

CONTROLE AUTOMATIZADO DE TEMPERATURA E UMIDADE EM ESTUFA COMERCIAL DE ORQUÍDEAS COM ARDUINO UNOR3

Roseli Corrêa Santana Duarte.

Graduanda em Engenharia de Produção, Afya-Unigranrio, Duque de Caxias, RJ,
rose2020eng@gmail.com

Moacir Porto Ferreira.

Professor Dsc em Administração, Graduado em Engenharia Civil, Afya-Unigranrio, Duque de Caxias, RJ, moacir.ferreira@afya.com.br

RESUMO

Temos aqui um Estudos de Caso que se apresenta em um projeto de Controle Automatizado de Temperatura e Umidade em uma estufa comercial de *Cattleya labiata*, visando substituir a gestão manual ineficiente e onerosa. A espécie exige temperatura ideal entre 20-25 °C e umidade de 60-70%. A solução implementada utiliza o Arduino UNO R3 como unidade central e o sensor DHT22 para medir temperatura e umidade. O sistema opera em malha fechada, acionando atuadores como aquecedor, umidificador, ventilador/exaustor e desumidificador para corrigir desvios. O estudo de caso no Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda. diagnosticou problemas como alta mortalidade (15%) e longo ciclo produtivo (14 meses). O projeto foi estruturado utilizando o Diagrama de Ishikawa e o Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) para melhoria contínua. Após a implementação da automação, a produção anual de orquídeas aumentou de 12.000 (em 2023, controle manual) para 21.000 (em 2024, controle automatizado). Isso representa um aumento percentual de 75%. A conclusão é que a automação agrícola com Arduino UNO R3 se mostrou uma solução prática, econômica e decisiva para garantir a qualidade, estabilidade e competitividade no cultivo de orquídeas.

Palavras-chave: Orquidário, Controle Automatizado de Temperatura, Arduino UNO R3

ABSTRACT

This Case Study presents an Automated Temperature and Humidity Control project in a commercial greenhouse for the *Cattleya labiata* orchid, aiming to replace inefficient and costly manual management. The species requires an ideal temperature range between 20-25 °C and humidity between 60-70%. The implemented solution utilizes the Arduino UNO R3 as the central unit and the DHT22 sensor to continuously measure temperature and humidity. Operating in a closed-loop system, it automatically activates actuators—heater, humidifier, fan/exhauster, and dehumidifier—to correct environmental deviations. The case study at Orchidarium Orquídeas Bela Flor Ltda. identified pre-automation issues such as high plant mortality (15%) and a long production cycle (14 months). The project's structure relied on the Ishikawa Diagram for problem analysis and the PDCA Cycle (Plan-Do-Check-Act) for continuous improvement. Following the automation's implementation, the annual orchid production increased significantly from 12,000 (manual control in 2023) to 21,000 (automated control in 2024), representing a substantial 75% increase. This demonstrates that agricultural automation with Arduino UNO R3 is a practical, low-cost, and decisive solution for ensuring quality, stability, and competitiveness in ornamental cultivation.

Keywords: Orchidarium, Automated Temperature Control, Arduino UNO R

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de orquídeas tem relevância econômica no Brasil [1]. A *Cattleya labiata*, de alto valor, exige temperatura entre 20–25 °C e umidade de 60–70 % de umidade. A gestão manual é ineficiente e onerosa, dificultando as condições ideais. Diante disso, temos os princípios de Automação e Controle: A Realimentação ajusta automaticamente por medições contínuas; A Malha fechada mantém a Estabilidade; A Modelagem dinâmica descreve O comportamento da estufa; Controladores PID corrigem erros; O Desempenho dinâmico avalia estabilidade; A Robustez garante desempenho; Instrumentação regula variáveis; CLPs controlam; SCADA registra; Redes comunicam e Automação distribuída assegura confiabilidade, monitoramento e controle em tempo real [2-3]. O UNO e DHT22 regula automaticamente temperatura (20–25 °C) e umidade (60–70 %) da *Cattleya labiata*, oferecendo solução de baixo custo, prática e acessível [1,2].

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Cultivo de Orquídeas e os Fatores Ambientais

O cultivo de *Cattleya* [1, 18, 54-57] exige controle rigoroso de temperatura e umidade para garantir crescimento e floração adequados [1, 8]. Por serem espécies tropicais [1, 18, 54–57], a estufa reproduz seu habitat e evita perdas [19].

Temperatura instável causa choque fisiológico, reduz fotossíntese e pode gerar estresse térmico ou desidratação [1, 18, 54-57]. Regula a transpiração: abaixo de 60% causa murcha, acima de 70% favorece fungos. O controle manual é exaustivo, impreciso e gera perdas [18, 54-57].

2.2 O Papel da Automação no Controle Ambiental

A automação é a solução mais eficiente para substituir o controle manual de temperatura e umidade em estufas. Monitora e ajustes em tempo real [3,9, 26–50].

O sistema opera em malha fechada: o DHT22 mede as variáveis de temperatura e umidade, o Arduino UNO R3 compara com o setpoint e os atuadores corrigem desvios, garantindo estabilidade e precisão no cultivo [9]. Isso aumenta a produtividade e reduz consumo de energia e custos.

