CENTRO UNIVERSITÁRIO
UNICURITIBA

SISTEMAS HIDROPÔNICOS: CONTROLE DE CONDUTIVIDADE AUTÔNOMO APLICADO À AGRICULTURA FAMILIAR

Gabriel Alessandro dos Santos
Orientador: prof. Dr. Júlio César Ferreira

RESUMO

A hidroponia, método de cultivo sem solo, oferece vantagens como aumento de produtividade, menor consumo de água e melhoria na qualidade dos produtos. No entanto, desafios como o controle de variáveis ambientais, como condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura são decorrentes. Este estudo aborda a aplicação dos conhecimentos de automação em um sistema de controle de CE, pH e temperatura em um ambiente hidropônico familiar, desenvolvido com um controlador lógico programável (CLP), sensores e ferramentas da esfera da digitalização de dados. Os estudos demonstraram que o sistema poderia manter as variáveis controladas dentro dos limites esperados, mesmo com variações de temperatura. Além disso, a capacidade de enviar dados para uma plataforma digital permitiu o monitoramento remoto em tempo real pelos produtores. Conclui-se que o sistema automático é eficaz na otimização da produção hidropônica, reduzindo a intervenção humana, aprimorando a qualidade dos produtos e possibilitando o monitoramento remoto da produção. O objetivo deste artigo é a criação de sistema autônomo de controle de variáveis críticas do processo como, condutividade, PH e temperatura, visando reduzir a interferência humana e consequentemente os erros.

Palavras-chave: Hidroponia; Condutividade Elétrica; Potencial Hidrogeniônico Automação; Digitalização de Dados.

INTRODUÇÃO

De práticas familiares a cultivos em grande escala, a produção de hortaliças vem se ressignificando ao longo dos tempos. Produtores deste ramo, em busca de soluções que reduzam custos, o tempo de cultivo e principalmente,

tenham alto valor de entrega e qualidade, veem a hidroponia como um ótimo meio para isto.

Do grego *"Hydro"*, água e *"Ponos"*, trabalho, a hidroponia representa o cultivo de folhosas, vegetais e frutas utilizando como base a água. Solução nutritiva, PH, temperatura e luz são algumas das variáveis que tem suma importância para o desenvolvimento das plantas. Tendo o controle destas, as vantagens podem ser inúmeras, como por exemplo, controle de pragas, aumento da produtividade, redução do consumo de água e uso de fertilizantes, além propiciar um ambiente ergonômico ao produtor. (WAIRICH et al., 2023).

Apesar de todas as vantagens, existem pontos que podem ser aprimorados, os quais este presente trabalho procurará solucionar. Focado na produção em baixa e média escala para agricultura familiar.

O objetivo deste artigo é a criação de sistema autônomo de controle de variáveis críticas do processo como, condutividade, PH e temperatura, visando reduzir a interferência humana e consequentemente os erros.

Além disso, buscará disponibilizar ao produtor todos os dados de seu plantio em um serviço em nuvem, integrado a esfera da indústria 4.0, utilizando matérias de baixo custo, propiciando a agricultura familiar.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aqui será tratado os temas pertinentes a hidroponia, como história, sistemas de cultivo, solução nutritiva e automação.

História

Perdurando desde os milênios antes de Cristo, a hidroponia e suas técnicas estão presentes na sociedade em todo o globo. Os primeiros indícios ocorreram na Babilônia, onde a água foi canalizada para os jardins suspensos de suas construções. Os egípcios usufruíram da mesma técnica para não transportar somente água, mas também nutrientes conforme as cheias anuais. Os chineses, no cultivo de arroz, alagaram enormes áreas de cascalho, onde ele foi utilizado para fixação das raízes. No ocidente, os Astecas em decorrência do

seu êxodo forçado, dominaram o cultivo de plantas e animais em ambientes pantanosos, futuramente chamado de aquaponia. (PRESOTTO, 2015).

O primeiro registro desta cultura foi realizado por Francis Bacon em seu livro *Novum Organum*, onde ele propõe que o cultivo em água é mais fácil, no qual as plantas apenas necessitam de uma superfície para suas raízes se fixarem. Em outra publicação ele traz mais informações a respeito da sua experiência, “Experimentei o cultivo de plantas em uma variedade de meios, incluindo água, areia, cascalho e pedra-pomes. Descobrir que as plantas cresciam melhor quando recebiam uma solução nutritiva rica em nitrogênio e fósforo.” (BACON, 1878).

