

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Leonardo Menezes da Silveira

**CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE FLUXO HÍDRICO PROVENIENTE DE
AQUÍFERO PARA RESERVATÓRIOS UTILIZANDO-SE MOTOBOMBA
ALIMENTADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Santa Maria, RS
2023

Leonardo Menezes da Silveira

**CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE FLUXO HÍDRICO PROVENIENTE DE AQUÍFERO
PARA RESERVATÓRIOS UTILIZANDO-SE MOTOBOMBA ALIMENTADA POR PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**. Defesa realizada por videoconferência.

Orientadora: Prof.^a Alzenira da Rosa Abaide

Santa Maria, RS
2023

Leonardo Menezes da Silveira

**CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE FLUXO HÍDRICO PROVENIENTE DE AQUÍFERO
PARA RESERVATÓRIOS UTILIZANDO-SE MOTOBOMBA ALIMENTADA POR PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em 21 de dezembro de 2023:

Alzenira da Rosa Abaide, Dr. (UFSM)
(Presidenta/Orientadora)

Marcelo Bruno Capeletti, Me. (UFSM)

Vinícios Lucca, Eng. (UFSM)

Santa Maria, RS
2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Júlio e Joycela, pelo suporte, compreensão e amor.

RESUMO

CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE FLUXO HÍDRICO PROVENIENTE DE AQUÍFERO PARA RESERVATÓRIOS UTILIZANDO-SE MOTOBOMBA ALIMENTADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

AUTOR: Leonardo Menezes da Silveira

Orientadora: Alzenira da Rosa Abaide

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de recalque e acumulação de água utilizando a irradiação solar como fonte de energia para o sistema. O projeto especificou o perfil construtivo de poços tubulares, acompanhado de suas normas, elucidando as consequências de um poço mal construído. Efetua-se o levantamento de dados de irradiação solar, efeitos do sombreamento parcial em painéis solares, pesquisa para sugestão de uma demanda de água para ser suprida pelo projeto, dimensionamento de inversor, painéis e motobomba, escolha de uma plataforma e sensores e válvulas para controlar o sistema, exposição dos dados técnicos dos dispositivos escolhidos. Assim, propõe-se uma solução de baixo custo de implementação e que utilize energia renovável para combater a escassez hídrica.

Palavras-chave: Energia solar. Motobomba. Microinversor. Pannel Solar. Arduíno. Sensor Ultrassônico. Irradiação Solar. Poços Tubulares.

ABSTRACT

CONTROL AND AUTOMATION OF WATER FLOW FROM AN AQUIFER TO RESERVOIRS USING A MOTOR PUMP POWERED BY PHOTOVOLTAIC PANELS

AUTHOR: Leonardo Menezes da Silveira

ADVISOR: Alzenira da Rosa Abaide

This work presents the development of a water storage and pumping project using solar irradiation as the energy source for the system. The project specified the construction profile of tubular wells, along with their standards, elucidating the consequences of a poorly constructed well. Data was collected on solar irradiation, the effects of partial shading on solar panels, research to suggest a demand for water to be supplied by the project, sizing of the inverter, panels and motor pump, choice of a platform and sensors and valves to control the system, presentation of the technical data of the chosen devices. In this way, a low-cost solution is proposed that uses renewable energy to combat the water shortage.

Keywords: Solar energy. Motor pump. Microinverter. Solar panel. Arduino. Ultrasonic sensor. Solar irradiation. Tubular wells.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Perfil Construtivo de um poço tubular	14
FIGURA 2 – Tabela de normas técnicas sobre poços tubulares	15
FIGURA 3 – Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude, médias mensais	17
FIGURA 4 – Esquema de um inversor	19
FIGURA 5 – Variação da eficiência dos painéis ao longo do dia	20
FIGURA 6 – Sensor ultrassônico HC-SR04	23
FIGURA 7 – Power Tree Arduino R3	25
FIGURA 8 – Gráfico da vazão por altura manométrica	27
FIGURA 9 – Tabela de parâmetros da motobomba 3R3 PB	27
FIGURA 10 – Faixa de operação motobombas 4R1, 4R3R, 4R3, 4R3 IB	28
FIGURA 11 – Tabela de parâmetros da motobomba 4R3RPA/IA	28
FIGURA 12 – Válvula solenoide	29
FIGURA 13 – Especificações painel solar 455 W	30
FIGURA 14 – Especificações microinversor 2000 W	30
FIGURA 15 – Especificações FRobot Solar Power Manager	31
FIGURA 16 – DFRobot Solar Power Manager	32
FIGURA 17 – Esquemático do projeto	34
FIGURA 18 – Circuito simulado (Uno, Display 16x2, 3 sensores de ultrassom)	36
FIGURA 19 – Declaração de variáveis	37
FIGURA 20 – Inicialização de variáveis	37
FIGURA 21 – Cálculo das variáveis utilizadas	38
FIGURA 22 – Cálculo das variáveis utilizadas	39
FIGURA 23 – Funcionamento das válvulas relacionadas com o volume dos reservató- rios	41

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Especificações técnicas Arduino UNO	24
QUADRO 2 – Valor dos equipamentos	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	10
1.2	OBJETIVO	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	ESCASSEZ HÍDRICA	12
2.2	AQUÍFEROS E AÇUDES	13
2.3	POÇO TUBULAR	13
2.4	RESERVATÓRIOS	15
2.5	EQUIPAMENTO DE RECALQUE	16
2.6	IRRADIAÇÃO SOLAR	16
2.7	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	17
2.8	PAINÉIS SOLARES	18
2.9	INVERSORES DE FREQUÊNCIA	18
2.9.1	Microinversores	19
2.10	SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	20
2.10.1	Controle de processos	21
2.10.2	Controle analógico e digital	21
2.10.3	Sensores	22
2.10.4	Arduíno	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	HIPÓTESE	26
3.2	ESCOLHA DO TIPO DE MOTOBOMBA	26
3.3	DIMENSIONAMENTO DA MOTOBOMBA E VÁLVULAS	27
3.4	DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS E INVERSOR DE FREQUÊNCIA	29
3.5	FONTE DE ALIMENTAÇÃO ARDUÍNO	31
3.6	CONTROLE DO SISTEMA	32
4	RESULTADOS	33
5	MODELO EM SOFTWARE	36
5.1	PROGRAMAÇÃO DO ARDUÍNO	36
5.2	PSEUDOCÓDIGO E GRÁFICO DEMONSTRANDO A LÓGICA	40
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A humanidade avançou no conhecimento científico e desenvolveu tecnologia para alterar o regime hidrológico, como a regularização de vazões e a recarga de aquíferos. Porém o desmatamento, a urbanização desenfreada, o lançamento de poluentes e detritos, bem como o assoreamento dos corpos d'água, indicam o pouco controle sobre as medidas para proteção do meio-ambiente. A intensidade no uso dos recursos hídricos acompanha o desenvolvimento das nações. No caso do Brasil, há enormes desafios a serem enfrentados para a resolução de conflitos no uso e distribuição equitativa da água entre a população.

A disponibilidade de água com boa qualidade, bem como o acesso a energia elétrica, nas zonas rurais, contribuem para o desenvolvimento econômico-social daquelas comunidades. Deste modo, torna-se necessário implementar ações de mitigação e prevenção à escassez hídrica, bem como a busca por fontes alternativas de energia.

