

Desenvolvimento e avaliação da viabilidade técnica de dispositivos para automação hidropônica

Luiz Carlos Baron¹
Carlos Eduardo Camargo Nogueira²
Jair Antonio Cruz Siqueira³
Alcione Miotto⁴

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e avaliação de viabilidade técnica de uma automação para hidroponia com a Técnica do Filme Nutriente (NFT), com o desenvolvimento e análise de um condutivímetro com uso continuamente submerso na solução nutritiva, controle da condutividade elétrica e uma nova forma de controle de tempo da circulação da solução nutritiva, de forma que o tempo do turno de rega é em função da intensidade da iluminância, temperatura e umidade relativa do ar. O sistema mostrou-se viável, com uma interface de fácil configuração e visualização dos dados pelo operador. O controle da condutividade elétrica mostrou-se eficaz, porém com o sensor continuamente submerso, apresentou uma descalibração com valor inferior de $1,66 \text{ mS.cm}^{-1}$, devido ao efeito de eletrólise e ao acumulando impurezas nos eletrodos, porém foi possível fazer a calibração através de programação diminuindo a descalibração para $0,09 \text{ mS.cm}^{-1}$. O método apresentado para o controle do tempo de acionamento da motobomba, proporcionou uma suavização na troca dos períodos dos turnos de rega, que são variações bruscas no sistema convencional, apresentando um acréscimo de 0,74h ou 6,16% no tempo de acionamento da bomba em relação ao sistema convencional para o dia analisado, porém, esse tempo e o consumo de energia poderá ser inferior, pois dependerá das condições climáticas para o qual foi projetado. O consumo de energia diário para uma bancada com três perfis foi de $178,311 \text{ W.h.dia}^{-1}$, com um custo de energia de R\$ 4,11 ao mês considerando a tarifa local atual de $0,769 \text{ R\$.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

Palavras-chave: Automação hidropônica, Sensor de CE, NFT.

¹ Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura (UNIOESTE). E-mail: luiz.baron@ifsc.edu.br

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), PPGEA - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel, PR

³ Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), PPGEA - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Cascavel, PR.

⁴ Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), São Miguel do Oeste, SC

Abstract

This work presents the development and evaluation of technical feasibility of an hydroponic systems automation of Nutrient Film Technique (NFT), with the development and analysis of a conductivity meter with use continuously submerged in the nutrient solution, control of electrical conductivity, in addition to presenting a new form of time control of the circulation of the nutrient solution, depending on the intensity of illuminance, air temperature and relative humidity, according to the needs of the plants. The system proved to be viable, with an easy-to-configure interface and data visualization by the operator. The control of electrical conductivity proved to be effective, however with the sensor continuously submerged, it presented a miscalibration with a lower value of 1.66 mS.cm^{-1} , due to the effect of electrolysis and the accumulation of impurities in the electrodes, however it was possible to make the calibration by programming decreasing the miscalibration to 0.09 mS.cm^{-1} . The method presented for the control of the pump activation time, provided a smoothing in the change of the periods of irrigation shifts, which are sudden variations in the conventional system, presenting an increase of 0.74h or 6.16% in the activation time of the pump in relation to the conventional system for the analyzed day, however, this time and the energy consumption by the pump may be lower, as it will depend on the climatic conditions for which it was designed. Daily energy consumption for a bench with three profiles was $178.311 \text{ W.h.dia}^{-1}$, with an energy cost of R\$ 4.11 per month considering the current local tariff of $0.769 \text{ R\$.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

Keywords: Hydroponic automation, EC sensor, NFT.

1 Introdução

Estudos da ONU mostram que a população mundial terá um crescimento de 800 milhões de 2017 até 2030, com esse crescimento populacional e a escassez de terras férteis torna necessário cultivos mais intensivos e eficientes (UNITED NATIONS, 2017). Segundo Beltrano et al. (2015), Carruthers (2015) e Resh (2015), a hidroponia é uma ótima alternativa de cultivo para atender essas necessidades, pois possui as vantagens como: oferecer uma maior produção em menor área, pouca ou nenhuma necessidade de agrotóxicos para cultivos hidropônicos em abrigos, produção em áreas próximas de centros de consumo e produção em regiões áridas como no norte do Brasil e regiões de relevo acidentado. É o caso do estado de Santa Catarina (SC), que possui um relevo muito acidentado, pois o planalto ocidental domina boa parte do estado, principalmente a região Oeste de SC.

Um dos ramos da horticultura que mais cresce no Estado de SC é, justamente, a hidroponia. O estado apresenta um perfil de produtores hidropônicos que são principalmente agricultores familiares com pequenas áreas de produção. Além disso, muitos dos iniciantes na hidroponia são pessoas do meio urbano, que buscam na agricultura uma forma de ter seu negócio próprio (MORALES, 2017).

Segundo Resh (2015), dentre os sistemas hidropônicos mais utilizados está a Técnica de Filme de Nutriente (NFT), o qual possui perfis para colocar as plantas e por onde passa a solução nutritiva, descendo por ação da gravidade até um tanque, de onde a solução nutritiva é bombeada para o início dos perfis (JESUS FILHO, 2009). As principais vantagens do sistema NFT são: diminuição do tempo para cultivo, diminuição de consumo e desperdícios de água e fertilizantes, dispensa rotação de cultura, maior produtividade, melhor controle das variáveis climáticas e nutricionais (ALBERONI, 1998; PEREZ E., 2008; TEIXEIRA, 1996). Porém como suas principais desvantagens pode-se citar: o custo inicial alto, necessidade de mão de obra especializada, a dependência de eletricidade nos sistemas automáticos (PEREZ E., 2008; RESH, 2013; TEIXEIRA, 1996).

Para o sistema hidropônico NFT realizado de forma convencional, a solução nutritiva é preparada manualmente e durante o ciclo de crescimento é medido sua Condutividade Elétrica (CE), assim como sua necessidade de reposição que também é realizada manualmente. Já a circulação da solução nutritiva é realizada geralmente por bombas de Corrente Alternada (CA) controladas por temporizadores analógicos, os quais possuem tempos pré-definidos de 15 em 15 minutos apenas, não possibilitando temporizações inferiores a 15 minutos (JESUS FILHO, 2009). Tempos inadequados no turno de rega da solução nutritiva são prejudiciais para o crescimento das plantas quando submetidas à uma temperatura elevada, com longo tempo sem a circulação da solução nutritiva.

1.1 O Cultivo Hidropônico

Segundo Douglas (1987) e Jesus Filho (2009), o termo hidroponia deriva das palavras gregas: hydro = água e ponos = trabalho. Sua combinação relaciona ao cultivo na água, em que as plantas se desenvolvem sem a utilização do solo, com sua alimentação por meio de uma solução nutritiva dissolvida em água, contendo os nutrientes essenciais para as plantas.

1.2 Fatores de Desenvolvimento de Plantas

Dois dos fatores cruciais no desenvolvimento das plantas são as condições ambientais e o correto fornecimento de nutrientes. Os seguintes fatores podem ser monitorados e controlados: temperatura, circulação de ar, umidade relativa, dióxido de carbono (CO₂), luz do ambiente da instalação, qualidade, temperatura e circulação da água, pH, CE e oxigenação da solução nutritiva (RESH, 2015).

