



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MIRIAM DA SILVA RIBEIRO

**Concepção e dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico
Autônomo destinado a suprir as necessidades de energia elétrica
de irrigação de uma plantação de caju localizada no município de
Floriano Piauí.**

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

São Paulo 2018

MIRIAM DA SILVA RIBEIRO

**Concepção e dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico
autônomo destinado a suprir as necessidades de energia elétrica
de irrigação de uma plantação de caju localizada no município de
Floriano Piauí.**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Energia Solar Fotovoltaica

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

São Paulo 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Da Silva Ribeiro, Miriam

**Concepção e dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico
autônomo destinado a suprir as necessidades de energia elétrica
de irrigação de uma plantação de caju localizada no município de Floriano Piauí.**

/M. da Silva Ribeiro – São Paulo, 2018. 52 p.

**Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em
Engenharia.**

**1. Energia solar I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Programa de Educação Continuada em Engenharia II. t**

FICHA DE APROVAÇÃO

Nome: **Miriam da Silva Ribeiro**

Título: **Concepção e dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico Autônomo destinado a suprir as necessidades de energia elétrica de irrigação de uma plantação de caju localizada no município de Floriano Piauí.**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Aprovado em: ____ / ____ / 2018

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco

Assinatura: _____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira

Assinatura: _____

Prof. Dr. Daniel Setrak Sowry

Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força e saúde, por tudo o que já conquistei, peço que Ele continue me de sabedoria para conquistar muito mais. A Ele devo gratidão.

Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Cláudio Roberto de Freitas Pacheco pela paciência, pela orientação e apoio.

Agradeço ao meu marido Leandro Souza pelos incentivos, companheirismo e que não me permitiu desistir.

Agradeço aos meus pais que me proporcionaram a melhor educação e lutaram para que eu estivesse concluído mais essa etapa da minha vida, e aos meus irmãos que acreditaram que eu iria conseguir essa conquista.

Lista de Figuras

Figura 1: Diagrama de um sistema fotovoltaico de bombeamento para irrigação	18
Figura 2: Painel Fotovoltaico	19
Figura 3: Bomba Superficial.....	21
Figura 4: Bomba Submersa	21
Figura 5: Fruto pedúnculo	22
Figura 6 : Interior da castanha -Amêndoa	22
Figura 7: Cajueiro comum e Cajueiro Anão-precoce.....	23
Figura 8: Mapa distância entre Teresina e Floriano	25
Figura 9: Tensiômetro de madeira.....	26
Figura 10: Sistema isolado conectado diretamente na carga.....	32
Figura 11: Diagrama do sistema de bombeamento com reservatório	34
Figura 12: Curva de operação de uma bomba d água solar.....	37
Figura 13: Estudo Preliminar - Associação painéis fotovoltaicos.....	39
Figura 14: Associação de painéis fotovoltaicos	41

Lista de Tabelas e gráfico

Tabela 1: Dados Solarimétricos de Floriano Piauí	16
Tabela 2:Dotação de água Primeiro ano vida (litros)	28
Tabela 3: Dotação de água Segundo ano vida (litros)	29
Tabela 4: Dotação de água Terceiro ano vida em diante (litros).....	30
Tabela 5: Modelo da Moto Bomba selecionada	38
Tabela 6: Investimento Energia Fotovoltaica	42
Tabela 7: Investimento para Plantação do cajueiro	42
Tabela 8: Investimento serviço operacional anual	43
Tabela 9: Retorno financeiro anula	43
Tabela 10: Analise de viabilidade econômica	44
Tabela 11: Valor liquido presente	45

Lista de abreviaturas e símbolos

Absolar - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

Si - Sílica

V – Tensão Elétrica

CC - Corrente contínua

STC - Condições Padrão de Teste

C.A. – Corrente Alternada

CEINFO - Centro de informação Tecnológica e Comercial para Fruticultura Tropical

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

hg - Altura da coluna

@m- Potencial matricial da água do solo estabelecida em -700 cm.H₂O, eq. a -0,07 Mpa

ht - Altura do tensiômetro

hc - Altura da cuba

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

PPT - Precipitação pluviométrica

PPTef - Precipitação efetiva

ETP - Evapotranspiração potencial

Balanço - Balanço hídrico

ETc - Evapotranspiração de cultivo

▲ - Variação da precipitação

NA - Necessidade de água

NA/Planta - Necessidade de água

Dotação - Dotação diária

$\bar{H}T$: Irradiação média diária mensal sobre a superfície inclinada de um ângulo β em relação a superfície terrestre

HSP – Horas sol pico

CE - Carga estática

CD - Carga Dinâmica

CDT - Cálculo da Carga Dinâmica Total

P_h - Potencia hidráulica

Q_b - Vazão do bombeamento

γ_L - Peso específico do líquido em kg/m^3

P_{eW} - Potência elétrica

η_b - Rendimento total da bomba

V_b - Tensão de trabalho da bomba

E_b - Energia elétrica média diária consumida pela bomba

CE_b - Carga elétrica média diária

MPPT - Ponto de Máxima Potência

V_{mp} - Tensão de operação no ponto máximo

P_{mp} - Potência máxima nominal

γ_{mp} - Máxima potência

Resumo

O presente trabalho visa estudar o aproveitamento de terras existentes no estado do Piauí – Floriano, plantando pés de cajueiro anão precoce aonde a irrigação virá de um reservatório que será abastecido por um sistema de bombeamento de água de um poço já existente, a eletricidade para movimentar a bomba será através do uso da energia solar fotovoltaica.

Abstract

The present work aims to study the utilization of existing lands in the state of Piauí - Floriano by planting precocious dwarf cashew trees where irrigation will come from a reservoir that will be supplied by a system of pumping water from an existing well, electricity to move the pump will be through the use of photovoltaic solar energy.

-

Sumário

1. Introdução.....	13
1.1. Objetivo	14
1.2. Justificativa.....	14
1.3. Estrutura da monografia	15
2. Revisões Bibliográficas.....	16
2.1. Avaliações do potencial solar	16
2.2. Sistemas de Bombeamento por energia solar fotovoltaica.....	17
2.3. Painéis fotovoltaicos.....	18
2.4. Bombas hidráulicas para uso com sistema com fotovoltaico	20
2.5. Necessidades de irrigação da cultura do caju	22
3. Estudo da situação problema.....	24
3.1. Descrições do local da Plantação.....	24
3.2. Avaliação das necessidades de água para o plantio de Cajueiro anão.....	25
3.3. Balanço hídrico.....	27
3.4. Avaliação do Potencial solar de Floriano	31
3.5. Configuração do sistema de bombeamento	31
3.5.1. Cálculo da Carga Dinâmica	34
3.5.2. Cálculo da energia elétrica da bomba solar.	35
3.6. Escolha dos painéis fotovoltaicos.....	38
3.7. Investimento	42
4. Análise de viabilidade econômica.....	44
5.0 – Conclusões e recomendações	45
Bibliografia.....	47

1. Introdução

A energia fotovoltaica vem crescendo muito nas últimas décadas em todo o mundo, segundo a Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) o crescimento previsto até o final de 2018 será de até 300%. (Absolar, 2017)

De acordo com o Ministério de Minas e Energia os países que mais possuem potência de energia fotovoltaica instalada são Alemanha, China, Japão, Itália e EUA. Já o Brasil tem a previsão de terminar o ano de 2018 classificados no 20º lugar dos países que mais geram energia fotovoltaica no mundo.

Os valores de irradiação solar global anual incidente em qualquer região do território brasileiro variam de 1500-2500 kWh/m² que são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha que variam de 900-1250 kWh/m², França variam de 900-1650 kWh/m² e Espanha variam que de 1200-1850 kWh/m², onde projetos para aproveitamento de recursos solares são amplamente aplicados alguns contando com fortes incentivos governamentais, segundo (INPE, Atlas Brasileiro de Energia solar, 2017).

A energia fotovoltaica possui diversas vantagens, como é considerada energia limpa não gera poluição durante a conversão de energia solar para energia elétrica, é considerada energia renovável, pois utiliza o Sol como fonte primária de energia. Além disso é um tipo de energia que pode ser instalada em diversos lugares de difícil acesso, possui baixo custo de manutenção, possui vida útil longa e o custo de aquisição e implementação do sistema vem diminuindo ao longo do tempo.

Com todas essas vantagens que a energia fotovoltaica vem proporcionando podemos aproveitá-las em diversas aplicações, uma delas é para irrigação em áreas rurais atingidas pela seca e em regiões remotas com difícil acesso à energia elétrica como o sertão nordestino gerando do emprego local.

Através de um sistema de irrigação fotovoltaico as famílias rurais podem cultivar sua lavoura de forma continua em todas as épocas do ano até em períodos secos combinando a esse sistema poços artesianos e caixas de água.

1.1. Objetivo

Esse trabalho visa sugerir formas de aproveitar áreas no interior do estado do Piauí para plantação de caju, através de um sistema fotovoltaico que fornecerá energia para alimentar um sistema de irrigação no qual ira captar a água que estará na região do subsolo.

A água será captada do subsolo através do sistema de bombeamento e transportada através de tubulações hidráulicas para um reservatório elevado. Por fim a água descera por gravidade até a região da plantação dos cajueiros e desta maneira fará a irrigação.

1.2. Justificativa

Os produtores rurais gastam energia elétrica gerada por motores diesel que tem manutenção considerável para operar seus sistemas de irrigação. Dependendo do local o transporte do combustível pode inviabilizar a produção e em outros locais ainda se encontra a incerteza referente à regularidade da sua distribuição. Assim considerando o relevante potencial solarimétrico da região é oportuna uma investigação com fonte alternativa de energia renovável.