O suprimento de água para consumo humano ou animal nas propriedades e comunidades rurais é feito através da extração de aquíferos, rios, riachos, lagoas e demais corpos d'água. Os custos para expansão da rede elétrica até as proximidades das fontes de água dificultam o acesso a água para uso doméstico ou na agropecuária. Percebe-se a urgência em fomentar a implantação de novas tecnologias para resolução dos problemas daí decorrentes.

O sol tem grande importância para a terra, pois é a fonte primária de toda a energia utilizada nos processos naturais do globo terrestre. Sob o ponto de vista do aproveitamento energético, trata-se de uma fonte perene, silenciosa, gratuita e limpa. Como descrito abaixo no artigo produzido pela NASA, intitulado: *The Balance of Power in the Earth-Sun System*.

O Sol é a principal fonte de energia para os oceanos, a atmosfera, a terra e a biosfera da Terra. Em média, durante um ano inteiro, aproximadamente 342 watts de energia solar incidem sobre cada metro quadrado da Terra. Essa é uma quantidade enorme de energia - 44 quatrilhões ($4,4 \times 10^{16}$) de watts de potência, para ser exato. Como comparação, uma grande usina de energia elétrica produz cerca de 1 bilhão (1×10^9) de watts de energia. Seriam necessárias 44 milhões dessas usinas para igualar a energia proveniente do Sol. (OBSERVATORY, 2005, tradução nossa).

A obtenção de eletricidade a partir do sol, poderá ser efetuada utilizando-se o efeito fotovoltaico. A energia fotovoltaica consiste na transformação da energia radiante em eletricidade. Referido processo apresenta-se como uma alternativa para fornecer a energia elétrica necessária ao suprimento de água em áreas isoladas. Abaixo se pode verificar um trecho retirado do paper intitulado *Solar energy technology and its roles in sustainable development*, que descreve a situação acima.

Um sistema fotovoltaico de bombeamento de água é normalmente usado para bombear água em áreas rurais, isoladas e desérticas. O sistema consiste em

módulos fotovoltaicos para alimentar uma bomba de água até o local de necessidade de água. A taxa de bombeamento de água depende de muitos fatores, como altura de bombeamento, intensidade solar etc. (MAKA; ALABID, 2022, tradução nossa).

Sendo assim, foi dimensionado um sistema de controle e automação do fluxo hídrico que utiliza painéis solares como fonte de energia. O escopo deste Projeto é disponibilizar tecnologia simples e acessível, mediante o uso de energia limpa, de modo a amenizar o impacto sazonal da escassez hídrica.

1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A água, considerada como recurso renovável, tem sua distribuição irregular no tempo e no espaço, em função das condições geográficas, climáticas e meteorológicas de cada região. Deste modo, ela é considerada um recurso finito e de ocorrência aleatória. Como recurso natural finito, sua escassez está associada ao aumento da população, uso ineficiente, mudanças climáticas e poluição, entre outros fatores. O prefácio de, *Water Resource Systems Planning and Management*, descreve esta situação, como se pode verificar na citação abaixo:

A água tem sua própria dinâmica, que é bastante não linear. Por exemplo, enquanto o crescimento populacional no século XX triplicou - de 1,8 para 6 bilhões de pessoas - a retirada de água durante o mesmo período aumentou seis vezes! Isso é claramente insustentável. A água doce, embora seja um recurso renovável, é finita e muito vulnerável. (LOUCKS; BEEK, 2017, tradução nossa).

A disponibilidade de água decresce, frente à degradação qualitativa, quantitativa ou ambas, decorrente das intervenções e dos efeitos das ações humanas sobre os recursos hídricos. Conforme descrito em *Water Resource Systems Planning and Management*:

Olhando-se para os últimos 30 anos apenas em termos da redução da disponibilidade anual de água per capita o cenário é ainda mais perturbador. Enquanto em 1975 a disponibilidade ficava em torno de 13.000m³ por pessoa por ano, agora caiu para 6.000m³; ao mesmo tempo, a qualidade da água também se deteriorou severamente. (LOUCKS; BEEK, 2017, tradução nossa).

A ocorrência de eventos extremos, inclusive estiagens prolongadas, agravam e dificultam a gestão dos recursos hídricos, especialmente em áreas remotas. A inexistência de conexão com a rede de distribuição de energia dificulta a implementação de um sistema de recalque e acumulação de água. O uso de combustíveis fósseis demandaria custos elevados com transporte, logística e manutenção das máquinas. Desta maneira, torna-se necessário a busca por fontes alternativas de energia (eólica, fotovoltaica, térmica solar, biogás, etc), conforme as características e peculiaridades de cada região.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto contempla a construção de proposta para uma demanda de água por uma comunidade, de forma sustentável. No caso sob análise, trata-se do dimensionamento de um sistema de controle e automação, alimentado por energia solar, destinado ao recalque e acumulação de água em pequenas propriedades.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos que se busca alcançar no âmbito do Projeto são:

- Estimar uma demanda por água a ser suprida pelo projeto;
- Comparar o desempenho de motobombas solares (corrente contínua) com motobombas de corrente alternada.
- Evidenciar a perda de eficiência em sistemas com sombreamento parcial e que não possuem controle MPPT modular.
- Escolher componentes do projeto, como motobomba, inversores, painéis entre outros, utilizando especificações que de fato são comercializadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESCASSEZ HÍDRICA

Em regiões isoladas que apresentam baixo índice pluviométrico ou regiões que possuem entre secas sazonais, torna-se necessário o armazenamento de água para garantir o abastecimento e suprir as necessidades e cumprir papel de bem estar social. Todavia este projeto possui vertentes que prezam pela sustentabilidade, ou seja, atender as necessidades atuais sem afetar as gerações posteriores. Conforme descrito em *Water Resource Systems Planning and Management* :

Reduzir a frequência e/ou gravidade das consequências adversas de secas, inundações e poluição excessiva são objetivos comuns de muitos planejamentos e exercícios de gestão.[...] Sistemas de recursos hídricos sustentáveis são aqueles projetados e gerenciados para melhor atender às pessoas que viverão no futuro, bem como àquelas que vivem hoje. As ações que nós, como sociedade, tomamos agora para satisfazer nossas próprias necessidades e desejos não devem depender apenas do que essas ações farão por nós, mas também de como elas afetarão nossos descendentes. Essa consideração dos impactos de longo prazo sobre as gerações futuras das ações tomadas agora é a essência do desenvolvimento sustentável. (LOUCKS; BEEK, 2017, tradução nossa).

De acordo com o documento apresentado pelo Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências Ambientais(OPS/CEPIS), no dia internacional da água, em que pese o grande volume de água que cobre o planeta, dispõe-se de aproximadamente 1% de água doce para consumo:

Apesar de que 70% de nosso planeta está coberto por água, uma altíssima porcentagem (97,5%) corresponde a água salgada e somente 2,5% são água doce. Considera-se que dessa pequena quantidade, 70% se encontram nas calotas polares da Antártida e Groenlândia, e que outro grande volume se encontra na umidade do solo ou em aquíferos subterrâneos muito profundos, que não podem ser utilizados para consumo humano, os dados indicam que nós, os seres humanos contamos com menos de 1% da água doce do mundo para nosso uso. (SOLÍS, 2002)

A disponibilidade de água, apesar de sua relativa abundância, está sujeita a limitações temporais e espaciais, conforme já abordado na introdução. Deste modo, a referida disponibilidade depende do crescimento da demanda em regiões áridas e semi-áridas, além da deterioração da qualidade por sedimentos ou poluentes.

