

ESTUDO TEÓRICO SOBRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS APLICADOS AO BOMBEAMENTO DE ÁGUA PARA RESIDÊNCIAS SITUADAS EM ÁREAS RURAIS DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN

Carlos Alberto Fernandes Lopes Neto¹, Jusciane da Costa e Silva²

Resumo: O grande potencial de radiações solares na região Nordeste do Brasil viabilizou, consideravelmente, a implementação de diversas tecnologias solares que possibilitaram maiores contribuições para o desenvolvimento e progresso dessa região. Uma dessas tecnologias concentra-se diretamente na utilização da energia solar fotovoltaica para o processo de bombeamento de água residencial. Tal tecnologia se mostrou extremamente necessária para a plena sobrevivência de residências e comunidades habitacionais localizadas em zonas mais remotas. Este trabalho tem como objetivo fazer um estudo teórico sobre sistemas fotovoltaicos aplicados aos bombeamentos de água em residências rurais do município de Mossoró, através de definições, demandas e processos, que acompanham a tecnologia solar. Foi considerado um abastecimento de água para um grupo de residências integrantes de uma comunidade habitacional rural, contendo uma determinada faixa de consumo diário de água e limitações acerca de recursos financeiros e de espaço geográfico. A partir dessa problemática foi regido: funcionamento, cálculos de dimensionamentos e custos da tecnologia solar para o bombeamento de água. Os resultados da aplicação provaram a eficiência do uso de sistemas fotovoltaicos no bombeamento de água, proporcionando independência para as comunidades e residências situadas nas áreas rurais de Mossoró, tornando o sistema de coleta de água automatizado, contribuindo de forma duradoura, eficaz e segura para as residências situadas na região. Essa tecnologia pode ser aplicada tanto em áreas rurais, como também em áreas urbanas, se houver condições propícias para a sua instauração.

Palavras-chave: Bombeamento de água; Sistemas fotovoltaicos; Residências; Tecnologia solar.

1. INTRODUÇÃO

As crescentes demandas por fontes alternativas de energia nos mercados globais tiveram suas motivações atreladas principalmente a necessidade da substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, como a solar, a qual propõe além da economia e contribuição para a sustentabilidade, a capacidade de solucionar os diversos problemas que afetam direta e indiretamente a qualidade de vida dos seres humanos [1]. No Brasil, o uso da energia solar fotovoltaica mostrou-se expressivamente viável na solução de diversos problemas, como no caso do bombeamento de água para residências localizadas em áreas remotas da região Nordeste, tal viabilidade que é demonstrada através da grande potencialidade de radiações solares dos estados que compõem a região, e, apesar de serem áreas de potencial energético expressivo, ainda sofrem com empecilhos de natureza econômica, social e política para que a instauração da tecnologia ocorra. O bombeamento de água em questão, que abastece as residências, é realizado a partir de sistemas fotovoltaicos, que por sua vez já se tornaram bem presentes no fornecimento energético de residências e ambientes comerciais. Esse avanço dos sistemas fotovoltaicos nos setores residências e também comerciais, é evidenciado a partir da projeção de unidades consumidoras (microgeradores), medida pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), conforme exposto no Gráfico 1.

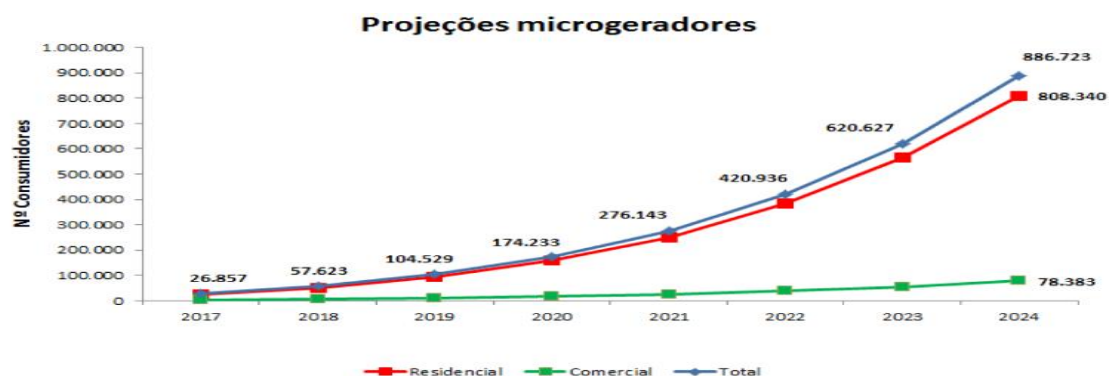


Gráfico 1. Projeção de unidades consumidoras. [2]