1.3. Estrutura da monografia

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO: Apresentação sobre o tema do trabalho, com explanação do objetivo e justificativa do estudo.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: Apresentação sobre conceitos do efeito Fotovoltaico, da geração através de painéis fotovoltaicos, fatores que influenciam a geração e principais componentes do sistema.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DA SITUAÇÃO PROBLEMA: Apresentação da identificação da oportunidade, dos cálculos e considerações efetuadas para o dimensionamento do sistema.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: Apresentação do custo de implantação do sistema, considerando os custos das adequações do terreno e plantio.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO: Apresentação dos resultados gerais, produtos das análises efetuadas ao longo do trabalho, com a abordagem das dificuldades ou facilidades encontradas no estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: Apresentação de todo material bibliográfico consultado para subsidiar os estudos.

2. Revisões Bibliográficas

2.1. Avaliações do potencial solar

A cidade de Floriano no Piauí tem latitude 6,9° S e longitude 43,04° O, ela possui uma estação solarimétrica que esta a uma distancia 7,1 km do plantio desse estudo, através do site do CRESESB temos os dados que estão sendo apresentado na tabela 1, onde obtêm-se as informações relativas à irradiação solar diária média mensal no plano horizontal e no plano inclinado igual à latitude para um ponto de referência mais próximo.

O objetivo principal do CRESESB é de divulgar e fomentar o desenvolvimento das energias solares e eólicas no Brasil.

Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]	
Município: Floriano UF: PI País: BRASIL	
Latitude [°] = 6,901°S	
Longitude [°] = 43,049°O	
Distância [Km] = 7,1	
Mês	Irradiação [kWh/m².dia]
JAN	5,25
FEV	5,25
MAR	5,23
ABR	5,17
MAI	5,24
JUN	5,34
JUL	5,59
AGO	6,14
SET	6,61
OUT	6,29
NOV	5,98
DEZ	5,59
Média	5,64
Delta	1,44

Tabela 1: Dados Solarimétricos de Floriano Piauí

Fonte: (CRESEB, 2018)

2.2. Sistemas de Bombeamento por energia solar fotovoltaica

Ultimamente as notícias são que os produtores rurais estão aderindo ao sistema de bombeamento solar de água porque o funcionamento do sistema é bem simples, eficiente e econômico.

As bombas solares não emitem ruído, diferente dos motores a diesel ou à gasolina que além de emitir ruído gera a poluição sonora no ar e às vezes na água quando captada.

O bombeamento que antes era movido à eletricidade ou combustão passa a funcionar pela energia solar gratuita, que capta a radiação nos painéis fotovoltaicos e a transforma em eletricidade, sem a dependência de uma concessionária ou transporte de combustível.

Sistemas de irrigação para plantações necessitam disponibilizar uma vazão de água com valor específico para cada cultura, operando em horários conforme a natureza da plantação. Este fato remete a utilização de um reservatório elevado que permite atender as exigências.

O caso objeto desta monografia possui água no subsolo devendo a transferência para o reservatório ser feita por motobombas. Em locais remotos a energia elétrica para movimentação do motor usualmente é fornecida por um gerador diesel. Todavia, as razões de sustentabilidade sugerem o uso da conversão solar fotovoltaica.

O sistema de bombeamento por energia solar fotovoltaica esta ilustrada na figura 1 e é composto por:

- a) Gerador fotovoltaico
- c) Bomba de transferência do poço
- d) Reservatório
- e) Plantação

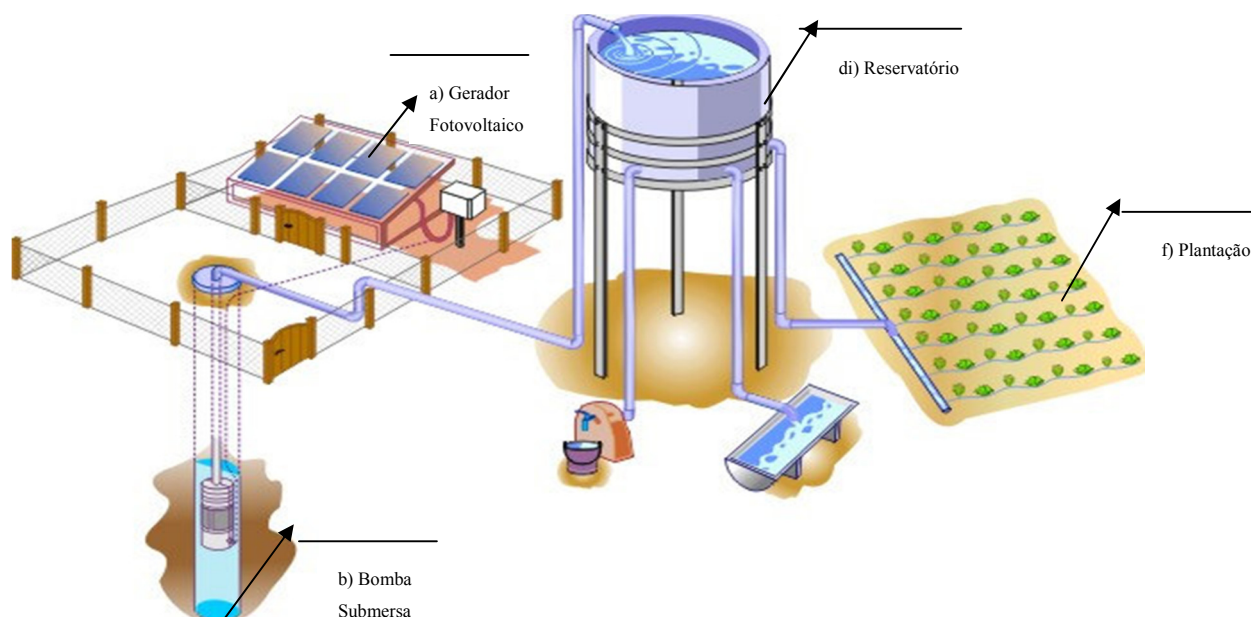


Figura 1: Diagrama de um sistema fotovoltaico de bombeamento para irrigação

Fonte: (MORALES, 2013)

2.3. Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são formados por células de matérias semicondutores e outros componentes formando uma superfície sensível a luz, os cristais de Silício (Si) é o tipo de material mais utilizado para construção desses painéis fotovoltaico, conforme mostrado na figura 2, e possui uma camada positiva e negativa que quando excitadas criam um campo magnético formando uma corrente de alguns amperes bem como uma pequena tensão cerca de 0,6 V em células de silício.

A luz do sol ao atingir os módulos fazem com que os mesmos liberam elétrons ocorrendo uma diferença de potencial convertendo a energia solar em eletricidade na forma de corrente continua C.C. A quantidade de energia elétrica produzida é proporcional à intensidade da luz que incide no painel solar, com o céu claro e ensolarado a energia gerada será maior do que com o céu nublado, a geração de eletricidade sob a luz sempre ocorrerá, porém a sua potencia será maior ou menor em razão da quantidade de irradiação recebida.

Essa eletricidade gerada pode ser ligada diretamente na rede (sistema on grid) ou armazenada em um banco de baterias (sistema off grid), nesse trabalho foi considerado o sistema on grid. Tradicionalmente são usadas 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas interligadas em série para montar um módulo fotovoltaico. O posicionamento dos arranjos / painéis variam conforme cada projeto, mas basicamente se elas forem instaladas em serie umas com as outras

determinará o aumento ou diminuição da tensão do sistema, já o arranjo paralelo determinará o aumento ou diminuição da corrente contínua.

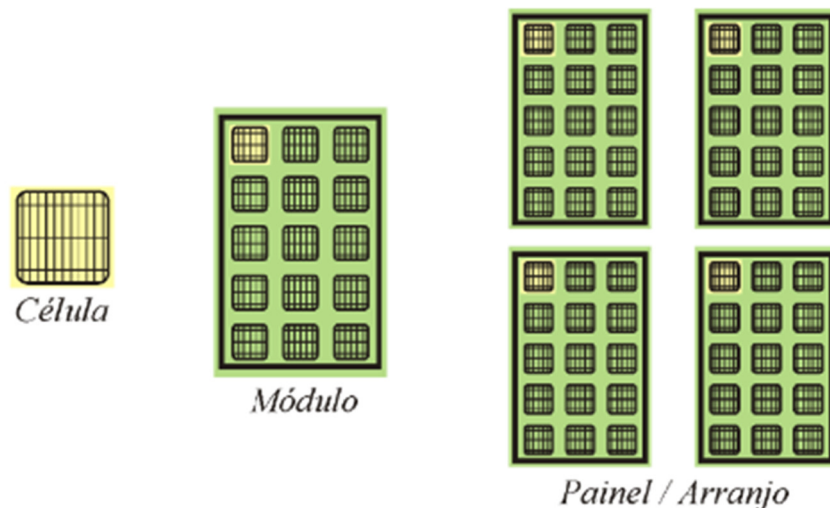


Figura 2: Painel Fotovoltaico

Fonte: (Schneider, 2017)

A maioria dos painéis fotovoltaicos tem durabilidade acima de 20 anos, durante sua vida útil ele não demanda de manutenções complexas, apenas de uma manutenção periódica para limpeza das placas de silício.

Os painéis fotovoltaicos são de fácil transporte e instalação, por ser um sistema modular não há dificuldades na ampliação do projeto.