1.2.1 Nutrientes

Por meio do sistema radicular, as plantas e vegetais obtêm seus nutrientes essenciais como a água e os nutrientes minerais. Alguns são exigidos em maior quantidade, necessitando de quantidades na ordem de g/L, que são chamados de macronutrientes, como o N, P e K, entre outros. Já os micronutrientes são necessários em menores quantidades, na ordem de mg/L, como o Fe, Mn e B, entre outros (ALBERONI, 1998). Os macronutrientes não são mais importantes que os micronutrientes, apenas são exigidos em maiores quantidades pelas plantas para seu ciclo, pois cada nutriente tem sua função (BELTRANO, 2015; MALAVOLTA, 2006). Existem várias formulações de soluções nutritivas para sistemas hidropônicos, com concentrações de nutrientes diferentes, para sua escolha, devem ser analisados os seguintes itens: tipo de sistema hidropônico, época do ano, fatores ambientais, espécie vegetal, variedade cultivada, idade das plantas. (ALBERONI, 1998).

1.2.2 Fluxo de água

Segundo Martinez (2016), a taxa de fluxo deve ser aproximadamente 2 L.min⁻¹ por perfil. Resh (2015), afirma que, o fluxo da solução nutritiva deve estar entre 1 e 2 L.min⁻¹ em cada perfil, pois essa taxa de fluxo proporcionará boa oxigenação. Para Raviv e Lieth (2008), uma taxa de fluxo mais lenta que a

recomendada para manter as raízes revestidas com água pode não ser adequada em um sistema NFT, pois pode ocorrer a falta de nutrientes, especialmente para as plantas colocadas no final do perfil.

1.2.3 Temperatura do ar e da solução nutritiva

A temperatura ideal para plantas em hidroponia está entre 15 e 35 °C, variando para diferentes espécies de plantas (PEREZ, 2008). As variações de temperatura em uma solução hidropônica podem afetar o pH e a solubilidade dos nutrientes, que ocorre melhor a temperatura ideal da água entre 20°C e 22°C. Fora desta faixa, os elementos possuem dificuldade para se dissolver, podendo afetar o crescimento e a produtividade das plantas. Temperaturas fora do ideal para determinada espécie, afetam as plantas da mesma maneira que os extremos de pH, mas geralmente, a maioria das plantas crescem razoavelmente bem entre 18 e 28°C (CARRUTHERS, 2015).

1.2.4 Oxigenação

No ambiente do sistema hidropônico é preciso que haja a renovação do ar para manter as taxas de CO₂ e de oxigênio em valores adequados para, pois promove a absorção dos nutrientes pelo sistema radicular das plantas (JESUS FILHO, 2009). A oxigenação pode ser feita durante a circulação da solução no retorno ao reservatório, ou aplicando ar comprimido (ALBERONI, 1998).

1.2.5 pH

O valor de pH mais adequado para o desenvolvimento das plantas está entre 5,5 e 6,5, pois garante uma boa disponibilidade de macro e micronutrientes e o crescimento contínuo das plantas. O pH pode ser ajustado utilizando um ácido para diminuir, como ácido nítrico, ou uma base para aumentar, como hidróxido de potássio (GILL, 2016). Porém, para Furlani et al. (2009), as variações de pH na solução nutritiva são reflexos da absorção diferenciada de cátions e ânions, recomendando-se manter a solução nutritiva equilibrada em cátions e ânions para atender a demanda da planta, em vez de manter o pH em uma faixa estreita de valores a partir do uso de ácido ou de bases que são fortes para diminuir ou aumentar respectivamente o pH do meio de crescimento.

1.2.6 Condutividade elétrica (CE)

Jesus Filho (2009) afirma que, a CE representa a característica que uma solução possui de conduzir a corrente elétrica em função dos íons dissolvidos, a CE será maior quanto maior a concentração de íons na solução.

A CE da solução nutritiva pode ser aumentada pela adição de um volume desejado de uma formulação padrão de nutrientes, ou diminuída pela adição de um volume de água (GILL, 2016). A CE fornece informações sobre a concentração de sais na solução, para tomada de decisão da necessidade de se adicionar fertilizantes ou água à solução nutritiva, porém a CE permite somente determinar a quantidade total de sais na solução, não permitindo a identificação de quais nutrientes estão em falta ou excesso na solução nutritiva (JESUS FILHO, 2009).

O tipo de cultura e as condições climáticas definem a faixa da CE da solução nutritiva, pois em temperaturas elevadas as plantas consomem mais água que nutrientes, recomendando-se trabalhar com CE entre 0,6 a 1 mS.cm⁻¹ e, em baixas temperaturas, na faixa de 1,5 a 2,5 mS.cm⁻¹ para alface (JESUS FILHO, 2009 e FURLANI et al.,2009).

1.3 *Sistemas Hidropônicos Automatizados Existentes*

Sistemas automatizados aplicados à hidroponia já existem, principalmente quando aplicados em sistemas de grande produção à nível industrial. Para sistemas hidropônicos automatizados de médio e grande porte o controle é realizado geralmente por Controlador Lógico Programável (CLP), ideal para uso em um ambiente industrial (FRANCHI, 2011; e CAPELLI, 2013). No entanto, para sistemas hidropônicos NFT de pequeno porte, o controle é realizado geralmente por microcontroladores, uma alternativa para o desenvolvimento de controles mais simples, de baixo custo (STEVAN JUNIOR e ADAMSHUK SILVA, 2015; OLIVEIRA e ZANETTI, 2015).

Nos últimos anos tem surgido vários módulos eletrônicos principalmente voltados para automações com microcontroladores e que podem ser utilizados na área de hidroponia, o que contribuiu para automações de pequeno porte principalmente por parte da cultura *maker*, com aplicações atuais na área de Internet das Coisas (*IoT*). Como projetos de pequeno porte nessa área pode-se

citar o de Domingues et al. (2012), que realiza o gerenciamento por software com controle de CE e pH da solução nutritiva, através de válvulas solenoides que despejam nutrientes e soluções ácidas ou base. Já o projeto de Lima (2014), destinado ao interior de uma estufa, realiza o monitoramento da solução nutritiva, como: temperatura, CE, pH, umidade e luminosidade por meio de uma rede de sensores sem fios, *ZigBee*. A principal dificuldade relatada do projeto foi com a calibração dos sensores, devido aos sensores de pH e de CE necessitarem de calibrações periódicas. Já o projeto de Palande, Zaheer e George (2018), baseado em uma miniestufa com um sistema hidropônico automático com uma rede *IoT*, em que o usuário só precisa plantar uma muda e definir os parâmetros iniciais, uma vez feito, o sistema é capaz de manter os parâmetros e promover a saúde para o crescimento das plantas de forma independente, com controle de CE e do pH.

Maldonado (2019), apresenta uma revisão sobre vários sistemas de automação e robótica usados em sistemas hidropônicos, que em geral para pequenos sistemas os estudos não consideram períodos inteiros de cultivo, apenas um rápido controle e sem verificar a possível descalibração do medidor de CE quando continuamente submerso, sendo que isto pode dificultar o cultivo pelo operador além de gerar perdas econômicas ao produtor.

Dessa forma, este trabalho pretende contribuir com os estudos na área de automação de sistemas hidropônicos NFT voltado para pequenos produtores, apresentando os principais resultados da criação de um protótipo de automação para hidroponia NFT. É apresentado o desenvolvimento e análise de um condutivímetro com uso continuamente submerso na solução nutritiva, verificando suas descalibrações durante o cultivo comparando com medidores de referência, é realizado o controle da CE da solução nutritiva e apresentado uma nova forma de controle de tempo de circulação da solução nutritiva definida por fatores de iluminância, temperatura do ar e umidade relativa.

2 Material e Métodos

O experimento consistiu em um teste do sistema automatizado com o cultivo hidropônico realizado durante 12 dias em uma casa de vegetação.