Normalmente o bombeamento de água para as residências se utiliza da alimentação energética por redes elétricas convencionais, ou por geradores autônomos que queimam combustíveis fósseis para gerarem a energia utilizada no processo de bombeamento, ambas as situações limitam drasticamente o acesso a água, tanto pela dependência energética, quanto pelos altos custos. As residências que mais são prejudicadas são aquelas localizadas em regiões rurais ou mais remotas dos grandes centros urbanos, que contam com grandes obstáculos tal como: os fatores geográficos, econômicos e sociais, e com a ausência de facilitadores automáticos na coleta de água. Os indivíduos, por muitas vezes, recorrem a coleta manual, uma opção que nem sempre é viável e segura [1]. Diante dessa problemática o projeto irá propor soluções para residências e comunidades isoladas (rurais) do município de Mossoró, que compõe o estado do Rio Grande do Norte, aplicando-se os conhecimentos que acerca da energia solar fotovoltaica, com o intuito de satisfazer as necessidades do bombeamento de água residencial nessas localidades remotas.

O trabalho focará em soluções de pequena escala, para um número pequeno de residências integradas (comunidades) ou autônomas, utilizando-se dos sistemas fotovoltaicos isolados no bombeamento de água, todo o processo será exposto desde definições de cada equipamento, sistematização do processo, até custos de implementação e manutenção da tecnologia solar, com o intuito de apresentar mais uma alternativa para um problema que é realidade em muitas residências situadas em áreas rurais do município de Mossoró, contribuindo tanto para o desenvolvimento humano quanto para o desenvolvimento do semiárido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Energia solar fotovoltaica

A energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do Sol que pode ser aproveitada e utilizada por meio de diferentes tecnologias, como para a geração de energia solar fotovoltaica, que é capaz de gerar energia elétrica a partir da coleta de luz solar como fonte primária de energia [3]. Com o auxílio de painéis solares é possível coletar a radiação solar e fazer o uso da energia, para diversas finalidades como: geração fotovoltaica de energia elétrica para residências, iluminação pública e bombeamento de água. Além das suas aplicações o uso da energia solar combate emissões de gases do efeito estufa, reduz a dependência dos combustíveis fósseis como o petróleo e promove economia no consumo [3]. Além de seus diversos benefícios, a energia solar se mostrou uma fonte de energia praticamente inesgotável, variando seu potencial de acordo com as radiações solares de cada região do mundo, podendo maximizar seus benefícios de consumo de acordo com incidências solares mais altas.

A obtenção de energia solar fotovoltaica se dá por meio do método direto, a energia solar é obtida quando a radiação solar atinge células fotovoltaicas presentes nos painéis solares, gerando eletricidade [3]. Cada painel solar contém células fotovoltaicas (ou também chamadas de células PV), que convertem a luz em eletricidade de corrente contínua, podendo suprir energeticamente equipamentos como lâmpadas e algumas motobombas. Para eletrodomésticos ou equipamentos que necessitam de potência, é necessário a corrente alternada, que pode ser gerada a partir da conversão de corrente contínua para alternada, através de dispositivos denominados inversores.

2.2. Radiação solar no Brasil

Além das condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar, a disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve aos movimentos de rotação e translação exercidos pelo planeta Terra [4]. A radiação solar pode ser dividida em dois tipos: a radiação solar direta, na qual os raios solares ao atravessar a atmosfera terrestre não possuem qualquer alteração na sua direção de incidência, a radiação solar difusa, que possui alteração na direção de incidência dos raios solares, por fatores como poeira e elementos constituintes da atmosfera [5]. A radiação global é a soma da radiação solar direta e difusa, conforme ilustrado na Figura 1.

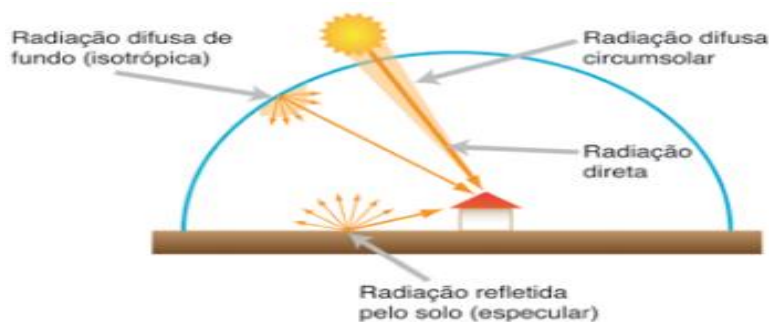


Figura 1. Radiação solar direta e difusa. [5]

Trazendo para a realidade brasileira, a radiação solar é expressivamente incidente sobre a região Nordeste, no qual tem sua posição geográfica relativamente próxima da linha do equador, não havendo grandes variações na duração solar do dia, o que é bom para a implementação de tecnologias solares, como sistemas fotovoltaicos. O estado do Rio Grande do Norte, que compõem a região a Nordeste, possui um alto potencial para o uso da energia solar fotovoltaica, principalmente a cidade de Mossoró, que conta com altas incidências de raios solares na região. A incidência solar da região Nordeste é evidenciada a partir da radiação solar global diária média medida em cada estado na unidade de irradiação solar (MJ/m^2) conforme a Figura 2.