É notável que a hidroponia possui suas variantes em diversas épocas e regiões, tudo dependendo da necessidade e das adequações quanto a clima e relevo. No Brasil, o primeiro contato se teve no estado de São Paulo, na década de 1980. A técnica japonesa se disseminou com Shigeru Ueda e Takanori Sekine chegando ao país e alcançou os melhores resultados. Os dois pioneiros iniciaram um trabalho de pesquisa e desenvolvimento da hidroponia no Brasil, que culminou na criação da primeira empresa de cultivo hidropônico comercial no país, em 1987. (“Edição 08 por Revista Hidroponia - Issuu”, 2016)

No início, a hidroponia era uma técnica pouco conhecida no Brasil, e sua adoção era limitada a pequenos produtores e pesquisadores. No entanto, a partir da década de 1990, o cultivo hidropônico começou a se popularizar no país, impulsionado por diversos fatores, como a crescente demanda por alimentos saudáveis e frescos, o aumento do preço dos alimentos e a preocupação com a sustentabilidade. (“Edição 08 por Revista Hidroponia - Issuu”, 2016)

Atualmente, a hidroponia é uma técnica amplamente difundida no Brasil, sendo utilizada por produtores de diversos portes, desde pequenos agricultores até grandes empresas. No mundo a América do Norte domina o mercado, segundo o relatório Mercado de Hidroponia Sample da Mordor Intellegence, publicado em 2022 a limitação de terras aráveis e a mudança de hábitos alimentares da população global, impulsionaram a hidroponia. Na figura 1 traz uma projeção do mercado hidropônico até 2028, mostrando o constante avanço deste ramo.

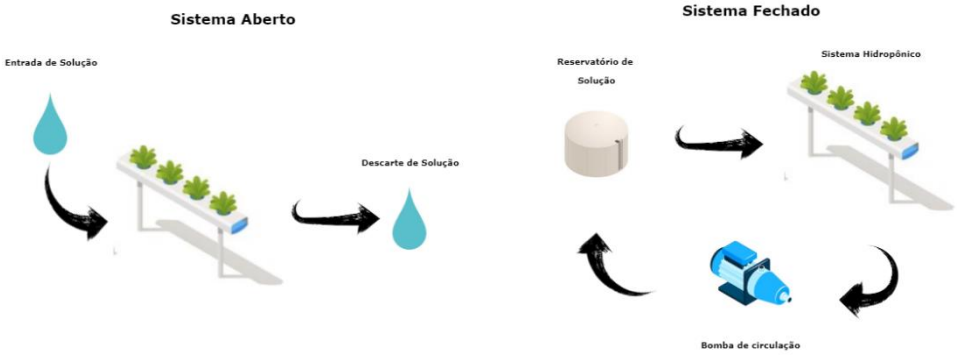
Figura 1. - Tamanho do mercado de Hidroponia.

Fonte: *Mordor Intellegence* (2022).

Sistemas de Cultivo

Os sistemas hidropônicos podem ser classificados de acordo com o meio físico em que as raízes crescem, imersas em água, substrato ou até mesmo suspensas no ar, outro fator é o tipo de sistema, seja ele aberto ou fechado. Quanto ao sistema aberto, a solução nutritiva é aplicada apenas uma vez nas plantas, sendo descartada ou utilizada em outros processos em sequência. Para os sistemas fechados, com o auxílio de bombas, a solução é circulada durante todo processo, sendo necessário a correção com água ou nutrientes minerais. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114). Na figura 2 é exemplificado cada um dos sistemas, mostrando seu funcionamento.

Figura 2. - Diferença de sistema aberto e fechado.



Fonte: O Autor (2023).

O cultivo em água é o mais comum entre os agricultores, neste método as raízes estão completamente ou parcialmente submersas em uma solução nutritiva. A NFT, técnica de filme nutritivo, modelo de cultivo em que este trabalho foi baseado, as plantas são cultivadas em dutos ou canaletas as quais a solução nutritiva percorre, durante determinados períodos, criando uma espécie de lâmina na qual as raízes estão em contato. Neste sistema não se faz o uso de substrato e toda a solução é reaproveitada (sistema fechado), conforme mostrado na figura 3.

Allen Cooper foi quem iniciou os estudos nesta técnica, onde mostrou que o fluxo de solução de ser pequeno o suficiente, como uma lâmina, para as raízes não ficarem submergidas, o que ocasionaria a falta de oxigênio.

Figura 3. - Exemplo de sistema NFT.

Fonte: O Autor (2023).

Outra maneira de cultivo é a hidroponia de aeração estática (*floating*), amostrado na figura 4. Deste a produção é feita em vasos ou bancadas de solução com veios de 15 à 40cm de altura, onde as raízes ficam totalmente submersas e um sistema de bombeamento de ar é utilizado para respiração das raízes. Neste o consumo de nutrientes é elevado e as medições de controle devem ser constantes para não afetar a planta. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114)**.**

Figura 4. - Exemplo de sistema floating.

Fonte: AGRÍCOLAS, T. E (2023).

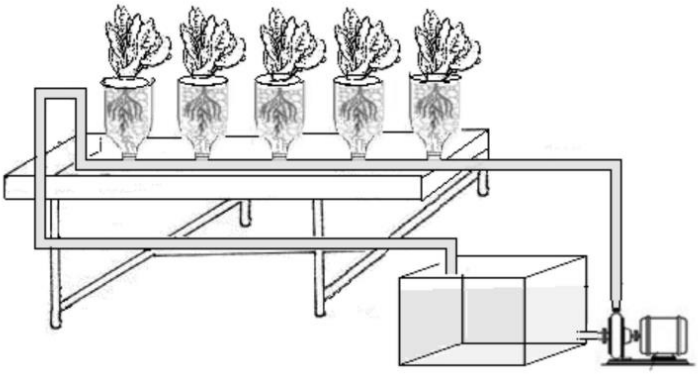
A aeroponia é um método de cultivo que envolve a suspensão das raízes das plantas em um ambiente controlado, no qual a água e os nutrientes são fornecidos na forma de uma fina névoa ou pulverização. Essa abordagem permite que as raízes recebam oxigênio, nutrientes e água de forma direta e contínua, criando um ambiente ideal para o crescimento das plantas. No Brasil, este sistema aparece no cultivo de batatas e de hortaliças, pois permite um crescimento mais rápido e vigoroso das plantas. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114). A figura 5 exemplifica com funciona este método de cultivo.