O Arduino UNO R3 foi escolhido por ser uma plataforma aberta, acessível e adequada ao controle necessário [10-11], atuando como o “cérebro” do sistema. A automação depende de componentes que monitoram, interpretam e ajustam o ambiente de forma integrada [3].

2.3 Componentes Essenciais para o Sistema de Automação

Para o sistema de automação funcionar corretamente, são utilizados componentes que atuam juntos para monitorar, interpretar e ajustar as condições ambientais [3]. A seguir, descrevem-se a função de cada elemento e a tecnologia empregada:

- a) Sensor de Temperatura e Umidade (DHT22): Mede temperatura e umidade com boa precisão e baixo custo, usando elemento capacitivo e termistor [2, 12]. Sua comunicação digital em fio único simplifica a ligação ao Arduino, que interpreta os dados para acionar o sistema [2];
- b) Módulo Relé: Controla aquecimento, umidificação e ventilação, atuando como chave eletromecânica acionada pela baixa tensão do Arduino [3, 13]. O isolamento

galvânico protege o microcontrolador, e o módulo de 4 canais permite comandar quatro atuadores com quatro portas digitais [13];

c) Atuadores (Aquecedor, Umidificador, Ventilador e Desumidificador): São os dispositivos que ajustam o ambiente da estufa conforme os comandos do Arduino, atuando diretamente sobre temperatura e umidade;

d) Aquecedor (Resistência de Cerâmica com Ventilador): Ativado quando a temperatura está abaixo do ideal [4, 14]. Usa cerâmica PTC, cuja resistência aumenta com a temperatura, reduzindo a corrente e evitando super aquecimento;

e) Umidificador Ultrassônico Compacto: Ativado quando a umidade está abaixo do ideal [5, 15]. Usa disco ultrassônico que transforma água em névoa fria, elevando a umidade sem alterar a temperatura e com baixo consumo;

f) Ventilador/Exaustor: Circula o ar interno, evitando bolsões que favorecem fungos [6, 16]. Distribui temperatura e umidade e, em calor excessivo, atua como exaustor para remover ar quente;

g) Desumidificador de Ar Portátil: Ativado quando a umidade excede o ideal, prevenindo fungos [7, 17]. Usa tecnologia Peltier, que condensa vapor em placa fria e dissipa calor no lado oposto, oferecendo solução compacta e econômica.

A lógica do Arduino integra os componentes, lendo continuamente o DHT22 e comparando os valores aos parâmetros ideais para *Cattleya* [1]., acionando ou desligando os atuadores para manter temperatura e umidade adequada [3, 9-10].

3. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar a automação instalada em uma estufa de *Cattleya labiata* (Figuras 01a e 01b) do Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda., Petrópolis–RJ. Antes controlada manualmente, a estufa de 50 m² gerava instabilidade e alto consumo. Em 2024, adotou-se o Arduino UNO R3 para monitorar e ajustar temperatura e umidade, tornando o cultivo eficiente. O sistema foi projetado para: Acionar automaticamente os atuadores; Monitorar temperatura e umidade com o DHT22 [2] e Usar o Arduino UNO R3 como unidade central.



Figura 01 - a) Orquídeas e b) Estufa com controle de temperatura e umidade.

Fonte: [18-19]

4. METODOLOGIA E EQUIPAMENTOS

Utilizando a metodologia de Estudo de Caso, conforme Yin, investiga-se um fenômeno real em seu contexto, analisando causas e relações por múltiplas evidências [58]. Essa abordagem é adequada para compreender o controle climático em estufas, permitindo avaliar variáveis que não podem ser isoladas em laboratório.

Com o Diagrama de Ishikawa e o Ciclo PDCA, identificam-se causas dos problemas e implementam-se soluções. Após essa etapa, a empresa integra a Automação e Controle, empregando sistemas eletrônicos para operar processos com mínima intervenção humana [9], utilizando Arduino UNO R3, sensor DHT22, aquecedor cerâmico, umidificador ultrassônico, ventilador e desumidificador.

5. ESTUDO DE CASOS

5.1.Contexto

O Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda., produtora em estufa comercial, enfrentava altos custos e perdas significativas devido ao cultivo manual sem sensores ou supervisão digital, causando falhas no controle ambiental.

5.2. Principais Problemas Antes da Automação

Os Problemas Diagnosticados na estufa antes da automação são:

Alto consumo de energia dos ventiladores e iluminação funcionando continuamente (3.600 kWh/mês; custo R\$ 2.880,00); Desperdício de água na irrigação manual que consumia 2.200 L/dia, com 30% de desperdício (custo extra R\$ 250,00/mês); Ciclo produtivo longo de 14 meses, podendo ser reduzido para 11 em sistemas automatizados; Alta mortalidade de 15% das plantas (~3.800 mudas) que leva a um prejuízo anual de R\$ 110.000,00; Mão de obra elevada com 4 funcionários dedicados com custo mensal R\$ 4.000,00; Oscilações térmicas noturnas, sem sensores, 30% das plantas sofrendo estresse no inverno.

6. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

6.1 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa [59-61], também chamado de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, é uma ferramenta de gestão da qualidade que visa identificar, organizar e visualizar sistematicamente as causas de um problema específico.

