ANAIS

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO E DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO BASEADOS EM IOT PARA PROCESSOS DE SECAGEM DE GRÃOS UTILIZANDO BOMBA DE CALOR

VERÔNICA SILVA BITTI
veronica_bitti@hotmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

GABRIELA NAZARÉ RIBAS
gabriela.ribas@ufv.br
UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

JOSÉ VITOR NICACIO
jose.nicacio@ufv.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RESUMO: O sistema de automação e o sistema supervisório baseados em Internet das Coisas para processos de secagem e aeração de grãos utilizando bomba de calor possibilita tornar o processo mais simples, rápido e acessível de qualquer lugar, além de contribuir na redução do consumo de energia elétrica através de acionamento remoto e do monitoramento das variáveis (Temperatura e Umidade Relativa) por esse meio. Isso contribui para a averiguação de possíveis erros no sistema de forma mais ágil. A tecnologia desenvolvida consiste basicamente em um sistema no qual o produtor rural possa iniciar, monitorar e finalizar o processo de aeração e secagem de produtos agrícolas a partir de um sistema secador com bomba de calor, de tal forma que esses comandos podem ser acionados de forma local ou a partir de um computador ou smartphone. Utilizou-se do princípio de Internet das Coisas, IoT (do inglês, Internet of Things) para que este trabalho fosse desenvolvido. A implementação foi feita com hardwares e softwares de Arduino Uno e Raspberry Pi 3 e, em partes, testados em uma bomba de calor experimental para a validação do projeto. Com isso, o sistema supervisório também desenvolvido recebe informações sobre a leitura do sensor DHT11 (Temperatura e Umidade Relativa do ar) na saída da bomba de calor, além de enviar o comando de tomada de decisão para acionar um dos processos. Isso foi possibilitado a partir de software desenvolvido para tal, além da criação da página web no qual todo o processo pode ser monitorado. Assim, a redução do consumo de energia advindo do monitoramento mais assertivo do tempo de secagem necessário é um fator a ser considerado, visto que o seu custo é bastante elevado, e o fato da automação dos processos juntamente com a interface remota ser a nova tendência do mercado mundial foram essenciais para a motivação do desenvolvimento desse projeto.

PALAVRAS CHAVE: Secagem de grãos automatizada; Bomba de calor; Internet das Coisas; Agricultura 4.0.

ABSTRACT: The automation system and the supervisory system based on Internet of Things for drying and aerating grain processes using a heat pump makes it possible to make the process simpler, faster and more accessible from anywhere, in addition to contributing to the reduction of electricity consumption through remote activation and monitoring of variables (Temperature and Relative Humidity) by this means. This contributes to the investigation of possible errors in the system in a more agile way. The developed technology basically consists of a system in which the rural producer can start, monitor and finish the process of aeration and drying of agricultural products from a dryer system with a heat pump, in such a way that these commands can be activated in a simple way or from a computer or smartphone. The Internet of Things (IoT) principle was used to develop this work. The implementation was made with hardware and software from Arduino Uno and Raspberry Pi 3 and, in parts, tested in an experimental heat pump for the validation of the project. With this, the supervisory system also developed receives information about the reading of the DHT11 (Temperature and Relative Humidity) sensor at the heat pump outlet, in addition to sending the decision-making command to trigger one of the processes. This was made possible from software developed for this purpose, in addition to the creation of the web page on which the entire process can be monitored. Thus, the reduction in energy consumption resulting from more assertive monitoring of the necessary drying time is a factor to be considered, since its cost is quite high, and the

fact that the automation of processes together with the remote interface is the new trend of the world market were essential to motivate the development of this project.

KEY WORDS: Automated grain drying; Heat pump; Internet of Things; Agriculture 4.0

1. INTRODUÇÃO

A secagem é um método usado para diminuir a atividade metabólica de sementes ou grãos pela redução do teor de água até níveis seguros, minimizando assim os danos causados pela deterioração, como injúrias durante o manejo. Por outro lado, as temperaturas utilizadas na secagem podem interferir na qualidade das sementes ou grãos produzidos (Marcos Filho, 2015, & Dias et al., 2012).

Existem diversas técnicas de secagem que podem ser aplicadas para secar diferentes produtos agrícolas, sendo as mais utilizadas as secagens em campo, em terreiro e com secadores mecânicos.

A secagem natural, ainda na lavoura, não permite obter um produto de qualidade em quantidade devido à não uniformidade a maturação das sementes, dentro da planta e entre plantas, além das condições climáticas adversas. Desta maneira, a secagem com ar forçado é uma operação essencial para se obter um produto de alta qualidade, e para tal são utilizados secadores que conservam as características do produto e com bom aproveitamento energético (Peres & Peske, 2016).

Além disso, nos últimos anos, a agricultura tem passado por uma quarta revolução tecnológica (Agricultura 4.0 com a mesma associação à Indústria 4.0), integrando as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) às práticas agrícolas tradicionais (Sundmaeker et al., 2016). Tecnologias, como sensoriamento remoto, Internet das Coisas (*IoT*), veículos aéreos não tripulados (UAVs), *Big Data Analytics* e *Machine Learning* são particularmente promissores e os quais podem fornecer um novo avanço nas práticas agrícolas atuais (Wolfert et al., 2017).

Segundo Boursianis et al. (2020) a *IoT* é uma das tecnologias mais revolucionárias nas comunicações sem fio modernas (do inglês, *Wireless Comunications*). O conceito básico é a interação entre diversos objetos físicos ou componentes usando esquemas de endereçamento específicos para serem conectados à internet. Mais especificamente na área agrícola, os dispositivos *IoT* fornecem informações úteis sobre uma variedade de parâmetros físicos para aprimorar as práticas de cultivo, como a quantidade de água na irrigação sustentável, a quantidade de fertilizantes adequados para o solo, a temperatura e a umidade relativa para secagem de grãos no armazenamento agrícola, entre outras atividades que pertencem às fazendas inteligentes (do inglês, *Smart Farmings*).

