

SISTEMA AUTOMATIZADO DE ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL COM CONTROLE DE NÍVEL PARA USO INDUSTRIAL

AUTOMATED RAINWATER STORAGE AND DISTRIBUTION SYSTEM WITH LEVEL CONTROL FOR INDUSTRIAL USE

Gustavo Henrique Sanches dos Santos
Graduando em Automação Industrial pela Fatec Bauru
E-mail: gh.santos@live.com

Rogério Thomazella
Engenheiro Eletricista. Docente na Fatec Bauru
E-mail: rogerio.thomazella@fatec.sp.gov.br

RESUMO: O uso massivo de água como insumo para diversos processos produtivos tem gerado grande preocupação devido à escassez desse recurso natural. Diante disso, torna-se necessária a busca por soluções para economia de água, tanto para garantir a sustentabilidade ambiental como para preservação desse recurso hídrico para as futuras gerações. Esse projeto foi desenvolvido com o objetivo de captar, armazenar e distribuir a água da chuva para uso não potável nos processos industriais. A água captada e armazenada poderá ser direcionada para tratamento químico antes de ser utilizada em processos específicos como abastecimento de *chillers* e caldeiras, assim como sistemas de irrigação de jardins e uso sanitário. A simulação de armazenamento da água captada no sistema será feita utilizando dois reservatórios sendo que um é para representação de uma cisterna e o outro será o reservatório de distribuição. Todo o controle automatizado foi programado utilizando a plataforma Arduino, incluindo sensores ultrassônicos de distância para medição de nível da água e um módulo de controle para a bomba d'água também ligado ao sistema. O funcionamento do sistema teve eficácia comprovada através de testes no protótipo de simulação.

Palavras-chave: água, armazenamento; sustentabilidade; processo automatizado.

1 INTRODUÇÃO:

A reutilização de água e seu armazenamento para proteção contra crises e racionamento é um dos principais desafios para as indústrias, visto que grande parte utiliza a água em seus processos. O consumo de água utilizado pelo setor industrial é equivalente a 22% de toda água potável no mundo (UNIDO, 2018, tradução nossa). Segundo os dados do relatório da conjuntura dos recursos hídricos da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), o Brasil possui 12% de toda a reserva de água doce do mundo. Além disso, o país apresenta índices recordes de chuvas. Apesar dessa sensação de abundância de água, grande parte desse volume não é utilizado de forma adequada e o consumo dessa água pela população e nas atividades agrícolas e das indústrias é muito grande. A falta de um bom gerenciamento dos recursos hídricos, investimento e manutenção são os fatores que levam ao racionamento de água.

Além do impacto social, o impacto econômico causado pelos racionamentos de água nas indústrias e na agricultura é refletido também na população que depende dos produtos de consumo fornecidos pelos fabricantes. Por mais que seja um recurso renovável, o consumo de água supera a sua capacidade de renovação,

sendo necessário a busca por formas de suprir a demanda do recurso ao mesmo tempo que se deve evitar o desperdício.

O objetivo desse projeto é captar a água da chuva para um reservatório com controle de níveis e bombear a água para um segundo reservatório que poderá ser utilizado em situações de racionamento. O aproveitamento dessa água para uso não potável também pode ser direcionado para atividades como: resfriamento de caldeiras, lavagem de máquinas, peças ou equipamentos, segundo a NBR 15527(ABNT 2007). O controle de nível e acionamento da bomba será automatizado utilizando um microcontrolador.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistema de captação e armazenamento da água da chuva

Um dos registros mais antigos de iniciativas para aproveitamento de água da chuva estão no Oriente Médio, gravados na Pedra Moabita, em aproximadamente 830 a.C. O rei dos moabitas Mesha sugeriu que em cada residência fosse construído um reservatório para aproveitamento da água da chuva. Segundo registros arqueológicos, a aproximadamente 2000 a.C. no palácio de Knossos na Grécia, a água da chuva era aproveitada para descarga em bacias sanitárias. Com o passar do tempo, os sistemas de captação e filtragem de água foram aprimorados pelos povos Incas, Maias e Astecas (GIACHINNI, 2010).

O atual sistema de aproveitamento de água da chuva é composto por basicamente 4 processos: captação da água que cai do telhado do edifício, filtragem, armazenamento e distribuição para utilização posterior.

Figura 1 – Sistema de aproveitamento de água da chuva para empresas



Fonte:

https://static.wixstatic.com/media/2debfa_041c1a5ba07446cb987cf71571935306~mv2.jpg/v1/fill/w_740,h_523,al_c,q_85,usm_0.66_1.00_0.01,enc_auto/2debfa_041c1a5ba07446cb987cf71571935306~mv2.jpg. Acesso em: 20 de agosto de 2022.