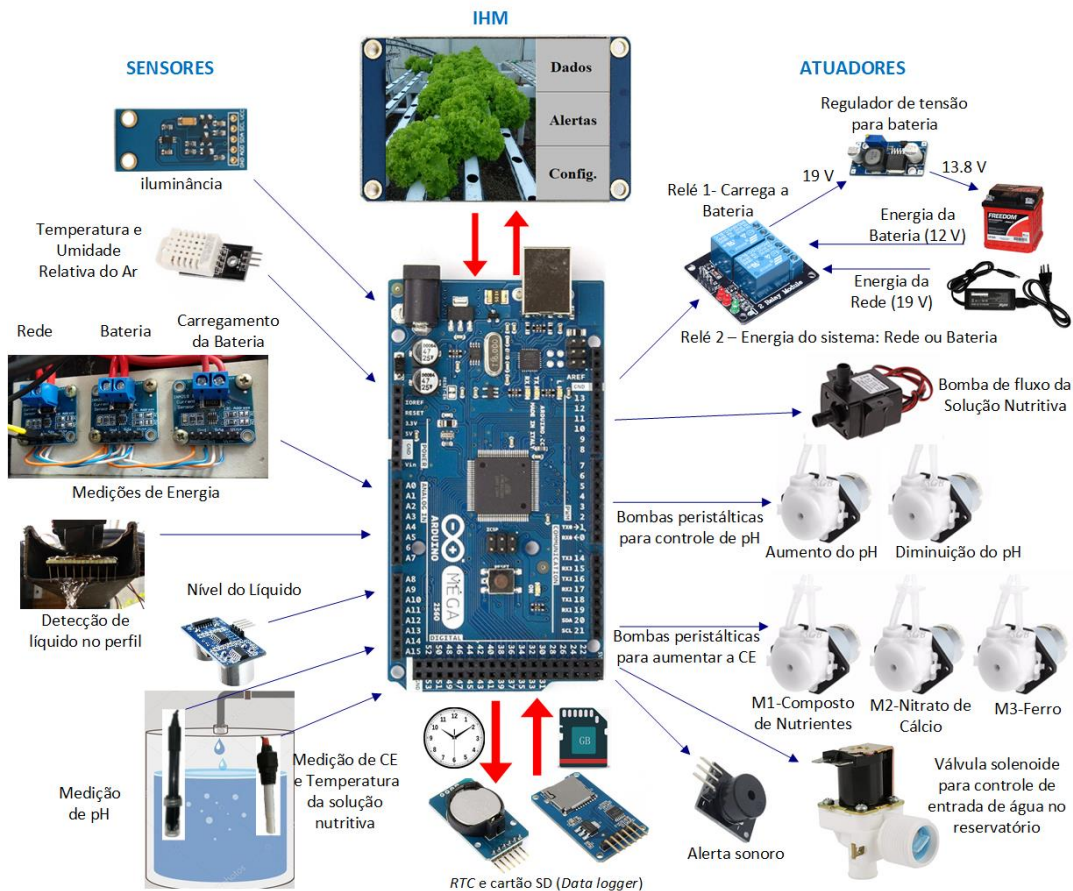
2.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), campus de São Miguel do Oeste, Santa Catarina-Brasil, localizado a 655 metros acima do nível do mar e temperatura média anual em 2019 entre 20 e 22 °C (INMET, 2020). De acordo com Climate-Data (2020), a temperatura média mais alta é para o mês de janeiro com 22,6 °C, e a média mais baixa é para o mês de junho com 13,4 °C. A região possui uma irradiação global horizontal com média anual entre 4,5 e 4,75 kWh m⁻² dia⁻¹ (PEREIRA, 2017).

2.2 Automação do sistema hidropônico NFT

A automação do sistema hidropônico NFT proposto é representado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com o diagrama esquemático com os sensores, atuadores, controlador, registrador de dados e Interface Homem Máquina (IHM). O controlador utilizado foi a plataforma do Arduino Mega 2560, para registrar os dados coletados, é utilizado um módulo *Real Time Clock (RTC)*, modelo DS3231. Os dados são armazenados em um módulo de cartão micro sd. A programação do microcontrolador foi realizada na linguagem C/C++, através do software livre Arduino (IDE), versão 1.8.5. A interface com o usuário foi realizada via tela IHM Nextion 2.4", com sua programação própria no software Nextion Editor.

Figura 1 - Diagrama esquemático do sistema hidropônico automatizado



Para a alimentação geral do sistema de automação, foi utilizado uma fonte de notebook (220 Vca para 19Vcc, 3,42A, 65W), alimentando um circuito com reguladores de tensão, pois o sistema utiliza tensões de 5, 12 e 13,8 Vcc.

Os sensores utilizados foram: Sensor de Iluminância GY-302 (CI BH1750VFI), Sensor DHT22 para medição de temperatura e umidade relativa do ar, Sensor INA219 de corrente, tensão e potência para medição de energia.

Para a circulação da solução nutritiva foi utilizado uma bomba 12 Vcc tipo Brushless, Modelo AD20P-1230A, de 240 L.h⁻¹, 4,2 W, para uma altura de 3 m, com um fluxo medido por perfil de 1,33 L.min⁻¹, sendo que cada perfil exige de 1 a 2 L.min⁻¹ para a planta de alface. Para o acionamento da motobomba, das bombas peristálticas e da eletroválvula foi construído um circuito para o acionamento por meio de optoacopladores 4N25 e transistores BC517-NPN.

Para o sistema automatizado, foram realizadas programações em duas plataformas distintas, uma para o Arduino Mega 2560, utilizando o software Arduino IDE, e outra para a interface IHM com o usuário na tela Nextion, utilizando o software Nextion Editor.

A IHM foi projetada com uma tela principal (Figura 2a), a qual dá acesso às outras três telas. Tela de Dados do sistema (Figura 2b) que mostra os valores das últimas medições e configurações. Tela de Alertas (Figura 2c) que mostra a alimentação da rede, se está ligada ou desligada, o valor da tensão da bateria, se a bomba está funcionando ou está danificada e se os perfis estão desobstruídos, mostrando quais perfis estão obstruídos. Tela de configuração (Figura 2d), para ajuste da faixa do valor de pH, CE, número de bancada (até 10) e de perfis (até 7) conectados no sistema. Para os testes foram utilizados apenas uma bancada com três perfis.

Figura 2 - a) Tela principal do sistema, b) Tela de dados, c) Tela de alertas e d) Tela de configuração do sistema.



Para verificar o consumo de energia do sistema, foram realizadas medições através dos três sensores INA219 da *Texas Instrument*, com precisão de 1,5% e resolução de 0,256 mW, medindo a potência em CC consumida pela rede, pela bateria e para carregar a bateria, calculando o consumo de energia, durante um período de 24h, a cada 3 segundos aproximadamente.

2.3 Bancada hidropônica NFT e solução nutritiva utilizada

Para o ensaio, foi utilizado uma bancada hidropônica tipo NFT, com um reservatório de solução nutritiva com capacidade de 250L. A bancada é composta por 3 perfis com 4,4m de comprimento, distanciados de 23cm, com 17

mudas em cada perfil, distanciados em 25cm e com 3,39 graus de inclinação dos perfis, possuindo um desnível de recalque da bomba de 106 cm.

A solução nutritiva para fornecimento de nutrientes para as plantas e para o controle da CE é formada por três componentes com a seguinte composição para cada 1.000 litros (HIDROGOOD, 2020): 660g de Hidrogood Fert Composto, com todos os macronutrientes, 495g de Nitrato de Cálcio e 20g de Ferro.