Figura 5. - Exemplo de sistema Aeroponia.

Fonte: Plataforma Hidroponia (2023)

Outro método de cultivo é o por submersão e drenagem (*flood and drain*), no qual a planta é produzida em vasos, mas não tem contato nenhum com substrato. Elas são mergulhadas na solução nutritiva, a qual possui um sistema de bombeamento para realizar a drenagem e assim possibilitar a respiração e contato com oxigênio nas raízes. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114). Na figura 6, traz de maneira intuitiva como este sistema opera.

Figura 6. - Exemplo de sistema Submersão e drenagem.



Fonte: BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, P. (2012)

Por último temos o cultivo utilizando substratos, em alguns estudos podendo ser tratado até como cultivo semi-hidropônico, muito utilizado na produção de morangos. A hidroponia com substrato é um método de cultivo de plantas sem solo, utilizando um meio inerte para sustentar as plantas. Os principais benefícios são o controle do desenvolvimento, aumento da produtividade e redução dos custos. Os principais tipos de substratos são areia, cascalho, fibra de coco, perlita e vermiculita. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114). A figura 7 mostra como é feita a organização, o sistema de fixação no meio inerte e como é feita a injeção da solução nutritiva.

Figura 7. - Exemplo de sistema Semi-hidropônico no cultivo de tomates.

Fonte: O Autor (2023).

Vantagens e Desvantagens

A principal vantagem da hidroponia é o aumento da produtividade. Isso ocorre porque as plantas cultivadas têm acesso aos nutrientes e à água de forma mais eficiente. As plantas também são menos suscetíveis a doenças e pragas, o que pode levar a um aumento da qualidade das plantas. Outra vantagem é a redução dos custos. Isso ocorre porque os sistemas de hidroponia requerem menos espaço e mão de obra do que os métodos tradicionais de cultivo. (Hydroponics - Oklahoma state university, 2017)

A hidroponia também é uma forma eficiente de usar água, tornando-a sustentável. Isso ocorre porque as plantas são cultivadas em um ambiente controlado, onde a água é reaproveitada. Essa característica pode ser importante em regiões com escassez de água. Este método de cultivo pode reduzir o uso de agrotóxicos. Isso ocorre porque as plantas cultivadas são menos suscetíveis a doenças e pragas. Essa característica pode ser benéfica para o meio ambiente e para a saúde humana. Por fim é a flexibilidade, onde pode ser usada para cultivar uma variedade de plantas em diferentes condições climáticas (Sustainable Hydroponics Production to increase food security in Jamaica, [s.d.])

O principal desafio da hidroponia é o custo inicial. Os sistemas instalados podem ser complexos e requerer equipamentos específicos, o que pode aumentar o custo de implementação. Tanto quanto isso os sistemas requerem um conhecimento especializado para ser operados com sucesso. Além disso, a hidroponia requer energia para bombear a solução nutritiva para as plantas. Isso

pode ser um desafio em regiões com acesso limitado à energia elétrica. (MELONIO, 2012)

Um ótimo exemplo é a matéria exibida na página Exame agro, a qual traz a vivência de Rayssa Chaves, agricultora e apreciadora do sistema hidropônico. Em seu espaço relativamente pequeno de um hectare, atualmente produz cerca de cinco toneladas de alimentos, tudo isso com um investimento inicial de 50 mil reais, aumentando para 500 mil reais para atingir o ponto atual. (GRILLI, 2023).

Solução Nutritiva

A solução nutritiva, como o nome já diz, é responsável por fornecer na água todos os nutrientes que seriam necessários para o crescimento na terra. Os que exigem uma maior quantidade o nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O nitrogênio ajuda as plantas a crescer, o fósforo ajuda a desenvolver raízes, flores e frutos, e o potássio ajuda as plantas a resistir a doenças e amadurecer os frutos. (VILAR, 2022).

Além destes, a solução nutritiva também deve conter alguns outros em menor escala, como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni). Esses nutrientes são essenciais para o funcionamento adequado das plantas. (VILAR, 2022).