O processo de captação da água deve ser feito de acordo com as normas da NBR 10844/1989, que define o tipo de calhas e condutores que devem ser

utilizados. Para os reservatórios de armazenamento, além do tipo de esgotamento, cobertura, ventilação e segurança, também é necessário a desinfecção regular com produtos específicos a fim evitar contaminação futura.

O desempenho e a segurança dos sistemas de captação de água da chuva dependem intimamente do cálculo adequado do tamanho do recipiente de armazenamento, exigindo a identificação ideal do equilíbrio entre a capacidade de armazenamento e a demanda a ser suprida. Esse equilíbrio deve proporcionar a maior eficiência possível, com o menor custo.

A alimentação de água na entrada da cisterna deve ser de água captada da chuva através de calhas dos barracões. De acordo com a NBR 15527(ABNT 2007) é necessária a utilização de um filtro para macro objetos (folhas, insetos, etc) que deve ser limpo regularmente após cada chuva. Também deve-se instalar um extravasor antes da entrada da cisterna, para o caso de ultrapassar a capacidade máxima de armazenamento.

Figura 2: Cisternas enterradas



Fonte:

<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/construcao/makrocaixa/produtos/construcao/cisterna-para-captacao-de-agua-da-chuva>. Acesso em 10 de maio de 2023

2.2 Sistema de bombeamento de água

Com os reservatórios primários cheios, é necessário a transferência e distribuição da água captada para outras localidades do prédio. O equipamento idealizado para ser utilizado para a transferência dessa água é a bomba hidráulica. Bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que convertem energia mecânica em energia cinética a fim de realizar o deslocamento de líquidos de um ponto a outro através de escoamento (PROCEL, 2009). Segundo Macintyre (1987), existem diversos tipos de bombas hidráulicas para instalações elevatórias (bombas de palheta, turbobombas, de engrenagem, de pistão) e são diferenciadas pela eficiência, capacidade volumétrica de transporte e pressão de trabalho.

Figura 3 – Bomba hidráulica centrífuga monoestágio



Fonte:

<https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/light/centr%C3%ADfugas-monoest%C3%A1gio/bc-91/>. Acesso em 20 de agosto de 2022.

As regras para a instalação elevatória de bombas (que consiste em bombeamento de água de um reservatório inferior para um reservatório superior) estão definidas na NBR 5626/1998 e visam critérios como por exemplo:

- a) a conservação de energia, considerando o uso mais eficaz da pressão possível;
- b) utilização de pelo menos duas unidades de elevação de pressão para garantir o suprimento no caso de falha em uma delas;
- c) redução de efeitos da vibração e ruído.

Figura 4 – Estação elevatória de água com motobombas



Fonte:

<https://www.partnerenge.com.br/wp-content/uploads/2018/11/elevatoria-de-agua-tratada-alvarenga-02.jpg>. Acesso em 20 de agosto de 2022.

2.3 Sistema de controle automático

De acordo com Ogata (2003), os sistemas de controle automáticos são essenciais em qualquer campo da ciência e da engenharia onde envolvam o controle de variáveis como temperatura, pressão, umidade, vazão, etc. O controle de

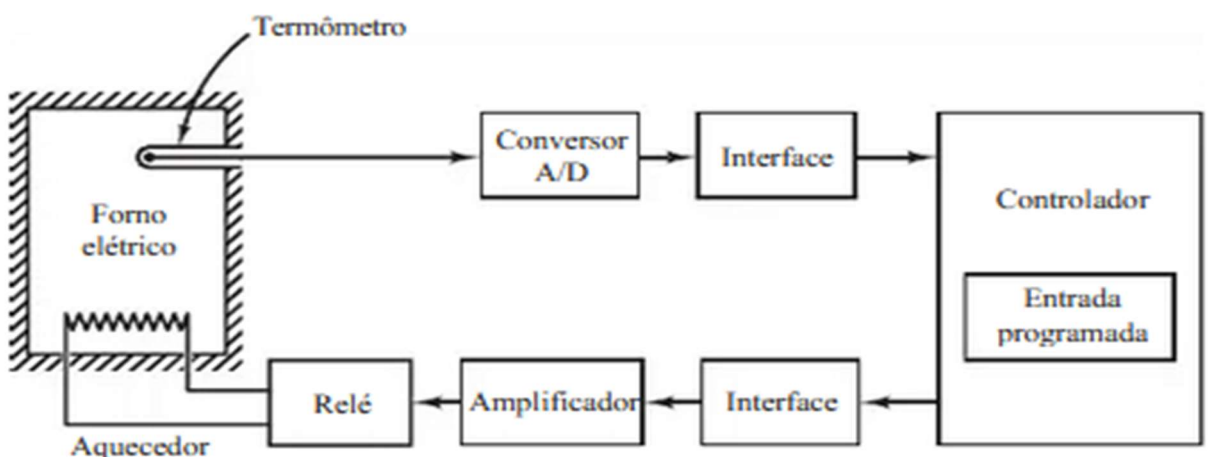
tais variáveis é necessário para o funcionamento do fluxo de processos e atividades em uma indústria. Ainda segundo Ogata (2003), a terminologia básica dos sistemas de controle consiste nos seguintes conceitos:

