

**Luis Mateus Galant Castanha**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE INCUBAÇÃO DE  
OVOS**

**Toledo**

**2020**

**Luis Mateus Galant Castanha**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE INCUBAÇÃO DE OVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Luis Carlos Mathias

Toledo  
2020

**Luis Mateus Galant Castanha**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE INCUBAÇÃO DE OVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Toledo, 30 de novembro de 2020:

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cinthia Eyng**  
UNIOESTE

---

**Prof. Dr. Daniel Cavalcanti Jeronymo**  
UTFPR

---

**Prof. Dr. Luis Carlos Mathias**  
Orientador

Toledo  
2020

Dedico este trabalho à minha família,  
pelo apoio e paciência,  
nos momentos de minha ausência.

## AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço a Deus, pela sabedoria, paciência e persistência.

À minha querida e amada esposa Claudete Neiss, pela amizade, compreensão, parceria, cumplicidade, por me dar forças sempre que necessário, pelos bons conselhos e por acreditar em mim nos momentos que nem eu acreditava.

Ao meu pequeno anjinho Pedro Miguel, pela paciência, carinho e incentivo durante esses anos de graduação. Você foi e sempre será meu maior incentivo.

Agradeço a meus pais, Nelson Castanha e Lucia Galant Castanha, pela educação e o bom exemplo que me deram.

Ao meu orientador, Professor Luís Carlos Mathias, por ter aceitado este desafio e me guiar no desenvolvimento deste trabalho bem como me proporcionar meios para a realização do mesmo.

Gostaria de expressar também meu reconhecimento, aos meus colegas que fizeram parte da minha graduação, em especial a Fernando Cezar Cardoso e Marcos Ramos dos Santos, com quem partilhei inúmeras horas de estudo, preocupações, ansiedades, decepções, triunfos, e acima de tudo o conhecimento e a amizade. Obrigado meus amigos, esses momentos sempre serão lembrados.

Por fim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

*“A persistência é o caminho do êxito.”  
(Charles Chaplin)*



## RESUMO

**CASTANHA**, Luis Mateus. G. **Desenvolvimento de um sistema automatizado de incubação de ovos**. 2020. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2020.

No Brasil, a crescente produção de carne de frango tem levado a busca de novas tecnologias para diminuir as perdas, melhorando a qualidade e aumentando a produção. Para tal, uma das etapas dentro da cadeia produtiva é a de incubação. Nesta etapa, são utilizadas incubadoras de ovos que são máquinas dotadas da capacidade de fornecer artificialmente as condições ideais para o desenvolvimento do embrião, por meio do controle de temperatura e umidade, viragem dos ovos, fluxo de ar, e troca de gases com o meio externo. No cenário atual, em incubadoras de grande e principalmente de pequeno porte, existem problemas das variáveis físicas que impedem maximizar a eclosão dos ovos e afetam o desempenho do pintainho pós-eclosão. Para isto, foi desenvolvido neste trabalho uma incubadora de pequeno porte automatizada com capacidade de 50 ovos e sistema de controle de temperatura proporcional-integral-derivativo (PID), controle de umidade *on-off*, viragem automática de ovos, voltada para agricultura familiar, com objetivo de oferecer melhor custo-benefício das chocadeiras de mesma capacidade disponíveis no mercado. Como avaliação cabal, o sistema foi colocado a prova em condições reais de uso obtendo como resultado um bom índice de eclosão.

**Palavras-chave:** Incubação de ovos. Sistemas embarcados. Sensor de temperatura. Controle PID.

## ABSTRACT

In Brazil, the growing production of chicken meat has led to the search for new technologies to reduce losses, improving quality, and increasing production. For this, one of the stages within the production chain is that of incubation. In this stage, egg incubators are used, which are machines equipped with the ability to artificially provide the ideal conditions for the development of the embryo, by controlling temperature and humidity, turning the eggs, airflow, and gas exchange with the medium external. In the current scenario, in large and mainly small incubators, there are problems with the physical variables that prevent maximizing the hatching of the eggs and affect the post-hatch chick performance. To this end, an automated small incubator with a capacity of 50 eggs and proportional-integral-derivative temperature control (PID) system, *on-off* humidity control, automatic egg turning, was developed in this work. For family farming, with the objective of offering a better cost-benefit ratio for broilers of the same capabilities available on the market. As a thorough evaluation, the system was put to the test under real conditions of use, resulting in a good hatching index.

**Keywords:** Incubation of eggs. Embedded systems. Temperature sensor. PID control.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de sinais. . . . .	20
Figura 2 – Processo de quantização de um sinal. . . . .	21
Figura 3 – Sistema de controle em malha fechada. . . . .	23
Figura 4 – Controle PID de uma planta no domínio da frequência. . . . .	25
Figura 5 – Curva de resposta em forma de S. . . . .	27
Figura 6 – Desenho base para construção do protótipo: Vista externa. . . . .	28
Figura 7 – Berço de acomodação dos ovos. . . . .	29
Figura 8 – Sistema de umidificação. . . . .	29
Figura 9 – Esquemático do sistema eletrônico. . . . .	30
Figura 10 – Sensores utilizados no projeto. . . . .	32
Figura 11 – Diagrama de blocos da etapa de controle de potência. . . . .	33
Figura 12 – Circuito detector de passagem por zero. . . . .	33
Figura 13 – Simulação: Detector de passagem por zero . . . . .	34
Figura 14 – Leitura dos sensores aferidos. . . . .	37
Figura 15 – Resposta ao degrau. . . . .	38
Figura 16 – Comparação entre o Modelo matemático ( $Gp_s$ ) e a resposta ao degrau. . . . .	39
Figura 17 – LGR da função de transferência ( $Gp_s$ ) . . . . .	40
Figura 18 – Resultado prático de controle PID da planta . . . . .	41
Figura 19 – Ensaio do aquecimento por lâmpada. . . . .	42
Figura 20 – Ensaio de aquecimento por resistência elétrica. . . . .	42
Figura 21 – Diferença entre ovos férteis e inférteis observados na ovoscopia. . . . .	44
Figura 22 – Curva da janela de nascimento. . . . .	45
Figura 23 – Eclosão de pintainhos. . . . .	46
Figura 24 – Resultado do experimento de incubação. . . . .	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico/Digital
CI	Circuito integrado
CPU	Unidade Central de Processamento – <i>Central Processing Unit</i>
D/A	Digital/Analógico
FT	Função de transferência
I <sup>2</sup> C	Circuito Inter-Integrado – <i>Inter-Integrated Circuit</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
LGR	Lugar geométrico das raízes
MA	Malha Aberta
MB	<i>Mega Byte</i>
MDF	Placa de Fibra de Média Densidade – <i>Medium Density Fiberboard</i>
MF	Malha Fechada
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
PWM	Modulação por Largura de Pulso – <i>Pulse Width Modulation</i>
RTC	Relógio de Tempo Real – <i>Real Time Clock</i>
SPI	Interface Periférica Serial – <i>Serial Peripheral Interface</i>
TRIAC	Triodo para Corrente Alternada – <i>Triode for Alternating Current</i>
UART	Receptor/Transmissor Assíncrono Universal – <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
Z-N	Ziegler-Nichols