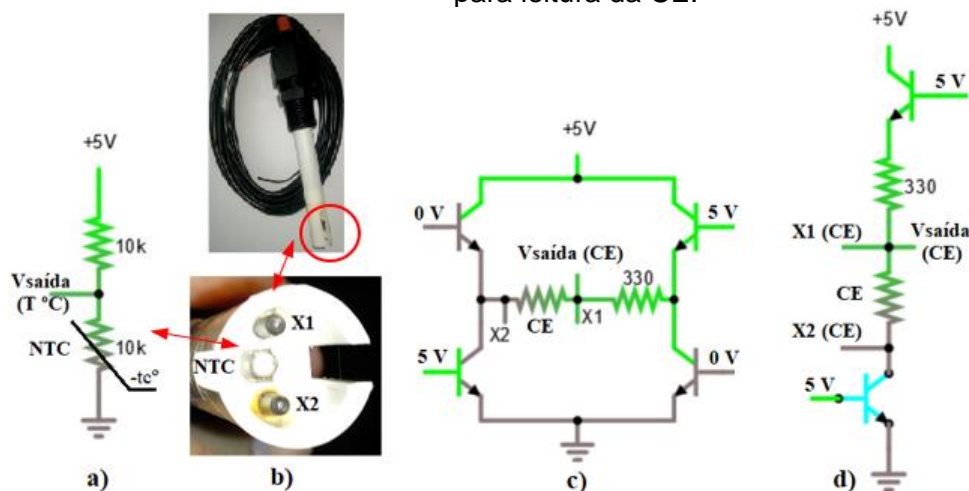
A solução nutritiva foi preparada no tanque com água de forma manual inicialmente, preenchendo com 200L, com condutividade inicial de 1 mS.cm⁻¹, com a seguinte composição: 132g de Hidrogood Fert Composto, 99g de Nitrato de Cálcio e 4g de Ferro. As três composições foram feitas separadamente também para os recipientes de 5L do sistema automatizado, porém com uma composição duas vezes maior, com cada uma das três composições em um recipiente diferente, para ser adicionado posteriormente no tanque pelo sistema automatizado para aumento da CE. A separação em recipientes distintos foi necessária para evitar reações químicas indesejadas que ocorreriam devido a concentração elevada de elementos químicos com potencial de ligação, exemplo: Fe e P; Ca e P (FURLANI et al., 2009).

Para o teste foram utilizadas mudas de alface crespa, com tamanho apropriado para o início da fase em sistema hidropônico, as mudas foram colocadas em recipientes de copos plásticos descartáveis para servirem de sustentação para as mudas, além de reduzir a luz solar nas raízes e diminuir a criação de algas.

2.4 Medição e controle da CE da solução nutritiva

Para medição da CE e da temperatura da solução nutritiva foi construído o circuito elétrico para o medidor adquirido com uma célula de constante 1 (Figura 3b), o qual possui juntamente com a célula de condutividade um sensor *Negative Temperature Coefficient (NTC)* de 10k (Figura 3a-b). O circuito de acionamento e leitura da CE foi criado, realizando uma programação específica para este medidor.

Figura 3 - Circuito criado para medição de temperatura e CE do líquido. a) Circuito divisor de tensão com *NTC* para medição de temperatura, b) Célula de CE e *NTC* com detalhe dos eletrodos, c) Circuito criado para alternar a polaridade nos eletrodos, para evitar o acúmulo de íons nos eletrodos, d) Configuração de polaridade para leitura da CE.



Para realizar a medição da CE, o circuito deve alternar a polaridade dos eletrodos do condutivímetro, para evitar o efeito de polarização que causa o acúmulo de íons na superfície dos eletrodos, pois cria uma resistência de polarização em sua superfície, levando a medições erradas. Para isso, foi criado um circuito ponte h com transistores BC517 e um resistor de 330Ω em série com os eletrodos do condutivímetro (Figura 3c), criando um circuito divisor de tensão (Figura 3d **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Para a medição da temperatura, foi montado o circuito divisor de tensão (Figura 3a), com o sensor NTC em série com um resistor de $10\text{ k}\Omega \pm 1\%$.

O sensor de CE foi posicionado no reservatório afastado do retorno da solução nutritiva da bancada e da entrada de água, realizada através da válvula solenoide, para que as medições apresentassem menor variação.

Para realizar as medições de CE com o condutivímetro criado, as medições são feitas invertendo a polaridade dos eletrodos com uma frequência de 11,9 kHz, sendo feitas as leituras sempre em um mesmo sentido de polarização. Na programação para se ter uma leitura mais estável e confiável são realizadas 100 medições da CE e armazenados em um vetor, os valores são ordenados do menor ao maior valor e então são descartados os 20 maiores e os 20 menores

valores, então é realizada uma média entre as 60 medições intermediárias consideradas e essa média é armazenada em um vetor de três posições. Este processo é feito até que as três últimas médias sejam iguais, então este é o valor da CE medida pelo condutivímetro criado.

Para fazer a calibração e obter função de resposta do medidor de CE construído para uma faixa de 0,5 até 5 mS.cm^{-1} , foi comparado com um medidor de CE de bancada utilizado como referência, Marca CVM, Modelo HMCDB-150, com faixa de medição de $(2 \pm 0,02) \text{ mS.cm}^{-1}$, com resolução de $0,001 \text{ mS.cm}^{-1}$, e $(20 \pm 0,2) \text{ mS.cm}^{-1}$, com resolução de $0,01 \text{ mS.cm}^{-1}$, com compensação automática de temperatura referenciada a 25°C .

Para realizar as medições de tensão analógica do condutivímetro criado e comparar com a CE medida pelo condutivímetro de bancada, a solução para os testes foi mantida em 25°C para neutralizar as correções de CE realizadas pelo medidor de bancada de referência. Foi utilizado inicialmente água pura como solução para as medições e então acrescentado a cada medição a solução nutritiva que é utilizada no sistema hidropônico, aumentando assim sua CE, para ter uma resposta mais fiel à aplicação. Foram realizadas medições de comparação e verificação de função de resposta no início e no final dos testes de cultivo que duraram 12 dias, verificando a descalibração do condutivímetro construído durante o período. A resposta do medidor criado é apresentada com sua incerteza padrão expandida, com nível de confiança de 95%, fator $k=2$, considerando a incerteza padrão combinada do medidor de referência e o desvio padrão das medições de resposta.

Durante os testes de cultivo a CE foi acompanhada com um medidor de CE portátil que possui uma faixa de medição de $(2,5 \pm 0,16) \text{ mS.cm}^{-1}$ e resolução de $0,01 \text{ mS.cm}^{-1}$, para acompanhamento e verificação de descalibração para realizar uma possível calibração via programação, com um fator de correção, em substituição à uma calibração manual.

A CE depende da temperatura, neste caso os valores da CE do medidor criado são referenciados a 25°C , utilizando como referência a metodologia 2510

Contuctivity-B (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 2017), conforme Equação ((1)).

$$CE_{25^{\circ}\text{C}} = \frac{CE_{medida}}{1 + (0,019 * (T - 25))} \quad (1)$$

Para o controle da CE da solução nutritiva no tanque foram utilizados três bombas peristálticas de 12Vcc para elevação da CE, através da inserção de um volume de solução nutritiva concentrada, armazenadas em três recipientes de 5L: solução de Hidrogood Fert Composto (M1-Figura 1), solução de Nitrato de Cálcio (M2-Figura 1) e solução de Ferro (M3-Figura 1).

A leitura da CE no sistema automatizado é feita sempre após o desligamento da bomba de circulação da solução nutritiva para diminuir variações nas medições.

Para o controle da CE pelo sistema automatizado foi programado para aumentar a CE do sistema diariamente em $0,1 \text{ mS.cm}^{-1}$, baseado na CE_{medida} , através da inserção da solução nutritiva dos três recipientes de 5L com as bombas peristálticas até atingir 2mS.cm^{-1} no décimo dia, se estabilizando neste valor até o final do cultivo. Caso a CE da solução nutritiva esteja menor que o previsto para o dia, o sistema atua para ajustar ao valor com acionamentos das bombas peristálticas, realizados a cada 4 ciclos de circulação da solução nutritiva, juntamente com o acionamento da bomba de circulação de solução nutritiva, para ajudar a diluir a solução no tanque.