2.2 AQUÍFEROS E AÇUDES

Ao retirar a água de um corpo hídrico deve-se considerar as questões de disponibilidade hídrica (volume disponível), atendendo aos usos prioritários e critérios de outorga, conforme previsto na legislação (Lei 9433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos), além das questões ambientais.

Tratando-se de aquíferos, para que a retirada de água seja sustentável, deve-se retirar um volume que o aquífero seja capaz de repor. Descrição de rebaixamento máximo disponível, retirado de Hidrogeologia conceitos e aplicações:

O conceito de rebaixamento máximo disponível (RD) depende do tipo de aquífero e do projeto construtivo do poço. Em poço de aquífero livre, não deve ser superior a da espessura saturada. Em poço de aquífero confinado, fica restrito a uma profundidade de nível dinâmico sempre inferior à profundidade do topo do aquífero. Para poços perfurados em rochas cristalinas, o nível dinâmico corresponde ao RD deve ficar pelo menos 2 metros acima da fenda produtora (entrada de água) mais profunda (FEITOSA et al., 2008).

No caso do bombeamento de água de um corpo hídrico superficial, como um lago, a quantidade de água restante deverá ser suficiente para atender as questões ambientais e outros tipos de uso. Por outro lado, o uso doméstico tem prioridade sobre os demais, conforme descrito na legislação citada acima em seu Art. 1º: inciso III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

2.3 POÇO TUBULAR

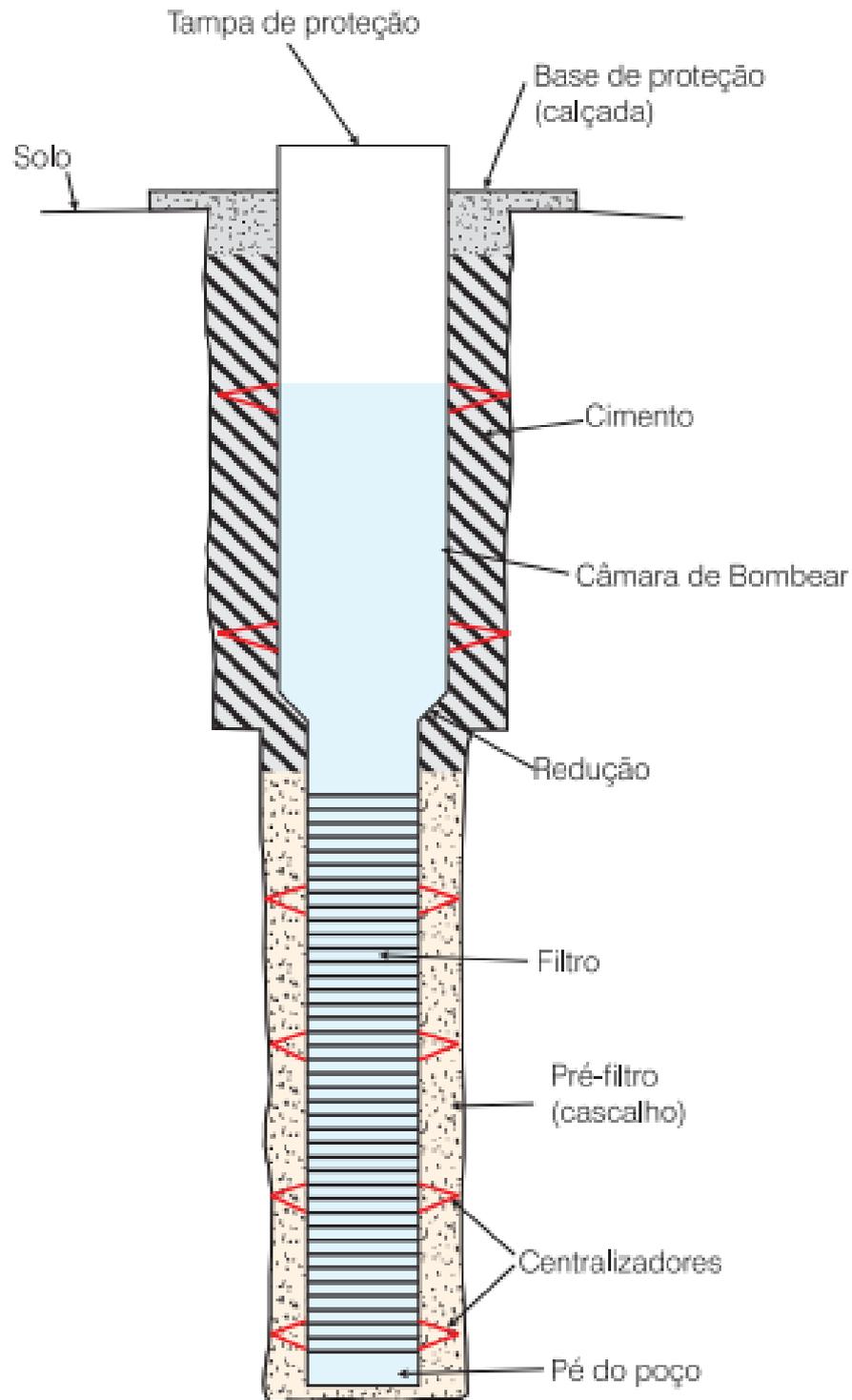
Quanto ao poço onde estará alocada a bomba, é necessário que ele seja construído conforme as normas da NBR, a fim de evitar a contaminação do aquífero. Conforme descrito em Hidrogeologia conceitos e aplicações:

[...] Assim, à medida que a fonte mais importante de poluição ou degradação da qualidade da água subterrânea se encontra na superfície do terreno, num poço mal construído a poluição poderá descer buraco abaixo e degradar a qualidade da água do aquífero profundo ou confinado de onde se extrai a água. (FEITOSA et al., 2008).

Abaixo uma descrição do que pode ser elaborado frisando o limite natural do recurso, retirado de Water Resource Systems Planning and Management :

Os profissionais de recursos hídricos aprenderam a planejar, projetar, construir e operar estruturas que, juntamente com medidas não estruturais, aumentam os

Figura 1 – Perfil Construtivo de um poço tubular



Fonte:(FEITOSA et al., 2008).

benefícios que as pessoas podem obter dos recursos hídricos contidos em aquíferos, lagos, rios e estuários. Entretanto, há um limite para os serviços que se pode esperar desses recursos. (LOUCKS; BEEK, 2017, tradução nossa).

Figura 2 – Tabela de normas técnicas sobre poços tubulares

Norma	Descrição
NBR12212	Poço tubular - Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea
NBR12244	Poço tubular - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea
NBR13604	Filtros e tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos
NBR13605	Filtros e tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Determinação dimensional
NBR13606	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Determinação do módulo de elasticidade à flexão
NBR13607	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Verificação da flexão ao impacto
NBR13608	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Verificação do desempenho da junta roscável
NBR13609	Tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos - Verificação da resistência à tração das juntas
NBR15495-1	Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção

Fonte:(FEITOSA et al., 2008).