- a) Formato visual: Parece com a espinha de um peixe, onde a "cabeça" representa o problema ou efeito a ser analisado, e as "espinhas" principais representam categorias de causas.
- b) Categorias de causas: Geralmente agrupadas em 6M no setor industrial (Método, Máquina, Material, Mão de obra, Meio ambiente, Medição) ou em categorias adaptadas a outros contextos.
- c) Abordagem estruturada: Permite que equipes identifiquem causas potenciais, explorem relações e priorizem soluções.
- d) Aplicação prática: Amplamente utilizado em manufatura, serviços, engenharia e processos administrativos para diagnosticar problemas de produtividade, qualidade ou processos.

O Diagrama de Ishikawa (Figura 02) facilita a análise detalhada de um problema, mostrando suas causas possíveis de forma organizada e visual, servindo como base para ações corretivas ou melhorias de processos.

6.2 Elaboração do Diagrama de Ishikawa nesse caso

Foi feito através dos problemas detectados em 5.2:

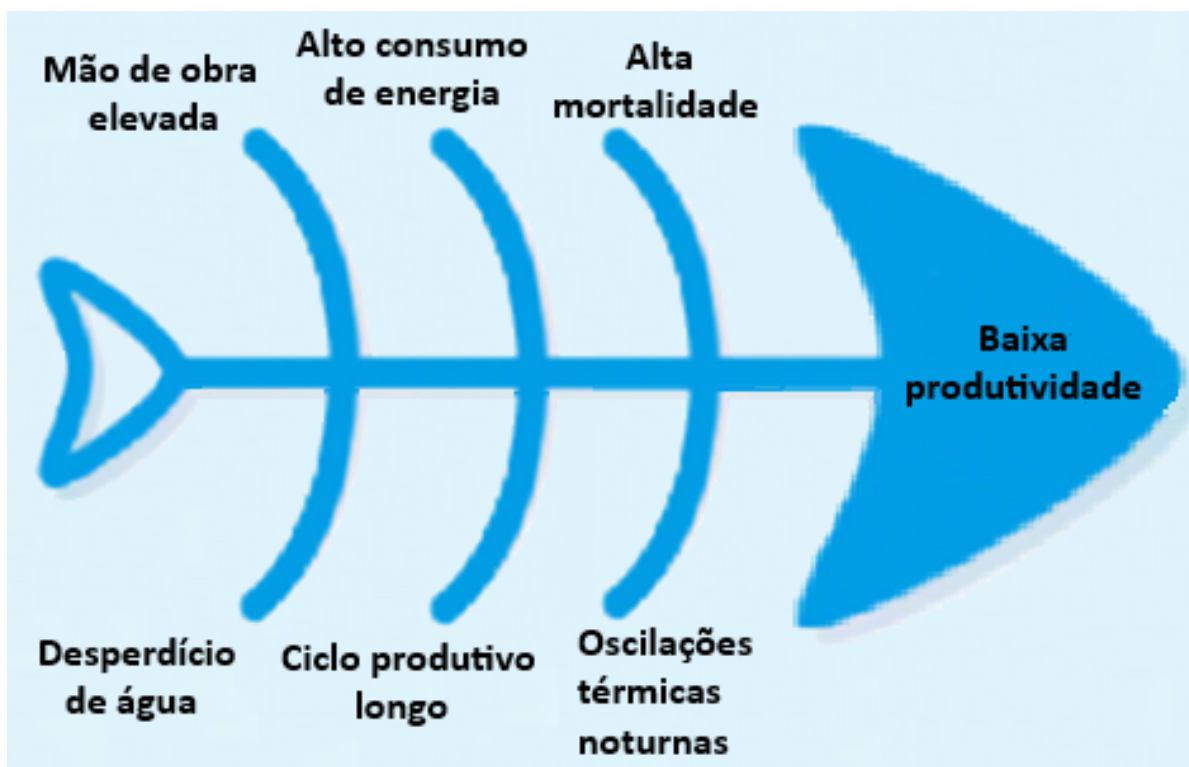


Figura 02 - Diagrama de Ishikawa

Fonte: O Autor

6.3 O Ciclo PDCA

O Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) [62] é uma metodologia de gerenciamento iterativa que visa a melhoria contínua de processos, produtos ou serviços.

É composto por quatro etapas cíclicas, Planejar, Fazer, Checar e Agir (Figura 03). Fornecem uma estrutura padronizada para solucionar problemas e aprimorar a qualidade. Também conhecido como Ciclo de Deming, ele exige que, após a padronização dos acertos, o ciclo seja reiniciado para buscar otimizações sucessivas.