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C(s)$	Resposta do sistema no domínio da frequência complexa
$e(t)$	Sinal de erro no domínio do tempo
$G(s)$	Função de transferência de um sistema
$K$	Ganho
$K_d$	Ganho diferencial
$K_i$	Ganho integral
$K_p$	Ganho proporcional
$L$	Tempo de atraso
$r(t)$	Sinal de referência do controlador no domínio do tempo
$u(t)$	Sinal de saída do controlador no domínio do tempo
$x(t)$	Sinal variante no tempo
$y(t)$	Sinal de saída da planta no domínio do tempo
$[V]$	Volt
$\tau$	Constante de tempo

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO . . . . .	14
2	OBJETIVOS . . . . .	15
2.1	Objetivo Geral . . . . .	15
2.2	Objetivos Específicos . . . . .	15
3	JUSTIFICATIVA . . . . .	16
4	REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	17
4.1	Incubação de ovos . . . . .	17
4.1.1	Tipos de incubadoras . . . . .	17
4.2	Fatores físicos responsáveis pelo processo de incubação . . . . .	18
4.2.1	Temperatura e ventilação . . . . .	18
4.2.2	Umidade relativa do ar . . . . .	18
4.2.3	Frequência de movimentação dos ovos . . . . .	19
4.3	Sensores de temperatura . . . . .	19
4.3.1	Conversão analógica-digital . . . . .	20
4.3.2	Transmissão digital de sinais . . . . .	21
4.4	Microcontroladores . . . . .	22
4.5	Teoria de controle . . . . .	22
4.5.1	Conceitos gerais . . . . .	22
4.5.2	Controle P.I.D . . . . .	24
4.5.3	Sintonia de parâmetros PID . . . . .	25
5	MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	28
5.1	Projeto e desenvolvimento estrutural . . . . .	28
5.2	Projeto eletrônico da placa de controle . . . . .	30
5.2.1	Circuito fonte . . . . .	30
5.2.2	Microcontrolador . . . . .	30
5.2.3	Interface homem-máquina . . . . .	31
5.2.4	Sensores . . . . .	31
5.2.5	Circuito de controle de potência da carga resistiva . . . . .	32
5.2.6	Circuito de acionamento dos relés . . . . .	34
5.2.7	Módulo de relógio DS1302 . . . . .	34
5.3	Método de aquecimento . . . . .	35
6	RESULTADOS . . . . .	36

6.1	Avaliação da exatidão dos sensores de temperatura DS1820 (calibração) . . . . .	36
6.2	Identificação do modelo matemático do sistema . . . . .	37
6.3	Resultado de sintonia do controlador PID . . . . .	39
6.4	Ensaio de aquecimento . . . . .	40
6.4.1	Aquecimento por lâmpadas incandescentes . . . . .	40
6.4.2	Aquecimento por resistências elétricas . . . . .	41
6.5	Teste do processo de umidificação . . . . .	43
6.6	Teste de ciclo de incubação . . . . .	43
7	CONCLUSÃO . . . . .	47
	REFERÊNCIAS . . . . .	49
	APÊNDICE A – PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO . . . . .	52
	APÊNDICE B – ESQUEMA ELETRÔNICO . . . . .	53

# 1 INTRODUÇÃO

A avicultura brasileira teve início por meio dos pequenos produtores (agricultura familiar) compostos até então por aves rústicas o qual a renda da propriedade era complementada juntamente com a produção de outras atividades como a de leite, ovos, de suínos e bovinos (ZEN et al., 2014).

Historicamente, o Sul é uma das regiões mais tradicionais para a criação de aves no país, com grande presença de cooperativas no que se refere à organização e apoio aos produtores. Entretanto nos últimos anos, iniciou-se um movimento migratório do complexo agroindustrial avícola para os estados do Centro-Oeste brasileiro, em função da acelerada expansão da produção de grãos nessas regiões e também devido ao crescente número de cooperativas do país (FILHO et al., 2011).

Neste cenário, a avicultura comercial brasileira é uma das mais desenvolvidas do mundo os quais seguem exigências rigorosas em padrões de qualidade e de segurança alimentar. Para tal, a indústria avícola brasileira progride tecnologicamente para aumentar a produção assegurando os padrões exigidos pelo mercado (FILHO et al., 2011).

Por outro lado as criações domésticas de galinha caipira os quais são praticadas por unidades agrícolas familiares, se caracterizam pela sua exploração extensiva pelo qual não há instalações ou aplicação tecnológica. Além disso este tipo de atividade carece de adoção de práticas de manejo que contemplem eficientemente os aspectos reprodutivos, nutricionais e sanitários. Todos esses fatores representam um obstáculo ao sucesso da atividade, tornando a criação de galinhas caipiras uma atividade incapaz de satisfazer às necessidades alimentares das famílias e, muito menos, de gerar lucro (SAGRILO et al., 2003).

Neste sentido, o desenvolvimento de uma incubadora eficiente de baixo custo e de pequeno porte, que possa ser disponibilizada a pequenos agricultores como forma de melhorar sua produtividade é de grande importância a sociedade pois pode beneficiar famílias que dependem desse modo de vida.

Para isso, as incubadoras devem propiciar um ambiente com controle preciso de temperatura, umidade relativa do ar, troca de gases e frequência de movimentação das bandejas de ovos. Logo, durante o decorrer deste trabalho, será abordado um estudo para o desenvolvimento de uma incubadora de pequeno porte, automatizada, com capacidade de incubação de 50 ovos. Espera-se como resultado um bom índice de eclosão como forma de comprovar a eficiência do equipamento.

## 2 OBJETIVOS

Adiante, são apresentados os objetivos para o desenvolvimento do trabalho proposto.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema automatizado de incubação de ovos sendo capaz de fornecer artificialmente as condições próximas das ideais para o desenvolvimento do embrião, por meio do controle de temperatura e umidade, viragem dos ovos, fluxo de ar, e troca de gases com o meio externo. Para tanto, serão utilizados sensores de temperatura e umidade conectados a um sistema micro-controlado responsável por fazer o controle das entradas e saídas do sistema, recebendo e informando os dados por meio de uma interface homem-máquina.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No intuito de que o objetivo geral seja alcançado, são elencados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolvimento da estrutura de confinamento capaz de comportar a quantidade especificada de ovos;
- Desenvolvimento de um mecanismo que seja capaz de fazer a viragem dos ovos na cama de acomodação;
- Desenvolvimento do sistema eletrônico composto por: sensor de temperatura e umidade, microcontrolador, sistema de aquecimento por resistência elétrica e uma interface homem-máquina;
- Validação do equipamento em situação real de incubação de ovos.