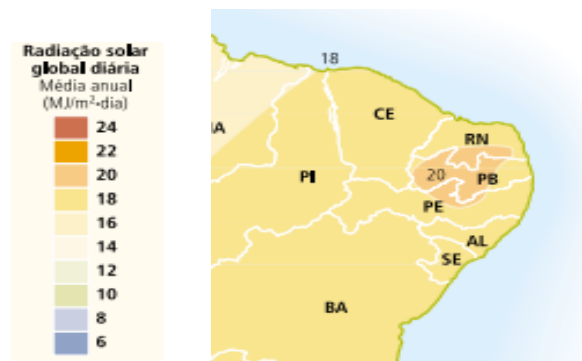


Figura 2. Média da radiação solar global diária no Nordeste ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$). [4]

2.3. Sistemas fotovoltaicos isolados e conectados à rede

Basicamente, o sistema fotovoltaico é um conjunto integrado de módulos fotovoltaicos e outros componentes, projetado para converter a energia solar em eletricidade, a partir da captação de energia solar [6]. Nesse sistema, há um conjunto de células fotovoltaicas, feitas de um material semicondutor, quando passa pelas etapas de purificação e dopagem se transformam em células fotovoltaicas. A fabricação e o material são diversos para o painel fotovoltaico e também para o seu formato. Para a conversão de energia solar em elétrica é preciso o uso de um controlador de carga, inversor de corrente alternada para corrente contínua e um banco de baterias, caso seja um sistema isolado (*off-grid*), ou seja, não é ligado à rede, e quando não há radiação, será abastecido pela energia acumulada nas baterias, como visto na Figura 3. Se for um sistema conectado à rede (*on-grid*), não será necessário o uso do controlador de carga e das baterias, como visto na Figura 4.

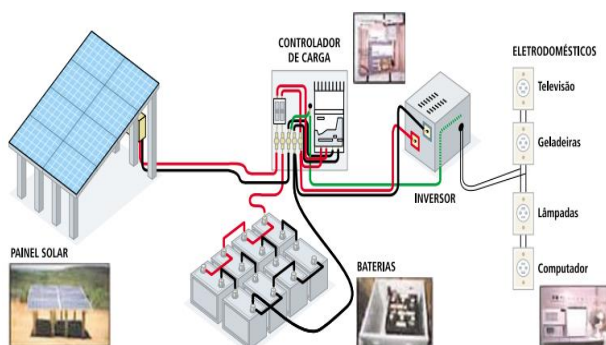


Figura 3. Sistema fotovoltaico autônomo. [4]

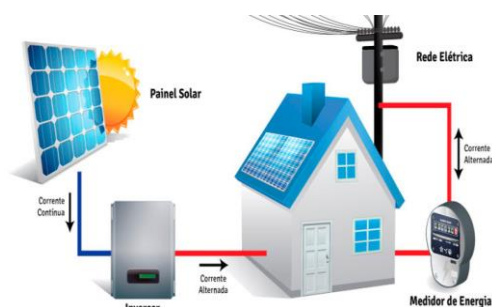


Figura 4. Sistema fotovoltaico conectado à rede. [7]

No projeto será utilizado o sistema fotovoltaico isolado (ou autônomo), no qual não será necessário utilizar o inversor durante o processo de bombeamento de água, visto que a bomba que será alimentada pelo sistema (será apresentada adiante) não precisará de corrente alternada para funcionar. E visto que as residências e comunidades beneficiadas de Mossoró são as que se localizam em regiões rurais (mais isoladas), na grande maioria das vezes não possuem condições de arcar com custos adicionais de inversores, deixando também de ser um sistema mais simples e compacto para que mais pessoas usem.