Figura 03 - Ciclo PDCA

Fonte: [62]

6.4 Elaboração do Ciclo PDCA: Para solucionar os problemas e implantar a Automação e Controle do Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda

Quadro 01- Ciclo PDCA - Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda

Etapa	Sigla	Descrição da Aplicação
Planejar	Plan	Problema: Alto custo e perdas por controle manual ineficiente de temperatura e umidade. Meta: Implementar automação de baixo custo para manter temperatura entre 20-25 °C e umidade entre 60-70% (para <i>Cattleya labiata</i>). Método: Usar Arduino UNO R3, sensor DHT22 e atuadores em malha fechada.
Fazer	Do	Instalar os componentes eletrônicos essenciais: Arduino UNO R3, sensor DHT22, Módulos Relé e os Atuadores (Aquecedor, Umidificador, Ventilador/Exaustor e Desumidificador). Carregar o código de controle no Arduino para acionar os atuadores automaticamente.
Checar	Check	Monitorar continuamente as leituras do sensor DHT22 no Monitor Serial do Arduino. Comparar os resultados da estufa com as metas ideais (20-25 °C e 60-70%) para verificar a eficácia do sistema de automação.
Agir	Act	Ações Corretivas: Se as metas não forem atingidas, ajustar o setpoint (TEMP/ <u>UMID</u> MIN/MAX) no código do Arduino. Padronização: Após atingir as metas (estabilidade e redução de perdas), padronizar o sistema de automação para uso contínuo e planejar o próximo ciclo PDCA buscando novas melhorias (ex: eficiência energética).

Fonte: O Autor

O Ciclo se retoma a cada 3 meses, adaptando-se com as estações do ano.

6.5 Componentes Eletrônicos, Instalação e Teste

a) Montagem do Circuito: Conecta o sensor DHT22 (porta digital) e os quatro Módulos Relé (portas separadas) ao Arduino UNO R3. Cada relé será ligado a um Atuador específico (aquecedor, umidificador, ventilador e desumidificador). O sistema será alimentado por fonte compatível;

.b) Programação em C++ (IDE Arduino): implementa o controle em malha fechada, usando as leituras do DHT22 para acionar os atuadores [2-3].

O sistema é centrado no Arduino UNO R3 (Figura 04a) [2, 11] e utiliza o sensor DHT22 (temperatura e umidade), módulos relé [3] e fontes compatíveis (5 V). Sua natureza aberta e adaptável é ideal para o projeto [10]. O sensor DHT22 (Figura 04b) [12] mede temperatura e umidade com precisão, enviando dados ao Arduino para decisões automatizadas conforme a programação.

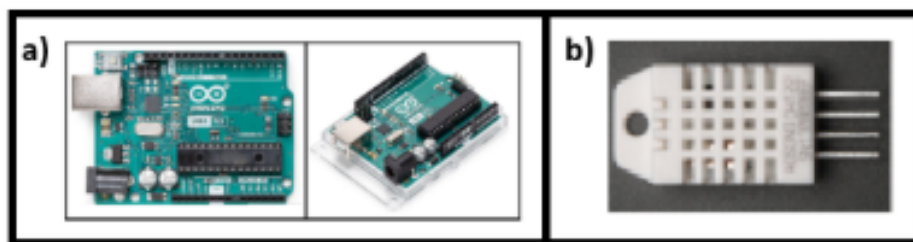


Figura 04 - a) Arduino UNO R3 e b) Sensor DHT
Fonte: [11-12]

c) Instalação e Testes: O sistema será instalado na estufa e testado, garantindo precisão e eficiência no controle da temperatura e umidade [2-3].

6.6 Dispositivos de Atuação

O sistema utiliza quatro atuadores principais: aquecedor cerâmico com ventilador, umidificador ultrassônico, ventilador de refrigeração e desumidificador portátil [4-7]. Assim temos:

a) Aquecedor: resistência cerâmica com ventilador para elevar a temperatura, atuando como termoventilador (Figura 05a)

b) Umidificador: para aumentar a umidade, um umidificador ultrassônico será acionado, liberando vapor de água no ambiente (Figura 05b);

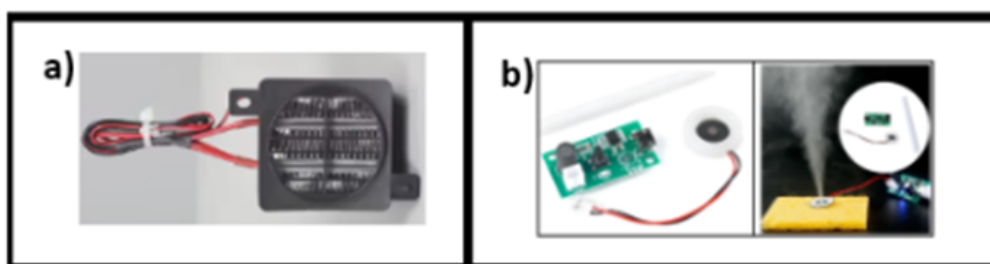


Figura 05 - a) Aquecedor (Resistência com Ventilador) e b) Umidificador Ultrassônico.

Fonte: [14-15]

c) Refrigeração por Ventilador: para baixar a temperatura, será utilizado um ventilador de exaustão realizando a circulação de ar frio externo (Figura 06a).

d) Desumidificador: para reduzir a umidade, será utilizado um desumidificador termoelétrico com elemento (Figura 06b).