A concentração e a proporção dos nutrientes na solução nutritiva devem ser controladas de acordo com as necessidades específicas da planta. O pH da solução também é importante, pois afeta a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. O pH ideal geralmente é de 5,5 a 6,5. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114)**.**

Os agricultores hidropônicos usam a condutividade elétrica (EC) para monitorar a solução nutritiva. A EC mede a concentração de sais dissolvidos na solução. A EC e o pH são ajustados regularmente para manter a solução nutritiva em condições ótimas para o crescimento das plantas. (BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, 2012. P.114)**.**

A solução nutritiva pode ser preparada a partir de sais solúveis em água ou de misturas comerciais desenvolvidas especificamente para a hidroponia. É importante seguir as instruções específicas para o cultivo de cada planta e

monitorar constantemente a qualidade da solução nutritiva para garantir os melhores resultados. No quadro 1 traz as relações das quantidades necessárias dos principais nutrientes que cada tipo de cultura necessita. Fazendo o cálculo a partir da dosagem em gramas de nutrientes por quantidade total produzida.

Quadro 1 - Relações entre os teores foliares g/Kg de N,P,Ca, Mg e S com os teores de K considerados adequados para diferentes culturas.

Culturas	K	N	P	Ca	Mg	S
		Hortaliças de Folhas				
Agrião	1,00	0,83	0,17	0,25	0,07	0,05
Alface	1,00	0,62	0,09	0,31	0,08	0,03
Almeirão	1,00	0,65	0,11	0,12	0,03	-
Cebolinha	1,00	0,75	0,08	0,50	0,10	0,16
Chicória	1,00	0,82	0,11	0,36	0,07	-
Couve	1,00	1,20	0,16	0,62	0,14	-
Espinafre	1,00	1,00	0,11	0,78	0,18	0,20
Repolho	1,00	1,00	0,15	0,63	0,15	0,13
Rúcula	1,00	0,78	0,09	0,84	0,07	-
Salsa	1,00	1,14	0,17	0,43	0,11	-
		Hortaliças de Frutos				
Berinjela	1,00	1,00	0,16	0,40	0,14	-
Ervilha	1,00	1,67	0,20	0,67	0,17	-
Feijão-vagem	1,00	1,43	0,14	0,71	0,17	0,11
Jiló	1,00	1,57	0,14	0,57	0,11	-
Melão	1,00	1,14	0,14	1,14	0,29	0,08
Morango	1,00	0,67	0,10	0,67	0,27	0,10
Pepino	1,00	1,22	0,18	0,56	0,16	0,13
Pimenta	1,00	1,00	0,13	0,63	0,20	-
Pimentão	1,00	0,90	0,10	0,50	0,16	-
Quiabo	1,00	1,29	0,11	1,14	0,23	0,10
Tomate	1,00	1,25	0,15	0,75	0,15	0,16
		Hortaliças de Flores				
Brócolos	1,00	1,50	0,20	0,67	0,17	0,18
Couve-flor	1,00	1,25	0,15	0,75	0,10	-
		Ornamentais				
Antúrio	1,00	1,00	0,20	0,80	0,32	0,20
Azaléia	1,00	2,00	0,40	1,00	0,70	0,35
Begônia	1,00	1,11	0,11	0,44	0,11	0,12
Crisântemo	1,00	1,00	0,14	0,30	0,14	0,10
Gladíolo	1,00	1,29	0,20	0,71	0,09	-
Gloxínia	1,00	1,00	0,10	0,50	0,15	0,13
Gypsophila	1,00	1,25	0,13	0,88	0,18	0,12
Hibiscus	1,00	1,75	0,35	1,00	0,30	0,16
Palmeira	1,00	1,00	0,17	0,67	0,20	0,18
Rosa	1,00	1,60	0,16	0,60	0,16	0,21
Schefflera	1,00	1,00	0,13	0,50	0,17	0,16
Violeta-Africana	1,00	0,90	0,10	0,30	0,12	0,11

Fonte: FURLANI et. al (2009).

Segundo Furlani et al. (2009) no quadro 1 foram apresentadas quais as dosagens necessárias de cada nutriente e a relação entre eles para o cultivo de folhosas no sistema NFT e ainda exemplificou que quando utilizamos as mesmas concentrações para diferentes plantas, pode-se ter efeitos contrários, como no caso da rúcula, que consumirá quantidades acima do esperado de cálcio.

Automação

Ao se tratar de toda a automação presente na hidroponia, pode-se citar as principais partes como conjunto de motobombas, são elas as responsáveis por fazer todo o transporte da solução nutritiva das caixas armazenadoras até

as canaletas com as plantas. Outra peça fundamental são os relógios controladores, estes são responsáveis pelo acionamento das motobombas nos momentos adequados e necessários para nutrição, visto que muitos cultivos não necessitam do contato nutritivo em todo instante. Esta peça proporciona economia de energia elétrica e principalmente eficiência do produtor, visto que não precisará o seu deslocamento e investimento de tempo para o sistema operar nas devidas condições.

Para a solução nutritiva, ter o controle da condutividade e PH é imprescindível, para isto um equipamento que realize a medição dos dois parâmetros é necessário, assim o produtor terá calculada a tomada de decisão necessária para obter qualidade e produtividade de seus frutos.

Apesar de serem poucos os processos e variáveis a serem monitorados, a inserção da automação traz diversos pontos positivos, podendo citar a praticidade para o produtor, diminuição dos erros de medição e controle, podendo todos serem resumidos em eficiência de plantio. Com o avanço da automação, será possível criar sistemas completamente autônomos, capazes de monitorar e controlar todas as etapas do cultivo, desde a semeadura até a colheita. (DE PAULA, 2023).