2.4. Tipos de bombas

2.4.1. Bombas centrífugas

As bombas centrífugas são bombas rotativas, com pás girando em alta velocidade, criando pressão e forçando

o fluxo de água [1]. Esse tipo de bomba é a mais adequada para grandes volumes de água em pequenas alturas manométricas, e com grande velocidade. Elas são projetadas para pressões e vazões específicas, reduzindo sua eficiência quando utilizadas fora dessa faixa de projeto [1]. As bombas centrífugas reagem muito sensivelmente ao decréscimo de radiação solar incidente nos módulos fotovoltaicos, podendo reduzir drasticamente sua eficiência de vazão, o que a torna muito suscetível a perdas de potência.

As bombas centrífugas podem atuar tanto submersas, quanto em superfície, sendo esta última não recomendada para alturas de sucção superiores a 6 metros [1]. Essas bombas podem ser acionadas tanto por motores de corrente contínua como motores de corrente alternada, tendo sua escolha baseada na necessidade. No uso desse tipo de bomba para bombeamento de água a partir de sistemas fotovoltaicos autônomos, é recomendado o uso do inversor, para realizar a conversão da corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada para alimentar energeticamente a bomba centrífuga.

2.4.2. Bombas de deslocamento positivo

As bombas volumétricas ou bombas de deslocamento positivo atuam por meio de um pistão ou através de uma cavidade, movendo volumes constante de água a cada ciclo [1]. Esses tipos de bombas são as mais adequadas para situações de bombeamento de água em pequenos volumes e grandes alturas manométricas, esta última quando se eleva também diminui a eficiência da bomba. Bombas de deslocamento positivo são motores compatíveis com a natureza de corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos, em aplicações de potência abaixo de 7.500 W [1]. Essas bombas volumétricas podem vir acopladas com escovas que facilitam na sucção da água.

Motobombas de corrente contínua, como bombas de deslocamento positivo, possuem aplicações importantes para sistemas de bombeamento de água a partir de módulos fotovoltaicos, extremamente viáveis para residências localizadas em áreas remotas. Tais motobombas podem bombear água desde 1.500 a 3.000 litros por dia, para alturas manométricas inferiores a 30 metros, podendo ser acionadas através de módulos fotovoltaicos com potência de 85 a 135 Wp (Watt-pico) [1]. Podendo ser utilizada para bombear água de: poços semiartesianos, poços de manilha, rios e cisternas, esse tipo de bomba foi a escolhida para compor o sistema de bombeamento de água que será demonstrado mais adiante no projeto, tanto por conta dos seus benefícios como pelo fato de não necessitar de inversores para sua operação. A motobomba que será utilizada não ultrapassará a marca de 12 a 24 volts de tensão, também terá acoplada a ela escovas, para maximizar o processo de sucção de água.

3. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS PARA O BOMBEAMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL

Os sistemas fotovoltaicos autônomos quando atuam em conjunto com motobombas para o bombeamento de água em residências, sofrem algumas adaptações na sua configuração, mas a aplicação segue a mesma ideia, bombear água de qualquer que seja a fonte (como rios e poços) para reservatórios instalados nas residências, especificamente as localizadas nas áreas rurais de Mossoró-RN, focos do projeto. Mesmo a aplicação sendo analisada em uma localidade específica, a tecnologia poderá também ser utilizada em outras regiões, levando em conta sempre a potencialidade e viabilidade econômica de região para região.

3.1. Sistematização e composição da tecnologia solar

A tecnologia de bombeamento solar de água é composta por: módulos fotovoltaicos (ou painéis solares se for um conjunto de módulos), controlador de carga, banco de baterias e motobombas, além de seus respectivos conectores. Também será utilizado mangueiras ou tubos conectados as motobombas, que é por onde a água irá fluir. O esquema proposto está esquematizado conforme a Figura 5.

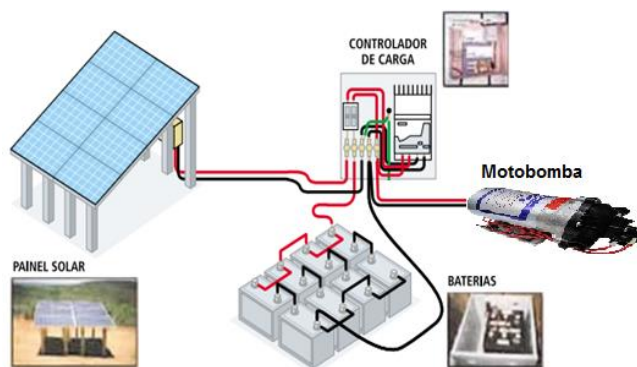


Figura 5. Sistematização do bombeamento de água a partir de sistemas fotovoltaicos autônomos. [4]

Os módulos fotovoltaicos são um conjunto de várias células fotovoltaicas, estas são as responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica, podendo ser associados em série ou em paralelo [8]. É feita a associação em série quando se conecta o terminal negativo de um módulo com o terminal positivo do módulo seguinte, mantendo mesma corrente para todos os módulos, e a tensão total do sistema sendo a soma das tensões individuais de cada módulo. Para a associação em paralelo os módulos são conectados entre si conectando terminal positivo com positivo e negativo com negativo, a tensão se mantém igual para todos os módulos, mas a corrente total do sistema é igual ao somatório das correntes individuais de cada módulo.