### 3 JUSTIFICATIVA

A carne de frango ganha cada vez mais espaço frente a outras proteínas animais devido a grande demanda populacional atual no mundo, tendo o Brasil como terceiro maior produtor de frango, e maior em exportação mundial sendo 3830 mil toneladas em 2019 (EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020).

Segundo dados do relatório de 2019 da ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal (2020), o estado do Paraná lidera o abate de aves sendo responsável por 35,47% do volume total, sendo também o primeiro no *ranking* de exportação com clientes espalhados por 150 países.

Diante de um mercado globalizado e de exigências crescentes nos aspectos de qualidade e segurança alimentar, as indústrias buscam modernizar seus processos e equipamentos com objetivo do aumento da produção de cortes de frango.

Nesta cadeia produtiva, a incubação de ovos representa o início do processo, sendo que a característica mais importante é o controle fino das variáveis físicas como a temperatura e umidade. Em incubadoras industriais, o índice de eclosão de ovos encontra-se próximo a 90% sendo índices menores em incubadoras de pequeno porte devido a falta de tecnologia empregada.

Em geral, em incubadoras de baixo custo e de pequeno porte, o controle de temperatura é realizado pelo método *on-off*. A umidade é apenas monitorada, sendo que o operador deve abastecer um receptáculo com água para mantê-la no ambiente, além do controle de rolagem dos ovos também ser feito de maneira manual na maioria dos casos.

As incubadoras devem propiciar o controle preciso de temperatura, umidade relativa do ar, troca de gases e frequência de movimentação das bandejas de ovos. Características fora deste contexto afetam diretamente a eficiência do equipamento trazendo consequências na eclodibilidade tais como má formação embrionária, diferenças de nascimento em um mesmo lote, afetando até mesmo o desempenho das aves no período pós eclosão.

Por meio dos tópicos citados no texto, existe a necessidade do melhoramento e aumento da produção objetivando elevar, ao máximo, o índice de eclosão e a qualidade de nascimento dos pintainhos.

Diante deste contexto, o presente trabalho corresponde a um estudo da área da engenharia eletrônica aplicado a um bioprocessamento agroindustrial para o desenvolvimento de um protótipo de incubadora de ovos de baixo custo. Provisto de um sistema embarcado centralizado que controle todo o processo do ciclo de incubação de forma automatizada, e que possua um sistema intuitivo de interpretação o qual é justificado pelas necessidades supracitadas.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são abordados os conceitos gerais a serem utilizados durante o desenvolvimento deste trabalho. Focando nos principais assuntos relevantes para a concretização do objetivo geral.

### 4.1 INCUBAÇÃO DE OVOS

A incubação de ovos refere-se ao processo em que certos animais ovíparos chocam seus ovos. Este processo engloba desde a etapa de postura até a eclosão do animal. Basicamente existem dois tipos de incubação de ovos sendo a natural quando realizada pelas próprias aves e a artificial quando realizada por incubadoras que propiciam um ambiente adequado semelhante ao natural para eclosão dos ovos (CAMPOS, 2000).

Para Visschedijk (1991), a incubação artificial é um processo cujo objetivo é fornecer artificialmente ao ovo um ambiente controlado para o desenvolvimento do embrião, procurando controlar a temperatura, a viragem do ovo, o fluxo de ar, a umidade relativa e a higiene dentro da câmara nos níveis adequados. Segundo Piaia (2005), incubadoras artificiais devem controlar a temperatura, umidade relativa e o fluxo de  $O_2$  e  $CO_2$ . Desvios fora dos valores ideais interferem no desenvolvimento do embrião, resultando no aumento da mortalidade e conseqüentemente diminuindo a eficiência do equipamento.

#### 4.1.1 TIPOS DE INCUBADORAS

As incubadoras de ovos são equipamentos que podem ser classificados basicamente em dois tipos: estágio único ou estágio múltiplo. Nas máquinas de estágio único, os ovos são introduzidos na máquina ao mesmo tempo de modo a se efetuar uma carga única. Nas máquinas de estágio múltiplo, vão se introduzindo séries de ovos segundo a idade ocupando-se o espaço deixado pelos ovos transferidos aos nascedouros de modo a se fazer uma carga escalonada (MORA, 2008).

Para Romanini (2009), em ambos os tipos de incubadoras é possível manter condições ideais para a incubação. O controle de temperatura nas incubadoras de estágio múltiplo não segue o mesmo padrão das de estágio único. As de estágio múltiplo a temperatura segue mais constante, o que dificulta a manutenção das condições ideais visto que conforme os embriões vão se desenvolvendo eles começam a perder mais calor para o ambiente. Desta forma, nas incubadoras de estágio único a temperatura é ajustada considerando essa perda de calor.

No entanto, nas máquinas de estágio único o período de vazio permite a limpeza, higiene, desinfecção da máquina e práticas de manutenção enquanto que nas máquinas

de estágio múltiplo permitem economizar energia elétrica em comparação às de estágio único devido ao fato de sempre estarem em funcionamento.

## 4.2 FATORES FÍSICOS RESPONSÁVEIS PELO PROCESSO DE INCUBAÇÃO

Para Mora (2008), dentro da máquina de incubação existe um ambiente condicionado por uma série de variáveis físicas, químicas e biológicas que influenciam no desenvolvimento do embrião e que são determinantes para a vida e o desempenho do pintainho pós-eclosão.

Conforme Mora (2008), próximo ao ovo existe uma microambiente caracterizado por fatores físicos como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, posição e frequência do giro dos ovos e concentração de oxigênio e dióxido de carbono. Desvios destes valores em relação aos seus valores ideais, geram variações na biorresposta do embrião que se traduz em variações da temperatura e na perda de água do ovo, alterando principalmente a troca de gases, a adequada formação de órgãos vitais e o aumento do tempo da janela de nascimento.

### 4.2.1 TEMPERATURA E VENTILAÇÃO

Dentro de um ambiente de incubação é necessário que haja ventilação adequada para troca de gases e também para que haja distribuição e uniformidade de temperatura neste ambiente (PIAIA, 2005).