A primeira vez que o sistema insere a solução nutritiva para o aumento da CE é feito através do acionamento por 30 segundos das bombas peristálticas, sendo medido a CE antes e após a inserção da solução nutritiva, então é realizado o cálculo de proporção de alteração da CE com o tempo de acionamento da solução nutritiva e assim determinar qual a quantidade a ser acionada para o próximo ajuste da CE no tanque.

A entrada de água no tanque, necessária devido à evaporação e evapotranspiração, tende a diminuir a CE da solução nutritiva, de forma que foi programado para realizar a entrada da água ativando a eletroválvula por 30 segundos quando o nível (detectado pelo sensor ultrassônico) diminuir 2cm.

2.5 Programação do controle do turno de rega da solução nutritiva

Para o tempo do turno de rega do fluxo da solução nutritiva nos perfis, foi criado um método a partir de uma função que depende de três fatores, relacionados diretamente à luminosidade e à temperatura do ar e inversamente proporcional à umidade relativa, que alteram o tempo de permanência no modo ligado e desligado da bomba de solução nutritiva. Pois, com a temperatura e a iluminância do ambiente mais elevada e menor umidade relativa do ar, existe uma maior necessidade de água pelas plantas, enquanto que, com a temperatura e a iluminância do ambiente baixa e maior umidade relativa do ar, existe uma menor necessidade de água pelas plantas. Para aplicação deste método foi criado três fatores (F1, F2 e F3), um para cada variável e um fator final (FF) que engloba os três fatores.

F1 - Temperatura do ar: foi limitado entre 5 e 40 °C, o qual é transformado em um fator com variação de 0,2 até 1, onde 5 °C ou menor corresponde à 0,2 e 40 °C ou maior corresponde à 1, e entre 5 e 40 °C correspondem proporcionalmente de 0,2 a 1.

F2 – Umidade relativa: foi limitado entre 20% e 100%, o qual é transformado em um fator inversamente proporcional de 1 a 0,2, onde 100% de umidade corresponde à 0,2 e 20% corresponde a 1.

F3 – Luminosidade do ambiente: foi limitado entre 1 a 40.000 lux, o qual é transformado em um fator de 0,01 a 1 proporcionalmente.

O fator final (FF) dado pela Equação (2) é utilizado para calcular o tempo de permanência da bomba ligada, que é considerado com 40% de F1, 40% do F2 e 20% do F3, pois é considerado que os fatores de temperatura do ar e umidade relativa afetam em maior proporção a evapotranspiração pelas plantas.

$$FF = (F1 * 0,4) + (F2 * 0,4) + (F3 * 0,2) \quad (2)$$

O Fator final (Equação (2)) é multiplicado por um período adotado de 20 minutos, o resultado corresponde ao tempo de bomba ligada, conforme Equação (3). O tempo de bomba desligada é de 25 minutos subtraído o tempo já calculado de bomba ligada, conforme Equação (4). O tempo de 20 e 25 minutos foram

adotados em razão das altas temperaturas do período de ensaio, pois a temperatura ambiente dentro da casa de vegetação chega em torno de 55 °C.

$$Tempo_{Boma\ Ligada} = 20 * FF (min) \quad (3)$$

$$Tempo_{Boma\ Desligada} = 25 - Tempo_{Boma\ Ligada} (min) \quad (4)$$

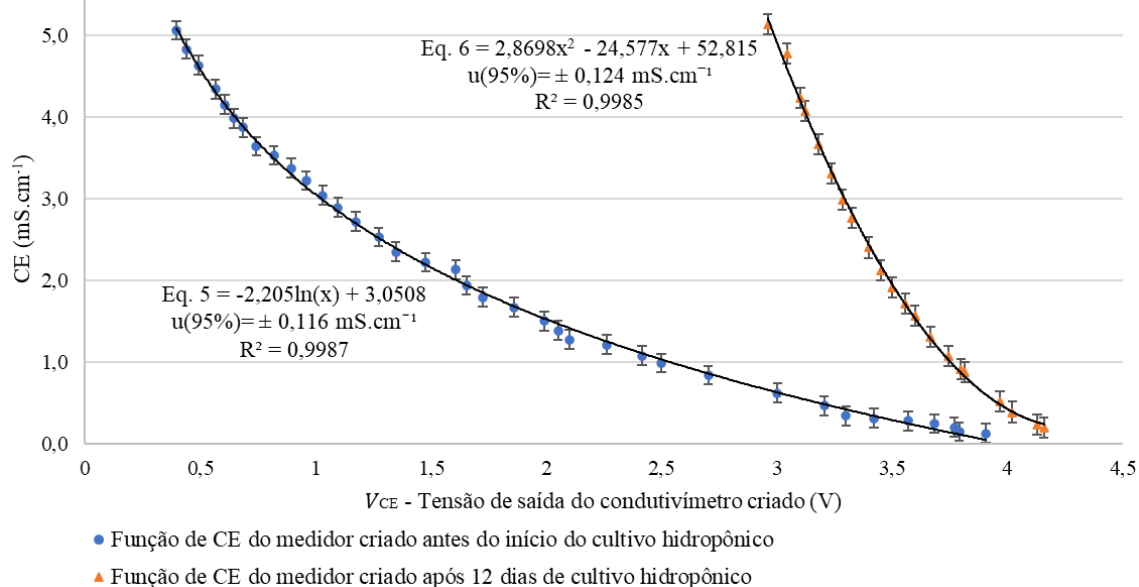
3 Resultados e Discussão

Nos tópicos a seguir são apresentados os resultados e na sequência a análise e discussões dos resultados dos testes do sistema de automação para hidroponia construído.

3.1 Sensor de CE da solução nutritiva

As funções de resposta do medidor de CE criado em comparação com o medidor de bancada como referência, com os 12 dias de teste, antes e após o cultivo hidropônico, podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 - Resposta do medidor de CE criado do sistema automatizado em comparação com o medidor de bancada, antes e após os 12 dias de cultivo hidropônico, considerando a incerteza expandida com intervalo de confiança de 95%.



A função que melhor representa a resposta da CE do sensor criado, antes e após o cultivo, é dado respectivamente, por regressão logarítmica (Equação (5)) e por função polinomial quadrática (Equação (6)), conforme Figura 4.

$$CE_{Antes\ do\ cultivo} = -2,205 * \ln(V_{CE}) + 3,0508 (mS.cm^{-1}) \quad (5)$$

$$CE_{\text{Após o cultivo}} = 2,8698 * V_{CE}^2 - 24,577 * V_{CE} + 52,815 \text{ (mS.cm}^{-1}\text{)} \quad (6)$$

Comparando com o medidor de CE de bancada a incerteza padrão expandida do medidor criado é de $\pm 0,116 \text{ mS.cm}^{-1}$ para a Equação (5) e de $\pm 0,124 \text{ mS.cm}^{-1}$ para a Equação (6) com intervalo de confiança de 95%.