O controlador de carga é um dispositivo eletrônico que protege as baterias contra sobrecarga ou descarga excessiva, protegendo-a de uma possível sobrecarga por excesso de eletricidade produzida por módulos fotovoltaicos, ou descarga de equipamentos ligados a ele [8]. O valor da corrente máxima do controlador deve ser maior que a corrente de curto-circuito produzido por um gerador fotovoltaico, multiplicada por um fator de 1,25, a tensão de operação normalmente é 12, 24 e 48 Volts [8]. O controlador de carga que será utilizado irá trabalhar sobre uma tensão de operação de 12 ou 24 Volts.

As baterias são um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, que pode ser recarregável ou não, conectada em série ou em paralelo, capazes de armazenar e fornecer energia elétrica para dispositivos e equipamentos, no caso dos sistemas fotovoltaicos, será responsável por alimentar energeticamente as bombas a partir da corrente elétrica que vem do controlador de carga. As baterias também podem ser classificadas em estacionárias, que armazenam energia por longos períodos de tempo, e em automotivas, que armazenam energia apenas em um curto espaço de tempo. Será utilizado no projeto baterias do tipo estacionárias, que são mais recomendadas para um tempo de vida útil maior. E por fim as motobombas, que são as responsáveis realizar o processo de sucção da água e transporta-la através de tubos para reservatórios, podendo atuar submersas ou em superfície.

3.2. Funcionamento

O primeiro passo do processo consiste em posicionar adequadamente os painéis solares, em uma inclinação condizente com a latitude local, para que haja o máximo de aproveitamento de energia solar. No caso de Mossoró os painéis solares terão inclinação de 5° apontado para o norte. Com o posicionamento adequado, os painéis solares farão a conversão de radiação solar em energia elétrica (na forma de corrente contínua), que passará pelo controlador de carga, que é conectado a uma bateria estacionária, e depois chegará até a bomba de deslocamento positivo (ou bomba volumétrica), bombeando a água para reservatórios, para assim ser consumido na residência. Esse esquema está demonstrado conforme a Figura 6.

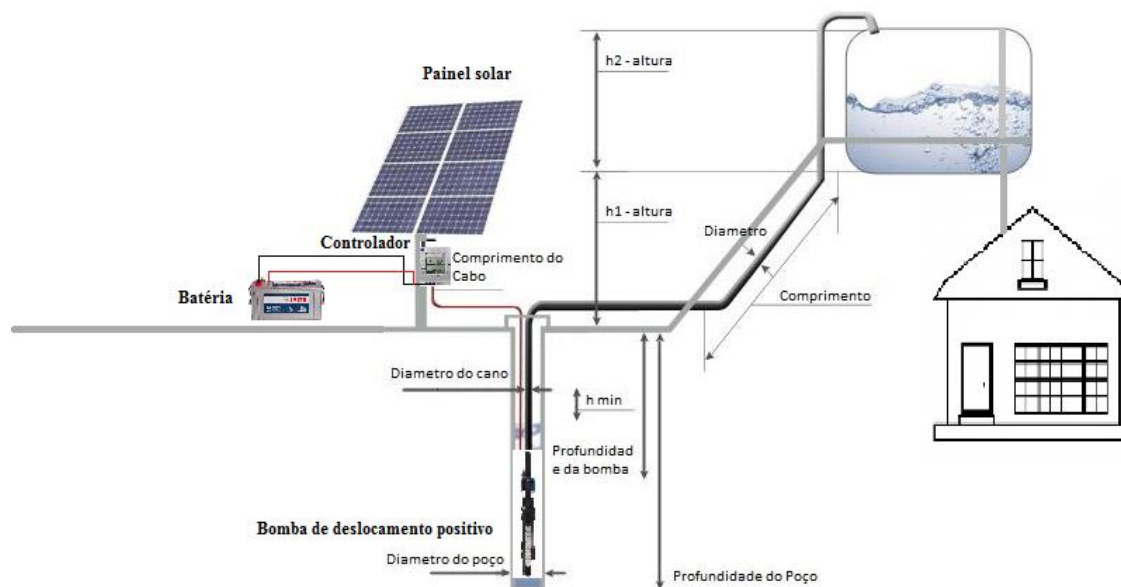


Figura 6. Bombeamento de água a partir de sistemas fotovoltaicos isolados. (Autoria própria)