Ainda assim, termos como indústria 4.0, digitalização e IoT (*Internet of Things*) são termos que também estão presentes no ramo da hidroponia. Oracle (2022) define IoT como uma “rede de objetos físicos incorporados a sensores, software e outras tecnologias com o objetivo de conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela Internet. Esses dispositivos variam de objetos domésticos comuns a ferramentas industriais sofisticadas”. Possibilitar ao produtor rastrear todo o seu processo de cultivo, de qualquer lugar ambiente, traz consigo qualidade e segurança com o produto.

METODOLOGIA

Procedimentos Metodológicos

Este presente trabalho adotará uma abordagem metodológica mista, combinado com elementos qualitativos e quantitativos. A natureza aplicada

desta estratégia visa fornecer uma compreensão prática e substancial do fenômeno em foco. (COELHO, 2019).

O escopo do estudo será pautado por objetivos exploratórios, destinados a investigar e explicar aspectos pouco explorados no âmbito da hidroponia. A abordagem exploratória será instrumentalizada para aprofundar a compreensão dos elementos fundamentais relacionados ao tema objetivando alcançar os resultados.

O procedimento metodológico consistirá em um estudo de caso, permitindo uma análise detalhada e contextualizada do fenômeno. Essa escolha visa explorar por completo as características e adaptações, empregando diversas fontes de dados, tais como coleta de dados manuais, observações e aplicação de sistemas. A combinação desses elementos visa proporcionar uma compreensão holística, conferindo robustez e relevância às conclusões obtidas. (COELHO, 2019).

Descrição do estudo de caso

Para este presente trabalho, conforme já apresentado, terá como objetivo fazer o estudo de aplicação de um controle de PH e condutividade de um sistema hidropônico, principais variáveis para garantir a qualidade do produto final, sem a intervenção do produtor, além de proporcionar o rastreio destas informações por meio de uma plataforma digital em contato direto com o produtor.

O projeto foi aplicado em sistema hidropônico familiar, situado na cidade de Palmas, região sudoeste do Paraná. Os produtores possuem uma gama variada de produtos, partindo do cultivo de frutas como amoras e uvas no sistema tradicional de cultivo (uso do solo), cultivo de tomates e morangos em sistema semi-hidropônico e o cultivo de diversas qualidades de hortaliças no sistema hidropônico NFT, o qual será explorado. A figura 8 traz uma visualização do local onde foi implementado o estudo, contextualizando todos os pontos listados na sequência.

Figura 8. - Ambiente em que será realizado o estudo.

Fonte: O Autor (2023).

Das características do ambiente, pode-se pontuar as seguintes informações:

- Estufa climatizada com 30 mil frutos/mês de capacidade;
- Caixa de água + solução nutritiva de 17 mil litros;
- Utilização de motobombas com temporizadores;
- Sistema de coleta e tratamento de condutividade e PH manual;
- Condutividade esperada:
    - Temperatura superior à 28°C: Condutividade 1.2 µS;
    - Temperatura inferior à 15°C: Condutividade 1.65 µS;
    - Temperatura entre 15°C e 28°C: Condutividade 1.5 µS;
- pH esperado:
    - Entre 5.5 e 6.5.

A aplicação de controle automático de condutividade e pH será desenvolvido em um ambiente simulado de CLP, possibilitando o estudo e predizendo a viabilidade do projeto. Para a comunicação e envio de dados à plataforma de visualização, será feita através do protocolo OPC-UA client.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os procedimentos iniciais que foram utilizados para o desenvolvimento deste presente trabalho se dividiram em duas etapas, coleta de dados manuais

para implementação, os quais foram mostrados no quadro 2 e comissionamento do sistema de automação pré-existente.

Quadro 2 – Dados manuais

Coleta de dados manuais							
Dia	Temperatura (°C)	Volume Inicial (L)	Volume final (L)	Condutividade Inicial (µS)	PH Inicial	Condutividade final (µS)	PH final
01/out.	23.8	4500	15000	0.42	6.6	1.55	6.2
04/out.	18.0	4500	15000	0.37	7.1	1.46	6.1
07/out.	17.7	4500	15000	0.33	6.9	1.62	5.9
09/out.	21.2	4500	15000	0.45	6.7	1.57	5.7
11/out.	28.9	4500	15000	0.31	6.9	1.65	5.6
14/out.	22.5	4500	15000	0.48	6.7	1.69	5.5
17/out.	17.4	4500	15000	0.39	6.9	1.55	6.4
20/out.	23.9	4500	15000	0.34	6.8	1.48	5.8
22/out.	27.5	4500	15000	0.44	6.9	1.42	6.0
25/out.	26.2	4500	15000	0.50	6.7	1.64	6.3
27/out.	26.4	4500	15000	0.40	7.0	1.41	6.1
31/out.	21.0	4500	15000	0.35	6.9	1.68	5.6
03/nov.	21.4	4500	15000	0.46	6.7	1.49	6.5
06/nov.	14.8	4500	15000	0.36	6.9	1.61	6.2
09/nov.	17.5	4500	15000	0.49	7.2	1.54	5.8

Fonte: O Autor (2023).