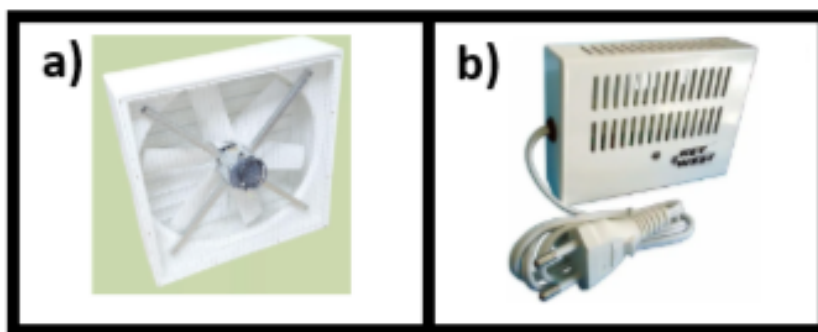


Figura 06 - a) Ventilador e b) Desumidificador
Fonte: [16-17]

Os dispositivos serão controlados por Módulos Relé de 4 canais (Figura 07), isolando a alta voltagem dos atuadores da baixa voltagem do Arduino.



Figura 07- Módulos Relé de 4 canais
Fonte: [13]

6.7 Operação do Sistema

O DHT22 envia continuamente temperatura e umidade ao Arduino UNO R3 [2], que compara os dados com os valores de referência [2]: Temperatura < 20 °C, o aquecedor é ativado [4]; Temperatura > 25 °C, o ventilador/exaustor é ativado [6]; Umidade < 60 %, o umidificador ultrassônico é ativado [5] e Umidade > 70 %, o desumidificador é ativado [7]. Os aparelhos são desligados automaticamente no momento em que os valores retornam à faixa ideal.

7. CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO PARA O ARDUINO (C++)

```

#include <DHT.h>
#define PIN 2
DHT d(PIN, DHT22);

const int R[]={3,4,5,6}; // 0:heat 1:humid 2:fan 3:dehumid (LOW=ON)
const float L[]={20,25,60,70}; // 0:TempMin, TempMax, HumMin, HumMax
const float H[]={0.8,2.5}; // Histerese Temp(°C), Hum(%)

void S(int p, bool o){ digitalWrite(p,o?LOW:HIGH); }

void setup(){
  Serial.begin(9600); d.begin();
  for(int p:R){ pinMode(p,1); S(p,0); }
  Serial.println("OK INIT");
}

void loop(){
  delay(2000);
  float t=d.readTemperature(), u=d.readHumidity();
  if(!isnan(t) || !isnan(u)){ Serial.println("ERR"); return; }

  Serial.print("T:");Serial.print(t);Serial.print("C U:");Serial.print(u);Serial.println("%");

  // Temp ctrl: exclusão -> heat OU fan
  if(t<L[0]-H[0]){ S(R[0],1); S(R[2],0); Serial.println("HEAT"); }
  else if(t>L[1]+H[0]){ S(R[0],0); S(R[2],1); Serial.println("FAN"); }
  else { S(R[0],0); S(R[2],0); Serial.println("T OK"); }

  // Umidade ctrl: exclusão -> humid OU dehumid
  if(u<L[2]-H[1]){ S(R[1],1); S(R[3],0); Serial.println("HUMID"); }
  else if(u>L[3]+H[1]){ S(R[1],0); S(R[3],1); Serial.println("FAN"); }
  else { S(R[1],0); S(R[3],0); Serial.println("U OK"); }
}

```

Figura 08- Código C++ (Arduino) , usando arrays para relés.

Fonte: O Autor

Códigos de Programação C++, Figura 08, tem como Referências Bibliográficas [50-53].

Temos assim as instruções de implementação:

a) Requisitos de Software e Hardware

i) Software: Arduino IDE instalada no seu computador.

ii) Hardware: Arduino UNO R3; Sensor de Temperatura e Umidade DHT22; Módulo Relé de 4 canais; Atuadores como Aquecedor, Umidificador, Ventilador e Desumidificador; Cabos e Fonte de alimentação para o Arduino e atuadores.

b) Configuração do Ambiente

Antes de carregar o código, deve-se instalar a biblioteca do sensor DHT na Arduino IDE:

- i) Abra a Arduino IDE;
- ii) Vá em Sketch > Incluir Biblioteca > Gerenciar Bibliotecas;
- iii) Na barra de pesquisa, digite **DHT**;
- iv). Localize a biblioteca **DHT sensor library** (geralmente da Adafruit) e clique em Instalar.

c) Montagem do Circuito

Conecte os componentes ao Arduino conforme as definições de pinos no código:

- i) Sensor DHT22: Conecte o pino de dados ao pino digital D2 do Arduino. Conecte o pino VCC à saída de 5V do Arduino e o GND ao GND.
- ii) Módulo Relé: Conecte o pino **IN1** ao pino digital D3, **IN2** ao D4, **IN3** ao D5 e **IN4** ao D6 do Arduino. Conecte os pinos VCC e GND do módulo relé às saídas de 5V e GND do Arduino, respectivamente.
- iii) Atuadores: Para cada atuador (aquecedor, umidificador, etc.), conecte o fio de energia (fase) ao terminal **COM** do relé correspondente. Conecte o fio que vai para o atuador ao terminal **NO** (normalmente aberto) do mesmo relé. O outro fio do atuador (neutro) deve ser conectado diretamente à fonte de energia.