Em processos de incubação, a temperatura é um dos fatores que determinam o sucesso da incubação de ovos. Diversos autores afirmam que a temperatura ideal para incubação é de 37,5 °C como mencionado em Mora (2008), Piaia (2005) e Lauvers e Ferreira (2011). Para French (1997), diversas conclusões a esses estudos foram destacadas como sendo:

- A temperatura contínua adequada para incubação está entre 37 e 38 °C, embora a eclosão seja possível entre 35 e 40,5 °C;
- Os embriões são mais sensíveis às temperaturas altas, do que para baixas;
- O efeito da exposição à temperatura inadequada depende da intensidade do desvio da faixa de temperatura ideal e do tempo dessa exposição;
- Os embriões parecem ser mais sensíveis às variações de temperatura da faixa considerada ideal, no início do período de incubação, do que no final do período.

### 4.2.2 UMIDADE RELATIVA DO AR

Durante o período de incubação, os ovos perdem água e a taxa de perda depende da umidade dentro da incubadora. A umidade possui grande influência em termos de perda

de água do ovo durante a incubação. Quando a umidade relativa do ar é mais baixa a perda de água é menor (MORA, 2008).

Estudos realizados por BUHR (1995), demonstram que o intervalo ideal de umidade relativa que se deve apresentar no ambiente confinado da máquina está entre 40% e 70%. Umidade relativa alta traz como consequências pintainhos com fraqueza devido a desidratação excessiva, enquanto que por outro lado, umidade relativa baixa faz com que os pintainhos nasçam colados a casca do ovo podendo ocasionar lesões graves.

### 4.2.3 FREQUÊNCIA DE MOVIMENTAÇÃO DOS OVOS

Em condições naturais, a posição do ovo durante a incubação é horizontal. As aves fazem naturalmente o movimento dos ovos ao movimentar-se sobre o ninho. Para Piaia (2005), a viragem ou alteração dos ovos durante a incubação é um dos fatores que influenciam a taxa de mortalidade do embrião. Entretanto outros fatores devem ser levados em consideração como sua orientação durante a estocagem e a incubação e também a frequência diária de giros.

Mora (2008) e Romanini (2009) relatam que os ovos necessitam de movimentos periódicos de giro principalmente para manter o embrião sempre no meio do ovo e evitar que pela sua densidade se cole na parte interna da casca e morra.

Para Wilson (1995), o ato de virar o ovo permite o embrião ser envolvido por nutrientes frescos permitindo assim o seu desenvolvimento. A viragem é fundamental e crítica na primeira semana pois o embrião não possui um sistema circulatório bem definido.

## 4.3 SENSORES DE TEMPERATURA

Sensores de temperatura são dispositivos que respondem a estímulos físicos promovidos pela oscilação de temperatura os quais produzem saída sendo do tipo analógica ou digital. Estas saídas são proporcionais ao valor da grandeza física que está sendo medida (BALBINOT; BRUSAMARELLO, 2011).

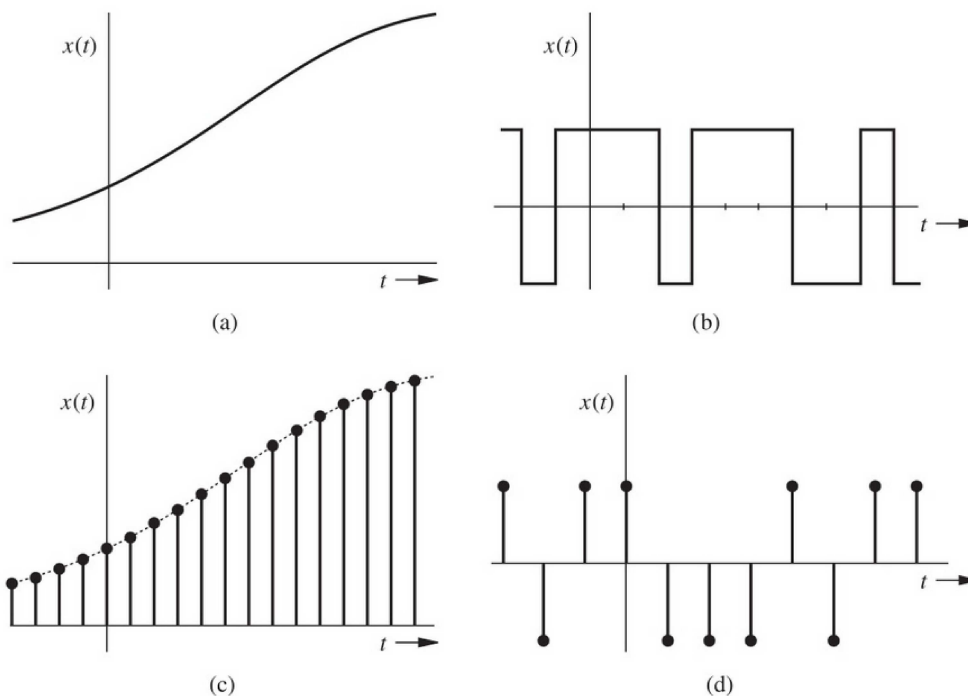
Existem diversos tipos de sensores disponíveis comercialmente, entretanto os mais comuns em aplicações industriais são os termopares, termorresistências, termistores, pirômetros além dos sensores fabricados a partir de materiais semicondutores.

Os sensores de temperatura fabricados a partir de materiais semicondutores, encapsulados na forma de circuitos integrados, são dotados de um circuito oscilador de alta precisão, responsável pela conversão dos sinais analógicos em digitais. A transferência de dados é feita segundo um protocolo de comunicação específico, ou por meio de um microcontrolador responsável pela leitura de dados (NETO, 2003).

### 4.3.1 CONVERSÃO ANALÓGICA-DIGITAL

Um sinal é uma sequência de dados e pode ser analisado em função de variáveis. Um exemplo comum e conhecido são os sinais interpretados em função do tempo (LATHI, 2006). Quando observado, pode ser caracterizado como contínuo ou discreto, analógico ou digital. Os conceitos de contínuo e discreto são geralmente relacionados ao comportamento do sinal em relação ao tempo, enquanto os conceitos de analógico e digital tem relação com à amplitude do sinal. A Figura 1 mostra os tipos possíveis de sinais sendo: (a) analógico e contínuo; (b) digital e contínuo, (c) analógico e discreto e (d) digital e discreto (LATHI, 2006).

Figura 1 – Tipos de sinais.



Fonte – Lathi (2006).

Segundo Lathi (2006), os sinais presentes na natureza, assim como os sinais elétricos provenientes de dispositivos analógicos são na grande maioria contínuos. Este tipo de sinal contém valores na amplitude em todas as infinitas faixas de tempo.