Verificando na Figura 4 a diferença dos resultados entre as duas equações, antes do cultivo (Equação (5)) e após o cultivo (Equação (6)), pode-se observar que para a CE no final do cultivo que deve ser próxima de $2,00 \text{ mS.cm}^{-1}$, a tensão medida pelo Arduino seria de $3,5 \text{ V}$ aproximadamente, que seria uma CE de $1,95 \text{ mS.cm}^{-1}$ com a Equação (6), o que corresponderia pela Equação (5) a uma CE de $0,29 \text{ mS.cm}^{-1}$, ou seja uma descalibração de $1,66 \text{ mS.cm}^{-1}$ inferior ao real. Este erro significativo na medição da CE leva a erros significativos também no controle da CE, pois gera uma inserção de maior quantidade de solução nutritiva concentrada para se tentar ajustar o valor da CE da solução nutritiva no tanque. Na Figura 4, para o valor de $2,00 \text{ mS.cm}^{-1}$ da Equação (5), corresponderia a uma CE maior que 5 mS.cm^{-1} , na Equação (6) que seria a equação correta para o final do cultivo. Este erro gera perdas de produtividade que segundo Calori et al. (2014) e Rodrigues et al. (2015), CE acima de $1,5 \text{ mS.cm}^{-1}$, pode reduzir o crescimento e o consumo de água pelas plantas de forma linear decrescente.

Durante os testes do cultivo hidropônico, com o acompanhamento da CE com o medidor portátil, foi observado a descalibração no condutivímetro criado do sistema automatizado, passando a medir aproximadamente $0,03 \text{ mS.cm}^{-1}$ abaixo da medição considerada correta comparada com o medidor portátil, e isto ocorreu a cada inserção da solução nutritiva concentrada no tanque, aumentando seu erro a cada inserção. Para a recalibração do sensor é possível realizar de duas formas, por programação, ou com o aumento da resistência que é conectada em série aos eletrodos do condutivímetro criado. Neste caso foi adotado uma calibração por programação, com a utilização da função inicial logarítmica (Equação (5)) acrescentada de um fator de calibração (FC) de $0,03$ a cada nova inserção da solução nutritiva concentrada, conforme Equação 7.

$$CE_{\text{calibrada por programação}} = -2,205 * \ln(V_{CE}) + 3,0508 + FC \text{ (mS.cm}^{-1}\text{)} \quad (7)$$

Acredita-se que a deposição de impurezas sobre os eletrodos e o efeito da eletrólise aumenta a resistência entre os eletrodos, aumentando a tensão medida pelo microcontrolador, diminuindo a CE da medição, necessitando de uma calibração na equação de medição. Segundo Sá (2017), em seu estudo de desenvolvimento de um condutivímetro para hidroponia, também relatou que durante um ciclo de cultivo o sensor de CE criado passou a apresentar valores cada vez mais inferiores ao medidor portátil utilizado como referência para acompanhamento. Lima (2014), em seu sistema de comunicação e controle para hidroponia, também relatou que a principal dificuldade do projeto está relacionada com a calibração dos sensores de pH e de CE, pois necessitam de calibrações periódicas.

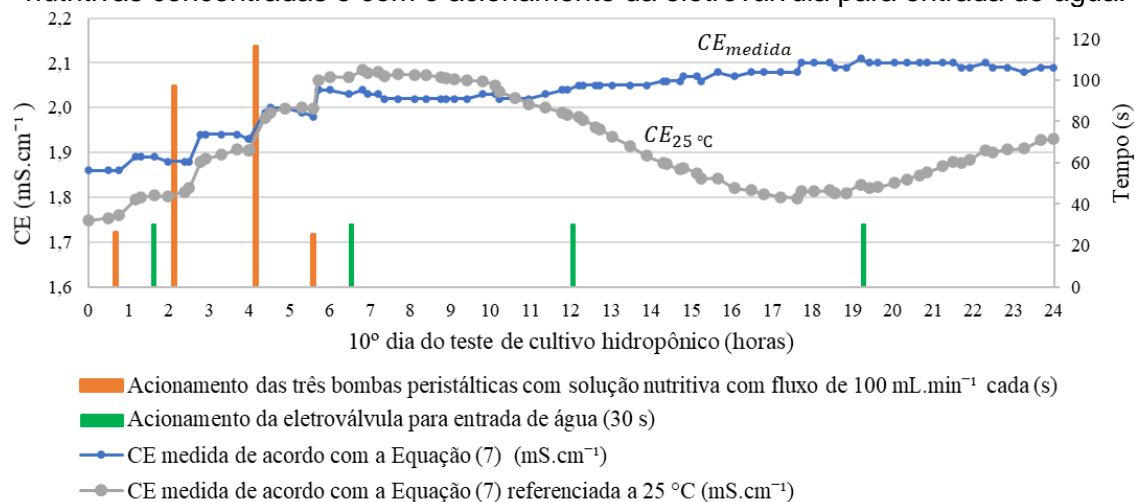
Ao final do cultivo o FC com calibração por programação foi de 1,7492 para a Equação (7), dessa forma, ao comparar as Equações (6(5) e (7) para uma tensão de 3,5 V, o que corresponderia à uma CE real de 1,95 mS.cm⁻¹ para a Equação (6) e de 2,04 mS.cm⁻¹ para a Equação (7), ou seja, um erro de 0,09 mS.cm⁻¹. Este erro pode ser aceitável considerando que a CE para o cultivo deve ser de 1.00 a 2.00 mS.cm⁻¹, porém neste caso o medidor calibrado por programação serve apenas para medições próximas do valor atual da CE e deve ser analisado para cada local de instalação e acompanhado suas alterações.

Para diminuir esse erro pode-se adotar outros materiais para os eletrodos ou inserir o medidor de CE apenas ao medir, levando mais tempo para se ter descalibrações significativas. Outra opção é utilizar um medidor de CE indutivo, que pode ficar continuamente submerso, sem contato direto com a solução nutritiva, porém no momento existe sensor indutivo de CE apenas para sistemas industriais com um custo relativamente elevado para projetos de pequeno porte.

3.2 Controle da CE da solução nutritiva

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o controle da CE para o 10^o dia de teste do cultivo, quando o valor de referência da CE passou de 1,9 para 2,0 mS.cm⁻¹, com a medição da CE realizada pelo condutivímetro criado de acordo com a Equação (7) com calibração por programação.

Figura 5 - Controle da CE para o 10º dia de teste de cultivo hidropônico, com a resposta da CE com o acionamento das bombas peristálticas com as soluções nutritivas concentradas e com o acionamento da eletroválvula para entrada de água.



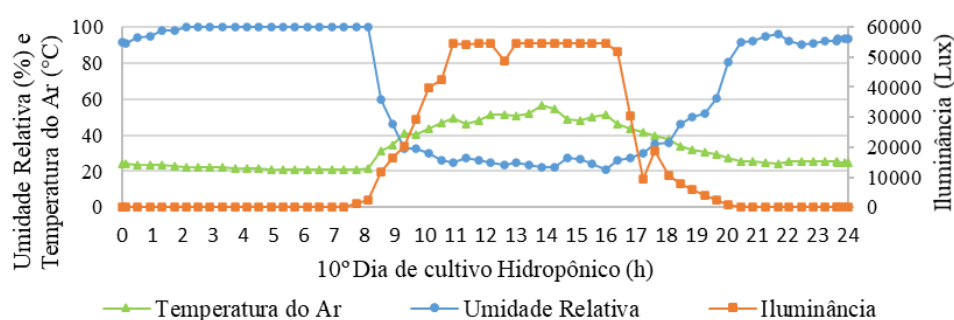
Ao analisar a resposta da CE à inserção de nutrientes, dado que o sistema controla com base no valor da CE_{medida} , é possível verificar que o sistema ajustou a CE, pois sua referência no dia anterior (9º dia) era de 1,9 mS.cm⁻¹ e no 10º dia passou a ser de 2,0 mS.cm⁻¹, o que fez o sistema atuar para a nova referência. Porém, das 11h às 18h ainda é possível notar que houve um leve aumento da CE mesmo horas após a última inserção de nutrientes, isso se deve ao fato do aumento da temperatura da solução nutritiva que faz com que o valor da CE_{medida} seja maior. Ao observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** o valor da CE referenciada a 25 °C ($CE_{25°C}$) é possível observar essa diferença, além de mostrar que um controle da CE com base medição de $CE_{25°C}$ torna o controle mais difícil além de não ser adequado, dado às grandes variações de temperatura da solução nutritiva durante um dia. Já as inserções de água no tanque através do acionamento da eletroválvula por 30 segundos, não proporcionou variações visíveis na CE.