Assim, de acordo com Farkhurddin (2018), uma das principais grandes áreas consumidoras de projetos baseados em *IoT* é a agricultura. Apesar da agricultura ser um setor produtivo que está em constante evolução, ainda apresenta um atraso comparado com outros setores com relação a aplicação de tecnologia que promova a melhoria, precisão e a automação de processos produtivos. Vale ressaltar que um dos principais fatores do não aproveitamento em larga escala dessa tecnologia no campo deve-se ao seu alto custo e, inicialmente, a possibilidade de oferecer poucas vantagens, segundo Silva & Muxito (2018).

Diante deste cenário, o qual se busca um processo de secagem com alta eficiência energética, que possa ser automatizado e ainda com acionamento de forma remota, tecnologias de secadores que utilizam bomba de calor com sistemas embarcados (todo dispositivo ou sistema limitado a executar uma tarefa específica a partir de um *software* embarcado chamado

firmware para essa execução) têm representado uma opção viável e interessante. Esse sistema facilita o processo de secagem de grãos tradicional, principalmente por ser baseada em ciclos de refrigeração, podendo ser utilizada tanto para aquecimento como resfriamento.

Os secadores com bomba de calor extraem o calor latente de vaporização do ar ambiente através da condensação do vapor, quando o ar é forçado a passar pelo evaporador e devolvem a energia retirada neste processo como calor sensível ao ar de secagem, quando este é forçado a passar através do condensador (Mujumdar e Chen, 2008).

Os componentes principais de uma bomba de calor são: compressor, condensador, válvula de expansão e evaporador. O fluido de trabalho usado no ciclo é chamado de refrigerante. O líquido refrigerante, em baixa pressão, evapora no evaporador por meio da absorção de calor do fluido da vizinhança, geralmente o ar, produzindo o efeito de resfriamento. O vapor refrigerante resultante é comprimido até atingir a pressão de condensação pelo compressor, que, geralmente, consome energia elétrica. No condensador, o refrigerante sob alta pressão, é condensado e o calor resultante é liberado para o fluido da vizinhança. O fluido refrigerante condensado é, finalmente, expandido até atingir a pressão de evaporação por meio da válvula de expansão e, em seguida, continua o ciclo (Mujumdar e Chen, 2008). A Figura 1 ilustra o diagrama esquemático do ciclo de funcionamento de uma bomba de calor ideal.

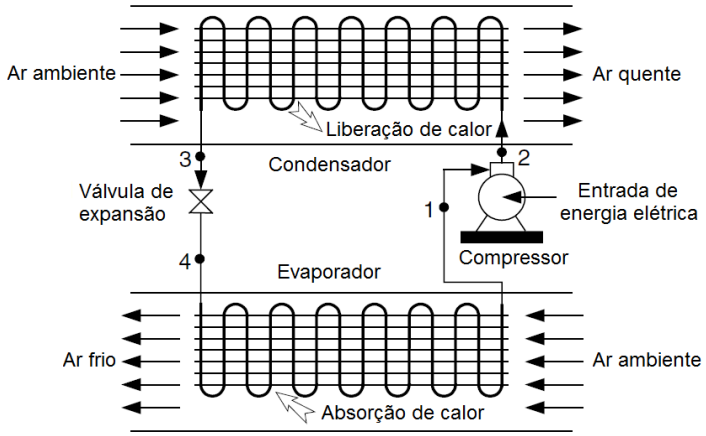

FIGURA 1. Diagrama esquemático do ciclo de funcionamento ideal de uma bomba de calor.
Fonte: Mujumdar e Chen, 2008.

As variações de pressão (P) e entalpia específica (h) nos diferentes estágios do processo são ilustradas na Figura 2, segundo Mujumdar e Chen (2008).

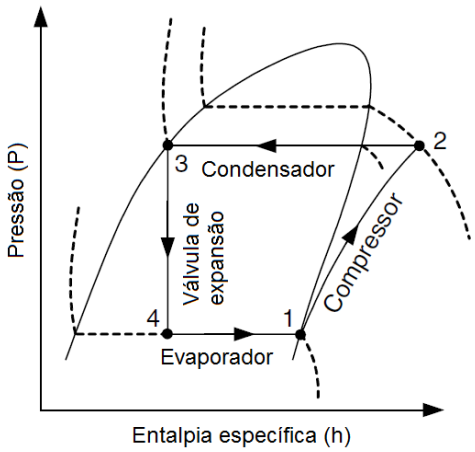

FIGURA 2. Diagrama P – h do ciclo.
Fonte: Mujumdar e Chen, 2008

O rendimento dos refrigeradores e das bombas de calor é expresso em termos do coeficiente de rendimento ou COP (do inglês *Coefficient of Performance*), que é definido de acordo com as Equações (1) e (2).

$$COP_{ref} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad (1)$$

$$COP_{bc} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \qquad (2)$$

No qual,

COP_{ref} - Coeficiente de rendimento do refrigerador, adimensional;

COP_{bc} - Coeficiente de rendimento da bomba de calor, adimensional;

h_1 - Entalpia do refrigerante na saída do evaporador, J/kg;

h_2 - Entalpia do refrigerante na entrada do condensador, J/kg;

h_3 - Entalpia do refrigerante na saída do condensador, J/kg;

h_4 - Entalpia do refrigerante na entrada do evaporador, J/kg.

Como a expansão do refrigerante na válvula de expansão é um processo de fluxo e entalpia constantes, na linha vertical no diagrama P – h da Figura 2, observa-se que $h_3 = h_4$.

Combinando as Equações (1) e (2), obtém-se a Equação (3), que representa a relação entre o coeficiente de rendimento da bomba de calor e do refrigerador.

$$COP_{bc} = COP_{ref} + 1 \qquad (3)$$

Além disso, na Figura 2 verifica-se que o efeito de aquecimento ($h_2 - h_3$) da bomba de calor é igual à soma da quantidade de energia elétrica consumida pelo compressor ($h_2 - h_1$) e da quantidade de energia absorvida no evaporador ($h_1 - h_4$). Bombas de calor usadas em processos de aquecimento geralmente possuem coeficiente de rendimento entre 4 e 7. Isto significa que é possível alcançar de 4 a 7 vezes mais energia sob forma de calor em relação à quantidade de energia elétrica consumida pelo compressor.