- a) Variável manipulada (ou sinal de controle): é a grandeza ou a condição modificada pelo controlador;
- b) Variável controlada: se trata da grandeza a ser medida e controlada. Normalmente é a saída do sistema;
- c) Plantas: conjunto (ou parte) de um equipamento que funcione de maneira integrada para realizar determinada operação;
- d) Processo: operação contínua que consiste em uma série de ações ou movimentos controlados e destinados a atingir determinados fins ou resultados;
- e) Sistema: é a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinado objetivo, sendo ele físico, biológico, econômico, entre outros;
- f) Distúrbio (ou perturbação): é um sinal que tende a afetar o valor de saída do sistema.

Os sistemas de controle automáticos modernos são classificados em dois tipos:

- a) Sistema de malha aberta: o sinal de saída não é medido. É um sistema com processos sequenciais, onde o sinal de saída não interfere no controle do sistema. No caso de perturbações, o sistema não realizará a tarefa desejada. A relação entre o sinal de entrada e saída deve ser conhecida para o funcionamento correto desse tipo de sistema e não deve haver distúrbios. Um exemplo desse tipo de sistema é o semáforo;
- b) Sistema de malha fechada (ou controle com realimentação): utiliza um sinal de realimentação para comparar com o sinal de saída a fim de minimizar o erro e ajustar o sinal de saída para o valor desejado. É um sistema de maior custo e necessita de maior potência de trabalho, porém oferece precisão no resultado final.

Figura 5 – Sistema de controle de temperatura



2.4 Controle de nível

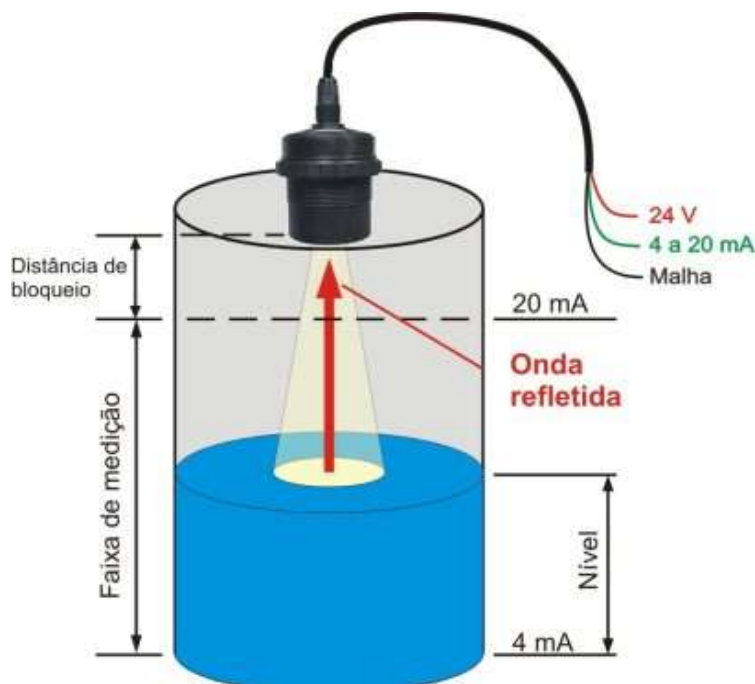
Segundo Gonçalves (2003), o termo nível se refere a altura do conteúdo, seja líquido ou gasoso, de um reservatório. A medição de nível é classificada em três grupos:

- Medição direta: a medição de nível é feita diretamente utilizando réguas, visores de nível e bóias (ou flutuadores);
- Medição indireta: a medição é feita indiretamente por meio de grandezas físicas como pressão, empuxo, radiação e propriedades elétricas. Exemplos: medição por pressão diferencial, empuxo, sonda capacitiva, ultra-som, entre outras formas;
- Medição descontínua: esse tipo de medição pode apresentar indicações de cada nível desejado a fim de proporcionar melhor controle e segurança para o sistema. Exemplo: bóias eletrônicas de nível.

2.4.1 Medição de nível por ultra-som

É um tipo de medição de nível descontínua. Esse método utiliza uma onda sonora cuja frequência de oscilação é superior ao que o ouvido humano possa sentir (acima de 20Khz). A base para medição é a velocidade do som, utilizando a técnica de eco.