Existem módulos fotovoltaicos no mercado de diversos níveis de tensão que são medidos em Voc modelos de 12, 24 e 48 Volts e potências de 5 à 280 Watts. O mais importante é o quanto de potencia nominal o sistema vai gerar, quando uma célula esta exposta à irradiação solar.

Um dos pontos que precisam ser levados em consideração é que quanto maior for o rendimento do painel fotovoltaico maior será sua geração, além disso, alguns fabricantes de módulos fotovoltaicos estão compactando as células isto proporciona uma maior potencia gerada por metro quadrado.

A potencia nominal só fica disponível ao sistema quando a célula esta exposta a condições padrões de teste de irradiância solar de 1000W/m^2 .

2.4. Bombas hidráulicas para uso com sistema com fotovoltaico

Bombas hidráulicas acionadas por sistema fotovoltaico tornam-se vantajosas, pois a ideia é fazer do bombeamento um armazenamento da água e não um armazenamento da eletricidade que os módulos fotovoltaicos produzem. Isso é menos complexo quando se pensa em aproveitar a energia elétrica gerada e conectá-la a rede elétrica como forma de abatimento da conta de luz. O sistema por armazenamento o produtor não precisará ter em todo o momento a energia produzida ativa, fazendo o bombeamento da água de forma contínua, pois irrigará nos horários necessários através de escoamento por gravidade. Essas bombas solares são acionadas somente durante o dia.

Geralmente o bombeamento máximo ocorre quando o dia está ensolarado e sem nuvens, por isso a necessidade de um reservatório, nesse trabalho o dimensionamento da capacidade da bomba é medida em m³ ou litros/dia e não m³ ou litros/hora.

De acordo com ABU-ALIGAH (2011), bombas d'água convencionais requerem corrente alternada de fonte estável suprida pela concessionária local ou por geradores. Para o bombeamento de água existem vários tipos de bombas como bombas acionadas com motor a diesel, gasolina ou por gás em corrente alternada que usualmente têm grande capacidade de bombeamento de água e com custo relativamente baixo, o problema seria manter os gastos desses combustíveis.

De acordo com o fabricante Solenerg para esses tipos de bombas a manutenção é freqüente e nem sempre é feita de forma adequada, reduzindo a vida útil, gerando poluição sonora e no ar e são mais indicadas para comunidades maiores, com maior infraestrutura, capaz de manter os sistemas em operação.

Motobombas d'água alimentadas por módulos fotovoltaicos são bombas com um preparo técnico especial para operar com mais eficiência, com a irradiação solar elas utilizam somente a corrente contínua vindo diretamente das placas solares ou de baterias e o custo para acionar é zero, pois a energia vem do Sol. Outras bombas de corrente alternada precisam de um controlador/inversor para funcionar adequadamente quando inseridas em um sistema solar fotovoltaico.

Existem vários tipos de bombas sendo elas divididas como bombas do tipo centrífuga e bombas volumétricas que trabalham com motores corrente contínua ou corrente alternada.

A bomba centrífuga tem dois tipos sendo a superficial **mostrada na** figura 3 que aspiram a água através de tubos de sucção levando até o reservatório e as bombas submersa como na figura 4, elas trabalham dentro do poço, as bombas centrífugas servem para trabalhar com

bombeamento de grandes volumes de água entre 1 à 1200m³/dia, só podem trabalhar em pequenas alturas manométricas entre 1 a 6 metros, quanto maior a rotação maior será o volume de água bombeada, sua eficiência diminui quando seu ponto de operação não esta na faixa que foi projetada. O bombeamento reduz de forma rápida com a variação da incidência solar das placas voltaicas, esse tipo de bomba é fácil ser encontrado no mercado.



Figura 3: Bomba Superficial

Fonte: (Domineghetti, 2015)



Figura 4: Bomba Submersa

Fonte: (Domineghetti, 2015)

Bombas volumétricas são destinadas a serviços de pequeno e médios volumes de água em torno de 0,3 a 40 m³/ dia, trabalham em grandes alturas monométricas entre 10 a 500 metros e funcionam com pouca insolação.

2.5. Necessidades de irrigação da cultura do caju

O caju é uma fruta do cajueiro sendo formada por polpa e castanha conforme ilustrada na figura 5, a polpa seria o pedúnculo que é acida e adocicada podendo ser consumida como sucos, doces, in natura, vinho de caju e outros. A castanha no seu interior tem uma amêndoa com alta comercialização no mundo que seria a parte principal da fruta ilustrada na figura 6. O caju é nativo da região Norte do Brasil, podendo ser nas cores amarela, laranja ou vermelha.

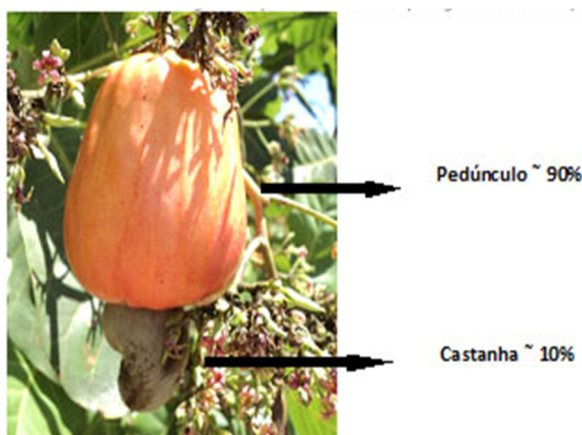


Figura 5: Fruto pedúnculo

Fonte: (Cajueiro, 2017)



Figura 6 : Interior da castanha -Amêndoa

Fonte: (Cajueiro, 2017)

O cajueiro pertence à família *Anacardium* e tem dois tipos sendo o comum ou gigante onde sua copa pode chegar até 20 metros de diâmetro e de 8 a 15 metros de altura, o outro tipo seria o cajueiro anão precoce por ser baixo, tem até 8 metros de diâmetro de copa e até 5 metros de altura, ilustrado na figura 7.

A plantação do cajueiro pode ser feita por de meio de plantas enxertadas ou pela castanha, o desenvolvimento completo do caju (castanha + pedúnculo) inicia-se entre 44 a 72 dias, o florescimento ocorre dos seis aos dezoito meses e a colheita da fruta inicia-se dois meses após o florescimento da planta, a expectativa de vida do cajueiro seria em torno de 35 anos.



Figura 7: Cajueiro comum e Cajueiro Anão-precoce

Fonte: (Cajueiro e Suas Característica, 2013)

O cajueiro é uma planta tipicamente tropical, se instala bem em regiões quentes, com temperatura ideal em torno de 27°C.

Plantios de mudas enxertadas devem ser realizados no início de épocas de chuvosas, pois a água do solo irá favorecer o crescimento dos cajueiros. Se o plantio for realizado por meio de irrigação então o plantio pode ser feito em qualquer época do ano.

Para o cajueiro anão consegue-se plantar 204 mudas por hectare sendo que em produtividade normal colhe-se em torno de 1.300 kg/ha de castanha e 13 t/ha de frutos por colheita/ano.

Para o cajueiro comum consegue-se plantar cerca de 125 mudas por hectare sendo que em produtividade normal colhe-se em torno de 900 kg/ha de castanha e 9 t/ha de frutos por colheita por ano.

De acordo com o CEINFO (Centro de informação Tecnológica e Comercial para Fruticultura Tropical), a produção anual do cajueiro no Piauí ocorre nos meses de agosto a novembro e os picos de produção da colheita ficam entre outubro e novembro.

Quando o cajueiro recebe irrigação há um aumento dos períodos da colheita, cerca de cinco meses a mais comparando quando cajueiro depende da água da chuva.

3. Estudo da situação problema

3.1. Descrições do local da Plantação

Floriano Estado do Piauí fica a 255 km de distância da capital Teresina **como mostra a** figura 8, em épocas de clima quente o tempo é seco e nas épocas de chuva o clima é úmido. As temperaturas ficam entre 22 °C e 37 °C.

Floriano é uma região de caatinga com transições de cerrados, nessa região ocorrem dois períodos sendo um de chuva e o outro de seca. Os meses de muitas chuvas compreendem os períodos de novembro a maio, nesses meses são praticamente 90% de chuvas. Já o momento de seca, se dá nos períodos de junho a outubro, nesses meses há praticamente ausência da água.

Segundo o IBGE Censo Demográfico em 2010, o município conta com uma população de 57.690 com uma densidade demográfica de 16.92 hab./km² e em uma área de 3.409,647 km², cerca de 49.961 da população de Floriano vivem na zona urbana e 7.729 da população vivem na zona rural. No local da plantação do cajueiro existe um poço de água potável de onde será captada a água através da bomba.