A motobomba utilizará a energia fornecida pelos painéis solares, fazendo com que a água suba até o limite de altura manométrica suportada pela bomba, fluindo a água através de tubos até chegar na residência, conforme a altura manométrica vá aumentando, a velocidade de vazão da água diminuirá proporcionalmente, até chegar ao ponto de o bombeamento exceder o limite, e assim cessar. O banco de baterias terá sua importância quando houver ausência de radiação solar, para que o sistema de bombeamento não tenha seu funcionamento comprometido, as baterias fornecerão energia elétrica que passará também pelo controlador de carga, e alimentará por sua vez a motobomba.

3.3. Dimensionamento simplificado

Para que haja um funcionamento adequado do sistema de bombeamento solar de água, será necessário a obtenção da faixa de consumo da residência beneficiada, dimensionando o tipo de bomba utilizada, a capacidade do banco de baterias, quantidade e potência de painéis solares requeridos e a amperagem do controlador de carga. O processo de dimensionamento será demonstrado a partir de um dimensionamento exemplificativo de uma pequena comunidade residente de áreas rurais de Mossoró, contendo cinco residências, com faixas de consumo de água diferentes, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Faixa de consumo diário de água em cada residência. (Autoria própria)

Número de residências	Consumo diário total de água (em litros)
Residência 1	440
Residência 2	220
Residência 3	150
Residência 4	600
Residência 5	350
	1.760

A captação será feita através de um poço de profundidade 3 metros, a água será bombeada até uma caixa d'água comunitária (de 3000 litros de capacidade de armazenamento), localizada a 4 metros de altura (em relação ao nível do solo), o dimensionamento a seguir não incluirá o tamanho de conectores ou mão de obra.

3.3.1 Bomba

Com um consumo de 1.760 litros de água por dia requerida pela comunidade, e considerando um uso de aproximadamente 5 horas da motobomba por dia, será escolhido um modelo de bomba de deslocamento positivo com vazão máxima de 6,6 l/m (396 por hora), que além de suprir a demanda de 1760 l/dia, contará com uma folga de abastecimento de 12,5% para caso haja aumento de consumo. A bomba escolhida é a bomba d'água de deslocamento positivo 12V do modelo Shurflo 8000, conforme mostrado na Figura 7.



Figura 7. Bomba de deslocamento positivo 12V. [9]

3.3.2 Banco de baterias

Para definir qual bateria deverá ser utilizada, é necessário tabellar o consumo em Ah (Ampére-hora) da motobomba, a bateria utilizada será de 12 V, será do tipo estacionária, a tabela de consumo está exposta conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Consumo em Ampére-hora da motobomba. (Autoria própria)

Equipamento	Tensão (V)	Potência (W)	Uso (h/dia)	Corrente (A)	Consumo (Ah/dia)
Bomba d'água	12cc	37,2	5	3,1	15,5
Total	-	37,2	-	3,1	15,5

Nota: cc é uma abreviação de corrente contínua

Sabendo que o consumo (Ah/dia) é de 15,5, é possível calcular a capacidade do banco de baterias, para suprir essa demanda, a partir da Equação 1.

$$Capacidade (Ah) = \frac{Consumo\ total\ (\frac{Ah}{dia}) * Autonomia}{Profundidade\ da\ descarga\ no\ final\ da\ autonomia\ (pu)} \quad (1)$$

Será considerada uma autonomia de três dias (três dias sem sol), e profundidade da descarga de 0,6 (quanto maior esse número, menor será a vida útil da bateria), referindo-se à quantidade de carga retirada da bateria num ciclo típico de funcionamento (é uma porcentagem), com isso podemos determinar a capacidade do banco de baterias a partir da Equação 1.

$$Capacidade (Ah) = \frac{15,5 * 3}{0,6} = 77,5 Ah$$

Deve-se também fazer o cálculo do banco de baterias a partir do consumo diário, para que o valor final encontrado seja o ideal, se os dois resultados forem diferentes será escolhido o maior valor dentre eles. A profundidade da descarga no final de cada noite terá um valor de 0,2 que é o parâmetro de controle da vida útil da bateria, o cálculo será feito a partir da Equação 2.

$$Capacidade (Ah) = \frac{Consumo\ total\ (\frac{Ah}{dia})}{Profundidade\ da\ descarga\ no\ final\ de\ cada\ noite} \quad (2)$$

Substituindo os valores, o resultado final dará igual, logo a capacidade da bateria é de 77,5 Ah, conforme provado no resultado a seguir:

$$Capacidade (Ah) = \frac{15,5}{0,2} = 77,5 Ah$$

Convencionalmente, será utilizada uma bateria estacionária do modelo Heliar Freedom DF1500 (93 Ah / 80 Ah) de 12 V, conforme ilustrada na Figura 8.