Figura 6 – Medidor de nível por ultrassom



Fonte: <https://i0.wp.com/alfacomp.net/wp-content/uploads/2021/02/Transmissor-ultrassonico-de-nivel-1.jpg?resize=600%2C550&ssl=1>. Acesso em 12 de setembro de 2022

3 MATERIAIS E MÉTODO

Os itens utilizados para o projeto são os seguintes:

- 2 reservatórios de acrílico com as dimensões 35cm(altura) x 20cm (largura) x 30cm (profundidade);
- Arduino Uno;
- 2 módulos com sensores ultrassônicos de distância HC-SR04
- 1 mini bomba d'água 12VDC;
- mangueira de silicone 5/16";
- 1 válvula solenóide 12VDC;
- 1 módulo com relé 5VDC para arduino;
- 1 Fonte chaveada 127Vcc - 12VDC;

Figura 7 – Sensor Ultrassônico de distância HC-SR04



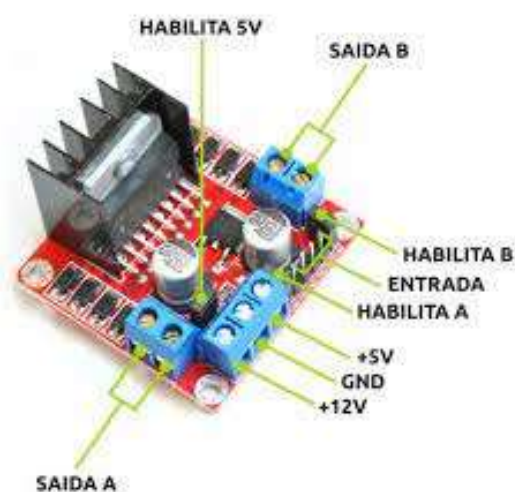
Fonte: Autor (2023)

Figura 8 – Mini bomba d'água – 12VDC



Fonte: Autor(2023)

Figura 9 – Módulo Ponte H L298N

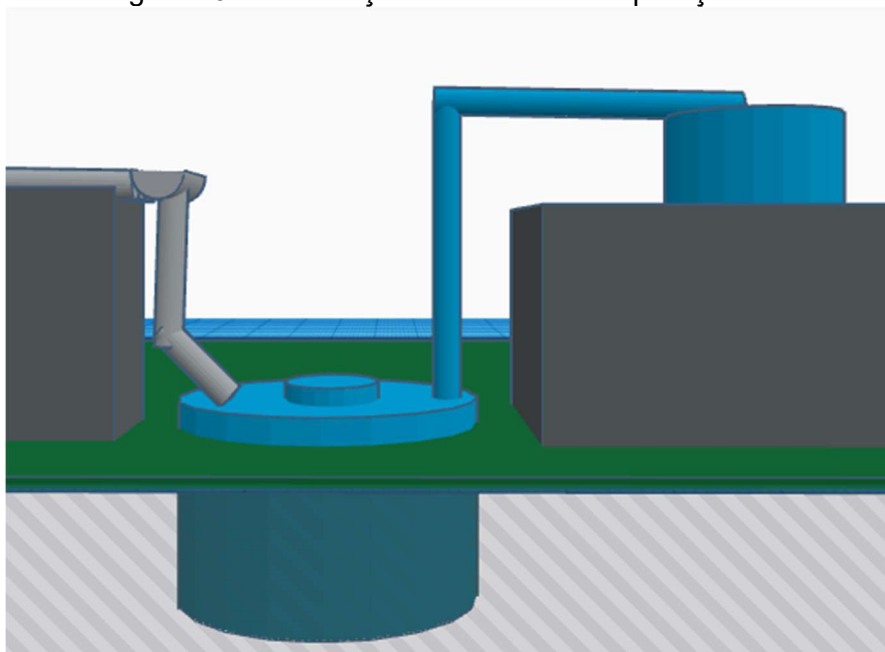


Fonte:

https://www.makehero.com/wp-content/uploads/2017/07/Ponte_H_L298n3.jpg. Acesso em 12 de abril 2023

3.1 Funcionamento do sistema

Figura 10 – Idealização do sistema em aplicação real



Fonte: Autor (2023)