A fim de se alcançar a melhor qualidade dos produtos agrícolas com a maior eficiência energética, além da versatilidade, pesquisadores têm conduzido experimentos relacionados com sistemas de secagem com bomba de calor. Santos (2007) realizou um experimento no qual avaliou-se o consumo específico de energia, os custos operacionais e a qualidade final do produto secado em dois sistemas de secagem, sendo que um destes era composto por um secador tendo como condicionadora do ar de secagem uma bomba de calor e o outro tendo como fonte de aquecimento para o ar de secagem um gerador de calor a gás.

Além disso, segundo a Embrapa (2016), o maior desafio na atualidade rural é saber como integrar todas as tecnologias que estão sendo desenvolvidas para que o Brasil continue a ser protagonista da produção e exportação agropecuária, visto que a Tecnologia da Informação (TI) é a alavanca propulsora e integradora dentro e fora da cadeia produtiva.

A Agricultura 4.0, considerada a nova revolução tecnológica agrária, tem contribuído para que haja maiores incentivos em projetos e pesquisas em inovação para a automatização de processos agroindustriais, se tornando uma das maiores tendências do agronegócio. Porém, ainda há uma dificuldade em se encontrar profissionais qualificados para essa atividade, devido a necessidade de conhecimentos aprofundados em TI juntamente com técnicas aplicadas à agricultura de forma automatizada. Isso demonstra também a grande necessidade de um engenheiro agrícola e ambiental atuando nessa área no mercado.

Diante disso, observou-se uma necessidade em se desenvolver um sistema de acionamento automático baseado em sistemas embarcados para o condicionamento de ar de secagem utilizando secador com bomba de calor, interligando com o princípio de Internet das Coisas em processos agrícolas, e principalmente com acionamento remoto, base fundamental da agricultura 4.0.

2. REVISÃO TEÓRICA

- **Secagem de grãos e qualidade do produto**

Segundo Bissaro (2016) e Foust (1982), a secagem é uma técnica frequentemente utilizada para a conservação de produtos agrícolas, no qual ocorre a retirada parcial da água do produto através da transferência de calor do ar para o grão/semente e da transferência de massa (água) do grão/semente para o ar de forma simultânea e, consequentemente, fungos e bactérias são impossibilitados de se reproduzirem.

Ao se utilizar a secagem artificial de grãos/sementes com ventilação forçada, o teor de umidade dos grãos/sementes que foram colhidos recentemente diminui em curto tempo, sendo

essa uma vantagem competitiva. Porém, esse processo demanda energia mecânica para movimentar o ar e energia térmica para aquecê-lo, elevando o custo do processo, de acordo com Bissaro (2016) e Biagi e Bertol (2002).

Ainda assim pode-se afirmar que a secagem de grãos/sementes influencia diretamente a qualidade do produto, pois caso sua condução seja realizada de forma incorreta, os grãos/sementes se encontrarão susceptíveis à quebra ou com o rendimento no processamento reduzido, ocasionando a deterioração do produto e comprometendo sua qualidade final (BISSARO, 2016 e REGINATO et al., 2014).

- **Agricultura 4.0**

O termo "Agricultura 4.0" representa a revolução tecnológica no meio rural que ocorreu primeiramente na indústria (Indústria 4.0). As novas tecnologias possibilitaram avanços em processos, aprimorando a capacidade de monitoramento e tomada de decisões. Além disso, essa revolução no agronegócio permitiu elevar os índices de produtividade, aumentar a eficiência do uso de insumos, reduzir custos com mão de obra, melhorar a qualidade do trabalho e segurança dos trabalhadores e diminuir os impactos ao meio ambiente (RIBEIRO et. al, 2018; MASSRUHÁ & LEITE, 2017).

Nesse contexto, segundo Bonneau et al. (2017), um dos desafios do setor é a padronização tecnológica que permite a compatibilidade dos equipamentos, exigindo uma necessidade de investimento em modernização por parte dos produtores rurais, e a utilização de automação e de sistemas embarcados para que esse processo seja viabilizado. Vale ressaltar que a revolução colaborou diretamente para o uso de práticas mais sustentáveis na agricultura, visto que boas práticas agrícolas incluem economia de água, de energia e de insumos na produção, além de proteger o meio ambiente, melhorar as condições de trabalho, e comercializar seguindo todos os requisitos legais.

Segundo Rose e Chilvers (2018), os impactos da inovação tecnológica precisam ser antecipados por meio de técnicas que previnem e constroem cenários, ou seja, para antecipar os impactos em todas as escalas da produção, bem como considerar os efeitos nas comunidades rurais e no público como um todo. Apesar da dificuldade de se realizar a previsão desses impactos, o princípio da precaução visa promover as ações de mudança (NORDMANN, 2014).

De acordo com Ribeiro et al. (2018), vale ressaltar que o Brasil é um dos maiores produtores agrícolas mundiais e, com isso, a revolução tecnológica na agricultura é um dos principais marcos históricos em um cenário global. Quanto mais investimentos em equipamentos modernos, tecnológicos e ágeis, mais práticas sustentáveis são aplicadas no campo e, consequentemente, ocorre um aumento significativo na produção de alimentos no país dentro dos parâmetros exigidos por lei e por certificações internacionais.

- **Internet das Coisas (IoT)**

O conceito de automação de processos está diretamente relacionado com o conceito de Internet das Coisas, pois a automação auxilia no desenvolvimento da plataforma IoT, porém vale ressaltar que são conceitos distintos.

De acordo com Dos Santos et al. (2020), a automação contribui na eliminação ou redução das atividades redundantes no qual utiliza-se de mão-de-obra braçal e necessita-se de maior tempo de execução. Assim, há uma nova demanda por mão de obra especializada que aumente a produtividade do processo.