Este quadro traz os dados coletados durante o tratamento manual da água. Os dados de volume trazem um valor estimado de água no reservatório. A condutividade e PH são medidos inicialmente logo após a caixa de água atingir o volume máximo e novamente após o tratamento com a solução nutritiva.

A respeito dos dados de temperatura eles foram coletados com o uso do telefone celular. Para as informações de volume inicial e final, trata-se de uma informação aproximada, pontuando que foi realizada uma análise de acordo com a experiência do produtor e como foi visto no momento da medição. Os demais dados foram utilizados instrumentos de medição adequados para cada variável.

O segundo procedimento é o comissionamento do projeto, trata-se de um levantamento de todos os equipamentos existentes e adicionais, que foram

necessários para o desenvolvimento do sistema de automação. Tendo em vista todo o sistema, foi levantado os seguintes equipamentos no quadro 3.

Quadro 3 – Equipamentos necessários

Quantidade	Equipamento
01	Válvula de controle de Fluxo ON/OFF
01	Bomba dosadora
01	Motor misturador
01	PHmetro
01	Condutivimetro
01	Termômetro
04	Eletrodo de nível

Fonte: O Autor (2023).

A válvula de controle tem como função controlar a entrada de água não tratada para o reservatório principal, ela será operada no modo ON/OFF, ou seja, aberta ou fechada. A bomba dosadora é responsável por transferir a solução nutritiva do reservatório concentrado para o reservatório principal. Como se utilizou uma solução nutritiva sólida, a qual é dissolvida em água, utilizou-se um motor misturador, importante para deixar a mistura homogênea e sem sedimentos acumulados no fundo. Os equipamentos de medição, PHmetro tem a função de medir o pH da água, já o condutivimetro é responsável por medir a condutividade em µS e o termômetro mede a temperatura do ambiente. Os eletrodos de nível são responsáveis pela indicação no nível em que os reservatórios se encontram, sejam eles em nível baixo ou alto.

Com todos os equipamentos levantados o próximo passo foi definir as entradas e saídas do sistema de automação, apresentado no quadro 4, etapa de extrema importância para se fazer a cotação e levantamento de custos de implementação.

Quadro 4 – Comissionamento de entrada e saídas

Equipamento	Entradas Digitais	Saídas Digitais	Entradas Analógicas	Saídas Analógicas
Válvula de controle de Fluxo ON/OFF	2	1	---	---
Bomba dosadora	2	1	---	---
Motor misturador	2	1	---	---
PHmetro	---	---	1	---
Condutivimetro	---	---	1	---
Termômetro	---	---	1	---
Eletrodo de nível	4	---	---	---
TOTAL	10	3	3	0

Fonte: O Autor (2023).

Este levantamento das entradas e saídas proporciona ao profissional dimensionar qual o hardware que ele pode utilizar e ter noção de operação de seu sistema, considerando quais são os fatores críticos e responsáveis pelo controle do sistema, neste caso as entradas analógicas. Estes dados do quadro são proporções mínimas, é necessário ter conhecimento para manutenção e correção, logo entradas e saídas reservas.

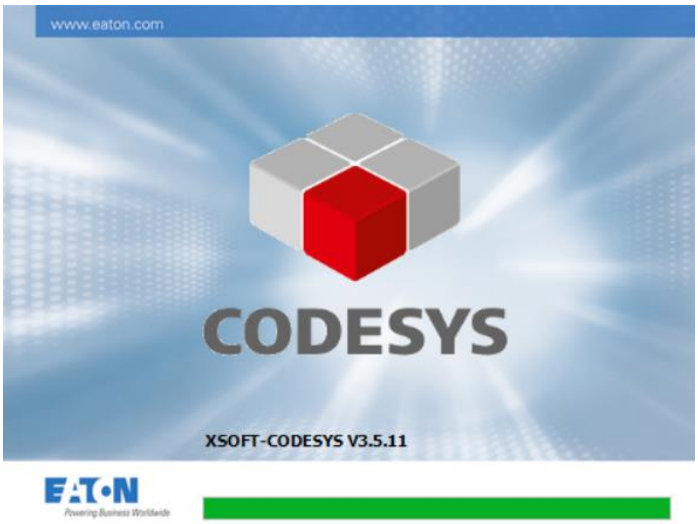
A coleta manual de dados, representada por variáveis como temperatura, volumes, condutividade e pH, ofereceu esclarecimentos cruciais para compreender as condições do sistema, mostrando um índice de erro médio de 5% para a condutividade, tendo como maior índice de 73% do esperado. Já para o pH todos os dados coletados estiveram dentro do esperado na medição final.

O comissionamento do projeto identificou os equipamentos necessários, delineando suas funções específicas, e estabeleceu a lógica de entradas e saídas para a automação eficaz do sistema hidropônico.