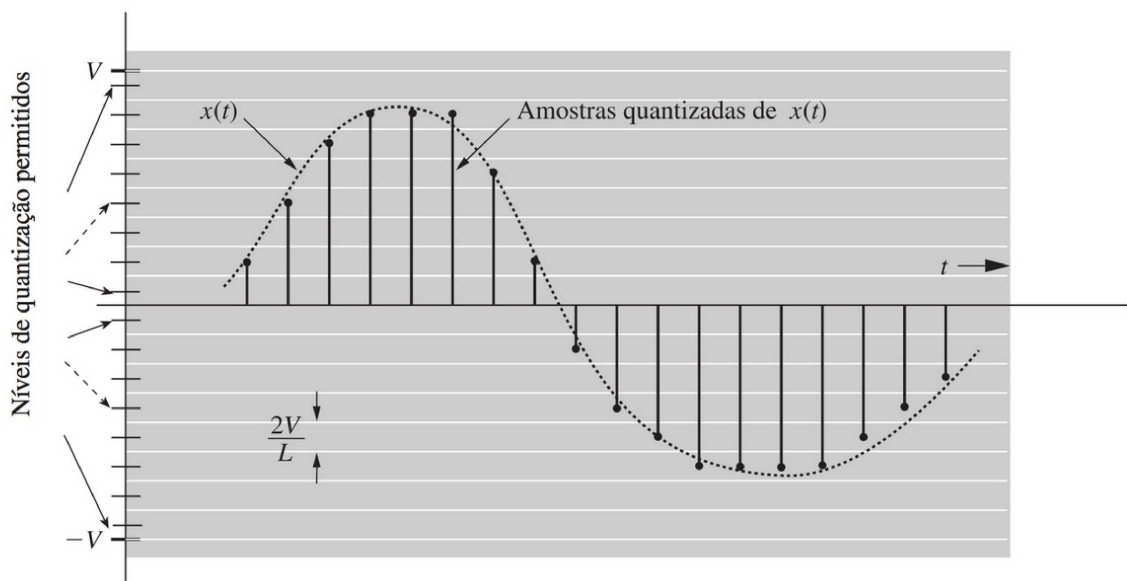
Na prática, é impossível implementar um dispositivo que armazene dados de toda a faixa de tempo, logo, é necessário realizar a análise dos sinais para a captura de sinais contínuos pelo método da discretização dos sinais. A discretização de um sinal contínuo é realizada por meio de amostragens em uma sequência. Quanto maior a frequência de amostragem, maior a quantidade de dados analisada, e mais semelhante do sinal contínuo será o sinal discreto (OPPENHEIM, 1999).

O tratamento de sinais analógicos também sofrem outra limitação física, pois este tipo

de sinal pode assumir infinitos valores de amplitude, o que também é fisicamente impossível de ser analisado por um dispositivo digital. Portanto o sinal analógico é submetido a um processo de amostragem (discretização no tempo) e quantização (discretização em amplitude). Este processo se dá pela captura do valor mais próximo dos valores possíveis permitidos ou níveis de quantização. Considerando que a amplitude de um sinal analógico varie na faixa de  $+V$  a  $-V$ , este sinal é particionado em  $L$  sub-intervalos sendo que posteriormente o sinal é aproximado pelo valor médio do intervalo do qual a amostra se encontra. Desta forma, quanto maior o número de níveis de quantização para uma faixa de valores, melhor é a resolução do sinal. Por exemplo, um sinal que tenha amplitude variando entre 0 e 1 V e 3 *bits* ( $2^3$  ou 8 níveis de quantização), tem resolução de 0,125 V (LATHI, 2006).

A Figura 2 exhibe o processo de quantização de um sinal analógico senoidal  $x(t)$ , no qual as amplitudes estão na faixa dentre  $-V$  e  $V$ . Esta faixa contém  $L$  níveis de quantização.

**Figura 2 – Processo de quantização de um sinal.**



Fonte – Adaptado de Lathi (2006).

### 4.3.2 TRANSMISSÃO DIGITAL DE SINAIS

Para Forouzan (2006), a transmissão de dados pode ser dividida em duas categorias: transmissão paralela e transmissão serial. Na transmissão paralela, inúmeros *bits* são transmitidos em um mesmo período de tempo enquanto que, na transmissão serial, os *bits* são enviados um a um por um período de tempo.

A transmissão serial é subdividida em três (3) sub-grupos sendo eles: transmissão assíncrona, transmissão síncrona e transmissão isócrona. Na transmissão assíncrona, os dados são enviados em padrões que desconsideram o intervalo de tempo entre eles, como

por exemplo o protocolo UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*). Na transmissão síncrona, os dados são enviados sequencialmente considerando o *clock* do dispositivo, são exemplos os protocolos SPI (*Serial Peripheral Interface*) e I<sup>2</sup>C (*Inter-Integrated Circuit*). Por fim, na transmissão isócrona, os dados são enviados e chegam ao receptor à uma taxa fixa, porém, independente do *clock* do dispositivo (FOROUZAN, 2006).

#### 4.4 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são circuitos integrados dotados de "inteligência programável" que são usados em processos lógicos (SOUZA, 2008). Eles são compostos por uma unidade central de processamento (CPU – *Central Processing Unit*), memória, e periféricos com entradas e saídas possibilitando comunicação com outros dispositivos. Tem bastante utilidade no desenvolvimento de sistemas embarcados e no controle e automação de máquinas e processos (DESHMUKH, 2005).

Os periféricos de um microcontrolador variam de acordo com cada modelo e fabricante, dentre os mais comuns são os conversores analógico para digital (A/D) e de digital para analógico (D/A), temporizadores (*timers*), geradores de modulação por largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*) e portas seriais (SOUZA, 2008).

#### 4.5 TEORIA DE CONTROLE

Para Nise (2012), um sistema de controle consiste em subsistemas e processos construídos com o objetivo de se obter uma saída desejada, com desempenho desejado para uma entrada específica.

Outra definição segundo Ogata (2011), enuncia que um sistema de controle que estabeleça uma relação de comparação entre entrada de referência e uma saída utilizando a diferença com o meio de controle, é dita como sistema de controle com realimentação.

Em outras palavras um sistema de controle é exigido em processos que necessitam de mínimas perturbações no sinal de saída. Para isso é realizado o monitoramento por meio de sensores onde este sinal é manipulando e adequando de acordo com sua necessidade.