2.4 RESERVATÓRIOS

Devem ser dimensionados levando em consideração o consumo e abastecimento sazonais, pois como foi descrito em Water Resource Systems Planning and Management:

O planejamento das atividades humanas que envolvem rios e suas planícies de inundação deve considerar certos fatos hidrológicos. Um desses fatos é que os fluxos de águas superficiais e os volumes de armazenamento dos aquíferos va-

riam no espaço e no tempo. (LOUCKS; BEEK, 2017, tradução nossa).

2.5 EQUIPAMENTO DE RECALQUE

O conjunto de recalque será constituído por motobomba submersa vibratória, tubulações, válvulas e acessórios. A motobomba deverá ser dimensionada em função da altura manométrica, perdas de carga e potência disponibilizada pelos painéis solares, de modo a atingir a vazão mínima necessária. A vazão seria o volume de água deslocada em um determinado período de tempo. A altura manométrica é a diferença de altitude entre o nível do poço e os reservatórios. As perdas de carga serão convertidas em metros de coluna d'água (m.c.a.) e somadas à altura manométrica para dimensionamento da bomba. Abaixo vê-se um trecho de Hidrologia sobre escolha de uma bomba:

A seleção de uma bomba exige conhecimentos que vão além daqueles voltados aos equipamentos em si. É necessário conhecimento do sistema ao qual o equipamento estará associado, ou seja, o conjunto de equipamentos e tubulações com suas características de funcionamento como atrito fluido, pressão, temperatura e propriedades físicas. (FEITOSA et al., 2008).

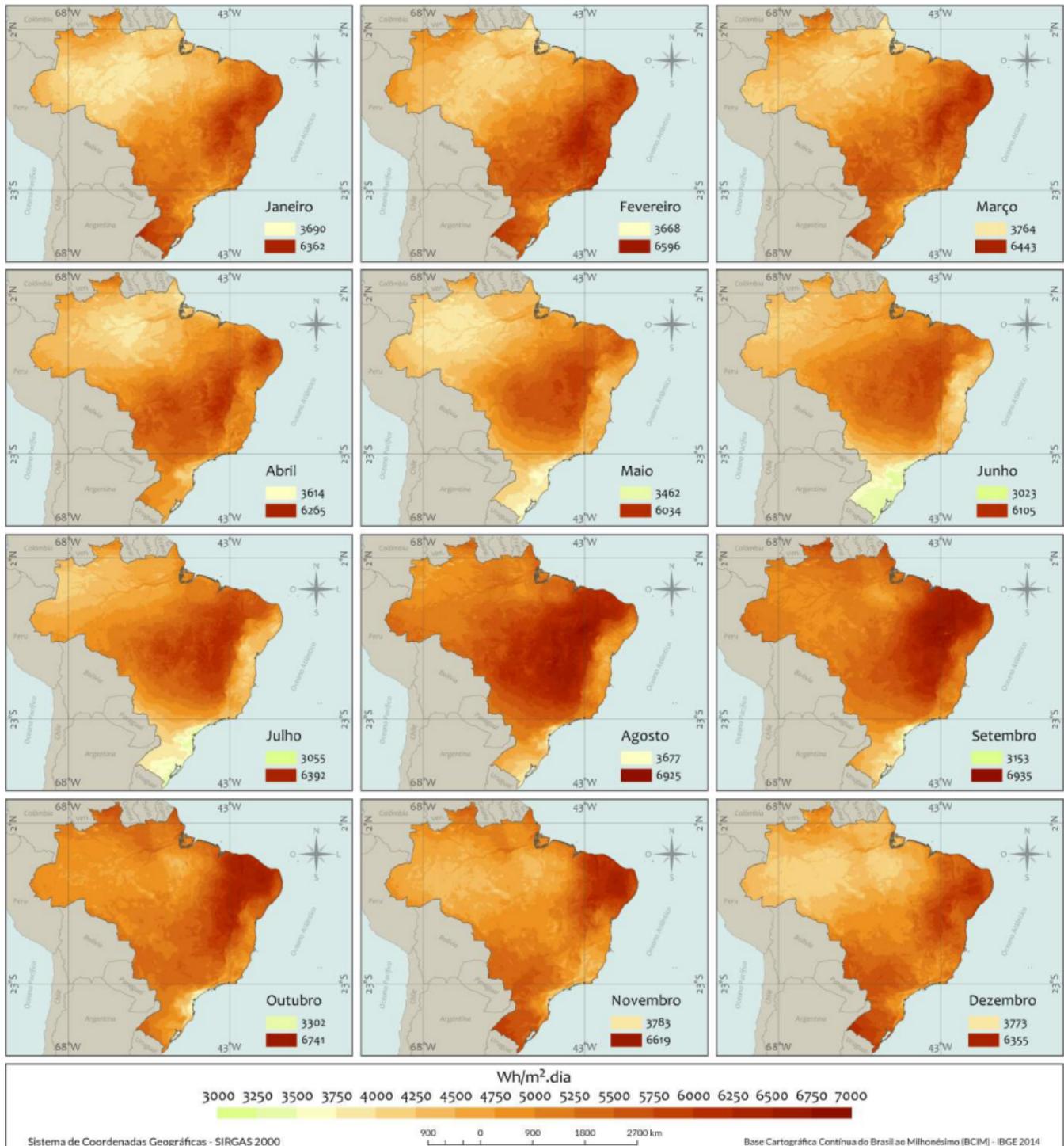
2.6 IRRADIAÇÃO SOLAR

Segundo o Atlas Brasileiro da Energia Solar, o fluxo de radiação solar varia entre 1.325 e 1.412W/mš, possui valor médio 1.366 W/mš, sendo definido como constante solar. O valor usual de radiação solar é de aproximadamente 1.000 W/mš, como menciona o Atlas Brasileiro de Energia Solar:

Geralmente, os processos físicos atenuam a irradiância solar fazendo com que a irradiância incidente na superfície da Terra atinja seu valor máximo de aproximadamente 1.000 W/mš no meio dia solar [...] (PEREIRA et al., 2017).

A fim de otimizar o aproveitamento da irradiação, optou-se por trabalhar com dados retirados da irradiação em plano inclinado na latitude. Abaixo, na figura 3 se tem as médias das irradiações solares diárias para cada mês do ano.

Figura 3 – Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude, médias mensais



Fonte:(PEREIRA et al., 2017).

2.7 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A produção de energia elétrica a partir da luz solar está relacionada com a eficiência do equipamento utilizado. O rendimento da célula fotovoltaica depende das características

de cada semicondutor, da qualidade da matéria-prima e da tecnologia de fabricação. Na maioria dos casos, apenas 10% da potência de radiação coletada pelas células fotovoltaicas é convertida em energia elétrica, conforme pontua Farret em Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica:

A geração de energia elétrica está relacionada com a eficiência da célula fotovoltaica que, por sua vez, depende do hiato energético - característica de cada semicondutor -, da qualidade de cada material empregado e da tecnologia de fabricação. Geralmente, a eficiência da conversão de uma célula fotovoltaica, ou seja, a relação entre a potência elétrica gerada e a potência de radiação incidente sobre o condutor, é, comercialmente, da ordem de 10%. (FARRET, 2014).