Figura 8. Bateria estacionária utilizada. [10]

3.3.3 Módulo PV

O dimensionamento da potência mínima do módulo fotovoltaico também se utilizará do consumo total (Ah/dia), o dimensionamento também necessitará da tensão de máxima potência (tipicamente de 17,4V em sistemas com baterias de 12V), as horas equivalentes de Sol pleno (nível médio do mês mais crítico) serão consideradas de 5 horas (HSP da cidade de Mossoró no ano de 2020) e por fim o fator de segurança, que serve para garantir que os módulos fotovoltaicos entregarão o suficiente para que o sistema opere, o valor adotado pra esse fator será de 0,8. Todas essas informações são demonstradas na Equação 3.

$$Potência\ mínima\ do\ gerador\ (Wp) = \frac{Consumo\ total\ (\frac{Ah}{dia}) * V_{mp\ módulo}}{horas\ equivalentes\ de\ sol\ pleno * Fator\ de\ perdas\ e\ segurança} \quad (3)$$

Aplicando-se a Equação 3, se tem os seguintes resultados para a potência mínima do gerador fotovoltaico em Wp:

$$Potência\ mínima\ do\ gerador\ (Wp) = \frac{15,5 * 17,4}{5 * 0,8} = 67,43 Wp$$

Será utilizado convencionalmente um painel solar fotovoltaico do modelo Komaes KM85 (85 Wp), uma unidade do modelo é demonstrada conforme a Figura 9.

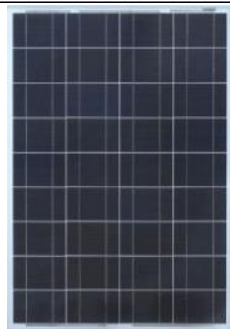


Figura 9. Painel solar de 85 Wp utilizado. [11]

3.3.4 Controlador de carga

Para calcular a corrente do controlador de carga é necessário utilizar dois métodos de cálculo, o primeiro método é o cálculo a partir das cargas e o segundo a partir dos módulos, no final os valores serão comparados, e será considerado o valor maior. Utilizando o dimensionamento a partir do cálculo de cargas, temos o consumo máximo (em Watts) que é 37,2 W (potência máxima da motobomba de corrente contínua) e a tensão do banco de baterias que é de 12V, demonstrado conforme a Equação 4.

$$\text{Corrente do controlador de carga (A)} = \frac{\text{Consumo máximo (Watts)}}{\text{Tensão do banco de baterias (V)}} \quad (4)$$

Aplicando-se os valores, se tem o seguinte resultado:

$$\text{Corrente do controlador de carga (A)} = \frac{37,2}{12} = 3,1 \text{ A}$$

Será utilizado agora o cálculo a partir dos módulos, a partir dos valores da corrente de curto-circuito do módulo (5,1 A) e o número de módulos em paralelo, relação demonstrada pela Equação 5.

$$\text{Corrente do controlador de carga (A)} = \text{Corrente de curto – circuito} * \text{Número de módulos} \quad (5)$$

Aplicando-se a fórmula, se tem o seguinte resultado:

$$\text{Corrente do controlador de carga (A)} = 5,1 * 1 = 5,1 \text{ A}$$

Logo, será utilizado o valor de 5,1 A para a corrente do controlador de carga, comercialmente será utilizado um controlador de carga de 20 A, para que seja possível, do modelo PWM 12 / 24 V Epever Viewstar VS2024AU, o controlador de carga que será utilizado está exposto conforme a Figura 10.



Figura 10. Controlador de carga de 20 A. [12]

4. CUSTOS

4.1. Custo de implementação

O custo total de implementação, não incluindo o custo de mão de obra e dos tubos por onde a água bombeada passará, terá valores: da bomba de deslocamento positivo utilizada, painel solar, bateria e controlador de carga. Custos totais demonstrados conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Custo de implementação da tecnologia solar de bombeamento de água residencial. (Autoria própria)

Equipamento	Quantidade	Custo unitário (R\$) (01/03/2020)	Valor total (R\$)
Bomba Solar 12 V Shurflo 8000	1	559,00	559,00
Painel Solar Komaes KM85 (85 Wp)	1	220,00	220,00
Bateria Estacionária Heliar Freedom DF1500 (93 Ah / 80 Ah)	1	649,00	649,00
Controlador de carga PWM 20 ^a 12 / 24 V – Epever Viewstar VS2024AU	1	189,00	189,00
			1.617,00