##### 4.5.1 CONCEITOS GERAIS

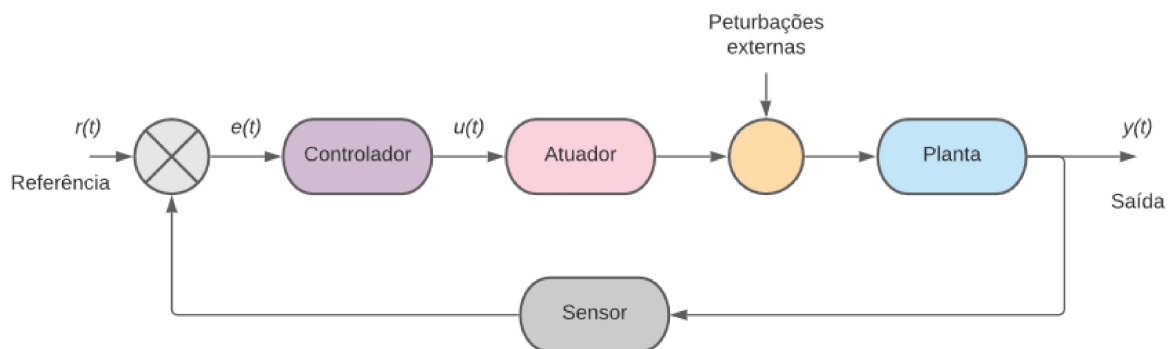
Um sistema para controle pode ser um componente físico (analógico) ou um algoritmo de computador, que determinam uma saída de acordo com uma entrada recebida, sendo implementados em *hardware* e *software*, respectivamente (LATHI, 2006).

Um sistema de controle possui componentes e características que podem ser descritas como:

- Controlador: Bloco responsável pelo controle da planta, relacionando sinais de entrada e de saída;
- Erro: Diferença entre o sinal de referência e o sinal medido na saída do sistema;
- Malha Aberta (MA) : Sistema no qual não há realimentação e o sinal de saída não atua sobre o controle do sistema (OGATA, 2011);
- Malha Fechada (MF) : Sistemas em que consistem na existência de realimentação relacionando o sinal de saída do sistema com sinal de referência;
- Perturbação: interferência externa agindo de forma adversa ao valor da saída do sistema;
- Planta: Qualquer objeto físico que possa ser controlado;
- Referência: Valor desejado, ponto de ajuste do sistema também conhecido como *set-point*;
- Sensor: Dispositivo que responde a estímulos físicos ou químicos de maneira específica produzindo um sinal que pode ser interpretado pelo controlador;
- Variável Controlada: É a condição alterada pelo controlador para manipular um comportamento desejado na saída  $y(t)$ .
- Variável Manipulada: Condição controlada para corrigir as variações da variável controlada.

Um sistema de controle em malha fechada pode ser entendido a partir dos tópicos descritos observando a imagem a seguir:

**Figura 3 – Sistema de controle em malha fechada.**



Fonte – Adaptado de: Ogata (2011).

### 4.5.2 CONTROLE P.I.D

O controle PID é uma técnica de controle de processos que une ações proporcional, integral e derivativa sendo um dos métodos de controle mais utilizados na indústria. Este algoritmo de controle pode ser empregado na maior parte dos sistemas de controle, principalmente naqueles em que não conhecemos o modelo matemático do sistema à ser controlado (OGATA, 2011).

O PID é um sistema de malha fechada onde a entrada é realimentada pelo sinal de saída e comparado com o valor de referência, conhecido como *set-point* (ponto de ajuste). Do resultado desta comparação é obtido o desvio (erro) e aplicado para controlar os processos de três formas distintas:

- Ganho Proporcional;
- Ganho Integral;
- Ganho Derivativo.

A ação proporcional produz um sinal de saída que é proporcional à amplitude do erro  $e(t)$ , sendo  $K_p$  a constante de proporcionalidade:

$$P \propto K_p \cdot e(t); \quad (4.1)$$

sendo  $P$  o sinal de saída do controlador,  $K_p$  o ganho proporcional e  $e(t)$  o sinal de erro.

O resultado desta ação elimina as oscilações do sinal de saída fazendo o sistema permanecer sempre ligado enquanto o sinal de erro for diferente de zero. Entretanto temos o chamado erro de *off-set* inversamente proporcional ao ganho  $K_p$  que é produzido devido ao sinal de saída ser proporcional ao erro.

O controle integral produz um sinal de saída que é proporcional à magnitude e à duração do erro, ou seja, ao erro acumulado. Esta característica permite corrigir o erro de *off-set* gerado pela ação proporcional e acelera a resposta do sistema, permitindo-o chegar ao valor de referência mais rapidamente. O sinal de saída do controlador I pode ser descrito por:

$$I \propto K_i \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau; \quad (4.2)$$

sendo  $K_i$  o ganho integral e  $I$  o sinal de saída do controlador.

O controle integral permite a correção da variável manipulada em intervalos regulares no chamado tempo integral que é definido como o inverso do ganho integral ( $K_i$ ). Se o ganho integral é baixo, o sistema pode levar muito tempo para atingir o valor de referência. No entanto, se o ganho integral for muito alto, o sistema pode tornar-se instável.

A ação derivativa fornece uma correção antecipada do erro, diminuindo o tempo de resposta e melhorando a estabilidade do sistema. Matematicamente este controle produz

um sinal de saída que é proporcional à velocidade de variação do erro:

$$D \propto K_d \frac{de}{dt}; \quad (4.3)$$

sendo  $K_d$  o ganho diferencial e  $D$  o sinal de saída deste controlador.

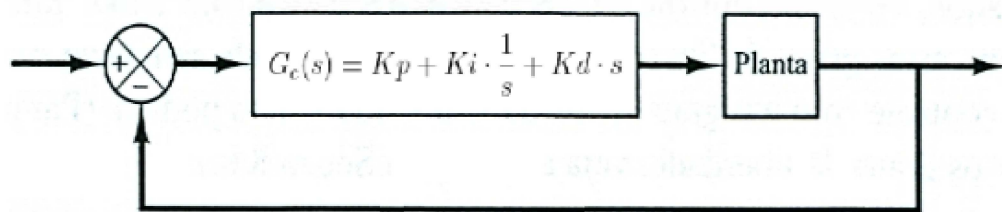
Esse parâmetro é inversamente proporcional à velocidade de variação da variável controlada, mostrando que esta ação não deve ser utilizada em processos nos quais o sistema deve responder rapidamente a uma perturbação, nem em processos que apresentem muito ruído no sinal medido, pois levaria o processo à instabilidade.

Com a junção dos três controladores citados: o proporcional, o integral e o derivativo temos o controlador PID (OGATA, 2011). Este tipo de controlador é comumente usado em controladores de segunda ordem devido a união das melhorias das ações que os ordenam (NISE, 2012).