Além disso, segundo Ray (2018) e Dos Santos et al. (2020), um sistema IoT é baseado em dispositivos que proporcionam sensoriamento, atuação, controle e monitoramento de processos. Dessa forma, dispositivos podem coletar dados localmente, trocar com outros dispositivos conectados ou enviar os dados para uma central de servidores baseados em nuvem para processar os dados e executar tarefas localmente. Isso representa a tecnologia aliada às necessidades de cada atividade, sendo considerado uma estratégia para solução de problemas.

Diante desse cenário, segundo Jesus (2021), o produtor rural trabalha com o intuito de atingir uma alta produtividade na lavoura, com custos reduzidos e lucros potencializados, garantindo um conhecimento sobre as informações da sua produção constantemente. Para obter esse retorno de forma cada vez mais instantânea e eficaz, a aplicação de tecnologias de automação e sistemas embarcados faz com que a produção agrícola mundial seja realizada utilizando a inovação e a tecnologia como principais aliados, resultado da revolução tecnológica rural conhecida como Agricultura 4.0.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, no período entre maio de 2019 e julho de 2020.

Para a realização deste experimento foi utilizada a bomba de calor experimental descrita e utilizada por Monte (2008). A Figura 3 ilustra o diagrama do equipamento.

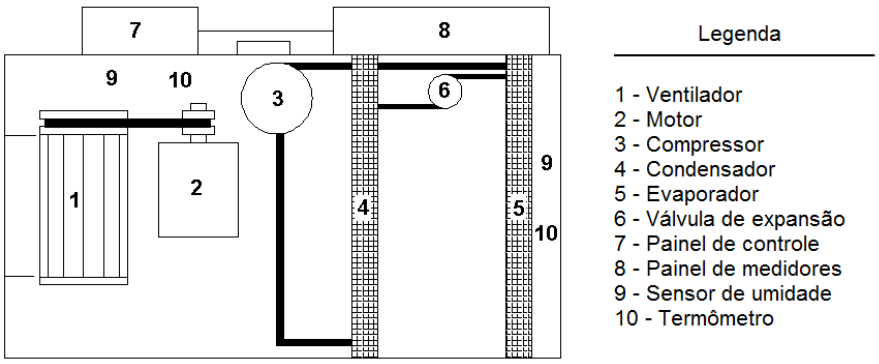

FIGURA 3. Diagrama da bomba de calor experimental.
Fonte: Monte, 2008.

A trajetória do ar e as modificações a que ele é submetido ao percorrer o circuito completo da bomba de calor são ilustrados na Figura 4 e descritas em seguida.

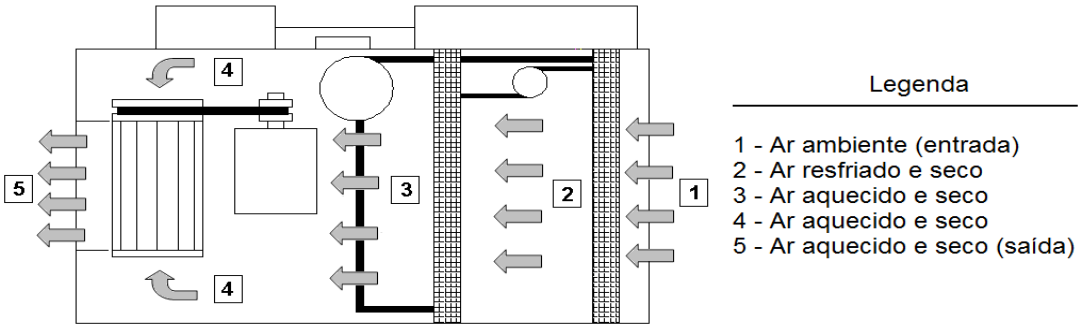

FIGURA 4. Trajetória do ar e suas modificações ao passar pela bomba de calor.
Fonte: Monte, 2008.

1. O ar ambiente entra na bomba de calor por sucção pela ação do ventilador;
2. Uma vez dentro da bomba de calor, o ar ambiente atravessa o evaporador e é resfriado. Devido ao processo de resfriamento ocorre a condensação de parte do vapor d´água presente no ar, resultando então em um ar resfriado e seco;
3. Nesta etapa do processamento, o ar resfriado e seco passa pelo condensador da bomba de calor, onde é aquecido. Neste ponto, tem-se um ar aquecido e seco;
4. Dentro da bomba de calor, imediatamente após passar pelo condensador, o ar passa por uma câmara onde estão localizados o motor do ventilador e o compressor. Como estes dois elementos dissipam calor, ocorre então um ligeiro aquecimento no ar devido à convecção com a superfície de tais elementos;
5. Neste ponto, o ar aquecido e seco é ejetado da bomba de calor pela ação do ventilador. Mais uma vez o ar sofre um ligeiro incremento em sua temperatura devido à ação do ventilador.
6. Por fim, a bomba de calor é acoplada a um silo de armazenamento de grãos e esse ar que sai da bomba de calor é insuflado no silo para realizar o processo de aeração ou secagem dos grãos.

Tanto o ventilador quanto o compressor da bomba de calor foram acionados a partir de inversores de frequência. O inversor responsável pelo acionamento do ventilador foi programado para trabalhar com a frequência entre 30 Hz e 60 Hz, já o do compressor foi programado para trabalhar de 0 Hz a 66 Hz. Definiram-se esses valores para garantir um fluxo mínimo de ar na bomba de calor e para evitar danos causados por sobreaquecimento no caso de o compressor estar acionado sem o ventilador. O inversor de frequência foi testado diversas vezes de modo que verificasse um ponto ótimo para não desarmar o compressor com o aumento da temperatura interna. A Figura 5 apresenta a visão superior da bomba de calor experimental.

FIGURA 5. Bomba de Calor experimental no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.
Fonte: O autor.

No sistema de secagem com bomba de calor têm-se duas variáveis de interesse que são: a temperatura (T) e a umidade relativa (UR) do ar de secagem, principalmente na saída da bomba de calor.

Para que as medições de temperatura e de umidade relativa pudessem ser coletadas foi utilizado o sensor eletrônico DHT22 instalado na saída da bomba de calor, visto que essas medições apresentam o valor da T e UR do ar que entrará no silo para o processo de aeração e secagem dos grãos ser efetivo.