A implementação de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica deverá levar em consideração que o conjunto deverá ser instalado em área com a máxima exposição solar possível, evitando-se o sombreamento dos painéis, bem como o acúmulo de poeira, folhas e detritos sob os mesmos.

A energia gerada pelo sistema poderá ser destinada a diversas aplicações na pequena propriedade, tais como: iluminação residencial, cercas elétricas, telecomunicações, suprimento de água para consumo doméstico e irrigação, conservação de alimentos etc.

2.8 PAINÉIS SOLARES

A captação da luz solar e sua conversão em eletricidade é feita mediante o uso de módulos constituídos por células fotovoltaicas. Tratam-se de dispositivos, geralmente em forma de películas sobre as quais é distribuído o material semicondutor que proporcionará o aproveitamento do efeito fotovoltaico para gerar eletricidade. Farret em Aproveitamento de Pequenas Fontes de Energia Elétrica, discorre sobre o tema:

Tais células fotovoltaicas, geralmente em forma de películas finas ou bolachas, são dispositivos semicondutores capazes de converter a energia solar incidente em corrente contínua, com rendimento entre 3 e 25%, dependendo da intensidade do espectro de iluminação, da temperatura, do projeto e do material da célula fotovoltaica. A célula fotovoltaica comporta-se como uma bateria de baixa tensão (em torno de 0,5V), cuja carga é continuamente recompletada numa taxa proporcional à iluminação incidente [...] (FARRET, 2014).

2.9 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

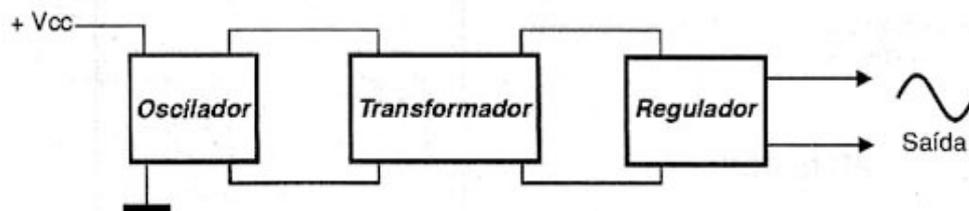
Os painéis solares geram energia em corrente contínua, sendo que a maioria dos equipamentos funcionam com corrente alternada. Os inversores de frequência são dispo-

sitivos utilizados para transformar a corrente contínua em alternada. Contribuem para a segurança de todo o sistema e ainda otimizam a produção e a distribuição de energia.

O aparelho geralmente é constituído por circuitos cujos componentes provocam a oscilação da corrente contínua, transformando-a em pulsos de baixa tensão que serão convertidos pelo transformador em corrente alternada através de indução eletromagnética. O próximo componente é um circuito regulador para estabilizar a saída do inversor, deixando a corrente compatível e disponível para uso. De acordo com Minha Casa Solar (blog.minhacasasolar.com.br):

Um inversor típico é constituído por três circuitos: um oscilador, que converte a tensão contínua pura em pulsos de tensão (tensão contínua pulsante). Os pulsos são necessários pois o transformador só opera em correntes que variam. Sendo assim, o próximo circuito é o transformador, que irá elevar os pulsos de baixa tensão do oscilador e fazer a conversão para corrente alternada através do fenômeno conhecido como indução eletromagnética. Por fim, é necessário um circuito regulador para estabilizar a saída do inversor e proteger a instalação elétrica contra picos de tensão (Minha Casa Solar, 2019).

Figura 4 – Esquema de um inversor



Fonte:(Minha Casa Solar, 2019).

2.9.1 Microinversores

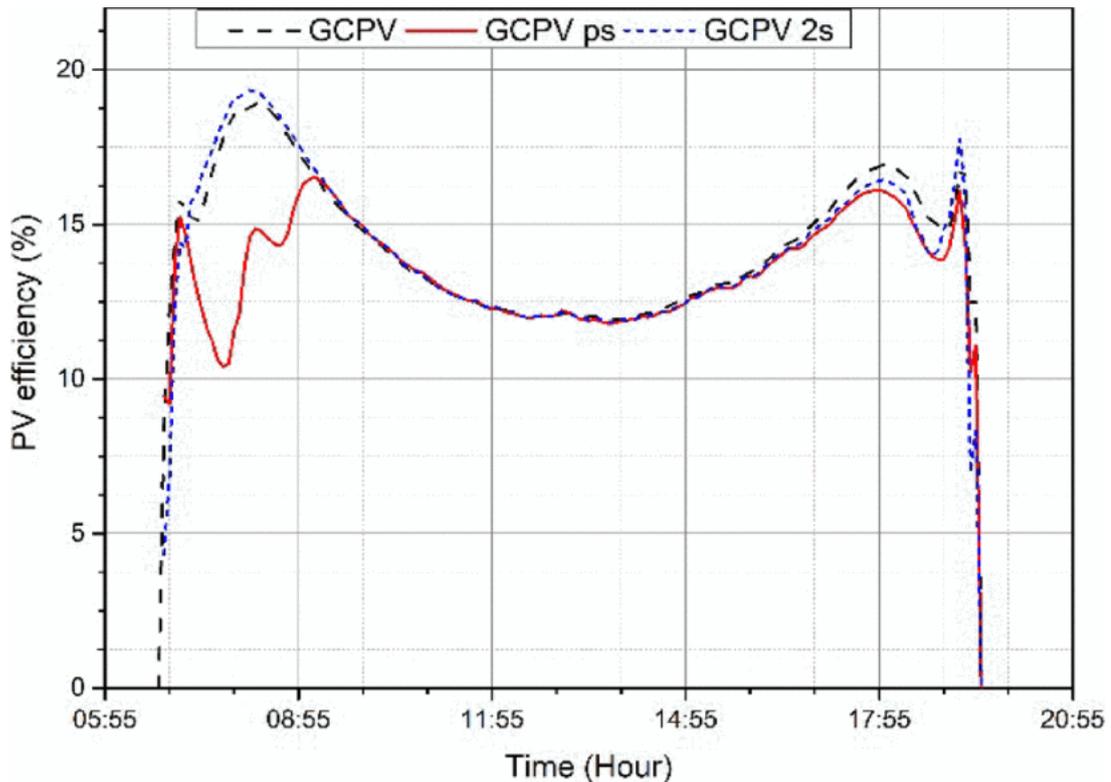
Foi proposta a utilização de microinversores, pois seu funcionamento modular permite isolar cada painel com um controle MPPT (Maximum Power Point Tracking) para cada módulo.

Abaixo, na figura 5, retirada do artigo Impact of partial shading and PV array power on the performance of grid connected PV station, a estação GCPV ps é afetada por sombreamento parcial pela parte da manhã, conforme foi mencionado no artigo:

A segunda estação fotovoltaica de 10,5 kWp (GCPV ps) tem configuração semelhante à da primeira planta fotovoltaica (GCPV), mas é afetada pelo sombreamento parcial durante a manhã. (DABOU et al., 2017, tradução nossa).