Logo o controlador PID ideal possui a função de transferência (FT) obtida por meio do cálculo da transformada de Laplace, em que a mesma descreve um modelo matemático do sistema dinâmico mostrada a seguir Ogata (2011).

$$G_c(s) = K_p + K_i \cdot \frac{1}{s} + K_d \cdot s \quad (4.4)$$

Figura 4 – Controle PID de uma planta no domínio da frequência.



Fonte – Adaptado de Ogata (2011).

#### 4.5.3 SINTONIA DE PARÂMETROS PID

Os métodos de ajuste dos ganhos para que o controlador responda da forma desejada são chamados de sintonia dos ganhos. Existem vários métodos para realizar a sintonia desejada, os principais são:

1. **Método da Tentativa e Erro:** Este método consiste em arbitrar valores para os ganhos e observar a convergência da saída ao valor desejado. É utilizado quando não se tem dados suficientes sobre o comportamento da planta em relação ao sistema. Para Garcia (2017), os passos para a realização deste método são:
  - Zeram-se os ganhos  $K_i$  e  $K_d$  e varia-se  $K_p$  até encontrar a velocidade da resposta do sistema da maneira em que ele responda da forma desejada;

- Após encontrar o valor de  $K_p$  usa-se o  $K_i$  para diminuir as oscilações, aumenta-se seu valor até encontrar um valor onde as oscilações fiquem da forma desejada, geralmente com a menor oscilação possível, porém este valor não deve ser muito alto pois pode causar instabilidade no sistema;
- Por fim, ajusta-se o valor do ganho  $K_d$  até que o *loop* do algoritmo responda de uma forma rápida e aceitável, porém ele também pode causar instabilidade no sistema.

2. **Método de Ziegler-Nichols:** Este é um clássico e famoso método que foi introduzido em 1942 sendo aplicado para obter uma mesma resposta pré-especificada para um sistema de malha fechada, onde tem-se uma resposta ao degrau unitário, na qual a amplitude do segundo sobressinal é aproximadamente 25% da amplitude do primeiro sobressinal (CHEN, 1993).

No método de Ziegler-Nichols (Z-N), primeiramente obtemos experimentalmente a resposta da planta a uma entrada em degrau unitário. Se a planta não possuir integradores ou polos complexos conjugados dominantes, então essa curva de resposta ao degrau unitário pode ter o aspecto de um S (OGATA, 2011).

Para Ogata (2011), a curva com o formato em S pode ser caracterizada por duas constantes, sendo o atraso  $L$  e a constante de tempo  $T$ . Eles são obtidos traçando-se uma linha tangente no ponto de inflexão da curva com formato S e assim determina-se a intersecção da linha tangente com o eixo dos tempos e a linha  $c(t) = K$ , como observado na Figura 5. A função de transferência (FT) para sistemas com este tipo de resposta pode ser aproximada por um sistema de primeira ordem com um atraso de transporte, matematicamente pode ser expresso como:

$$G_p(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau + 1}; \quad (4.5)$$

sendo  $K$  o ganho e  $\tau$  a constante de tempo do sistema.

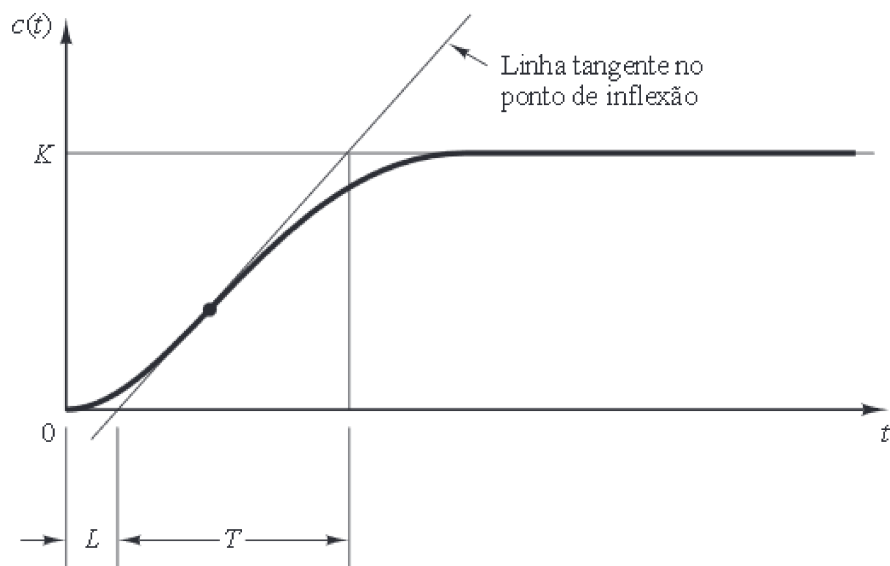
Desta forma, Ziegler-Nichols definem a escolha dos valores  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , de acordo com as fórmulas descritas no Quadro 1.

**Quadro 1 – Valores calculados para cada tipo de controlador.**

Tipo de Controlador	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	$T/L$	0	0
PI	$0,9 T/L$	$0,3/L$	0
PID	$1,2 T/L$	$0,5/L$	$0,5L$

Fonte – Adaptado de Ogata (2011).

Figura 5 – Curva de resposta em forma de S.



Fonte – Adaptado de Ogata (2011).

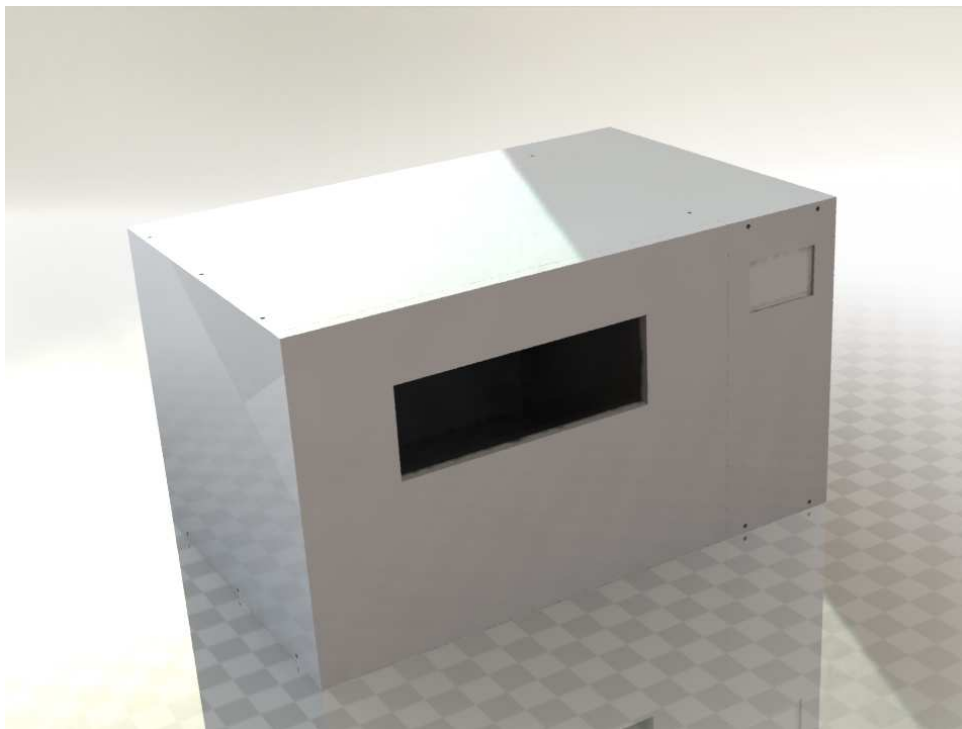
## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais, a metodologia e os dispositivos que foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho para obtenção dos resultados esperados.