Finalmente pode-se iniciar o desenvolvimento do software que foi responsável por fazer o controle de todo o sistema. Com a interface baseada em CODESYS, o software utilizado foi o XSOFT-CODESYS do fabricante EATON,

figura 9, é neste ambiente que foi centralizada todos os acionamentos e comunicações.

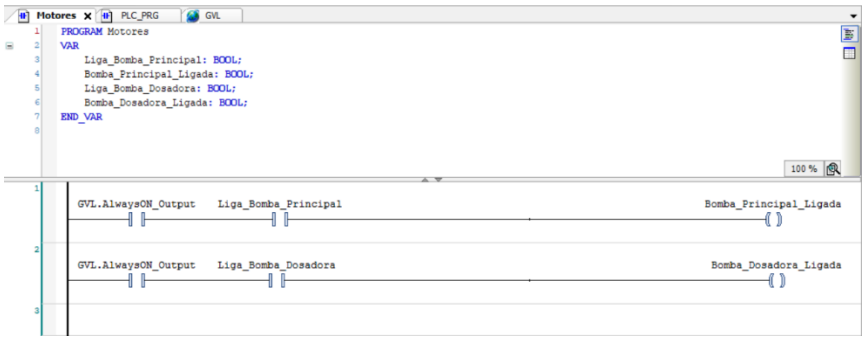
Figura 9. - Ambiente de programação



Fonte: O Autor (2023).

Para este projeto utilizou-se a linguagem LADDER, também conhecida como diagrama de relé, muito difundida em sistemas de automação, e utiliza símbolos que representam relés, contatos e bobinas, a linguagem Ladder simplifica a programação ao visualizar logicamente circuitos elétricos de controle. Essa abordagem facilita a compreensão e manutenção dos programas. Na figura 10, exemplifica-se como é estruturado o código, trazendo em uma única visualização o nome das variáveis e como elas estão interligadas entre si.

Figura 10. - Exemplo de linguagem Ladder.



Fonte: O Autor (2023).

A parte crucial foi a lógica das entradas analógicas, visto que foram elas que pilotaram todo o sistema. Foi necessário conectar todos os equipamentos de modo que não houvesse acionamentos inesperados ou falta de nutrientes à hidroponia.

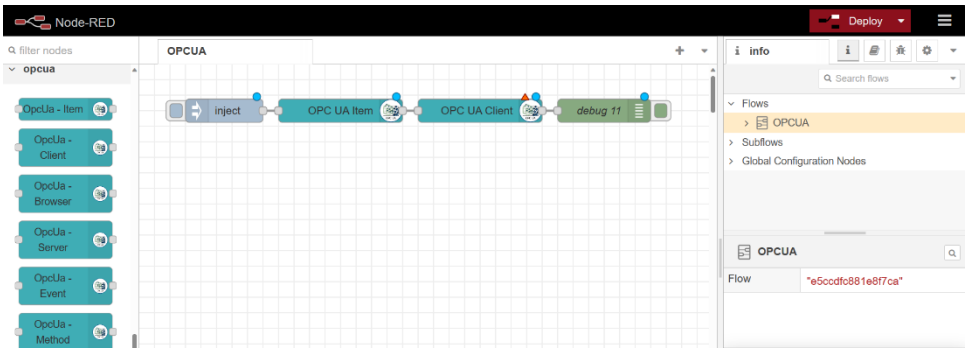
Para proporcionar ao agricultor a conectividade em seu sistema de cultivo, o protocolo de comunicação OPC UA foi no modo cliente, ele pode realizar diversas funções, como solicitar informações sobre servidores disponíveis, ler e escrever dados, além de gerenciar eventos e alarmes. Ele desempenha um papel crucial na integração de sistemas industriais, proporcionando uma abordagem padronizada e segura para a troca de informações em ambientes de automação e controle. (ROMANO, 2017).

Figura 11. - Logo OPC UA.

Fonte: OPC Unified Architecture (2017).

Este protocolo esteve presente tanto na programação do PLC quanto na ferramenta de programação IoT, Node-Red. É uma plataforma de código aberto low-code que facilita a criação de sistemas e controles, fornece uma interface visual baseada na web para criar fluxos de trabalho conectando "nós" que representam diferentes funções. Cada nó executa uma tarefa específica, e os usuários podem conectá-los para criar lógica de fluxo de dados. A figura 12 mostra como cada nó é conectado, trazendo a arquitetura de coleta de todos os dados e mostrando-os em um nó de saída, debug.

Figura 12. - Exemplo de Flow OPC UA Client.



Fonte: O Autor (2023).

A mesma plataforma disponibiliza a interface gráfica que foi utilizada para visualização dos dados.

CONCLUSÃO

Neste estudo dedicado à implementação de um sistema de controle de pH e condutividade em um ambiente hidropônico familiar, buscou-se otimizar a qualidade e a eficiência da produção agrícola. O objetivo primordial foi projetar uma solução de automação capaz não apenas de monitorar, mas também de interagir com o sistema, proporcionando aos produtores uma gestão remota por meio de uma plataforma digital integrada.

Destaca - se, especialmente, a importância das entradas analógicas na condução precisa do sistema, garantindo uma interação sensível às nuances do ambiente de cultivo.