Atenção: A montagem dos atuadores deve ser feita com a energia desligada e, preferencialmente, por um profissional, pois envolve alta tensão.

d) Carregamento e Teste

- i) Conectar o Arduino ao computador via cabo USB;
- ii) Abrir o código fornecido na Arduino IDE;
- iii) Ir em Ferramentas > Placa e selecione "Arduino UNO";
- iv) Ir em Ferramentas > Porta e selecionar a porta COM correta;

v) Clicar no botão de "Carregar" (a seta para a direita);

vi) Após o carregamento, abrir o Monitor Serial (lupa no canto superior direito da IDE). Ver as leituras atuais e status dos atuadores.

O sistema controla automaticamente a estufa em malha fechada, com ajustes de TEMP_MIN, TEMP_MAX, UMID_MIN e UMID_MAX para calibrar às necessidades das orquídeas

8. RESULTADOS

8.1 Número de Mortalidade das Mudanças de Orquídeas

Observou-se uma diminuição no número de mortalidade das mudas de orquídeas ao longo de todo o ano de 2024 quando comparado a 2023. Como mostra o Gráfico 01:

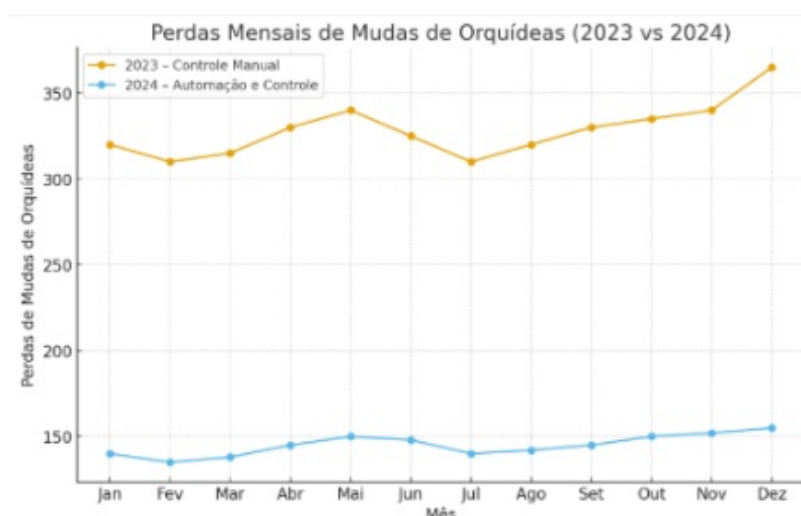


Gráfico 01- Mortalidade de mudas em 2023 e de 2024

Fonte: O Autor

8.2 Consumo de Água

O consumo de água de 2023 oscilava perto de 20000L/mês com a irrigação manual. Em 2024, após a automação do controle ambiental implementado e aplicado no Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda., o desperdício de cada mês comparado, diminuiu como mostra o Gráfico 02.

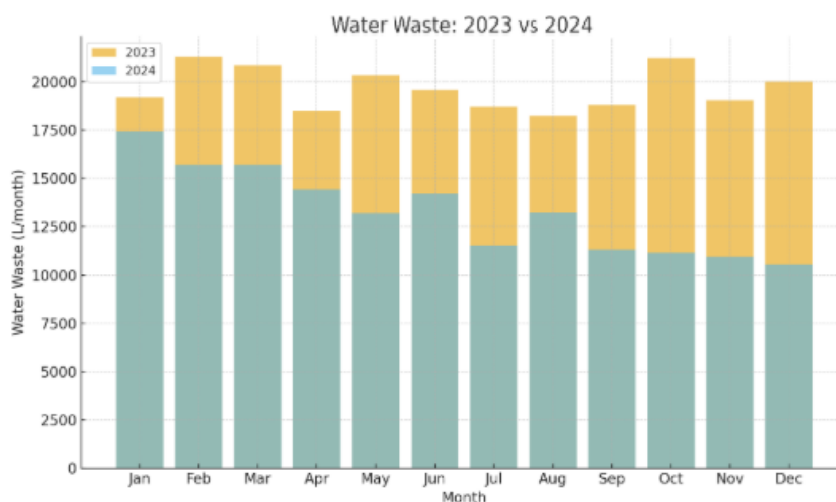


Gráfico 02- Mortalidade de mudas em 2023 e de 2024

Fonte: O Autor

8.3 Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica de total de 2024, após a automação do controle ambiental implementado e aplicado no Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda, reduziu em 4050 kWh nesse ano quando comparado ao consumo total de 2023. Bem como durante os meses de 2024 ocorreu redução do consumo quando comparado ao ano de 2023, como mostra o Quadro 02.

Quadro 02- Consumo de Energia Elétrica mês a mês de 2023 a 2024. E redução alcançada em 2024

Mês	Consumo 2023 (Controle Manual - kWh)	Consumo 2024 (Controle Automatizado - kWh)	Redução (kWh)
Jan	1800	1450	350
Fev	1750	1400	350
Mar	1900	1550	350
Abr	1650	1300	350
Mai	1500	1200	300
Jun	1400	1100	300
Jul	1550	1250	300
Ago	1700	1350	350
Set	1850	1500	350
Out	1950	1600	350
Nov	1800	1450	350
Dez	2000	1600	400
TOTAL	20800	16750	4050

Fonte: O Autor

8.4 Produção de Orquídeas

Constatou-se que em 2023 (de janeiro a dezembro), com controle manual, a produção foi de 12.000 orquídeas, enquanto em 2024 (de janeiro a dezembro), com Automação e Controle, aumentou para 21000 orquídeas. Como mostra o Gráfico 02.