Ao analisar a figura 5 podemos perceber a queda na eficiências do sistema GCPV ps, nele não há controle MPPT modular e a sombra em um painel acarreta na queda da

Figura 5 – Variação da eficiência dos painéis ao longo do dia



Fonte:(DABOU et al., 2017).

eficiência de todos os painéis do sistema, portanto destaca se a importância da utilização de microinversores que isolem os painéis em canais modulares para que ocorra a mitigação deste efeito.

2.10 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

A automação visa facilitar processos, substituindo o trabalho manual, otimizando recursos, reduzindo custos e tempo com ganhos na produtividade e padronização dos produtos e serviços.

Os componentes básicos para sua implementação são, sensores, unidades de controle e atuadores. E os complementares são interface homem máquina, sistemas supervi-sórios e redes.

O conceito de automação, de acordo com Moraes e Castrucci:

Qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitui o trabalho humano, em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços. (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

De acordo com Rodrigo Fuentes em Automação Industrial(UFSM/CTISM), a automação possibilita a realização de tarefas através de máquinas/equipamentos controlados

automaticamente. Sobre o desenvolvimento da Automação, referido autor destaca:

As primeiras iniciativas do homem para mecanizar atividades manuais ocorreram na pré-história. Invenções como a roda, o moinho movido por vento ou força animal e as rodas d'água demonstram a criatividade do homem para poupar esforço. Porém, a automação só ganhou destaque na sociedade quando o sistema de produção agrário e artesanal transformou-se em industrial, a partir da segunda metade do século XVIII, inicialmente na Inglaterra. Os sistemas inteiramente automáticos surgiram no início do século XX. Entretanto, bem antes disso foram inventados dispositivos simples e semi-automáticos. Por volta de 1788, James Watt desenvolveu um mecanismo de regulação do fluxo de vapor em máquinas. Isto pode ser considerado um dos primeiros sistemas de controle com realimentação. (FUENTES, 2005).

2.10.1 Controle de processos

As atividades de controle de processos são indispensáveis quando se pretende implementar um sistema automatizado. Atualmente, a interferência humana nos diversos processos produtivos, tende a ser substituída por controles automatizados.

Os elementos controladores de processos são constituídos por circuitos elétricos, eletrônicos ou mecânicos. Referidos elementos recebem sinais de entrada oriundos de sensores, conversores ou interruptores. Os controladores recebem os sinais e aplicam comandos a outros elementos atuadores, como válvulas e motores, por exemplo.

Reproduz-se a abordagem de Rodrigo Fuentes em Automação Industrial (UFISM/CTISM), sobre elementos controladores:

Os controladores são geralmente baseados em circuitos eletrônicos analógicos ou digitais. Os sistemas analógicos são geralmente constituídos por amplificadores operacionais, enquanto os digitais são baseados em processadores, que além de exigir um circuito eletrônico (hardware), exigem a confecção de programas (software). (FUENTES, 2005).

2.10.2 Controle analógico e digital

É muito frequente a implementação de estratégias de controle mediante o uso de circuitos eletrônicos analógicos ou digitais. O analógico responde com maior velocidade, dada a natureza dos sinais envolvidos. São circuitos simples, porém de grande versatilidade, podendo também ser utilizados em sistemas mais complexos.

Os controladores digitais necessitam da intervenção de processadores para transformação dos sinais elétricos analógicos em digitais. As informações daí decorrentes serão

processadas através de um Hardware e um Software específico, produzindo informações de controle.

2.10.3 Sensores

Trata-se de dispositivo que converte uma grandeza física em um sinal capaz de ser interpretado por um sistema de controle. Os sensores estão presentes no nosso cotidiano, seja no alarme em sua residência, painel de instrumentos de veículos ou em diversos eletrodomésticos.

Será abordado de forma sucinta os sensores de proximidade ultrassônicos, eis que foram escolhidos para uso no presente projeto.

O sensor ultrassônico emite ondas acústicas em direção a um objeto, sendo que o tempo decorrido entre a emissão e a reflexão será medido e processado. O equipamento poderá ser utilizado em diversas situações, por exemplo, sistemas de armazenagem e transporte, uso industrial e no monitoramento da presença de materiais (metais, vidros, plásticos, etc).

Deste modo, a instalação do sensor em ângulo apropriado e direcionado ao interior dos reservatórios permitirá o controle do nível da água.

Destaca-se recorte de Rodrigo Fuentes em Automação Industrial (UFSM/CTISM), sobre sensores de proximidade ultrassônicos:

O sensor de proximidade pode ser representado por três módulos principais: o transdutor ultrassônico, a unidade de processamento e o estágio de saída. O transmissor ultrassônico é acionado por um curto intervalo de tempo, produzindo ondas ultrassônicas. Este módulo é composto geralmente por um cristal piezoelétrico. O transmissor ultrassônico produz ondas ultrassônicas na faixa entre 30 - 300 kHz, portanto inaudíveis para o ser humano. Na maioria dos sensores o transmissor alterna a função de transmissor e receptor, isto é como receptor ele operará como um sensível microfone. Filtros internos verificam se o sinal captado é proveniente de um eco do transmissor. (FUENTES, 2005).

O sensor escolhido para o controle do nível dos reservatórios foi o HC-SR04, o funcionamento do sensor dá-se da seguinte maneira:

- é atribuído sinal HIGH ao pino trigger por 10 microssegundos;
- o módulo ultrassônico transmitirá 8 ciclos de ondas na frequência de 40 kHz;
- é atribuído sinal HIGH ao pino echo;
- assim que o som ultrassônico retornar e for detectado, ao pino echo é atribuído LOW;
- usando o tempo que o pino echo permaneceu em HIGH, é calculado a distância do objeto.

Figura 6 – Sensor ultrassônico HC-SR04



Fonte:(Eletrogate, 2023).

2.10.4 Arduíno

Para elaboração deste projeto foi escolhido a utilização da plataforma Arduíno, mais especificamente a versão UNO. Esta versão possui o microcontrolador ATmega328P de 8 bits, 14 pinos de entrada/saída digitais, dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM e 6 saídas analógicas. Dentre as vantagens de utilização da plataforma Arduíno pode-se citar, o baixo custo para aquisição, ampla comunidade disponibilizando tutoriais e projetos, linguagem simples. Como podemos verificar no parágrafo abaixo retirado de Arduíno Básico por McRoberts.

A maior vantagem do Arduíno sobre outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores é a facilidade de sua utilização; pessoas que não são da área

técnica podem, rapidamente, aprender o básico e criar seus próprios projetos em um intervalo de tempo relativamente curto. Artistas, mais especificamente, parecem considerá-lo a forma perfeita de criar obras de arte interativas rapidamente, e sem conhecimento especializado em eletrônica. Há uma grande comunidade de pessoas utilizando Arduíneos, compartilhando seus códigos e diagramas de circuito para que outros os copiem e modifiquem. A maioria dessa comunidade também está muito disposta a auxiliar outros desenvolvedores. Você descobrirá que o Fórum do Arduíno é o melhor local para buscar por respostas rápidas . (MCROBERTS, 2018).

Abaixo, na tabela 1, se observa as características do Arduíno UNO escolhido para o projeto.