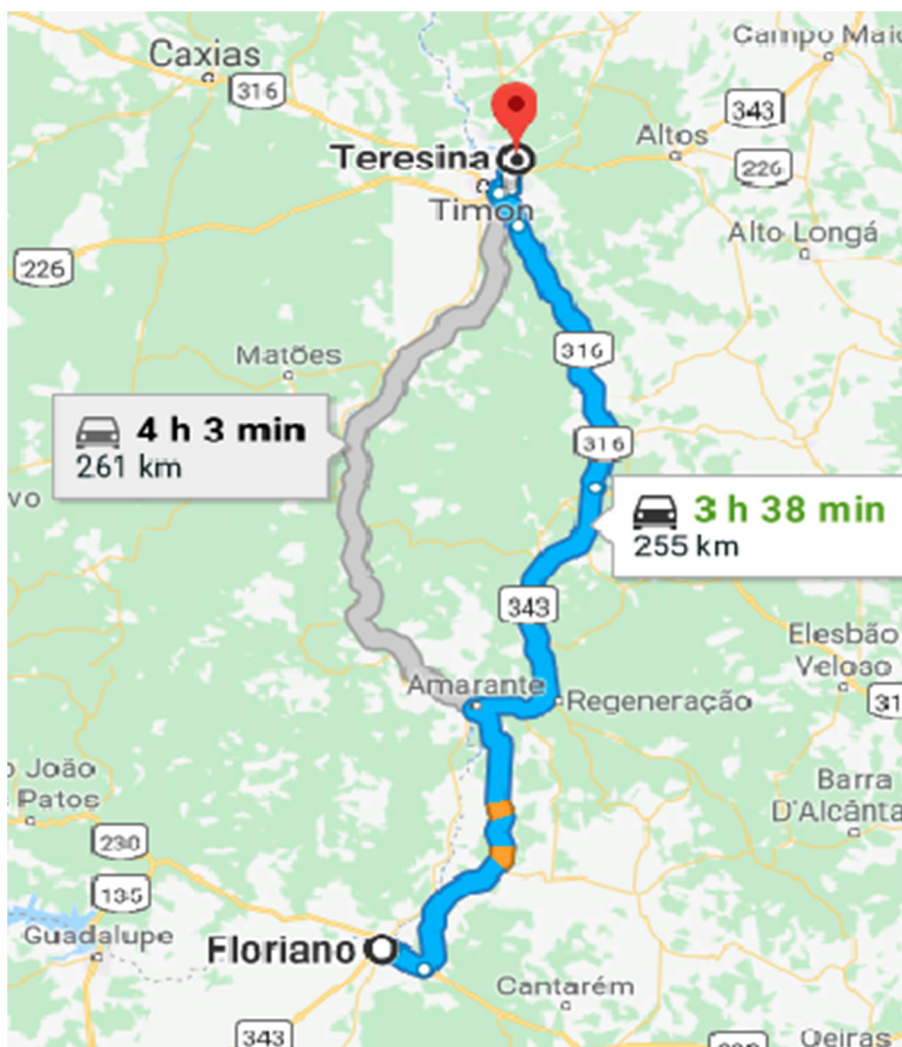


Figura 8: Mapa distância entre Teresina e Floriano

Fonte: (Maps, 2018)

3.2. Avaliação das necessidades de água para o plantio de Cajueiro anão

As necessidades de água para o plantio de cajueiro variam de estado para estado levando em conta o clima como a taxa de evapotranspiração da cultura e método de irrigação. Com isso sabe-se qual a quantidade de água que deverá ser reposta ao solo para manter o cajueiro saudável.

Segundo a Embrapa para saber se o solo está recebendo o total de água correto os produtores instalam duas baterias de tensiômetros com manômetros por hectare, figura 9, instalados a uma profundidade de 20 cm, os tensiômetros medem o teor de umidade no solo, com ele o produtor será capaz de saber quando e o quanto será necessário irrigar.

Considerando o cultivo do cajueiro anão precoce no espaçamento tradicional de 7,0m x 7m. O sistema de irrigação será por micro aspersão, seus emissores terá uma vazão de 30 l/min., com turno de rega de no máximo cinco dias.

Considera-se a leitura do tensiômetro pela expressão

$$hg = \frac{\phi_m + ht + hc}{12,6} \quad (1)$$

Onde:

hg = altura da coluna (cm.Hg)

ϕ_m = potencial matricial da água do solo estabelecida em -700 cm.H₂O, equivalente a -0,07 Mpa

ht=altura do tensiômetro (cmH₂O)

hc=altura da cuba (cm H₂O)

No primeiro ano de cultivo do cajueiro a irrigação será feita com o tensiômetro instalado no solo a 20 cm, já que nesse período as raízes da planta não estão aprofundadas no solo, já nos anos subseqüentes o tensiômetro terá que está instalado a uma profundidade de 55 cm.

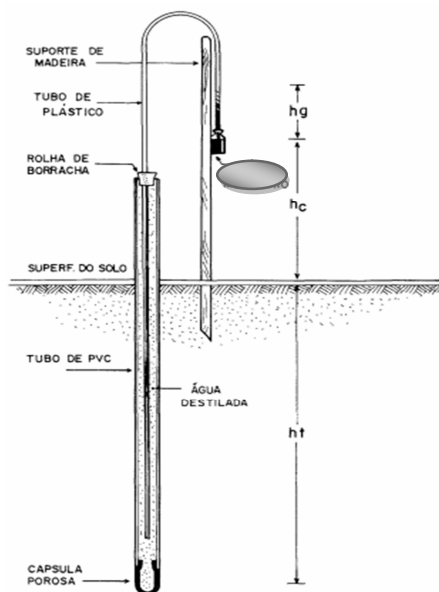


Figura 9: Tensiômetro de madeira

Fonte: (p. Embrapa 2008)

3.3. Balanço hídrico

Vamos apresentar um balanço hídrico para irrigação de cajueiro anão precoce na região do Nordeste do Piauí, resultado de dados do clima a partir de estudo feito pela Embrapa, onde mostra valores estimados para diferentes estágios de crescimento da planta, relacionados nas tabelas 2, 3 e 4.

PPT - Precipitação pluviométrica (mm)

PPTef - Precipitação efetiva (mm)

ETP - Evapotranspiração potencial (mm)

Balanço - Balanço hídrico (mm)

ETc - Evapotranspiração de cultivo (mm)

▲ - Variação da precipitação (mm)

NA - Necessidade de água (mm)

NA/Planta - Necessidade de água (litro/mês)

Dotação - Dotação diária (litro/planta/dia)

Dose de rega - Dose de rega/planta (litro)

Tempo - Tempo de irrigação (hora)

Na tabela 2 são informados os dados básicos de irrigação em litros para cajueiro anão precoce no primeiro ano de vida no Piauí (região de caatinga / transição cerrados).

Observa-se que no primeiro ano as necessidades de irrigação ocorrem entre o mês de abril a janeiro, nos meses de fevereiro e março não é necessário a irrigação. O mês de outubro seria o mês que mais necessita de irrigação.

Parâmetro	M e s e s											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PPT _{ef}	72,3	97,1	117,1	47,5	2,7	-	-	-	-	5,1	37,1	46,7
ETc	99,7	84,5	87,4	78,8	79,2	76,3	82,2	97,1	109,4	120,9	116,6	112,3
Δ	27,4	12,6	29,7	-31,3	-76,5	-76,3	-82,2	-97,1	-109,4	-115,8	-79,5	-65,6
NA	30,4	-	-	34,8	85,0	84,8	91,3	107,9	121,6	128,7	88,3	72,9
NA/Pianta	223,4	-	-	255,8	624,8	623,3	671,1	793,1	893,8	945,9	649,0	535,8
Dotação	7,2	-	-	8,5	20,2	20,8	21,6	25,6	29,8	30,5	21,6	17,3
Dose de rega	36,0	-	-	42,5	101,0	104,0	108,0	128,0	149,5	152,5	108,0	86,5
Tempo	1,2	-	-	1,4	3,4	3,5	3,6	4,3	5,0	5,1	3,6	2,9

Tabela 2:Dotação de água Primeiro ano vida (litros)

Fonte: (Embrapa, 2006)

Na tabela 3 temos os dados básicos de irrigação em litros para cajueiro anão na transição de um a dois anos de idade, no Piauí (região de caatinga / transição cerrados)

Parâmetro	M e s e s											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PPT _{ef}	72,3	97,1	117,1	47,5	2,7	-	-	-	-	5,1	37,1	46,7
ETc	116,3	98,8	102,0	92,0	92,4	89,0	95,9	113,3	127,6	141,1	136,1	131,1
Δ	-44,0	-1,7	15,1	-44,5	-89,7	-89,0	-95,9	-113,3	-127,6	-136,0	-99,0	-84,4
NA	48,9	1,9	-	49,4	99,7	98,9	106,6	125,9	141,8	151,1	110,0	93,8
NA/Planta	718,8	27,9	-	726,2	1465,6	1453,8	1567,0	1850,7	2084,5	2221,2	1617,0	1378,9
Dotação	23,2	1,0	-	24,2	47,3	48,5	50,5	59,7	69,5	71,7	53,9	44,5
Dose de rega	116,0	5,0	-	121,0	236,5	242,5	252,5	298,5	347,5	358,5	269,5	223,5
Tempo	3,9	0,2	-	4,0	7,9	8,1	8,4	10,0	11,6	12,0	9,0	7,5

Tabela 3: Dotação de água Segundo ano vida (litros)

Fonte: (Embrapa, 2006)

Na tabela 4 tem os dados básicos de irrigação em litros para cajueiro anão precoce acima de dois anos de idade no Piauí (região de caatinga / transição cerrados), onde mostramos que no mês de outubro ocorre a necessidade de água em maior quantidade, utilizaremos esse dado com principal parâmetro para o esse trabalho.