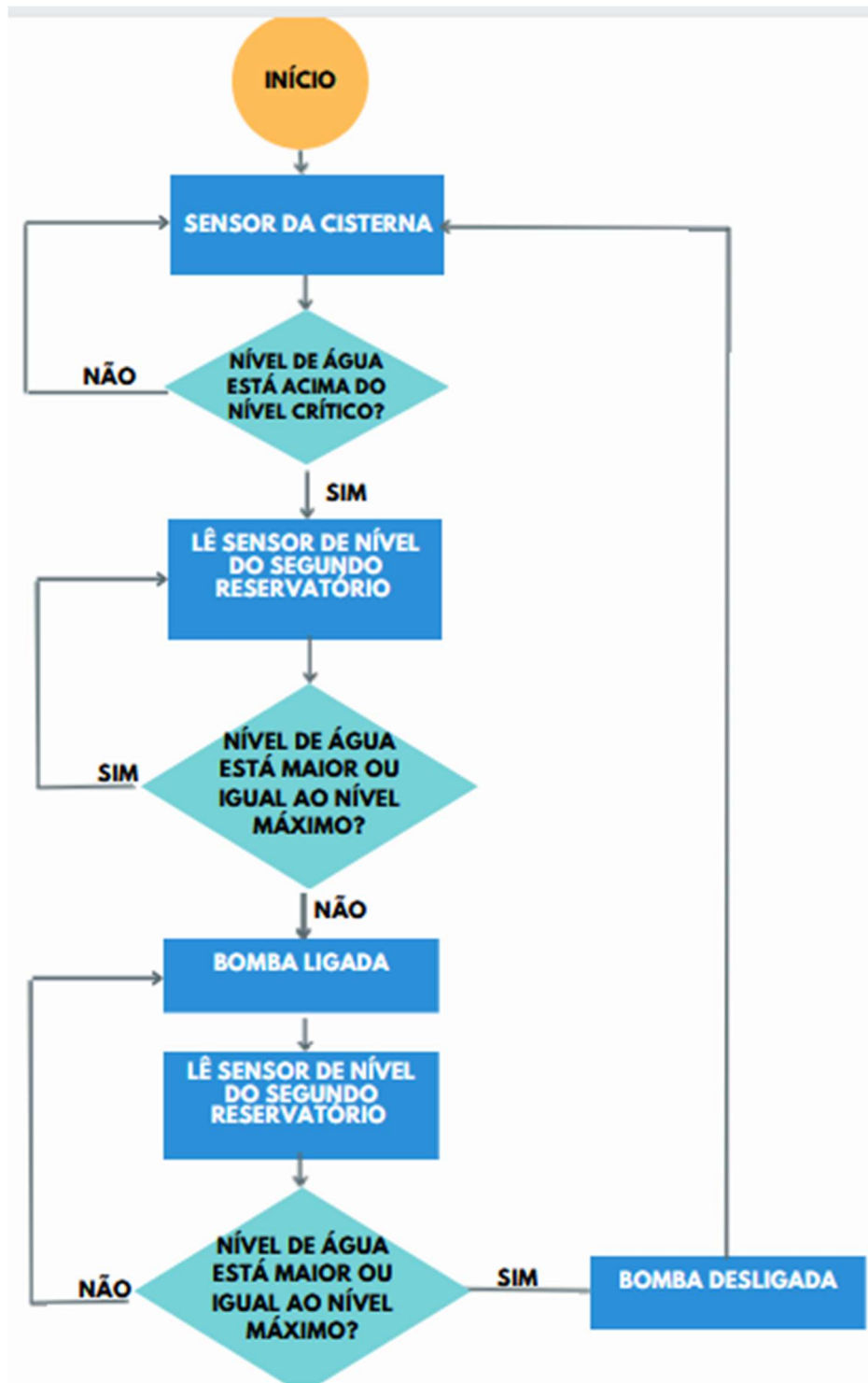
A figura 10 representa a idealização de como seria a captação da água, posicionamento da cisterna (enterrada) e tubulação do sistema de recalque que direcionam a água para o reservatório de distribuição.

O controle de níveis e bombeamento será totalmente automatizado, utilizando a plataforma Arduino para efetuar o controle de velocidade do motor da bomba conforme os níveis de água na cisterna e no reservatório de distribuição. A válvula de saída de água utilizada no reservatório de distribuição também será controlada pelo sistema, possibilitando que possa ser acionada pelos setores que necessitam da utilização da água (por exemplo, quando necessitar de água para lavagem de máquinas, para caixas d'água de banheiro ou até mesmo para irrigação de jardins).

Para a simulação de uma cisterna que receberá a água captada e o reservatório de distribuição, serão utilizados dois reservatórios de acrílico. As medições dos níveis dessa cisterna ocorrerá por meio de um módulo com sensor ultrassônico HC-SR04 instalado na parte superior do reservatório. O sensor realiza a leitura de água para controlar duas condições: a primeira é a de reservatório cheio, que bloqueia a captação de água para a cisterna; a segunda é de nível crítico, onde a bomba de água deve ser impedida de funcionar.