Domingues et al. (2012), apresentou o controle da CE, porém apenas para um pequeno intervalo de 20 minutos, sem verificar possíveis descalibrações do sensor de CE durante um cultivo hidropônico, o qual pode apresentar grandes variações em suas medições quando inserido continuamente na solução nutritiva apenas em um ciclo de cultivo, que geralmente é de 20 a 30 dias.

3.3 Análise do sistema hidropônico convencional e automatizado

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra os gráficos das variações da iluminância, temperatura do ar e umidade relativa para um dia inteiro de cultivo dentro da estufa, sendo que o tempo de circulação da solução nutritiva depende de 20% da iluminância, 40% da temperatura e 40% de umidade relativa, conforme programado.

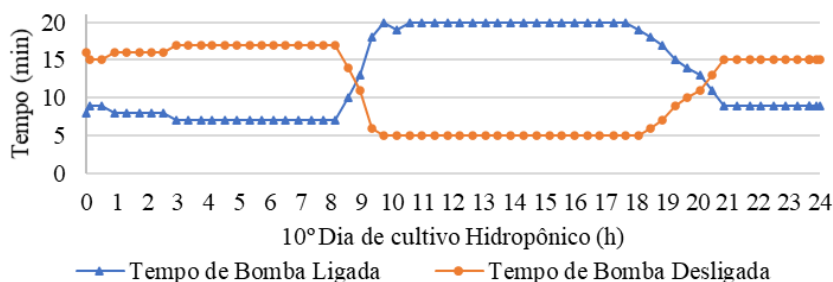
Figura 6 - Variação da iluminância, temperatura e umidade relativa do ar durante o 10º dia de cultivo.



A iluminância atinge seu valor máximo das 11h às 16h. Nota-se que a umidade relativa do ar no interior da estufa sofre uma queda significativa durante o dia, passando de 99,9% à noite para 21,9% durante o dia. Da mesma forma, a temperatura varia significativamente, de 20,6 °C durante a noite para 56,6 °C durante o dia.

A variação do tempo de bomba ligada e desligada da solução nutritiva para o 10º dia de cultivo pode ser vista na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, nota-se que entre das 10h até as 18h o tempo de bomba ligada se estabelece em seu valor máximo de 20 minutos, assim como o tempo de bomba desligada se estabelece no menor valor de 5 minutos, isto devido aos altos valores de iluminância e temperatura do ar, assim como a baixa umidade relativa do ar. Com o sistema criado para o turno de rega da bomba, para o dia de cultivo das medições apresentadas o sistema ficou com maior tempo de bomba ligada das 9h às 20h, e no período das 0h às 9h e das 20h às 24h o tempo de bomba desligada foi superior ao da bomba ligada.

Figura 7 - Variação do tempo de turno de rega da bomba em função da iluminância, temperatura e umidade relativa do ar para o sistema automatizado.



Com o sistema automatizado a variação do tempo de acionamento da motobomba apresentou uma suavização na inversão dos períodos dos turnos de rega em relação ao sistema convencional com timer analógico, com tempos múltiplos de 15 minutos, geralmente 30 min ligados e 15 min desligados das 6h às 22h e com 15 min ligados e 60 min desligados das 22h às 6h.

O sistema automatizado apresenta sua variação do tempo de acionamento da bomba conforme as variações da iluminância, temperatura e umidade do ar, o que para o início do dia essas variações apresentam uma variação mais rápida, das 8h às 9:30h, pois, ao aparecer a iluminação solar, logo se aquece em uma casa de vegetação, porém ao entardecer o sistema mantém por um período maior sua temperatura do ar e umidade relativa na casa de vegetação, apresentando uma variação do tempo de bomba acionada e desligada com um tempo mais lento, das 18h às 21h.

Para o dia considerado, pode-se perceber que o sistema apresentou uma saturação entre as 10 e 17h, pois os fatores foram ajustados em seus limites para o período considerado, dado que a iluminação ultrapassou os 40.000 lux, a temperatura do ar ultrapassou os 40 °C, e a umidade relativa do ficou próximo do valor mínimo de 20% dentro da casa de vegetação.

Os tempos da bomba no sistema automatizado foram ajustados para que, tanto o tempo de bomba ligada quanto de bomba desligada fossem de no mínimo 5min e no máximo 20 minutos, porém esse tempo pode ser ajustado.

O sistema automatizado criado para o tempo de acionamento da bomba de fluxo da solução nutritiva pode auxiliar a planta a ter uma melhor circulação da

solução nutritiva dependendo dos fatores climáticos adversos que podem prejudicar seu desenvolvimento, pois conforme foi visto a temperatura na casa de vegetação alcança valores muito acima do ideal para o cultivo de alface, que seria entre 18 e 28°C (CARRUTHERS, 2015).

A média de potência total consumida (fonte + bateria) para o período de 24h do 10º dia de cultivo é de aproximadamente 7,549 W.h⁻¹. A energia fornecida pela rede neste período foi de 134,631 W.h.dia⁻¹ e a energia fornecida pela bateria foi de 43,679 W.h.dia⁻¹, totalizando 178,311 W.h.dia⁻¹, desconsiderando as perdas na fonte CA/CC e dado que neste período o carregador da bateria não foi acionado. Considerando a tarifa atual da concessionária local de 0,769 R\$.kW⁻¹.h⁻¹, em um mês o custo é de aproximadamente R\$ 4,11.

Comparando o consumo apenas da bomba, no sistema convencional em que a bomba possui um ciclo de 15 min ligada e 60 min desligada das 21h até as 6h, 30 min ligada e 15 min desligada das 6h até as 21h, neste caso a bomba permanece ligada 12h das 24h por dia. No sistema automatizado, considerando o dia de teste do cultivo mostrado na Figura 7, a bomba permaneceu 12,74h ligada e 11,26h desligada, o que representaria um consumo de energia de 6,16% a mais no sistema automatizado. Porém esse consumo de energia pela bomba dependerá das condições climáticas de iluminância, temperatura do ar e umidade relativa, para o qual o sistema foi projetado para atender melhor à demanda da planta, podendo apresentar um consumo significativamente menor ao convencional em dias nublados, com baixa temperatura e alta umidade relativa.

Ressalta-se que o teste foi realizado com uma bomba CC, 12 Vcc, 4,2 W, com capacidade de 240 L.h⁻¹, que realizou a circulação da solução nutritiva para três perfis de uma bancada apenas. Porém, pode-se utilizar também uma bomba CA para uma maior circulação de solução nutritiva, bastando acrescentar uma contatora no lugar da bomba CC. Considerando que o consumo é em relação ao sistema automatizado juntamente com a bomba, pode-se dizer que o sistema apresenta um baixo consumo de energia relativo.

4 Conclusões

O sistema de automação hidropônica NFT apresentou uma interface de fácil visualização e configuração dos dados pelo operador.

As duas funções de respostas obtidas do medidor de CE do tipo eletrodo, para antes e após o cultivo hidropônico, quando continuamente submerso na solução nutritiva, apresentaram uma diferença de medição de $1,66 \text{ mS.cm}^{-1}$, mostrando que seu uso dessa forma pode levar a uma grande descalibração e necessita de um acompanhamento técnico mesmo com uma calibração por programação que apresentou uma descalibração aceitável de $0,09 \text{ mS.cm}^{-1}$. Porém a calibração por programação deve ser analisada para cada caso, necessitando de suporte técnico da mesma forma, o que aumentará os custos caso o usuário não possua os conhecimentos técnicos necessários. Acredita-se que a descalibração se deve a deposição de impurezas sobre os eletrodos e o efeito da eletrólise, que aumentam a resistência entre os eletrodos, sendo necessário sua calibração por programação ou manualmente.