Parâmetro	M e s e s											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
PPT _{ef}	72,3	97,1	117,1	47,5	2,7	-	-	-	-	5,1	37,1	46,7
ET _c	124,7	105,8	109,3	98,6	99,0	95,4	102,8	121,4	136,0	151,1	145,8	140,4
Δ	-52,4	-8,7	7,8	-51,1	-96,3	-95,4	-102,8	-121,4	-136,8	-146,0	-108,7	-93,7
NA	58,2	9,7	-	56,8	107,0	106,0	114,2	143,9	152,0	162,2	120,8	104,1
NA/Planta	998,0	166,4	-	974,1	1835,0	1817,9	1958,5	2467,9	2606,8	2781,7	2071,7	1785,3
Dotação	32,0	5,9	-	32,5	59,2	60,6	63,2	79,6	86,9	89,0	69,0	57,6
Dose de rega	161,0	29,7	-	162,4	296,0	303,0	315,9	398,0	434,5	448,7	345,3	288,0
Tempo	5,4	1,0	-	5,4	9,9	10,1	10,5	13,3	14,5	15,0	11,5	9,6

Tabela 4: Dotação de água Terceiro ano vida em diante (litros)

Fonte: (Embrapa, 2006)

Com base nessas observações o nosso projeto será de 89 litros por dia/planta, sendo o pior caso “Dotação - dotação diária (litro/planta/dia”, na tabela 4 cajueiro de dois anos acima da idade.

O tempo de irrigação será em torno de 8 horas por dia.

Como consideramos um hectare com plantação de 204 mudas do cajueiro anão precoce serão necessários um total 18.156,00 litros de água por dia ou 18,156 m³/dia e a vazão de irrigação (Qi) 0,7565 m³/h é dada dividindo 18,156 m³/dia (Qd).

Qd= volume diário m³/dia

Qi= vazão de irrigação m³/h

3.4. Avaliação do Potencial solar de Floriano

Esse projeto está localizado na região nordeste do Brasil no estado do Piauí, cidade de Floriano. O Piauí é um estado entre aqueles com maior potencial para geração de energia fotovoltaica do país.

A grandeza que quantifica o número de horas de insolação com irradiação incidente ao máximo a 1000 W/m² ao longo de um dia de forma que a energia diária resultante seja igual à energia solar diária acumulada disponibilizada na localidade, é chamada de HSP (Horas de Sol Pleno).

Ele determina o tempo que o sistema de bombeamento estará trabalhando

O valor de HSP é calculado através da equação

$$HSP = \frac{\overline{H_T} [kWh / m^2]}{1 [kW / m^2]} \quad (2)$$

Onde $\overline{H_T}$: é a irradiação média diária mensal sobre a superfície inclinada de um ângulo β em relação a superfície terrestre [kWh/m² dia].

De acordo com a Embrapa a irrigação se dá nos meses de abril a janeiro, e escolhendo como referência para dimensionamento para o campo dos painéis fotovoltaicos o menor valor de radiação média disponível no site Cresesb que seria o mês de Abril com irradiação de 5,17 kWh/m² dia que aplicado na equação HSP resulta em um HSP= 5,17 horas.

3.5. Configuração do sistema de bombeamento

A configuração do sistema de bombeamento é estimada de acordo com a necessidade de água. Com isso se faz necessário ter também os dados e características do poço que são necessário, saber dados do fabricante sobre a bomba com instalação submersa em superfície e o quanto de água para a irrigação, buscar os dados da dotação da cultura, saber se serão necessários pequenos ou grandes volumes de água, precisamos saber a altura manométrica do projeto, perda de carga, dados do Cresesb de insolação no local da instalação. No momento do dimensionamento da bomba sempre utilizar um modelo do fabricante com potência igual ou superior a necessidade do projeto, nunca inferior, pois o serviço de bombeamento não será realizado.

Consideramos que nesse trabalho o sistema de painéis fotovoltaico serão conectados diretamente ao conjunto moto bomba modelo submerso em CC, esse sistema é muito usado em bombeamento de pequeno porte de 50 até 400Wp, não haverá necessidade do uso de baterias ou outros componentes eletrônicos, isso torna o sistema mais confiável e barato, porém o controle da eficiente ao longo do dia é mais complexo, esse tipo de sistema tem por nome sistema isolado, isso quer dizer que o arranjo fotovoltaico se conecta diretamente a carga no caso deste trabalho será o motor CC conforme figura 10.

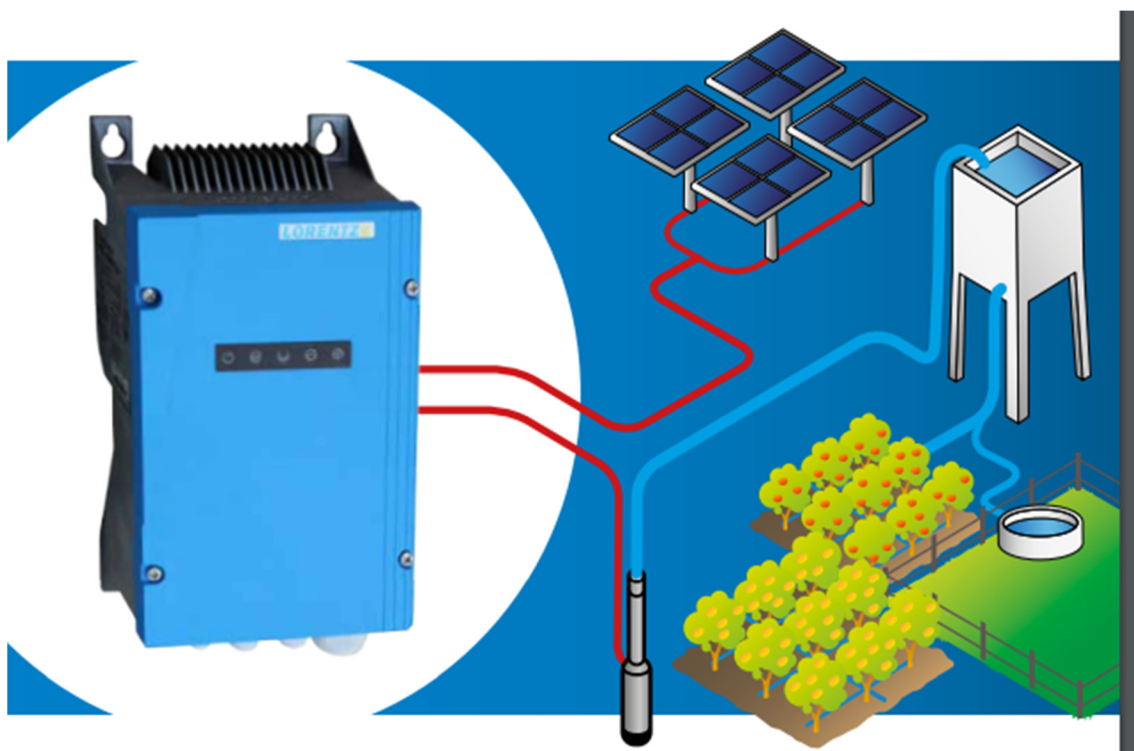


Figura 10: Sistema isolado conectado diretamente na carga

Fonte: (KG, 2017)

Nesse trabalho consideramos a pior irradiação solar média do ano, o mês de abril conforme dados do Cresesb, para efeito de cálculos sabemos que em alguns períodos ocorrerá folga.

Como exposto nos capítulos anteriores que a vazão diária da água para plantação das 204 mudas seria $0,7565 \text{ m}^3/\text{h}$ e que o HSP (Horas de Sol Pleno) no pior caso seria $5,17 \text{ kWh}/\text{m}^3$. dia.

Dividindo Q_d por HSP, obtém-se a vazão de bombeamento diária (Q_b) necessária para atender a demanda.

O volume (Q_d) diário total de $18,2 \text{ m}^3/\text{dia}$ de água seria a necessidade de água para todos as 204 mudas e deve ser bombeado para esse reservatório em 5,17h. A vazão (Q_b) de bombeamento será então $3,52 \text{ m}^3/\text{h}$.

Para as etapas de dimensionamentos da moto bomba leva-se em conta também as distâncias de níveis entre o poço e o reservatório conforme ilustrado na figura 11, onde deve –se conhecer:

- 1) Vazão (Q_b) de bombeamento [m^3/s];
- 2) Altura do reservatório ou de descarga [m];
- 3) Nível estático do poço [m];
- 4) Nível de Abatimento15 [m];
- 5) Profundidade da bomba [m];
- 6) Distância do poço ao reservatório [m];
- 7) Diâmetro da tubulação [mm ou polegadas];
- 8) Tipo de material da tubulação, tipos de curvas, válvulas, derivações e suas quantidades para cálculo da perda de carga do sistema

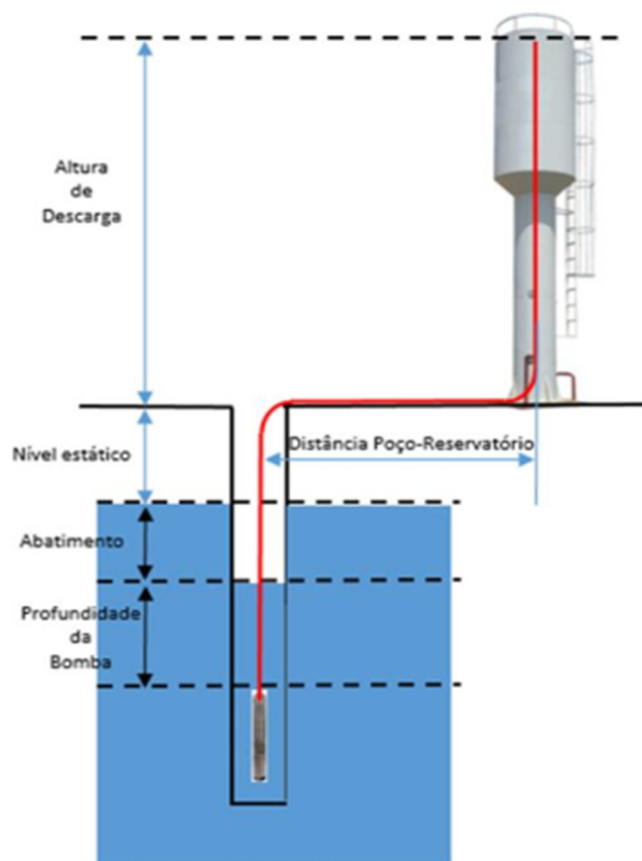


Figura 11: Diagrama do sistema de bombeamento com reservatório

Fonte: (Domineghetti, 2015)