Para a simulação de uma cisterna que receberá a água captada e o reservatório de distribuição, serão utilizados dois reservatórios de acrílico. As medições dos níveis dessa cisterna ocorrerá por meio de um módulo com sensor ultrassônico HC-SR04 instalado na parte superior do reservatório. O sensor realiza a leitura de água para controlar duas condições: a primeira é a de reservatório cheio, que bloqueia a captação de água para a cisterna; a segunda é de nível crítico, onde a bomba de água deve ser impedida de funcionar.

Figura 11: Fluxograma simplificado do sistema



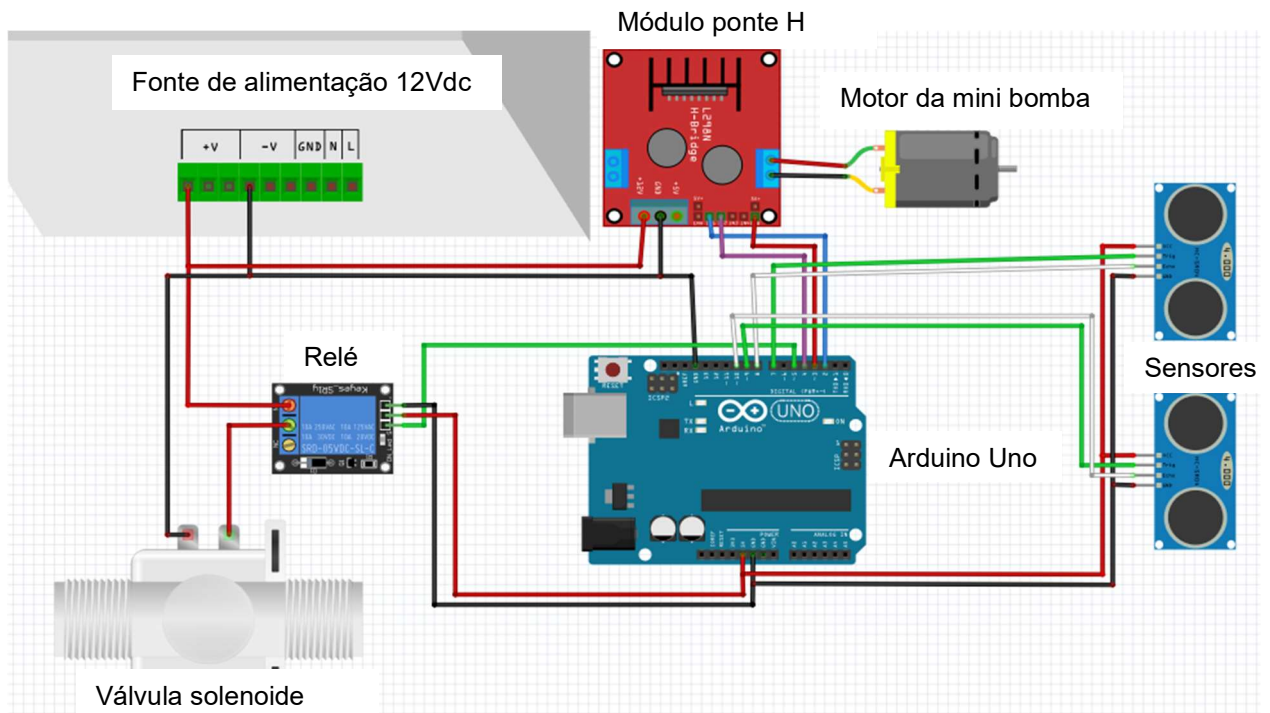
Fonte: Autor(2023)

Se a quantidade de água na cisterna for superior ao nível mínimo, o sistema verifica automaticamente se o reservatório de distribuição está abaixo do nível máximo. No caso desse nível não estiver no máximo, a bomba d' água é ligada. A velocidade de operação da bomba (no caso da bomba utilizada, que é uma mini bomba 12 Volts DC) é inversamente proporcional ao nível de água no reservatório,

controlado automaticamente. A bomba utilizada no projeto é uma mini bomba com alimentação 12 Volts e com vazão de aproximadamente 1,5 litros/min.

A velocidade da bomba será controlada através de um módulo ponte H L298N ligado ao Arduino. Conforme o nível de água do reservatório aumenta, a velocidade da bomba é reduzida até ser desligada totalmente no momento em que a água atingir seu nível máximo no reservatório.