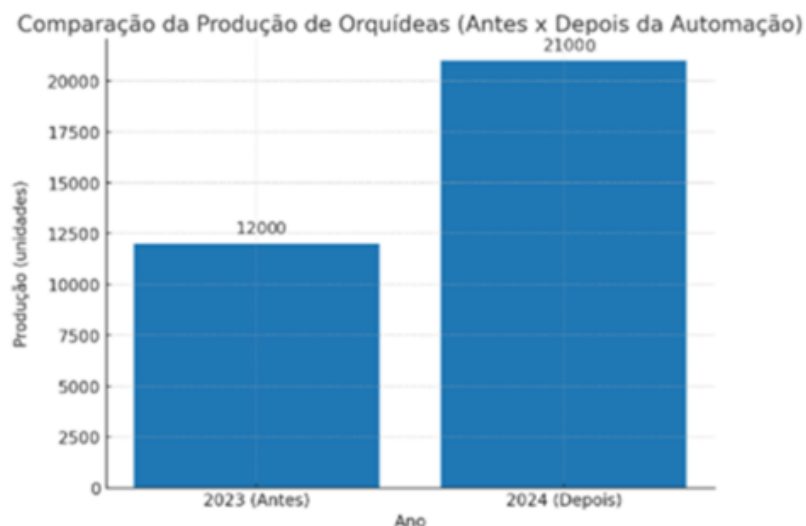


Gráfico 03- Produção de Orquídeas no ano de 2023 (controle manual) e no ano de 2024 (controle automatizado)

Fonte: O Autor

O Gráfico 02 mostra que a produção de orquídeas aumentou 75% de 2023 (controle manual) para 2024 (controle automatizado).

A seguir temos os cálculos:

$$\text{Aumento Percentual} = \frac{(\text{Produção 2024}) - (\text{Produção 2023})}{\text{Produção 2023}} \times 100 = \frac{(21000) - (12000)}{12000} \times 100 = 75\%$$

9. CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou a importância da automação no controle climático de estufas, tomando como caso o Orquidário Orquídeas Bela Flor Ltda., produtora de *Cattleya labiata*.

Identificou-se que as oscilações de temperatura e umidade eram o principal problema, conforme mostrado pelo Diagrama de Ishikawa, que apontou causas também metodológicas, humanas e ambientais.

A adoção do Arduino UNO R3 com sensor DHT22 e atuadores mostrou-se solução prática e econômica, estruturada pelo Ciclo PDCA.

A comparação entre 2023 e 2024 revelou expressivo aumento de produtividade após a automação. Conclui-se que a automação agrícola é decisiva para qualidade, estabilidade e competitividade no cultivo ornamental.

REFERÊNCIAS

- [1] MENEZES, L. C. Cattleya. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)**, 2011.
- [2] ARDUINO EXPERT. **Tutorial de sensor DHT22 com Arduino**. Disponível em: <https://arduinoexpert.com/blog/humidity-temperature-sensor-dht22>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- [3] HACKSTER.IO. **Greenhouse Automation with Arduino**. Disponível em: <https://hackster.io/ingeimaks/diy-greenhouse-automation>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- [4] AMAZON BRASIL. **Aquecedor cerâmico portátil para estufas**. Disponível em: <https://www.amazon.com.br>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- [5] MERCADO LIVRE. **Umidificador ultrassônico compacto**. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- [6] KALUNGA. **Ventilador e exaustor para estufa agrícola**. Disponível em: <https://www.kalunga.com.br>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- [7] MAGALU. **Desumidificador de ar portátil**. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br>. Acesso em: 23 ago. 2025.
- [8] PEREIRA, S. **Orquídeas: Guia completo de cultivo e cuidado**. São Paulo: Editora Jardim, 2018.
- [9] OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- [10] MONK, S. **Programando o Arduino: Guia completo para iniciantes**. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2013.
- [11] ARDUINO. **Arduino UNO R3**. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [12] ADAFRUIT. **Sensor DHT22**. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/385>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [13] ROBOCORE. **Módulos Relé de 4 canais**. Disponível em: <https://www.robocore.net/modulos-arduino/modulo-rele-4-canais>. Acesso em: 23 ago. 2023.