3.5.1. Cálculo da Carga Dinâmica

O Cálculo da Carga Dinâmica Total (CDT) do Sistema é expresso em metros definida por:

$$\boxed{CDT = CE + CD} \quad (3)$$

Estimamos nesse estudo um valor de CDT igual a 37 metros

Onde:

CE - Carga estática (Altura de descarga + Nível estático + Abatimento)

CD - Carga Dinâmica (Todas as perdas do sistema)

3.5.2. Cálculo da energia elétrica da bomba solar.

Potência hidráulica (P_h)

O P_h da bomba solar é dado em Watts, que é o valor necessário para produzir uma vazão diária Q_b , dada por:

$$P_h = \frac{Q_b}{3600} \times CDT \times \gamma_L \times 9,81 \quad (4)$$

$$P_h = (3,52/3600) \times 37 \times 1000 \times 9,81 = 354,9 \text{ W} = 0,35 \text{ kW}$$

Onde:

A potencia a ser transferida da bomba ao fluido é de

Q_b seria 3,52 m³/h, vazão do bombeamento

CDT seria 37,2 metros - carga dinâmica total

γ_L seria o peso específico do líquido em kg/m³ (~1000 kg/m³ para a água)

Potência elétrica (P_{ew})

Conforme a figura 13 ou 12? a curva característica da bomba dada pelo fabricante e ligando as informações do CDT para uma altura manométrica de ~ 40 metros com o Q_b vazão de 3,52 m³/h encontraremos o P_{ew} de 600W.

Outra forma de encontrar a potência elétrica da bomba seria pela fórmula 5.

$$P_{ew} = \frac{P_h}{\eta_b} \quad (5)$$

Onde o η_b é rendimento da moto bomba dados do fabricante.

O rendimento η_b é calculado pela formula 6, que para esse trabalho foi $355/600 = 0,59$

$$\eta_b = \frac{P_h}{P_{ew}} \quad (6)$$

Onde:

P_h – Potencia hidráulica já calculada pela formula 4

P_{ew} – Potencia elétrica já calculada pela formula 5

A potência elétrica da bomba P_{ew} resulta em 0,6kW ou 600 W e é obtida através da curva característica do fabricante da Bomba relacionando o CDT (1), Q_b (2) e obtenho o resultado P_{ew} , conforme ilustrado na figura 12 ou pela formula 5.

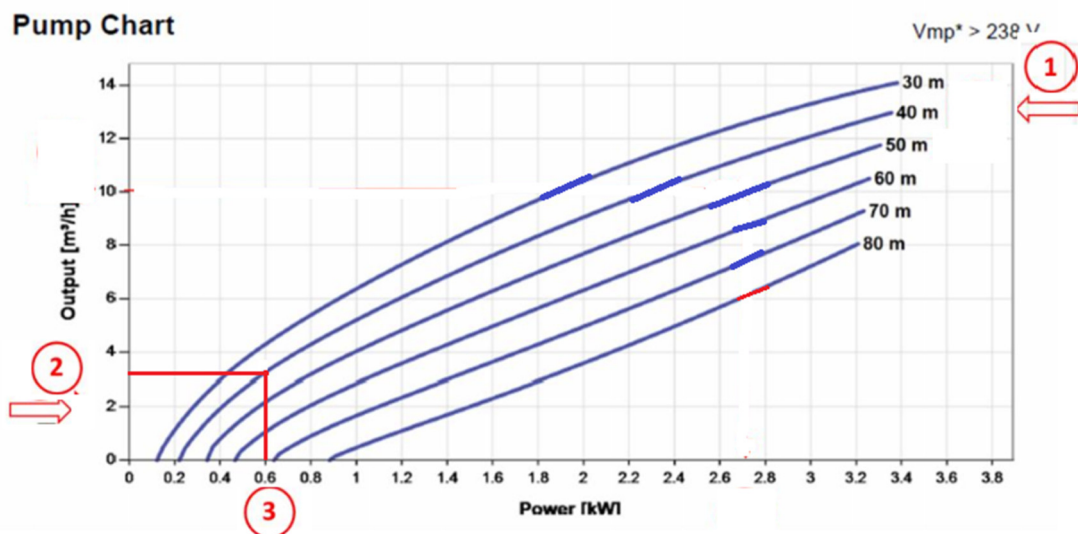


Figura 12: Curva de operação de uma bomba d água solar

Fonte: (KG, 2017)

O valor da energia média diária consumida pela bomba solar (E_b) foi de 3.619KW dado pela formula 7, onde calcularmos a potência instantânea para manter a bomba em funcionamento

$$E_b = P_{ew} \times HSP \quad (7)$$

$$E_b = 700 \text{ W} \times 5,17(\text{h de bombeamento}) = 3102 \text{ Wh} = 3,62 \text{ kWh/dia}$$

$$E_{GFV} = 3,62 \times 365 = 1.317 \text{ kWh/ano}$$

O valor da carga elétrica média diária (CE_b) foi de 24kWh dado pela fórmula 8

$$CE_b = \frac{E_b}{V_b} \quad (8)$$

Onde:

E_b : Energia elétrica média diária consumida pela bomba nesse caso de 3.619KWh dado pela formula 7

V_b : Tensão de trabalho da bomba selecionada nesse caso de 150Vcc dado do fabricante

Com as informações citada acima o modelo de bomba selecionada foi a moto Lorenzt ECDRIVE 600 e controlador Lorenzt PS2-600 formando um único conjunto, com potencia padrão de 700W que seria a mais próxima da necessidade do projeto.

Essa bomba trabalha exclusivamente por intermédio da energia solar, não polui e não há necessidade de ser ligada em redes elétricas.

A bomba Lorenzt já vem com o controlador adequado à bomba escolhida. O controlador da bomba faz o ajuste do funcionamento do sistema em tempo real em função da variação da intensidade da luz solar realizando o rastreamento do ponto de potência máxima (MPPT).

Modelo	Motor da bomba: potência nominal [KW]	Motor de bomba associado	Tensão máx. de entrada CC [V]	Vmp mín. recomendada [V]	Corrente máx. de saída [A]
PS600	0,7	ECDRIVE 600-HR ECDRIVE 600-C ECDRIVE 600-CS-F	150	68	23

Tabela 5: Modelo da Moto Bomba selecionada

Fonte: (KG, 2017)

3.6. Escolha dos painéis fotovoltaicos

Como considerado uma plantação de cajueiro anão precoce no estado de Floriano com 204 mudas, utilizando um hectare, consideraremos que existirá um poço de água potável com capacidade suficiente para suprir a irrigação da plantação em uma área para acomodar os painéis fotovoltaicos.

Os módulos fotovoltaicos serão dimensionados pela potência máxima nominal (P_{mp}) e tensão de operação no ponto máximo (V_{mp}) atendendo a carga em condições média durante o ano.

Deve-se ser evitado à instalação das placas fotovoltaicas onde ocorra sombreamento pela vegetação ou qualquer outro motivo que ao longo do dia ao cair o sol venha gerar essa sombra nos módulos.

As placas fotovoltaicas serão instaladas em campo aberto, o arranjo fotovoltaico será diretamente acoplado a motobomba solar.

Para calcular o arranjo fotovoltaico precisamos saber a P_{ew} , nesse trabalho foi de 700W de acordo com o modelo de bomba do fabricante.

Dado do fabricante da motobomba

$$V_b = V_{mp} > 68V$$

Corrente Max 13A

Voc de 150V

$P_{ef} > P_{eW}$, onde P_{ef} será calculado

HSP, utilizaremos o pior caso que seria 5,17

Utilizamos as placas solares do fabricante Canadian Solar modelo das placas CS6K 270P de 270 W e com as informações acima conseguimos ter uma idéia para realizar pré-seleção das placas fotovoltaicas num total quatro 4 placas fotovoltaicas de 270W ilustrada na figura 13, onde na saída do arranjo teríamos uma tensão de 61,6V e 17,5A satisfazendo a potência e a tensão de trabalho requerida pela carga em seu mês crítico.

O coeficiente de temperatura no ponto de máxima potência (γ_{mp}) é de $-0,0040\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.



Figura 13: Estudo Preliminar - Associação painéis fotovoltaicos

Fonte: [(P.Claudio Roberto de Freitas, 2018) **remover por**] (Pacheco 2018)

Calculando a temperatura de operação da célula fotovoltaica (T_c) instalada no Piauí – Floriano que é objetivo do trabalho, T_c será de $57,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, para isso foi necessário ter os dados de T_c^* , T_a (Temperatura ambiente media mensal no mês de Abril que é de 32° (T_a) no PI-Floriano dados do Clima Tempo – ver anexo).

$$T_c = T_a + \frac{G_T}{800} (T_c^* - 20) 0,9$$

(9)

Onde:

T_c [°C] -temperatura da célula

T_a [°C] -temperatura ambiente local da instalação 32°C

T_c^* [°C] - temperatura nominal de operação da célula TNOC 43°C

G_T [W/m²] - radiação solar média no plano de célula 1000 W/m²,

A partir desse ponto calcula-se o V_{mp} equação 10 e o V_{oc} equação 11 nas condições de temperatura de operação da célula no local de instalação com T_c de 57,9 C°, onde o V_{mp} da placa antes era 30,8V e passa a ser de 26,1V e V_{oc} da placa antes era 37,9V e a ser 32,2V.

$$V_{mp}(T_c) = V_{mp} (1 + \gamma_{oc} (T_c - T_c^0))$$

(10)

$$V_{oc} = V_{oc}^0 (1 + \gamma_{oc} (T_c - T_c^0))$$

(11)

A partir desses dados temos uma nova quantidade de painéis fotovoltaicos, utilizamos a equação 12.

$$E_{GFV} = \eta_{SPMP} * P_{FV} * N * (TD)$$

(12)

$$700 = (0,98 * 229 * N * 0,75)$$

$$N = 5 \text{ painéis (consideramos números pares)}$$

$$N = 6 \text{ painéis fotovoltaicos}$$

Onde:

E_{GFV} = Energia diária média anual a ser fornecida pelo gerador fotovoltaico

3.7. Investimento

A tabela 6 indica o investimento inicial para uma fonte de geração de energia fotovoltaica sem o uso de banco de bateria.