Figura 12 – Ligação elétrica do projeto



Fonte: Autor (2023)

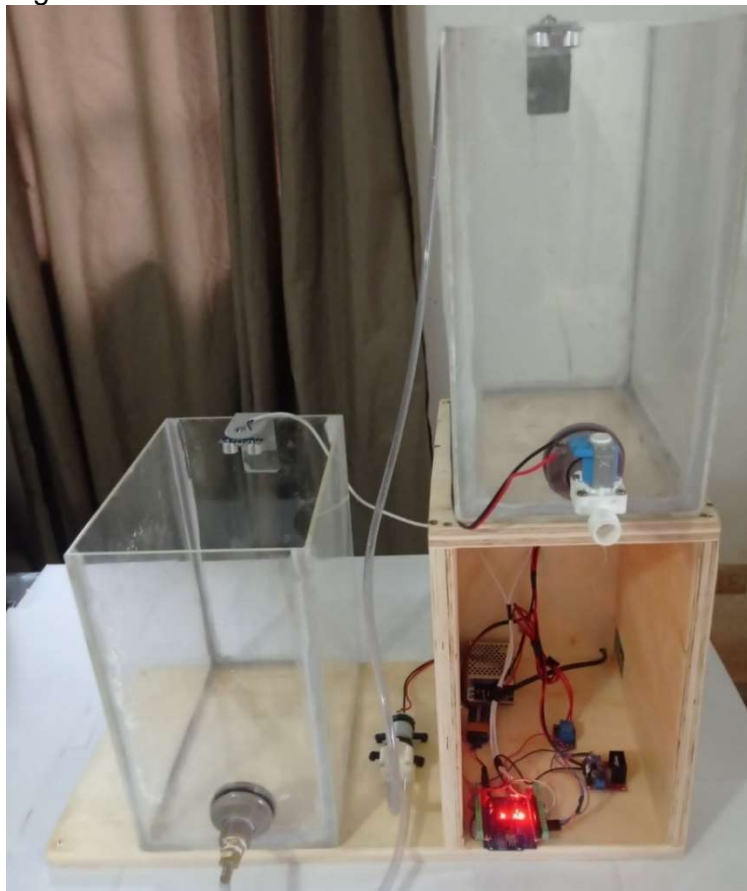
Quando o segundo reservatório estiver cheio, a bomba é desligada e uma válvula solenóide é acionada em sua saída. O acionamento dessa solenóide ocorrerá em um módulo relê conectado ao Arduino, visto que a corrente elétrica do sinal enviado a partir do microcontrolador é insuficiente para acionar diretamente a válvula. O sinal positivo enviado para a solenóide será intermediado no contato do relê, e a bobina desse relê será ligada ao Arduino.

A válvula será desligada somente quando o segundo reservatório atingir o nível mínimo de água. Uma mangueira de silicone será conectada na válvula de saída de água do reservatório para a distribuição. A bomba d'água e a válvula solenóide serão alimentados através de uma fonte de alimentação 12 volts, e os demais componentes eletrônicos serão alimentados com 5 volts através do Arduino.

3.2 Finalização do sistema

Os sensores ultrassônicos serão fixados em um suporte na parte superior de cada reservatório. Suas conexões serão ligadas na placa do Arduino Uno. Em seguida, a bomba d'água será ligada no módulo ponte H, a mangueira de entrada de água da bomba será conectada ao espigão fixado na saída do primeiro reservatório e a mangueira de saída de água da bomba será conectada na parte superior do segundo reservatório.

Figura 13 – Sistema de controle de nível e bombeamento



Fonte: Autor(2023)

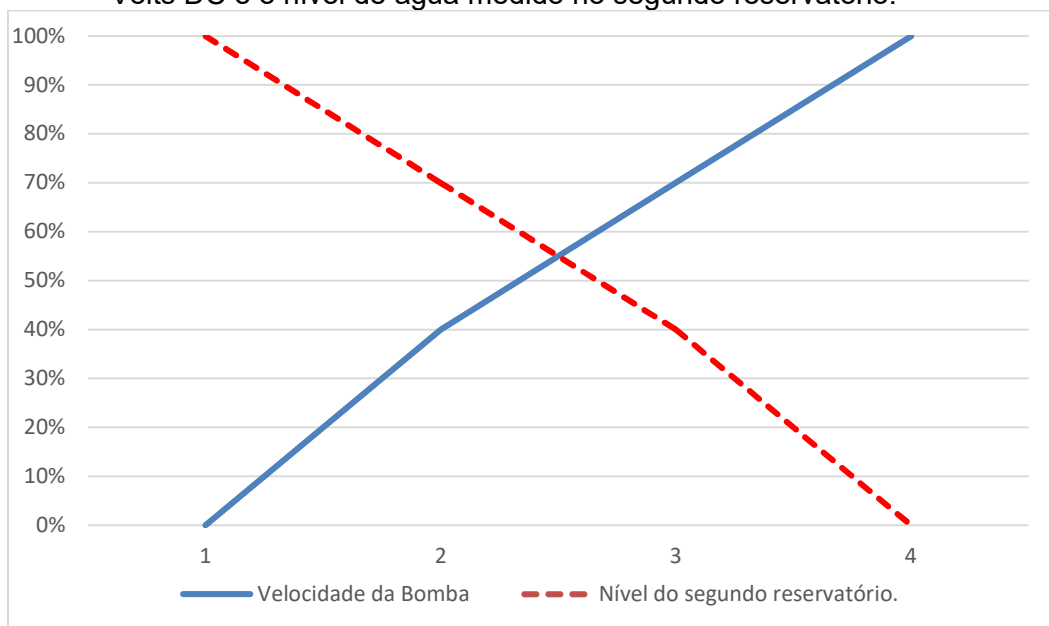
Todo o sistema será montado em uma plataforma de madeira compensada de 20mm, onde a cisterna ficará em nível abaixo do reservatório de distribuição a fim de demonstrar o trabalho de bombeamento entre dois reservatórios em plataformas de alturas distintas. O circuito elétrico será instalado na parte interna da plataforma, abaixo do segundo reservatório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A princípio, cada etapa do processo foi testada individualmente. O controle de nível através da leitura dos sensores funcionou conforme o esperado. A bomba não liga no caso do nível de água da cisterna estiver abaixo do mínimo. Essa condição funciona como proteção para a bomba não ser danificada ao trabalhar a seco. No caso da utilização de bombas d'água de alta potência, essa condição é essencial para evitar danos ao equipamento.