A escolha criteriosa do protocolo de comunicação, como OPC UA, demonstrou a preocupação com uma transmissão eficiente e segura de dados. A implementação do OPC UA como cliente, aliado ao Node-Red, não só fortalece a comunicação entre o sistema e a interface, mas também abre caminho para futuras inovações e integrações.

A interface gráfica, fundamentada no Node-Red, não se limita a ser um simples visor de dados. Essa abordagem não apenas simplifica o acompanhamento da produção, mas também fomenta decisões embasadas, contribuindo para aprimoramentos contínuos na qualidade e eficiência.

Em resumo, o estudo apresentado fornece uma base sólida para a implementação de um sistema de controle automatizado em um ambiente hidropônico. A combinação de coleta de dados precisa, automação eficiente e uma interface de usuário intuitiva promete otimizar a produção, proporcionando maior qualidade e rastreabilidade aos produtos cultivados. Este projeto não apenas atende às necessidades atuais dos produtores, mas também estabelece uma estrutura para a evolução futura da agricultura de precisão e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRÍCOLAS, T. E. **hidroponia-cultivo-hidroponico-estufa-para-hidroponia-11**. Disponível em: <https://tropicalestufas.com.br/hidroponia-cultivo-hidroponico/hidroponia-cultivo-hidroponico-estufa-para-hidroponia-11/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

BACON, F. **Novum organum**. [s.l.] Clarendon Press, 1878.

BEZERRA, E.; LEVY, N.; BARRETO, P. **AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA**. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/228884069.pdf>. Acesso em: 09 set. 2023.

COELHO, B. **Tipos de pesquisa: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos**.2019 Disponível em: <https://blog.mettzer.com/tipos-de-pesquisa/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

Como funciona o Sistema de Hidroponia NFT. Disponível em: <https://hidrogood.com.br/noticias/hidroponia/como-funciona-o-sistema-de-hidroponia-nft>. Acesso em: 10 set. 2023.

DE PAULA, S. **Automação em Hidroponia: O Poder da Tecnologia no Cultivo**. **Iloveflores.com**l Love Flores, 20 ago. 2023. Disponível em: <https://iloveflores.com/automacao-hidroponia-poder-tecnologia-cultivo/>. Acesso em: 10 out. 2023

Edição 08 por Revista Hidroponia - Issuu. Disponível em: <https://issuu.com/www.revistahidroponia.com.br/docs/edicao_08>. Acesso em: 13 dez. 2023.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva.** 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm>. Acesso em: 11 set. 2023.

GRILLI, M. **De advogada a agricultora: ela faz 5 toneladas de alimento em 1 hectare no litoral da Paraíba**.2023. Disponível em: <https://exame.com/agro/de-advogada-a-agricultora-ela-faz-5-toneladas-de-alimento-em-1-hectare-no-litoral-da-paraiba/>. Acesso em: 02 out. 2023.

Hydroponics - Oklahoma state university. Disponível em: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/hydroponics.html>. Acesso em: 14 set. 2023.

Como preparar a solução nutritiva para hidroponia. Disponível em: <https://hidrogood.com.br/noticias/agronegocio/como-preparar-a-solucao-nutritiva>. Acesso em: 15 out. 2023.

MELONIO, N. **Hidroponia: conheça os prós e contra nesse tipo de cultivo - ((o)) eco**.2012. Disponível em: <https://oeco.org.br/noticias/25959-hidroponia-conheca-os-pros-e-contra-nesse-tipo-de-cultivo/>. Acesso em: 29 nov. 2023.

OPC Unified Architecture (OPC UA). Disponível em: <https://www.influxdata.com/glossary/opc-ua/>. Acesso em: 20 out. 2023.

PRESOTTO, D. Estudo sobre os principais aspectos da produção de alface hidropônica. **Utfpr.edu.br**, 2015.

Relatório de mercado de hidroponia | Tamanho, participação, crescimento e tendências (2023-28). Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/hydroponics-market>. Acesso em: 20 out. 2023.

ROMANO, M. **OPC UA: Entenda de uma vez o que é essa Tecnologia**.2017. Disponível em: <https://www.logiquesistemas.com.br/blog/opc-ua/>. Acesso em: 20 out. 2023.

Sustainable Hydroponics Production to increase food security in Jamaica. Disponível em: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/en/c/1636677/>. Acesso em: 15 set. 2023.

VILAR, D. **Definição e Composição da Solução Nutritiva para Produção Hidropônica**. 2022. Disponível em: <https://agriconline.com.br/portal/artigos/definicao-e-composicao-da-solucao-nutritiva-para-producao-hidroponica/>. Acesso em: 16 out. 2023.

VILAR, D. **Tipos de Sistemas Hidropônicos**. Disponível em: <https://agriconline.com.br/portal/artigo/tipos-de-sistemas-hidroponicos/>. Acesso em: 09 set. 2023.

WAIRICH, I. et al. SISTEMA HIDROPÔNICO. **Anais da Feira de Ciência, Tecnologia, Arte e Cultura do Instituto Federal Catarinense do Campus Concórdia**, v. 6, n. 1, p. 96–96, 2023.