4.2. Custo de manutenção

O custo de manutenção para o painel solar é praticamente zero, apenas limpar o painel a cada dois dias para que a eficiência da placa não seja comprometida, em relação à bateria estacionária poderá ser recarregada quando seu tempo de uso expirar. Tanto a bomba solar como o controlador de carga não possuem tempo de vida útil para serem trocados, as garantias disponibilizadas pela loja e o tempo de vida útil de cada equipamento são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Vida útil e garantias de defeito de fabricação dos equipamentos. (Autoria própria)

Equipamento	Vida útil	Garantia de defeito de fabricação
Bomba Solar 12 V Shurflo 8000	indefinida	1 ano
Painel Solar Komaes KM85 (85 Wp)	25 anos	10 anos
Bateria Estacionária Heliar Freedom DF1500 (93 Ah / 80 Ah)	4 anos	2 anos
Controlador de carga PWM 20 ^a 12 / 24 V – Epever Viewstar VS2024AU	indefinida	2 anos

5. CONCLUSÃO

A aplicação dos sistemas fotovoltaicos autônomos para o bombeamento de água residencial mostrou o avanço do uso da energia solar no Brasil, especialmente na região Nordeste, que conta com grande potencial para a implementação da tecnologia solar. A aplicabilidade da tecnologia solar para residências situadas em áreas rurais do município de Mossoró expressou-se bastante viável, as constantes e intensas radiações solares na região proporcionam maior eficiência no uso, a pequena comunidade habitacional beneficiada teve, teoricamente (visto que é uma situação exemplificativa e não real), sua demanda de consumo de água atendida, dentro de suas específicas condições de operação. Apesar do custo total (R\$ 1.617,00), ter sido elevado, levando em conta as condições de renda da comunidade, ainda se obteve viabilidade financeira quando rateado as despesas entre as cinco residências, resultando em um valor de R\$ 323,40 por residência beneficiada. Tais despesas que ainda poderiam ser arcadas pela prefeitura de Mossoró, por meio de financiamento, já que a responsabilidade social em fornecer energia e água para a população, nesse caso, é do governo municipal.

O sistema de bombeamento solar de água demonstrado não necessitou de altas potências para atuar, contando com uma configuração relativamente simples e automática, o dimensionamento utilizado foi de pequeno porte, mas perecível de expansão para várias residências, respeitando as condições financeiras e geográficas locais. Os custos podem ser minimizados conforme o local de compra dos equipamentos, as garantias e o tempo de vida útil podem também ser mais viáveis de acordo com o fornecedor. Foi possível concluir que simples tecnologias solares podem suprir necessidades humanas importantes, partindo-se da própria potencialidade local de radiações solares. Gerando autonomia, eficiência e engajamento cada vez maior das fontes renováveis de energia para solucionar os diversos problemas dos seres humanos, em suas mais variadas vertentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVARENGA, Carlos Alberto. **Bombeamento de água com energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.solenerg.com.br/files/Bombeamento-de-agua-com-energia%20solar-Solenerg-Engenharia.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2020.
- [2] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atualização das projeções de consumidores residenciais e comerciais com microgeração solar fotovoltaicos no horizonte 2017-2024**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9>. Acesso em: 28 fev. 2020.
- [3] PORTAL SOLAR. **O que é energia solar**. 2014. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html>>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- [4] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia solar**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- [5] MAGARREIRO, Clarisse.; FREITAS, Sara.; BRITO, Miguel C. **Radiação e energia solar**. Disponível em: <<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/993/pdf>>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- [6] MAYCOCK, P. D. **Photovoltaics: Sunlight to Electricity in One Step**. Andover: Brick House. 222 p. 1981.
- [7] UNIVERSO SOLAR. **Sistemas fotovoltaicos conectados á rede**. 2017. Disponível em: <<https://universosolar.com/sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede/>>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- [8] PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.
- [9] NeoSolar. **Bomba solar**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bomba-solar-12v-shurflo-8000-ate-42m-ou-2940-l-dia.html>> acesso em 01/03/2020.
- [10] NeoSolar. **Bateria estacionária**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df1500-93ah-80ah.html>> acesso em 01/03/2020.
- [11] NeoSolar. **Painel solar**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-komaes-km85-85wp.html>> acesso em 01/03/2020.
- [12] NeoSolar. **Controlador de carga**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-pwm-20a-12-24v-epever-viewstar-vs2024au.html>> acesso em 01/03/2020.