- [14] ALIEXPRESS. **Aquecedor (resistência de cerâmica com ventilador)**. Disponível em: <https://www.aliexpress.com/w/wholesale-ceramic-heater-with-fan.html>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [15] ALIEXPRESS. **Umidificador ultrassônico**. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005005886481622.html>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [16] GROWSHOP GALIZA. **Ventilador**. Disponível em: <https://www.growshopgaliza.com/pt/ventiladores-extractores/306-ventilador-de-extracao.html>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [17] AMAZON BRASIL. **Desumidificador termoelétrico**. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Mini-Desumidificador-Dehumidifier-Termoelétrico-Silencioso/dp/B07R4DPR1N>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [18] CRECER PLANTAS. **Orquídeas (Cattleya labiata)**. Disponível em: <https://crecerplantas.com/cattleya-labiata/>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [19] ORQUIDÁRIO CHÁCARA SUÍÇA. **Orquídeas (Cattleya labiata) cultivadas em estufas climatizadas**. Disponível em: <https://www.orquidariochacarasuica.com.br/Orquidario/Pagina/Estufas>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- [20] ELETROBRAS. **Relatório de consumo energético em estufas agrícolas. 2021**.
- [21] ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Indicadores de uso de água na agricultura**. 2020.
- [22] BORBA, J. C. **Explorando o futuro do cultivo: inovações em casas de vegetação inteligentes e eficientes energeticamente para a produção de mudas de bananeira e orquídea**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2023.
- [23] MENEZES, L. C. **Cattleya labiata: a orquídea do Nordeste**. Brasília: Ibama, 2004.
- [24] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – Custos de mão de obra rural**. 2020.
- [25] BARBOSA, C. **Efeitos do estresse térmico em plantas ornamentais**. *Horticultura Brasileira*, v. 29, n. 4, p. 71-84, 2019.
- [26] DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. 13. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- [27] BEGA, E. A. **Instrumentação industrial: conceitos, aplicações e análise**. 4. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2017.
- [28] MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [29] NATALE, F. **Automação industrial**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2001.
- [30] SILVEIRA, P. R. da; SANTOS, W. E. **Automação: controle discreto**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2012.
- [31] FRANCHI, Claiton M. **Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.

- [32] PRUDENTE, Francesco. **Automação industrial – CLP: programação e instalação**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [33] PRUDENTE, Francesco. **Automação industrial – CLP: teoria e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- [34] GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [35] ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, controle e automação de processos**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [36] BOLTON, William. **Instrumentação e controle**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [37] YONEYAMA, Takashi; NASCIMENTO JR., Cairo L. **Inteligência artificial em controle e automação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- [38] CAMPOS, Mário César M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- [39] GEORGINI, Marcelo. **Automação aplicada: descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2002.
- [40] STEPHANOPOULOS, George. **Chemical process control: an introduction to theory and practice**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1984.
- [41] CASSANDRAS, Christos G.; LAFORTUNE, Stéphane. **Introduction to discrete event systems**. 2. ed. Nova York: Springer, 2007.
- [42] LIPTAK, Béla G. **Instrument engineer's handbook: process measurement and analysis**. 5. ed. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [43] MACHADO, João M.; COSTA, José D. C. **Controladores lógicos programáveis: aplicações práticas**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- [44] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Vols. 1 e 2. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- [45] DYM, Clive L.; LITTLE, Patrick. **Introdução à engenharia: uma abordagem baseada em projeto**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- [46] ROSÁRIO, João Manuel. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [47] KUO, Benjamin C. **Sistemas de controle não-lineares**. São Paulo: Prentice Hall, 1995.
- [48] FRANKLIN, Gene F.; POWELL, J. David; EMAMI-NAEINI, Abbas. **Feedback control of dynamic systems**. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2015.
- [49] MOROOKA, Celso K.; DE NEGRI, Victor J. **Introdução aos sistemas de controle**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2004.
- [50] SANTOS, Carlos V. T. dos; FERNANDES, José H. R. **SCADA: sistemas de supervisão e aquisição de dados**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2018.

- [51] MEYERS, Scott. **Effective C++: 55 specific ways to improve your programs and designs**. 3rd ed. Addison-Wesley, 2005.
- [52] MEYERS, Scott. **Effective modern C++: 42 specific ways to improve your use of C++11 and C++14**. O'Reilly / Addison-Wesley, 2014.
- [53] LIPPMAN, Stanley B.; LAJOIE, Josée; MOO, Barbara E. **C++ primer**. 5th ed. Addison-Wesley, 2012.
- [54] MEE, Margaret. **Orquídeas brasileiras: ilustração botânica = Brazilian orchids: botanical illustration**. EMC, 2000.
- [55] MEE, Margaret.: **in search of flowers of the Amazon forests: diaries of an English artist reveal the beauty of the vanishing rainforest**. Nonesuch Expeditions, Woodbridge, 1988.
- [56] MATOS, Ivani. **Orquídeas sem mistérios: descubra os segredos do cultivo, florescimento e cuidado com orquídeas de forma simples e eficiente**. Self-publish, 2024.
- [57] PAULA, Cláudio Coelho de; PEREGRINO DA SILVA, Helena Maria. **Cultivo prático de orquídeas**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2004.
- [58] YIN, Robert K. **Estudos de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- [59] ISHIKAWA, Kaoru. **What is Total Quality Control? The Japanese Way**. 2. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1985.
- [60] FLYNN, B. B.; SAWYER, A.; SWINK, M. **Quality Management: Creating and Sustaining Competitive Advantage**. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [61] DAHLGAARD, J. J.; HAUSER, J. R.; BUI, T. **Quality Management and the Ishikawa Diagram: Theory and Application**. London: Springer, 2018.
- [62] XAVIER, Marina. **Ciclo PDCA: O que é, Como Aplicar e Exemplos Práticos**. Clicksign Blog, 06 ago. 2025. Disponível em: <https://www.clicksign.com/blog/ciclo-pdca-o-que-e-como-aplicar-e-exemplos-praticos>. Acesso em: 23 ago. 2025.