Assim, para o sistema ser automatizado de forma local, inicialmente, montou-se uma placa de hardware Arduino Uno juntamente com uma *protoboard* de 400 pontos; além de 3 botões físicos operacionais (*push bottons*) no circuito, sendo que o primeiro era responsável pelo acionamento do processo de secagem, o segundo pelo acionamento do processo de aeração e o terceiro pela interrupção ou finalização de qualquer um dos dois processos (botão STOP); 3 resistores de 10kΩ para possibilitar a ligação *pull-down* desses botões; 2 LEDs para representar o acionamento do ventilador e do compressor a partir dos seus respectivos inversores de frequência instalados na bomba de calor; 2 resistores 220Ω para ligar os LEDs e jumpers macho-macho de ligação. Além disso, utilizou-se o código de programação em linguagem C desenvolvido na plataforma Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) para tornar o acionamento viável. A Figura 6 representa a montagem do circuito no simulador *TinkerCad.*

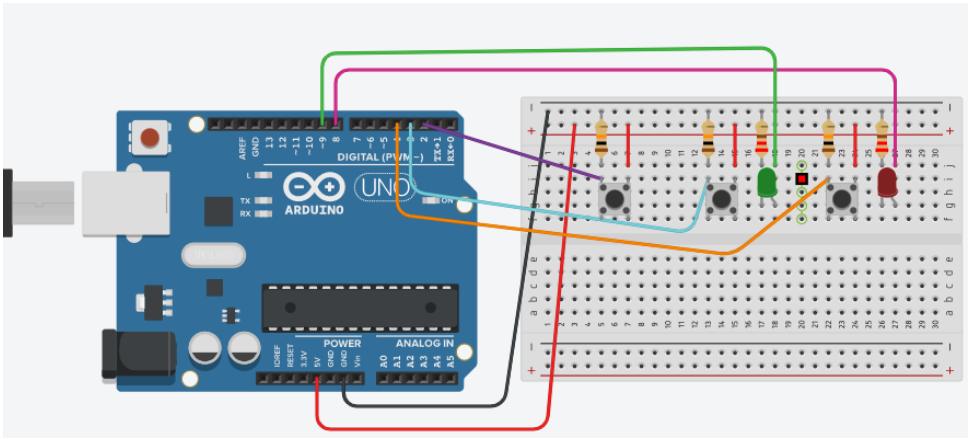

FIGURA 6. Protótipo para o acionamento manual do processo na plataforma *TinkerCad*, sendo que o LED vermelho representa o ventilador e o LED verde representa o compressor da bomba de calor.
Fonte: O autor.

Para a automação local, o código utilizado juntamente com as conexões realizadas para esses processos seguiu a lógica de programação em linguagem C de tal forma que, quando o requerente pressionar o botão de AERAÇÃO, o ventilador da bomba de calor é acionado. Caso o requerente pressione o botão de SECAGEM, o ventilador continuará ligado durante um período de tempo e, logo em seguida, o compressor também é acionado, promovendo o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar de saída.

Para finalizar qualquer um dos processos, o requerente deve acionar o botão *STOP* no qual o compressor desligará e, em seguida, o ventilador também desligará. Caso o requerente necessite apenas de um dos processos, deve pressionar o botão do processo desejado e, para finalizar, deve pressionar o botão que desligará tanto o ventilador quanto o compressor, independentemente.

A segunda etapa do projeto foi o desenvolvimento do acionamento dos processos de forma remota a partir de tecnologias de baixo custo que utilizam do conceito de Internet das Coisas como microcomputadores de placa única tipo *Raspberry Pi* 3 para executar as tarefas demandadas e comunicar o sistema com o usuário, o qual foi utilizado nesse projeto.

Dessa forma, a montagem do protótipo foi realizada utilizando a *protoboard* juntamente com 2 LEDs simulando o ventilador e o compressor; 2 resistores de 220Ω para ligar os LEDs e jumpers macho-fêmea de ligação, além da própria placa Raspberry Pi 3 ligada a essa *protoboard*. Na mesma placa de prototipagem, instalou-se também um sensor DHT22 juntamente com um resistor de 4,7kΩ com o intuito de simular a medição de temperatura e umidade relativa na saída da bomba de calor.

A Figura 7 apresenta a ligação do sensor DHT22 com a Raspberry Pi no simulador de circuito *Fritzing*. Já a Figura 8 apresenta a ligação dos 2 LEDs com a Raspberry Pi utilizando o mesmo simulador de circuito. As montagens foram feitas separadamente de início para que os testes da programação fossem executados com sucesso para, posteriormente, unir os dois códigos de programação e os dois circuitos.

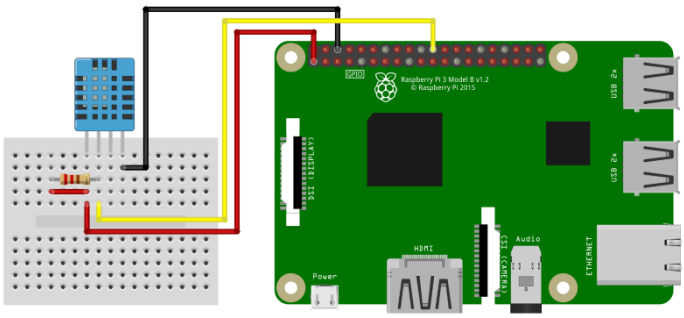

FIGURA 7. Circuito do sensor DHT22 de temperatura e umidade relativa com a Raspberry Pi 3 no simulador *Fritzing*.
Fonte THOMSEN, 2015.