Conforme mencionado na metodologia, a velocidade de trabalho da bomba de água é alterada conforme o nível de água no segundo reservatório. Nesse caso onde está sendo utilizada uma mini bomba 12 volts DC não é necessário que a bomba opere a 100% de sua potência durante todo o tempo, visto que o projeto simula o sistema de forma didática. Para aplicação real, é necessário avaliar o tipo de bomba a ser utilizada e sua eficiência real, pois no caso de algumas eletrobombas as baixas velocidades de rotação podem apresentar variação em sua eficiência.

Figura 14: Gráfico de relação entre a velocidade de operação da mini bomba 12 Volts DC e o nível de água medido no segundo reservatório.



Fonte: Autor (2023)

Quando a água atinge o nível máximo no segundo reservatório, o módulo relê é acionado e fecha o contato onde está ligada a válvula solenóide. Com a válvula aberta, a saída de água do segundo reservatório é liberada e a água é redirecionada para os processos industriais, sendo essa a proposta inicial. No caso desses testes, água é redirecionada novamente para a cisterna e dessa forma inicia automaticamente um novo ciclo, caracterizando um sistema de malha fechada.

Para a instalação definitiva desse sistema em projetos de utilização industrial, todo o circuito elétrico (principalmente a placa do arduino) deve estar em caixa de comando com índice de proteção adequado para o local de instalação. Os sensores ultrassônicos podem ser substituídos por sensores de nível tipo radar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aplicação dos testes, foi comprovado o funcionamento do sistema de bombeamento com controle de nível. Com o microcontrolador do Arduino UNO, não foi possível executar corretamente o controle simultâneo de leitura de nível da cisterna e do acionamento condicional da solenoide no reservatório de distribuição. Para um controle aprimorado do sistema, é necessário um microcontrolador com mais de um núcleo de processamento para realização de múltiplas tarefas simultaneamente.

A leitura dos sensores ultrassônicos se mostrou eficaz no sistema, devido a resposta rápida dos pulsos sonoros e sem a necessidade de contato direto com o líquido. O controle de velocidade do motor da mini bomba em função da leitura de nível funcionou conforme o programado, sendo que o projeto foi representado de forma didática. Para a instalação do sistema em projetos industriais, deve-se considerar o percentual de eficiência da eletrobomba em função da rotação devido às perdas de eficiência e isso varia em cada motor.

O sistema se mostrou funcional nos testes, atendendo o propósito de seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT. **NBR 12214**: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1990.

ABNT. **NBR 15527**: Água da Chuva
– Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis –
Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS: **Relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view>. Acesso em 22 de agosto de 2022.

GIACCHINI, Margolaine. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água da chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2010. 132 f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GONÇALVES, Marcelo Giglio. **Monitoramento e Controle de Processos**. Brasília: Senai, 2003. 100 p. 99 f.

MACINTYRE, Archibald James. **Bombas e Instalações de Bombeamento** - 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. 4a ed. São Paulo. Prentice Hall, 2003.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – **Bombas – Guia Básico**. Eletrobrás [et al.]. Brasília, 2009

UNIDO – Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial - **Redução de consumo de água industrial na Tunísia**. UNIDO, 2018. Disponível em: <https://www.unido.org/stories/reducing-industrial-water-consumption-tunisia>. Acesso em: 1 de maio de 2023. Título Original: *Reducing industrial water consumption in Tunisia*.