Um sensor de CE indutivo pode ser uma opção para um melhor funcionamento e menor manutenção do sistema, pois a princípio não apresenta descalibração quando é submerso continuamente na solução nutritiva, porém não existe ainda um sensor indutivo de CE de baixo custo, ficando como sugestão para desenvolvimento e estudos futuros.

O controle da CE provou-se eficaz, através de bombas peristálticas que realizam a inserção de solução nutritiva concentrada e diluída antecipadamente em três recipientes distintos de 5L, para evitar a precipitação das distintas soluções nutritivas utilizadas.

O método apresentado para o controle do acionamento da motobomba para circulação da solução nutritiva, com seu tempo dependendo da iluminância, temperatura e umidade relativa do ar, proporcionou uma suavização na troca dos períodos dos turnos de rega, que são variações bruscas no sistema convencional, pois o timer analógico não permite ajustes menores do que tempos múltiplos de 15 minutos. Para o 10º dia analisado, com o novo método, o tempo

em que a bomba ficou acionada representou um acréscimo de 0,74 h ou 6,16% a mais em relação ao sistema convencional, porém esse tempo e o consumo de energia pela bomba dependerá das condições climáticas de iluminância, temperatura e umidade relativa de ar, para o qual o sistema foi projetado para atender melhor à demanda da planta, podendo apresentar um consumo significativamente menor ao convencional em dias nublados, com menor iluminância, baixa temperatura e alta umidade relativa.

Para o estudo com apenas três perfis na bancada, o sistema de automação apresentou um baixo consumo de energia, com uma média de 7,549 W, que representa durante um dia 178,311 W.h.dia⁻¹. Com a tarifa de energia local de 0,769 R\$.kW⁻¹.h⁻¹ o custo mensal seria de aproximadamente R\$ 4,11.

A automação de um sistema hidropônico NFT para o pequeno produtor pode ser de grande ajuda para o manejo do cultivo de alface e de outras culturas, pois pode reduzir perdas e o trabalho necessário para a correção da CE. Porém, caso o operador não possua conhecimentos técnicos, a descalibração do medidor de CE pode passar a ser um problema, visto que necessitará de acompanhamento técnico constante para sua calibração.

Referências

ALBERONI R. B.; *Hidroponia: Como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo*. São Paulo: Nobel, 1998.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *2510 Conductivity B: Standard Methods for the examination of water and wastewater* 23. ed. Washinton: APHA, 2017, p. 2-56 – 2-58. Disponível em: <<https://www.standardmethods.org/doi/abs/10.2105/SMWW.2882.027>>. Acesso em: 17 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.027>.

BELTRANO, José et al. *Cultivo en hidroponía*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2015. Disponível em: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

CALORI, Alex H. et al. Electrical conductivity and plant spacing on baby leaf table beet and lettuce production. *Horticultura Brasileira*, v.32, n.4, p.426-433, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620140000400009>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CAPELLI, Alexandre. *Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos*. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013.

CARRUTHERS, Steven. *Hydroponic Gardening*. Australia: Casper Publications, 2015.

CLIMATE-DATA. *Dados climáticos para cidades mundiais*. 2019. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/sao-miguel-do-oeste-43599/>>. Acesso em 19 jul. 2020.

DOMINGUES, Diego S. et al. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.84, p.53-61, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169912000361>>. Acesso em: 22 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>.

DOUGLAS, J. S. *Hidroponia: cultura sem-terra*. 6.ed. São Paulo: Nobel, 1987.

FRANCHI, C. M. *Controle de processos industriais: princípios e aplicações*. São Paulo: Érica, 2011.

FURLANI, P.R. et al. *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: 21 jun. 2020.

GILL, Reetinder. *Nutrient Management for Growing Dandelion (Taraxacum officinale L.) in Nutrient Film and Deep Flow Hydroponics*. 2016. 62p. Dissertação (Master of Science in Horticultur) - University of Arkansa, Fayetteville, 2015. Disponível em: <<http://scholarworks.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3044&context=etd>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

HIDROGOOD. *Hidrogood Fert Nacional*. Disponível em: <<https://hidrogood.com.br/produto/insumos/hidrogood-fert-nacional>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Estação de SÃO MIGUEL DO OESTE – SC (A857). 2019. Disponível em: <<http://funceme.br/app-pcd-inmet/>>. Acesso em 19 jul. 2020.

JESUS FILHO, José Damião de. *Hidroponia: Cultivo sem solo*. Viçosa-MG: CPT, 2009.

LIMA, J. E. L. *Sistema de Comunicação e Controle para Hidroponia*. 2014. 142p. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecatrônica). Escola de Engenharia,

Universidade do Minho, Braga/Guimarães, Portugal, 2014. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/34363/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Jos%C3%A9%20Evaristo%20Lopes%20Lima_2014.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2020.

MALAVOLTA, E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MALDONADO, Alejandro I. L. et al. Automation and Robotics Used in Hydroponic System. In: SOLANKEV, Shashank S. (Ed.). *Urban Horticulture - Necessity of the Future*. London: IntechOpen, 2019, cap. 3. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/urban-horticulture-necessity-of-the-future/automation-and-robotics-used-in-hydroponic-system>>. Acesso em: 22 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.90438>.

MARTINEZ, H. E. P. *Manual prático de hidroponia*. 3.ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2016.

MORALES, Rafael. *Hidroponia catarinense cresce com o apoio da Epagri*. Revista Hidroponia, Novo Hamburgo, 13 set. 2017. Disponível em: <<http://www.revistahidroponia.com.br/noticias/29217/Hidroponia-catarinense-cresce-com-o-apoio-da-Epagri>>. Acesso em 21 jun. 2020.

OLIVEIRA, Cláudio Luís Vieira; ZANETTI, Humberto Augusto Piovesana. *Arduino descomplicado: como elaborar projetos de eletrônica*. São Paulo: Érica, 2015.

PALANDE, V.; ZAHEER, A.; GEORGE, K. Fully Automated Hydroponic System for Indoor Plant Growth. *Elsevier*, v.129, p.482-488, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918302473>>. Acesso em: 19 jul. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.028>.

PEREIRA, E. B. et al. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html>. Acesso em: 21 jul. 2020.

PEREZ E., Laura. *Hydroponics for the home*. San Jose, C.R.: IICA, 2008.

RAVIV, M.; LIETH, J. H. *Soilless Culture: Theory and Practice*. Amsterdam: Elseiver, 2008, 625p.

RESH, Howard M. *Hydroponics: Food Production*. New York: CRC Press, 2013.

RESH, Howard M. *Hydroponics for the home grower*. New York: CRC Press, 2015.

RODRIGUES, R. R. et al. Salinidade no desenvolvimento de cultivares de alface. *Agrarian Academy*, Goiânia, v.2, n.04, p.70, 2015. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2015b/salinidade.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_019.

SÁ, Klênio Bezerra de. *Desenvolvimento de uma sonda resistiva para o monitoramento da condutividade elétrica de soluções nutritivas em hidroponia*. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/36489>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

STEVAN JUNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. *Automação e instrumentação industrial com arduino: teoria e projetos*. São Paulo: Érica, 2015.

TEIXEIRA, Nilva Teresinha. *Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas*. Guaíba: Agropecuária, 1996.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects: The 2017 Revision*. United Nations Publications, 2017.