Equipamento	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Painel Canadian Solar CS6K-270P + Cabos e Proteções FV	6	R\$ 850,00	R\$ 5.100,00
Kit fotovoltaico p/ montagem	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
Bomba Hidráulica + Controlador	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00
Reservatório em fibra 20.000 litros	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Acessórios Hidráulicos	1	R\$ 6.200,00	R\$ 6.200,00
Instalação em campo	1	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
Valor total			R\$ 61.300,00

Tabela 6: Investimento Energia Fotovoltaica

Fonte: (Embrapa, 2006)

Na tabela 7 estima-se o investimento inicial na implantação de um hectare de cajueiro- anão precoce considerando que o terreno e o poço de água são um bem adquirido e o investimento seria da plantação em diante.

Descritivo	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Desmatamento	30 Homem dia	R\$ 120,00	R\$ 3.600,00
Marcação de covas	15 Homem dia	R\$ 120,00	R\$ 1.800,00
Mudas enxertadas	204	R\$ 50,00	R\$ 10.200,00
Plantio de mudas	10 Homem dia	R\$ 150,00	R\$ 1.500,00
Valor total			R\$ 17.100,00

Tabela 7: Investimento para Plantação do cajueiro

Fonte: (Embrapa, 2006)

Na tabela 8 estima-se a média de custos fixos operacional anual para manter um hectare de cajueiro- anão precoce

Descritivo	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Roçagem (a cada 2 meses)	6 Homem dia	R\$ 120,00	R\$ 4.320,00
Adubação (a cada 6 meses)	6 Homem dia	R\$ 120,00	R\$ 1.440,00
Controle de pragas (a cada 6 meses)	6 Homem dia	R\$ 120,00	R\$ 1.440,00
Colheita manual (no pico 60 dias)	2 Homem dia	R\$ 120,00	R\$ 14.400,00
Outros gastos (20%)			R\$ 10.348,00
Valor total			R\$ 31.948,00

Tabela 8: Investimento serviço operacional anual

Fonte: (Embrapa, 2006)

A Tabela 9 mostra o valor da colheita, conforme pesquisado. A colheita desse tipo de fruta geralmente é feita de forma manual estamos considerando como venda bruta, ou seja, a castanha não passará pelo processo de cozimento para retirada da amêndoa e para o processo de fritura, embalagem e armazenamento, o caju consideramos da mesma forma venda somente da fruta sem os processos para sucos doces e outros. Todo o processo até venda ao consumidor será feita por uma empresa industrial.

Descritivo	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Colheita da castanha bruta	1300 Kg/ano	R\$ 14,80	R\$ 19.240,00
Colheita do caju	13000 Kg/ano	R\$ 2,50	R\$ 32.500,00
Valor total			R\$ 51.740,00

Tabela 9: Retorno financeiro anua

Fonte: Adaptada (Embrapa, 2006)

4. Análise de viabilidade econômica

Utilizaremos como base os cálculos do Valor Presente Líquido – VPL e a Taxa Interna de Retorno – TIR, onde valor presente líquido tem o objetivo de ajudar o investidor tomar uma decisão com mais segurança. Seu método é bem simples, porém nos dá um parecer rápido se o investimento é viável ou não. Já a taxa interna de retorno seria uma taxa de desconto hipotética sendo a taxa máxima de custo de capital que um projeto suporta.

Na tabela 10 constam os cálculos para esse investimento desde a plantação e aquisição do sistema fotovoltaico até a venda bruta da castanha e caju onde os gastos com esse investimento se pagam a partir do quinto ano.

n	Fluxo de caixa	VP (Juros a 6,5%)	PAYBACK
0		-R\$ 78.400,00	
1	R\$ 19.792,00	R\$ 18.584,04	-R\$ 59.815,96
2	R\$ 19.792,00	R\$ 17.449,80	-R\$ 42.366,16
3	R\$ 19.792,00	R\$ 16.384,79	-R\$ 25.981,37
4	R\$ 19.792,00	R\$ 15.384,78	-R\$ 10.596,59
5	R\$ 19.792,00	R\$ 14.445,80	R\$ 3.849,21
6	R\$ 19.792,00	R\$ 13.564,13	R\$ 17.413,34
7	R\$ 19.792,00	R\$ 12.736,28	R\$ 30.149,62
8	R\$ 19.792,00	R\$ 11.958,94	R\$ 42.108,56
9	R\$ 19.792,00	R\$ 11.229,06	R\$ 53.337,61
10	R\$ 19.792,00	R\$ 10.543,71	R\$ 63.881,33
11	R\$ 19.792,00	R\$ 9.900,20	R\$ 73.781,53
12	R\$ 19.792,00	R\$ 9.295,96	R\$ 83.077,49
13	R\$ 19.792,00	R\$ 8.728,60	R\$ 91.806,10
14	R\$ 19.792,00	R\$ 8.195,87	R\$ 100.001,97
15	R\$ 19.792,00	R\$ 7.695,65	R\$ 107.697,62
16	R\$ 19.792,00	R\$ 7.225,97	R\$ 114.923,59
17	R\$ 19.792,00	R\$ 6.784,95	R\$ 121.708,53
18	R\$ 19.792,00	R\$ 6.370,84	R\$ 128.079,37
19	R\$ 19.792,00	R\$ 5.982,01	R\$ 134.061,38
20	R\$ 19.792,00	R\$ 5.616,91	R\$ 139.678,30
VP		R\$ 218.078,30	
VPL		R\$ 139.678,30	
TIR		17,33%	
Payback Descontado		5 anos e 8 meses	

Tabela 10: Análise de viabilidade econômica

Fonte: Própria do autor (2018)

A tabela 11 indica o valor líquido presente para juros de 6,5% a.a

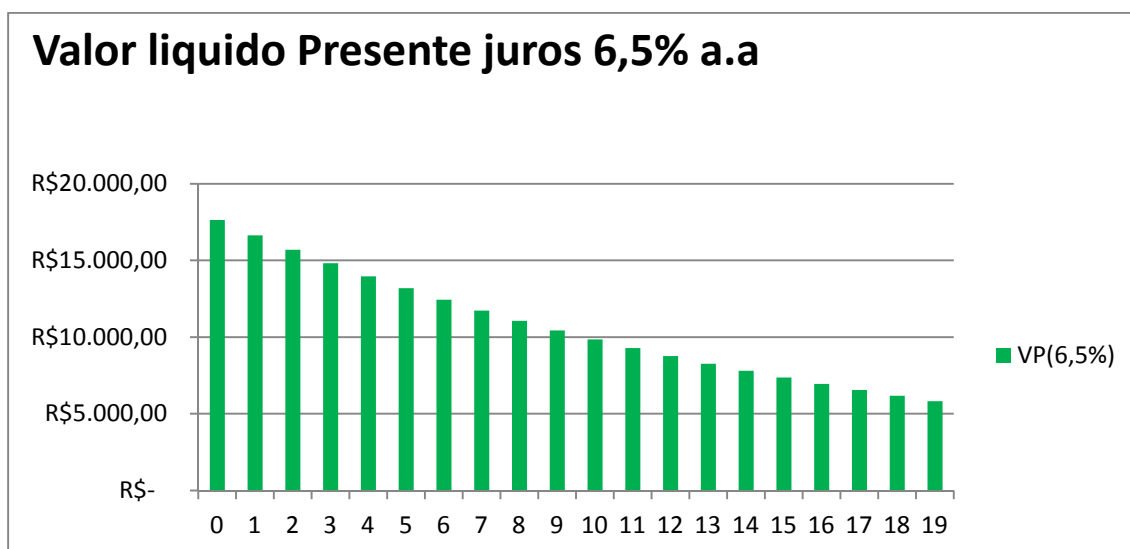


Tabela 11: Valor líquido presente

Fonte: Própria do autor (2018)

5.0 – Conclusões e recomendações

Esse estudo propiciou a utilização de terras para produção de cajueiro através de irrigação que de outra maneira ficaria improdutiva.

Analizamos que a posição geográfica de onde será instalado o sistema de irrigação proveniente de fonte fotovoltaica é favorável, vemos nos dados solarimétrico do Cresesb de Floriano que o pior mês seria em abril com HSP de 5,17.

Foi dimensionado um total de 204 mudas de cajueiro que ocupam um hectare com produção dos fruto em menos de um ano e com previsão de produtividade aproximadamente de 1.300kg de castanha e 13 toneladas de caju / ano.