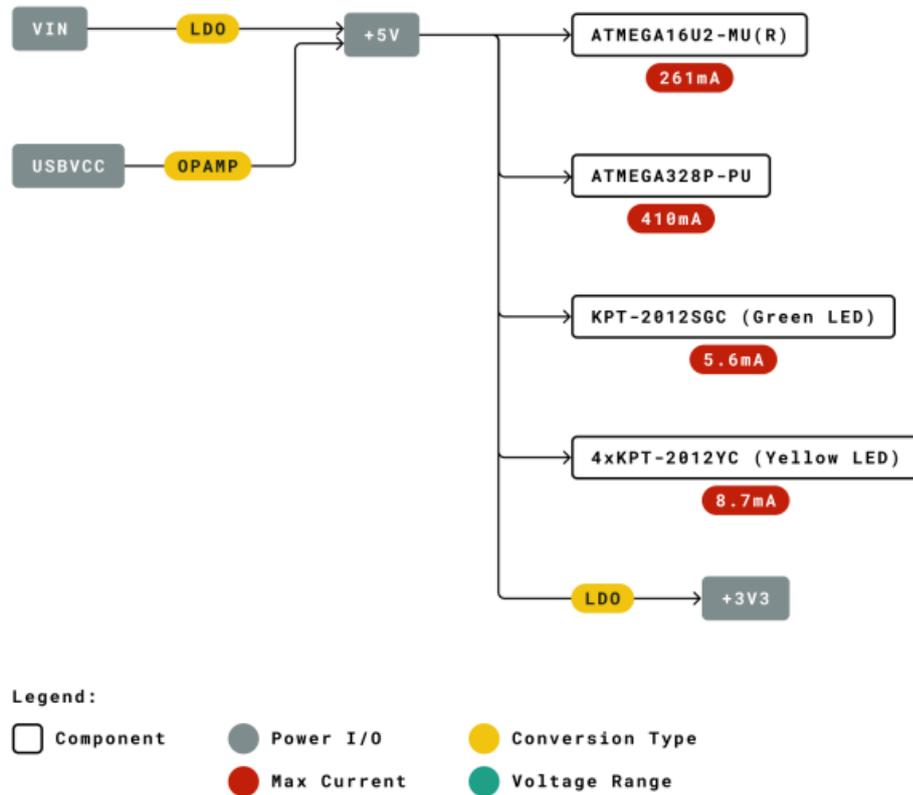
Quadro 1 – Especificações técnicas Arduíno UNO

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz

Fonte:(Arduino UNO R3, 2023).

Abaixo, de uma imagem que foi retirada do datasheet do Arduino UNO R3, observa-se a corrente máxima de seus componentes, sendo este inferior a 700mA.

Figura 7 – Power Tree Arduino R3



Fonte:(Arduino UNO R3, 2023).

Sua programação pode ser feita através da IDE (integrated development environment) disponibilizado pelo web site oficial do Arduino (arduino.cc). Porém para o desenvolvimento da programação deste projeto, foi utilizado o software tinkercad da autodesk, que roda em navegadores, possuindo suporte para programação e simulação de circuitos em Arduino.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A escolha e o dimensionamento dos componentes buscou minimizar os custos, sem prejuízo ao desempenho do sistema. Deste modo, foram selecionados os equipamentos necessários para implementação do projeto.

Com a finalidade de combater o dano causado pela escassez hídrica em áreas isoladas, suprimindo a demanda por água referente ao uso diário, este projeto buscou a automação e controle do nível da água em reservatórios. A fonte primária de água para o sistema seria um poço tubular no qual estaria alocada uma motobomba acionada por painéis solares.

3.1 HIPÓTESE

A hipótese elaborada está circunscrita ao conjunto de conhecimentos ao alcance do acadêmico, sendo passível de comprovação mediante experimentação empírica.

Foi estabelecido um modelo teórico de sistema de abastecimento de água com uso de energia solar. Estipulou-se que a fonte primária de abastecimento é um poço tubular central com profundidade de 30 metros. A água será distribuída através de ramificações radiais para 3 reservatórios, A, B e C, distantes em 10, 100 e 150 metros. A altitude relativa em relação ao poço é de, 1, 7 e 10 metros, respectivamente.

Para o consumo de água foi estabelecido que os reservatórios A, B e C, demandarão respectivamente 5, 3 e 2 mil litros de água por dia, totalizando 10 mil litros, que segundo Organização Mundial de Saúde (OMS), seria suficiente para atender as necessidades básicas de aproximadamente 100 pessoas. Esta afirmação foi comentada em The Human Right to Water and Sanitation media brief de 2015, segue abaixo sua descrição:

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), são necessários entre 50 e 100 litros de água por pessoa, por dia, para garantir a satisfação das necessidades mais básicas [] . (WHO et al., 2011, tradução nossa).

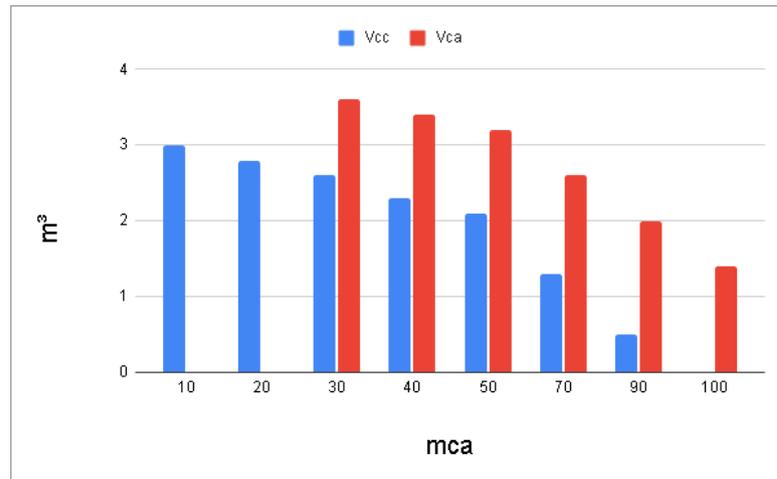
3.2 ESCOLHA DO TIPO DE MOTOBOMBA

Foi feita uma comparação entre motobombas submersas vibratórias, de corrente alternada e corrente contínua, ambas de uma mesma marca e potência (750w).

No gráfico observa-se o desempenho da motobomba de corrente contínua (azul), e da motobomba de corrente alternada (vermelho).

As motobombas solares (corrente contínua) apresentam desempenho inferior aquelas de corrente alternada. Em altura manométrica de 90 mca. seu desempenho atinge ape-

Figura 8 – Gráfico da vazão por altura manométrica



Fonte: Autor.

nas 25% da outra de corrente alternada. Além disso, as solares já possuem controlador MPPT em seu kit, inviabilizando sua utilização, dado que o projeto se propôs a utilização do controlador Arduino de valor bem inferior.

3.3 DIMENSIONAMENTO DA MOTOBOMBA E VÁLVULAS

Considerando uma insolação diária de 5 horas e o volume a ser atendido de 10 mil litros por dia, a motobomba submersa necessariamente deve possuir uma vazão próxima à 2 m³/h e altura manométrica superior a 40 metros de coluna de água.

Analisando o catálogo de bombas, observa-se que dentre os modelos 2R1 PB, 2.5R2 PB E 3R3 PB, apenas o último atende ao requisito de vazão. Com faixa de potência entre 0,7 e 1,5 cv.

