores-e-microaspersores>>. Acesso em: dez. 2022.

FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de frequência: teoria e aplicações**. Saraiva Educação SA, 2009.

GUIMARAES, D. P.; REIS, R. J.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo**, 88 p. Série 30, 2010.

IBGE – Censo Agropecuário 2017. In: SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6857>>. Acesso em: nov. 2021.

IBGE – Produção Agrícola Municipal. In: SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática. Rio de Janeiro, 2021b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: jan. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. PANORAMA, 2021a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/montes-claros/panorama>>. Acesso em: 26 nov. 2021.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR. Irrigação: gestão de água e energia elétrica. Brasília: 2019, 87 p. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/255-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

KLAR, A. E. Critérios para escolha do método de irrigação. *Irriga*, v. 5, n. 1, p. 52-82, 2000.

LEVIEN, S. L. A.; FIGUEIRÊDO, V. B.; ARRUDA, L. E. V. Panorama da atual área de agricultura irrigada no Brasil. Nova Xavantina: Pantanal, 2021. 153 p. Disponível em: <<https://doi.org/10.46420/9786588319963>>. Acesso em: nov. 2021.

LIMA, F. R. S. **Irrigação na cultura do alho utilizando a geração solar fotovoltaica no estado de Santa Catarina**. 2019. 62 p. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Tecnologia em Sistemas de Energia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/1303>. Acesso em: 5 out. 2021.

LOUREIRO, G. F.; CARVALHO, J. A. GRAFICBOMB: Software para cálculos hidráulicos e custos de bombeamento. **IRRIGA**, v. 20, n. 4, p. 694-704, 2015.



MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015. Disponível em: < <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664> >. Acesso em: 13 out. 2021.

MARTINS, E. G. O.; DINIZ, A. M. F.; ARAÚJO, R. D.. Irrigação com aproveitamento da água das chuvas e bombeamento fotovoltaico. In: **V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa**. 2015.

MARTINS, F. B. *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, 2018.

MELO, D. C. P.; OLIVEIRA, M. J. M.; CORDEIRO, L. F. A. Estudo do bombeamento de água salobra para irrigação agrícola: solução para uma cooperativa do semiárido nordestino com energia solar fotovoltaica. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, 2021.

Ministério de Minas e Energia – MME. Sistemas de Informações Energéticas – SIE Brasil, 2021. Disponível em: < <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/> >. Acesso em: 05/12/2021.

MINHA CASA SOLAR. Painel Solar policristalino 280W Resun Solar RS6C 280P. 2022. Disponível em: < <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-policristalino-280w-resun-solar-rs6c-280p-79947>>. Acesso em: fev. 2022.

NACHTIGALL, G. R.; LONGHI, J. L.; LISBOA, PDM. Irrigação/fertirrigação: tecnologias para aumentar a eficiência produtiva da macieira. 2021.

OLIVEIRA, I. J. *et al.* Recomendações técnicas para o cultivo de feijão-caupi no Estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2019.

PEREIRA, E. B. *et al.* Atlas brasileiro de energia solar. Edição 2. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 05/11/2021.

PEREIRA, J. B. A. Manual prático de irrigação. **Disponível em: [www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/manualpraticodeirrigacao.pdf](http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/manualpraticodeirrigacao.pdf), acessado em**, v. 6, n. 05, p. 2016, 2014.

PIERRO, B. Para aproveitar o sol: Estudo indica áreas favoráveis para explorar a energia solar no Brasil. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, ano 18, ed. 258, ago. 2017. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/para-aproveitar-o-sol/>. Acesso em: 20 out. 2021.

REDE AGRONOMIA. Projeto de irrigação com sulcos de infiltração. 2022. Disponível em: <<https://agronomos.ning.com/profiles/blogs/projeto-de-irriga-o-com-sulcos-de-infiltra-o>>. Acesso em: fev. 2022.

REIS, P. Portal Energia. **Como funcionam células solares fotovoltaicas**. Portal Energia, 2015. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/como-funcionam-celulas-solares-componentes-operacoes/>>. Acesso em: dez.2021.

REN21. Renewables 2021 Global Status Report, 2021. Disponível em: < <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

RIBAS, L. ENSOLARE. **Efeito fotovoltaico – como a energia é gerada**. ENSOLARE, 2020. Disponível em: < <https://www.ensolare.com.br/blog/efeito-fotovoltaico-como-a-energia-e-gerada>>. Acesso em: nov. 2022.

RIVULLIS. Iniciando com Gotejamento Subsuperficial (Gota-a-Gota Subterrânea). 2022. Disponível em: < <https://pt.rivulis.com/crop/irrigacao-subterranea-sdi/#>>. Acesso em: fev. 2022.

ROCHA, G. S.; RODRIGUES, O. S. Estudo de Viabilidade de Sistema de Geração de Energia Elétrica Através do Efeito Fotovoltaico. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 62p. 2019.

ROCHA, M. M. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi semi-prostrados na região Norte do Brasil. In: **Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 257-261., 2009.

SÁ, D. A. P. **Sistemas fotovoltaicos para bombeamento de água**. 2010. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/7107>. Acesso em: 5 out. 2021.

SAMPAIO, C.A. *et al.* CARGA TÉRMICA RADIANTE EM AMBIENTES SOMBREADOS E A PLENO SOL: ESTUDO DE CASO. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 5, p. 417-422, 2018.

SANTOS, A. S. S. **O estado da arte das células fotovoltaicas**. 2018. 53f. (Trabalho de Conclusão de Curso - Monografia), Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba - Brasil, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18827>

SAUAIA, R. L. Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios. Audiência Pública, Comissão de Minas e Energia – CME, Câmara dos Deputados. Brasília, 13/08/2019. Disponível em: < <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/apresentacoes-em-eventos/2019/13-08-2019-distribuicao-de-energia-solar-fotovoltaica/2019.08.13%20ABSOLAR%20-%20Energia%20Solar%20Fotovoltaica%20-%20Dr.%20Rodrigo%20Lopes%20Suaia.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2021.

SEBRAE. Energia Solar: Qual a diferença entre sistemas On Grid e Off Grid?, 2022. Disponível em: <<https://respostas.sebrae.com.br/energia-solar-qual-a-diferenca-entre-sistemas-on-grid-e-off-grid/>>. Acesso em: fev. 2022.

SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudo da precipitação no estado de Minas Gerais-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v13i0.33345>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, 2011.

SILVA, M. B. O. *et al.* Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

SILVA, P. S. L. Consorciação milho e feijão caupi para produção de espigas verdes e grãos verdes. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, n. 1, p. 04-10, 2001.

SOLAR MAGAZINE. Tipo de painéis solares: no mercado e no laboratório, 2021. Disponível em: <<https://solarmagazine.com/pt-br/paineis-solares/>>. Acesso em: fev. 2022.

TESTEZLAF, R. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. 2011.

THERMAK. Tabelas de Motores, Fios e Cabos. Cachoeirinha: 2022. Disponível em: <<http://www.thermak.com.br/tabelas.htm>>. Acesso em: fev. 2022.

WEG. FUSÍVEIS AR E GL/GG TIPO NH CONTATO FACA, NH FLUSH END E DIAMETRAL, 2022. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0a/h63/WEG-fusiveis-ar-e-gl-gg-50009817-catalogo-portugues-br-dc.pdf>>. Acesso em: fev. 2022.

VILLALVA, M. G.; GAZOLLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2012. Cap.3.