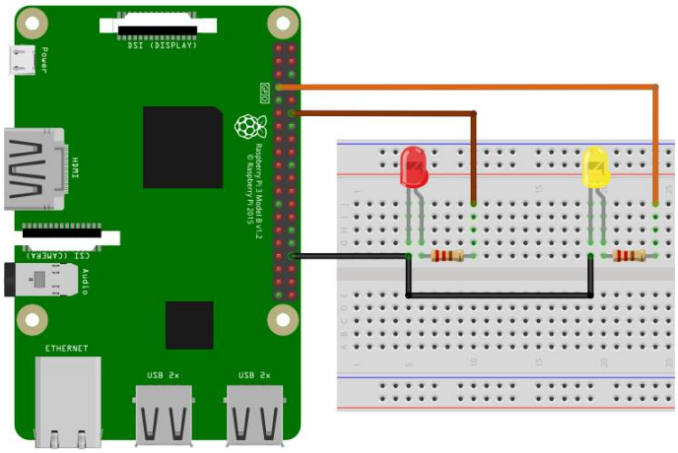

FIGURA 8. Circuito dos LEDs representando o ventilador e o compressor da bomba de calor ligados à Raspberry Pi 3 no simulador *Fritzing*.
Fonte: BAU DA ELETRÔNICA, 2018.

Diante disso, desenvolveu-se o código de programação na plataforma *Python* versão 3.8.1 para que a execução tanto dos acionamentos dos processos quanto da leitura do sensor eletrônico DHT22 fosse realizada de forma efetiva.

A fim de se averiguar graficamente a coleta dos dados do sensor de temperatura e umidade relativa em tempo real, criou-se um canal para a leitura do sensor no *ThingSpeak*

(plataforma aberta para *IoT*). Essa plataforma recebe dados do sensor, realiza o armazenamento em nuvem e fornece gráficos e análises estatísticas.

Com isso, o acompanhamento da coleta de dados do sensor se torna visual e, consequentemente, mais fácil de tomar decisões em caso de possíveis erros. A Figura 9 apresenta a plataforma *ThingSpeak* e o canal criado para realizar as medições.

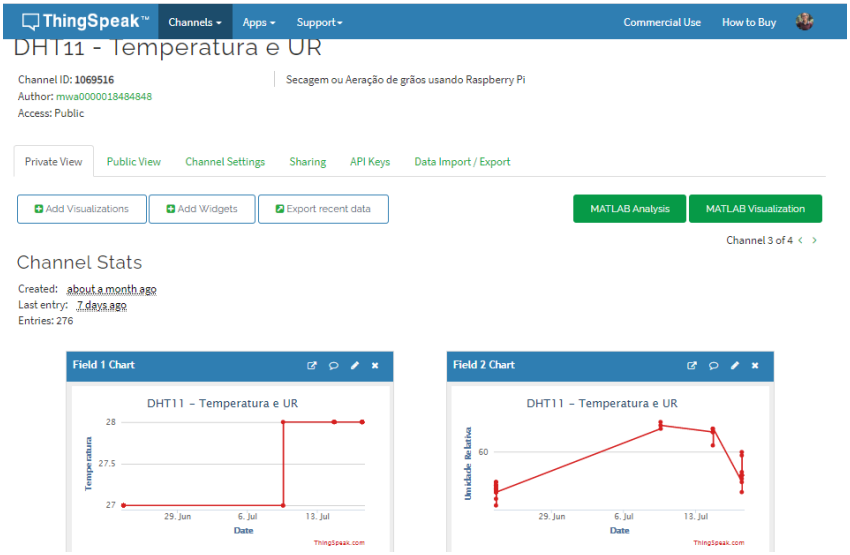

FIGURA 9 – Canal "DHT11 – Temperatura e Umidade Relativa" na plataforma aberta *ThingSpeak* para *IoT*. Fonte: Próprio autor.

Por fim, com o intuito de se obter um sistema supervisório para fazer o acionamento remoto e acompanhar ao mesmo tempo os dados de temperatura e umidade relativa, foi desenvolvido uma página *web* em linguagem de marcação HTML (*Hypertext Markup Language*) no qual inclui um botão para acionar a Aeração e outro a Secagem, podendo-se acompanhar em tempo real os dados apresentados pelos sensores, conforme observado na Figura 10.

FIGURA 10. Página web como sistema supervisório.
Fonte: Próprio autor.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

O código de programação completo em linguagem C desenvolvido e aplicado nesse projeto encontra-se no Apêndice I. Com isso, o sistema de acionamento da bomba de calor para secagem e aeração de grãos foi automatizado.

Esse protótipo é interessante ser aplicado em locais no qual o responsável queira iniciar e finalizar os processos de aeração e secagem de grãos no próprio maquinário, no qual se tenha acompanhamento *in loco*. A automação é fundamental para que facilite e agilize a execução das tarefas e de tomadas de decisão.

Com relação a segunda etapa do projeto, a montagem do protótipo com a Raspberry Pi possibilitou uma interface remota de acesso tanto do sensor DHT22 quanto dos LEDs que simulam o ventilador e o compressor. Essa etapa foi realizada toda remota, devido à pandemia de Covid-19, com testes em computadores e não no local da bomba de calor. Porém, as leituras do sensor e a aplicação de *IoT* no processo foi simulado de forma aplicável para qualquer outro experimento. O código de programação completo desenvolvido em linguagem *Python* encontra-se no Apêndice II.

Por fim, criou-se o sistema supervisório com a página *web* para o acionamento dos processos de aeração e secagem de grãos, além do acompanhamento das medições do sensor de temperatura e umidade relativa em tempo real. A página *web* representou a aplicação da programação diretamente com o acesso remoto dos processos. Observou-se que, ao desenvolve-la, pode-se realizar diversas tarefas de qualquer local e ainda averiguar se todos os processos

estão em conformidade. Além disso, a tomada de decisão é mais assertiva, visto que os dados são coletados em tempo real e de forma prática e rápida.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos iniciais, o projeto foi realizado com sucesso. Com a finalidade de desenvolver uma tecnologia nacional com um custo acessível e que contribuísse para que a execução de algumas tarefas no meio rural se tornasse mais prática, automatizou-se os processos de secagem e aeração de grãos utilizando um secador do tipo bomba de calor e interligou também a Internet das Coisas para que viabilizasse o acesso remoto.

Dessa forma, a primeira etapa do projeto utilizou da tecnologia da plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única Arduino para, primeiramente, tornar o processo automatizado. Todos os testes de averiguação foram realizados diretamente na bomba de calor experimental e foi concluído como esperado.