Será necessário armazenar 18,2 m³ de água por dia para as necessidades da planta, a irrigação será através de micro aspersores trabalhando em torno de 8 horas por dia para o ciclo completo de irrigação das mudas e para tal dimensionou-se um reservatório elevado com capacidade de 20m³.

A água será transferida do subsolo para o reservatório através de uma bomba 0,7KW modelo ECDRIVE 600 e controlador Lorenzt PS2-600 com capacidade de vazão de 3,52m³/h.

O motor da bomba será acionado diretamente por 6 painéis fotovoltaicos que na condução de operação produzem 229wp que estarão acoplado a controlador Lorenzt PS2-600 .

O investimento na parte de geração de energia fotovoltaica e de R\$40.130,00 e na parte da implantação das 204 mudas do cajueiro- anão precoce é de R\$13.940,00, os custos fixos da plantação é de R\$35.100,00 por ano.

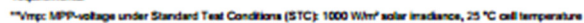
A receita obtida coma venda do caju e amêndoa é de R\$78.000,00 por ano com o uma taxa de juros de 6,5% a. a, consegue-se um payback em 5 anos e 8 meses, e o tempo de vida do cajueiro anão precoce gira em torno de 35 anos e do sistema fotovoltaico em torno de 20 anos. Esse estudo demonstra que a utilização de energia solar para irrigação proporciona um aumento da utilização de mão de obra necessária para as operações de plantio e cuidados com a produção.

Apesar de ser um estudo acadêmico podemos concluir que esse projeto é viável e dessa maneira os investidores podem criar esse sistema de geração fotovoltaico para irrigação do cajueiro nessa região de caatinga.

Bibliografia

- Absolar. (08 de Julho de 2017). *OS DESAFIOS E AS OPORTUNIDADES DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Acesso em 20 de Junho de 2018, disponível em Absolar: <http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/os-desafios-e-as-oportunidades-da-energia-solar-fotovoltaica.html>
- Cajueiro. (2017). Acesso em 24 de junho de 2018, disponível em todosobreplantas: https://www.todosobreplantas.com.br/asp/plantas/ficha.asp?id_planta=370626
- Cajueiro e Suas Característica. (04 de Junho de 2013). Acesso em 25 de Junho de 2018, disponível em diadecampo: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=28425&secao=Agrotemas&c2=Caju>
- CRESEB. (2018). *Dados Solarimétrico Floriano-PI*. Acesso em 22 de junho de 2018, disponível em cresesb: <http://www.cresesb.cepel.br/>
- Domineghetti, N. (junho de 2015). Estudo de Viabilidade Técnica-Econômica de Utilização de Energia Solar Fotovoltaica na Irrigação de Lavouras no Nordeste do Brasil. p. 109.
- Embrapa. (Junho de 2006). *Irrigação do cajueiro-anão precoce*. Acesso em Junho de 28 de 2018, disponível em embrapa: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAMN-2009-09/20953/1/CT186.pdf>
- KG, B. L. (9 de 2017). *Lorentz Pumps*. Acesso em 6 de 2018, disponível em <https://lorentzpumps.co.za/wp-content/uploads/2017/09/PS2-600-CS-17-1.pdf>
- Maps. (2018). *Google*. Acesso em 27 de Junho de 2018, disponível em Maps: <https://www.google.com.br/maps/dir/Teresina,+PI/Floriano+-+PI/@-5.9281786,-44.2238574,8z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x78e32519a8599c7:0xd4483d47c29fd9c6!2m2!1d-42.7662325!2d-5.0446853!1m5!1m1!1s0x7837d310d0f33ad:0x22ab236c6fd9c80c!2m2!1d-43.0226305>
- MORALES, L. R. (2013). A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEAMENTO PARA IRRIGAÇÃO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS..
- Pacheco (2018) Conceitos Fundamentais de Conversão Fotovoltaica da Energia Solar.
- Schneider, A. T. (2017). *Painéis Fotovoltaicos*. Acesso em 18 de Junho de 2018, disponível em inergiae: <http://inergiae.com.br/site/paineis-fotovoltaicos/>
- Tensiometro de Madeira. (s.d.). Acesso em 27 de Junho de 2018, disponível em <https://www.google.com.br/imgres?imgurl=x-raw-image>

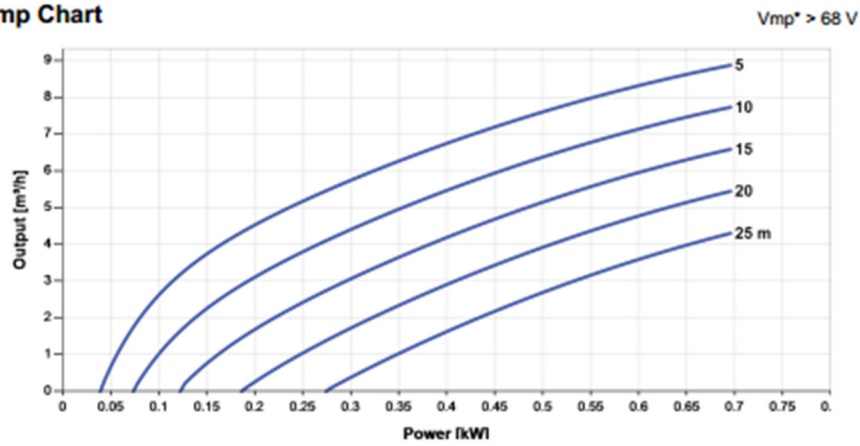
6.1 Especificações técnicas da bomba d água Solar e controlador associado



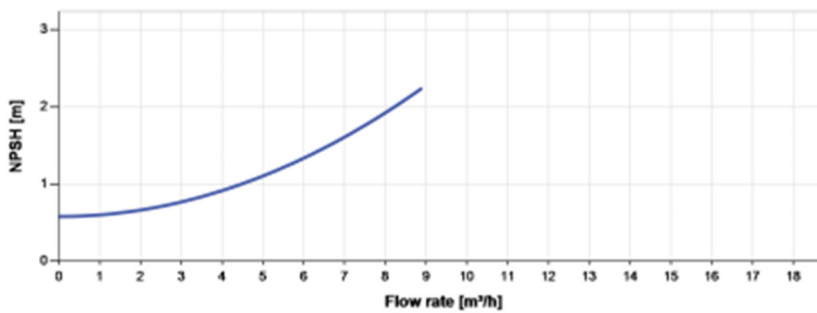
PS2-600 CS-F4-3

Solar Surface Pump System

Pump Chart



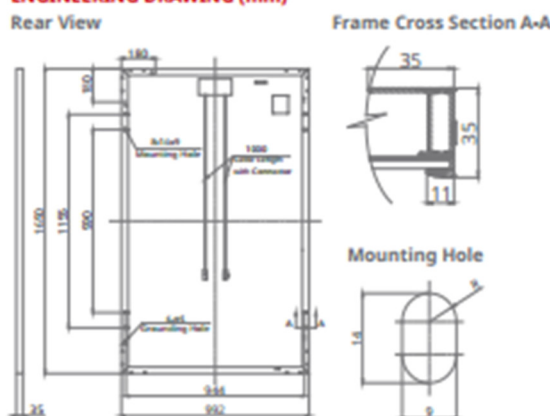
NPSH



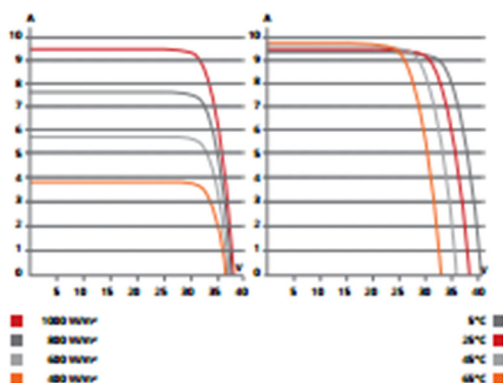
The NPSH (Net Positive Suction Head) is NOT the operating suction head. To calculate the operating suction head please refer to the installation manual

6.1 Especificações técnicas do módulo fotovoltaico

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6K-280P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	270P	275P	280P
Nominal Max. Power (Pmax)	270 W	275 W	280 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.8 V	31.0 V	31.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.75 A	8.88 A	8.95 A
Open Circuit Voltage (Voc)	37.9 V	38.0 V	38.2 V
Short Circuit Current (Isc)	9.32 A	9.45 A	9.52 A
Module Efficiency	16.50%	16.80%	17.11%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ +5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6 × 10)
Dimensions	1650 × 992 × 35 mm (65.0 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm² (IEC), 12 AWG (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	840 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS6K	270P	275P	280P
Nominal Max. Power (Pmax)	199 W	202 W	206 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	28.3 V	28.5 V	28.8 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.01 A	7.10 A	7.16 A
Open Circuit Voltage (Voc)	35.3 V	35.4 V	35.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.52 A	7.63 A	7.68 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.5 % for irradiances between 200 W/m² and 1000 W/m² (AM 1.5, 25°C).

PARTNER SECTION



6.1 Dados da média de temperatura em Floriano-Piauí

<https://www.climatempo.com.br/climatologia/261/floriano-pi>

Highcharts.com

Os dados apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de um série de dados de 30 anos observados. É possível identificar as épocas mais chuvosas/secas e quentes/frias de uma região.

Mês	Minima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	22°	31°	145
Fevereiro	23°	31°	142
Março	23°	32°	166
Abril	23°	32°	123
Maio	22°	33°	40
Junho	21°	34°	13
Julho	21°	34°	8
Agosto	22°	35°	1
Setembro	24°	36°	10
Outubro	24°	35°	98
Novembro	23°	33°	91
Dezembro	23°	32°	135