Figura 9 – Tabela de parâmetros da motobomba 3R3 PB

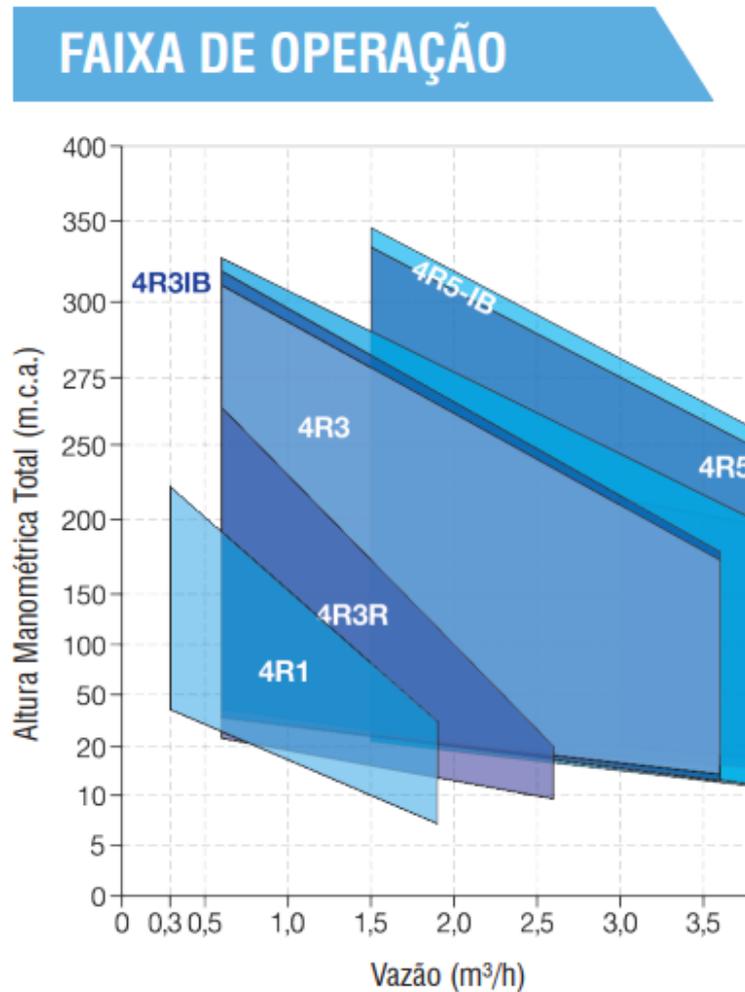
Modelo	Potência (cv)	Estágios	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS												
			Vazão (m ³ /h)												
			0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	
			Altura Manométrica Total (m.c.a.)												
MB 3R3PB-06 180	0,3	6	35	34	34	33	33	32	32	31	30	28	26	24	
MB 3R3PB-09 180	0,5	9	52	51	51	50	49	49	48	46	44	42	39	35	
MB 3R3PB-13 180	0,7	13	75	74	73	72	71	70	69	67	64	61	56	51	
MB 3R3PB-18 180	1	18	104	103	101	100	99	97	95	92	89	84	78	71	
MB 3R3PB-25 180	1,5	25	145	143	141	139	137	135	132	128	123	117	109	98	

Fonte:(Motobombas Leão, 2023).

Passa-se assim para o próximo grupo de bombas submersas:

Como as motobombas 3R3PB e 4R3R estavam dentro dos parâmetros, optou-se pela utilização da bomba de menor potência, modelo 4R3RPA-07 230.

Figura 10 – Faixa de operação motobombas 4R1, 4R3R, 4R3, 4R3 IB



Fonte:(Motobombas Leão, 2023).

Figura 11 – Tabela de parâmetros da motobomba 4R3RPA/IA

Modelo	Potência (cv)	Estágios	Características Hidráulicas					
			Vazão (m³/h)					
			0	0,6	1	1,4	1,8	2,2
Altura Manométrica Total (m.c.a.)								
4R3RPA/IA-03 230	0,5	3	23	22	21	20	18	16
4R3RPA/IA-05 230	0,5	5	39	37	36	34	32	29
4R3RPA/IA-07 230	0,5	7	54	51	50	48	45	41
4R3RPA/IA-09 230	0,5	9	70	66	64	61	57	51
4R3RPA/IA-11 230	0,5	11	86	81	78	75	69	62

Fonte:(Motobombas Leão, 2023).

A distribuição da água será feita através de tubos de polietileno, parede com espessura de 3,5mm e diâmetro de 1 ½ polegada, com pressão máxima de 50 m.c.a. O controle do fluxo da água será feito mediante a utilização de válvulas solenoides normal-

mente fechadas que possuem tensão de alimentação de 24Vac e corrente de 125mA. Cada reservatório, ao total de 3, demandará a utilização de uma válvula, direcionando assim o fluxo hídrico para o mesmo. Somente uma válvula será acionada por instante de tempo e sua lógica de operação foi descrita no tópico 5.1 programação do Arduino.

Figura 12 – Válvula solenoide



Fonte:(BERMAD, 2023).

3.4 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS E INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Utilizando as informações da figura 3, observa-se que as regiões que sofrem com escassez hídrica possuem ao menos 10 meses por ano com irradiação superior a 5000 kW/h.dia. E utilizando o conceito de hora de sol pleno (HPS), onde se é dividido a irradiação total diária por 1000 kW/h.dia, obtém-se o valor mínimo de 5 horas para conversão plena do painel solar.

Para suprir a demanda de 0.5 cv, 372,85 W, optou-se por selecionar o painel fotovoltaico 455 W, suas especificações podem ser vistas na figura 13.

Na figura 14, podemos observar as especificações do microinversor escolhido.

Figura 13 – Especificações painel solar 455 W

ELECTRICAL SPECIFICATION (STC)

Module Type: SN(440W-455W)-144M

Maximum Power -Pmax(W)	455W
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	42.41V
Maximum Power Current-Imp(A)	10.73A
Open Circuit Voltage -Voc(V)	50.10V
Short Circuit Current-Isc(A)	11.37A
Module Efficiency(STC) - η_m (%)	20.92%
Power output tolerance(W)	0~+5W

STC:Irradiance:1000W/m², Module Temperature:25°C,Air Mass:1.5

Fonte:(SINE ENERGY, 2023).

Figura 14 – Especificações microinversor 2000 W

Entrada (CC)

Potência de entrada recomendada (STC)	210–600W (4 Pieces)
Máx Tensão CC de Entrada	60V
Faixa de Operação do MPPT	25~55V
Faixa de Tensão Operacional CC	20–60V
Máx Corrente de curto-circuito CC	16A
Max Corrente de Entrada	12.5A×4

Dados de Saída

Potência de saída máxima	2000W
Máx. Potência de Saída	2000W
Máx. Corrente de Saída	8.8A
Tensão Nominal / Faixa	176~242V
Frequência Nominal / Faixa	60.0 / 59.3~60.5Hz
Frequência estendida / Faixa	60.0 / 55~65Hz
Fator de Potência	2
Máxima Unidades por Cabo Tronco	

Fonte:(DEYE, 2023).