A segunda etapa foi realizada adaptando-se esse projeto com um acionamento local para um acionamento remoto, visto que o objetivo principal era obter essa inovação tecnológica na agroindústria. Neste ponto, utilizou-se do microcomputador Raspberry Pi para auxiliar no desenvolvimento dessa tarefa, o qual foi concluída como esperado. Porém, toda a fase de testes foi realizada de forma remota.

Como sugestão para projetos futuros está a aplicação de forma experimental do acesso remoto desenvolvido neste trabalho e a inclusão de outras análises do ar do próprio processo de secagem e aeração de grãos, como a leitura de sensores de temperatura e umidade relativa dentro e ao longo do silo e a verificação do comportamento do ar durante os processos.

Pode-se concluir que uma das novas tendências tecnológicas do mercado mundial é a adaptação de processos já existentes para torna-los automatizados e acessíveis de qualquer lugar. Quanto mais projetos que interliguem a agroindústria com a Internet das Coisas forem desenvolvidos, o meio rural será o maior beneficiário, podendo aumentar a produtividade, diminuir as perdas e gerar ainda mais lucro para os produtores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAIS DO ENIC, 6., 2014, Mato Grosso do Sul. **Boas práticas de armazenagem de grãos.** [...]. Mato Grosso do Sul: [*s. n.*], 2014.

BAU DA ELETRÔNICA. **Introdução ao Raspberry Pi – Escrevendo na porta GPIO**. 2018. Disponível em: https://blog.baudaeletronica.com.br/raspberry-pi-escrevendo-na-porta-gpio/. Acesso em: 30 dez. 2021.

BIAGI, J. D.; BERTOL, R. **Secagem de Grãos**. Campinas, SP, 2002. 1-9 p.

BISSARO, C. A. **Avaliação da qualidade e do consumo energético no processo de secagem intermitente em sementes de soja**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - UTFPR- Maringá – PR, 2018.

ANAIS

BONNEAU, V.; COPIGNEAUX, B.; PROBST, L.; PEDERSEN, B. **Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects.** European Comission, 2017.

BOURSIANIS, A. D., PAPADOPOULOU M. S., DIAMANTOULAKIS, E. et al. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review. **Internet of Things,** 2020. DOI:10.1016/j.iot.2020.100187.

DE JESUS, K. **Aplicação de internet das coisas (iot) na agricultura de precisão**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Sistemas de Informação) - Universidade Estadual de Goiás, [*S. l.*], 2021.

DIAS F. M., TEIXEIRA, I. R., ALCÂNTARA, G. R., DEVILLA, I. A., & ALVES, S. M. Qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão – caupi submetidas a diferentes condições de secagem. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v.8, n.14; p. 807-818, 2012.

DOS SANTOS, I. B., SANDMANN, A., SOUZA, B. E., PIZARRO, C. A. P., MARCOLIN, J. F., MELGES, A. I. Automatização de processos rurais: proposta de ação de implementação de um gateaway de internet das coisas (iot) para simplificar a automação da aquicultura. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 06, n 01, p. 1-7, 2020. DOI:10.18540/jcecv16iss1pp0001-0007.

ELIAS, M. C., OLIVEIRA, M. DE, VANIER, N. L., PARAGINSKI, R. T., & SCHIAVON, R. A. Qualidade de arroz da pós-colheita ao consumo. **Ed. Universitária UFPel**. Pelotas, p.21-42, 2012.

EMBRAPA. **Agricultura 4.0: A agricultura conectada. Pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Curitiba, 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15894563/agricultura-40-a-agricultura-conectada. Acesso em: 29 dez. 2021.

FAKHURDDIN, H. **Smart Agriculture: 13 Trends To Watch Out For**. [*S. l.*], 2017. Disponível em: http://teks.co.in/site/blog/smart-agriculture-13-trends-to-watch-out-for. Acesso em: 29 dez. 2021.

FOUST, A. S. et al. *In*: **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A, 1982. cap. 18, p. 403-432.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2015. 660 p.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. de A. Agro 4.0 – Rumo à agricultura digital. **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade**: Mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2017.

MONTE, J. E. C. **Desenvolvimento e análise de um sistema de controle para bomba de calor utilizada em processos agrícolas**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

MUJUMDAR, A. S.; CHEN, X. D. **Drying Technologies in Food Processing**. 1. ed. Singapura: Blackwell Publishing Ltd, 2008. 326 p.

NORDMANN, A. Responsible innovation, the art and craft of anticipation. **Journal of Responsible Innovation**, v. 1, n. 1, p. 87-98, 2014. DOI: 10.1080/23299460.2014.882064.

PERES, W. B.; PESKE, S. T. **Secagem de sementes: tipos de secadores**. XX. ed. [*S. l.*]: SeedNews, 2016. Disponível em: https://seednews.com.br/artigos/816-secagem-de-sementes-edicao-novembro-2016. Acesso em: 29 dez. 2021.

RAY, P. P. A survey on Internet of Things architectures. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, [*s. l.*], v. 30, n. 3, p. 291-319, 2018. DOI:10.1016/j.jksuci.2016.10.003.

RIBEIRO, J. G; MARINHO, D. Y; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. *In*: **Simpósio de Engenharia de Produção**, p. 1-7, 2018.

ROSE, D. C.; CHILVERS, J. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [*s. l.*], v. 2, p. 87, 2018. DOI: 10.3389/fsufs.2018.00087

SANTOS, R. R. **Análise de sistemas de secagem de café utilizando-se bomba de calor e gás liquefeito de petróleo**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

SILVA, A. M; MUXITO, E. M. Agricultura Inteligente – Proposta de Automação de Pivôs e Canais de Irrigação com Prototipação por Arduino e Webservice. *In*: Congress of Industrial Management and Aeronautical Technology, **V CIMATech**. São José dos Campos, 2018.

SUNDMAEKER, H.; VERDOUW, C.; WOLFERT, S.; PEREZ FREIRE, L. Internet of Food and Farm 2020. *In*: **Digitising the Industry**: Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds. [*S. l.*]: River Publishers, 2016. v. 49, p. 129 - 150.

THOMSEN, A. **Monitorando Temperatura com DHT11 e Raspberry Pi**. 2015. Disponível em: https://www.filipeflop.com/blog/temperatura-umidade-dht11-com-raspberry-pi/. Acesso em: 29 dez. 2021.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M.-J. Big Data in Smart Farming – A review. **Agricultural Systems**, [*s. l.*], v. 153, p. 69-80, 2017. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

Apêndice I. Programação em linguagem C na plataforma Arduino IDE

Salvar

Novo_projeto_ADAPTADO

```
//Projeto Automação - Aerar e secar - ADAPTADO

//Declaração das variaveis
int BotaoAeracao = 2;
int BotaoSecagem = 3;
int BotaoStop = 4;
int Ventilador = 8;
int Compressor = 9;

//Declaração dos estados das variaveis que serao lidas
int estado_BotaoAeracao = 0;
int estado_BotaoSecagem = 0;
int estado_BotaoStop = 0;

void setup() {
 //Definição das portas de entrada ou saída de sinal
 pinMode (BotaoAeracao, INPUT);
 pinMode (BotaoSecagem, INPUT);
 pinMode (BotaoStop, INPUT);
 pinMode (Ventilador, OUTPUT);
 pinMode (Compressor, OUTPUT);

}

void loop() {
 estado_BotaoAeracao = digitalRead (BotaoAeracao);
 estado_BotaoSecagem = digitalRead (BotaoSecagem);
 estado_BotaoStop = digitalRead (BotaoStop);


//Acionar AERACAO
if (estado_BotaoAeracao == HIGH){
  digitalWrite(Ventilador, HIGH);
}
//Acionar SECAGEM
if (estado_BotaoSecagem == HIGH){
  digitalWrite (Ventilador, HIGH);
  digitalWrite (Compressor, LOW);
  delay (10000);
  digitalWrite (Ventilador, HIGH);
  digitalWrite (Compressor, HIGH);
}
//Parar qualquer processo
if (estado_BotaoStop == HIGH){
  delay (1000);
  digitalWrite(Compressor, LOW);
  delay (3000);
  digitalWrite(Ventilador, LOW);
}

//Se acionar o botao SECAGEM quando o botao AERACAO ja estiver acionado
 if (estado_BotaoAeracao == HIGH){
  digitalWrite(Ventilador, HIGH);
  digitalWrite (Compressor, LOW);
    if (estado_BotaoSecagem == HIGH){
      digitalWrite (Ventilador, HIGH);
      digitalWrite (Compressor, LOW);
      delay (10000);
      digitalWrite (Ventilador, LOW);
      digitalWrite (Compressor, HIGH);
   }
```

Apêndice II. Programação em linguagem Python

ANAIS

Secagem e Aeração - FINAL.py - /home/pi/Secagem e Aeração - FINAL.py (3.8.1)

File Edit Format Run Options Window Help

```
#Secagem e Aeração - Com o detalhe final ajustado

from flask import Flask, render_template, redirect
import datetime
import subprocess
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import threading


def coletor_de_dados():
    import Adafruit_DHT as dht
    import urllib.request

    # API Key apresentada no Canal "DHT11 - Temperatura e UR" do ThingSpeak
    CHAVE = '2ESRHJBL9ANL9Z3K'
    # URL em que os dados serão enviados
    URL = 'https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s' % CHAVE

    while True:
        # Leitura do sensor DHT11 e coletando os dados de Temperatura e Umidade Relativa
        umid, temp = dht.read_retry(dht.DHT11, 25) #pino22
        # Verificando se a leitura é válida
        if isinstance(umid, float) and isinstance(temp, float):
            #Mostrar no Terminal
            print("Temperatura = %.2f *C" % temp)
            print ("Umidade Relativa = %.2f %%" % umid)
            print ("-------------------------\n")

            # Enviando os dados ao ThingSpeak
            resposta = urllib.request.urlopen(URL + '&field1=%s&field2=%s' % (temp, umid))
            print (resposta.read())
            # Finalizando a conexão
            resposta.close()
        else:
            print ('Erro: falha na leitura de dados!')

        # DHT11 requer 2 segundos no mínimos para realizar a leitura
        time.sleep(20)

threading.Thread(target=coletor_de_dados).start()
'
        app = Flask(__name__)

        GPIO.setwarnings (False)
        GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

        estado = {'ventilador': False, 'compressor': False }
        ventilador = 16 #pino16
        compressor = 18 #pino18

        GPIO.setup(ventilador, GPIO.OUT)
        GPIO.setup(compressor, GPIO.OUT)

        GPIO.output(ventilador, False)
        GPIO.output(compressor, False)

        @app.route("/")
        def inicio():
            estado = {'ventilador': GPIO.input(ventilador) == 1, 'compressor': GPIO.input(compressor) == 1}
            aerando = estado['ventilador']
            secando = estado['ventilador'] and estado['compressor']

            return render_template('led-e-thingspeak.html', aerando=aerando, secando=secando)

        @app.route("/aeracao/1")
        def ctrl_ligar_aeracao():
            GPIO.output(ventilador, True) #ledVerde
            return redirect("/", code=303)

        @app.route("/aeracao/0")
        def ctrl_desligar_aeracao():
            GPIO.output(ventilador, False)
            return redirect("/", code=303)

        @app.route("/secagem/1")
        def ctrl_ligar_secagem():
            if GPIO.input(ventilador) == 0:
                print("ligar ventilador")
                GPIO.output(ventilador, True)
            else:
                print("ventilador ligado")

         @app.route("/secagem/0")
         def ctrl_desligar_secagem():
             time.sleep(1.0)
             GPIO.output(compressor, False)
             time.sleep(3.0)
             GPIO.output(ventilador, False)
             return redirect("/", code=303)

         if __name__ == '__main__':
             for addr in subprocess.getoutput('hostname -I').strip().split(' '):
                 print ("-->> Servidor: http://" + addr + ":5000")
             app.run(host='0.0.0.0', debug=False)
```