### 5.1 PROJETO E DESENVOLVIMENTO ESTRUTURAL

O projeto da incubadora deve conter uma cama de acomodação dos ovos, o qual também deverá rotacioná-los para o movimento. Deve ser feito dentro de um ambiente fechado com temperatura e umidade controlados. Para isso foi projetado uma caixa com Placas de Fibra de Média Densidade (MDF – *Medium Density Fiberboard*) que fosse capaz de comportar os componentes necessários e que atendessem os requisitos para desenvolvimento dos testes pertinentes ao projeto.

**Figura 6 – Desenho base para construção do protótipo: Vista externa.**

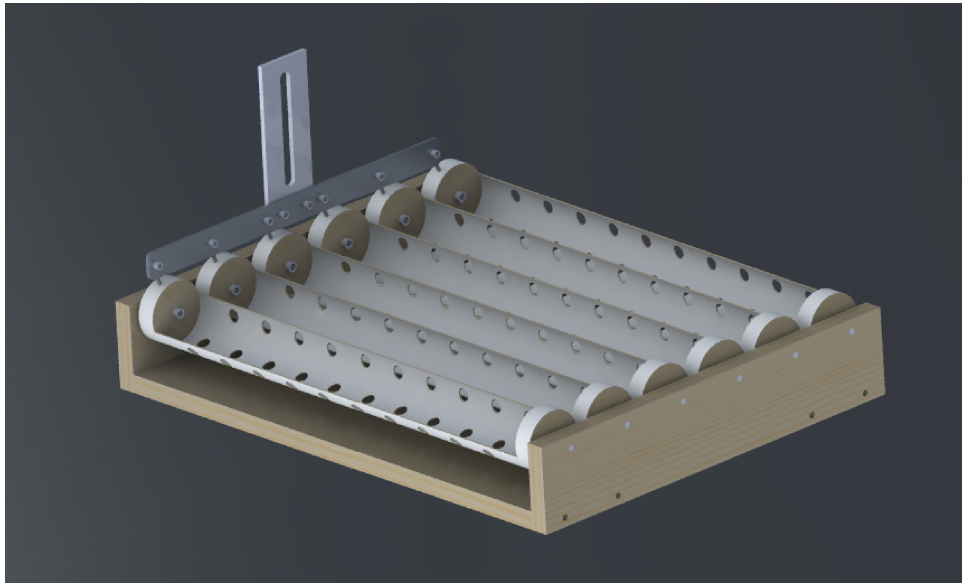


**Fonte – Autoria própria.**

A estrutura interna é composta por um berço de acomodação dos ovos, que além de abrigá-los tem a função de movimentá-los conforme for solicitado pelo sistema. O mecanismo projetado para esta tarefa pode ser visualizado na Figura 7.

Conforme a Figura 8, o sistema de umidificação de ar é composto por um reservatório de água externo e uma caixa de ventilação interna o qual retira o ar seco do ambiente e umidifica-o por meio de aletas de tecido úmidas. Este mecanismo permite por meio da

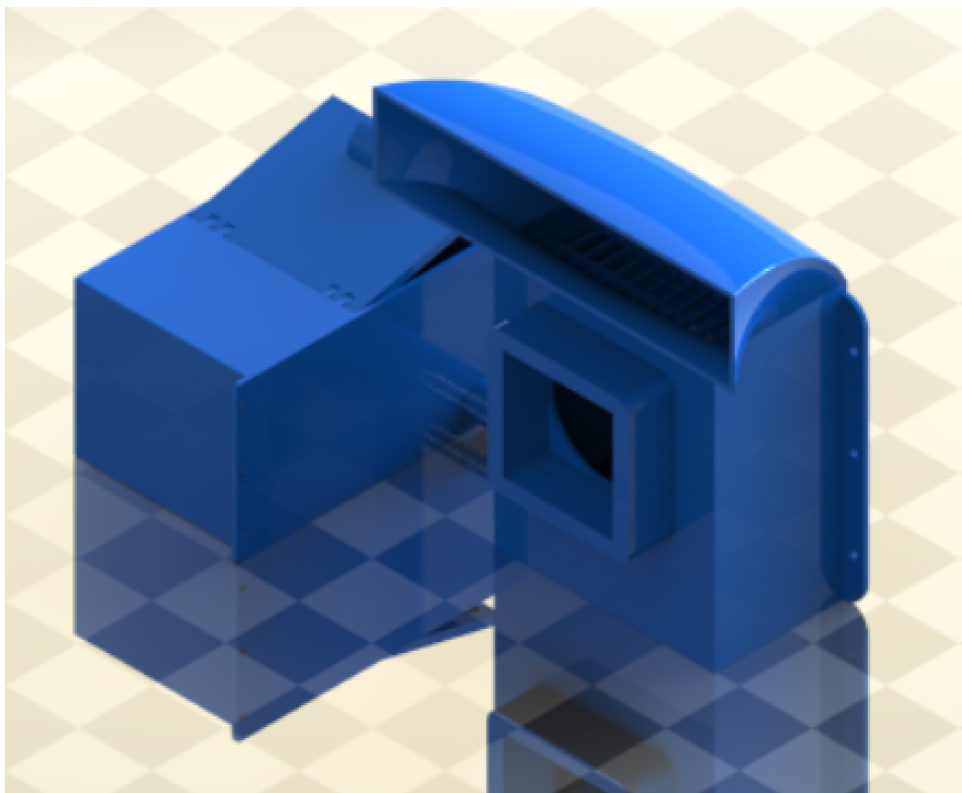
Figura 7 – Berço de acomodação dos ovos.



Fonte – Autoria própria.

ventilação forçada manter a umidade relativa do ar dentro da faixa desejada durante o ciclo de incubação.

Figura 8 – Sistema de umidificação.

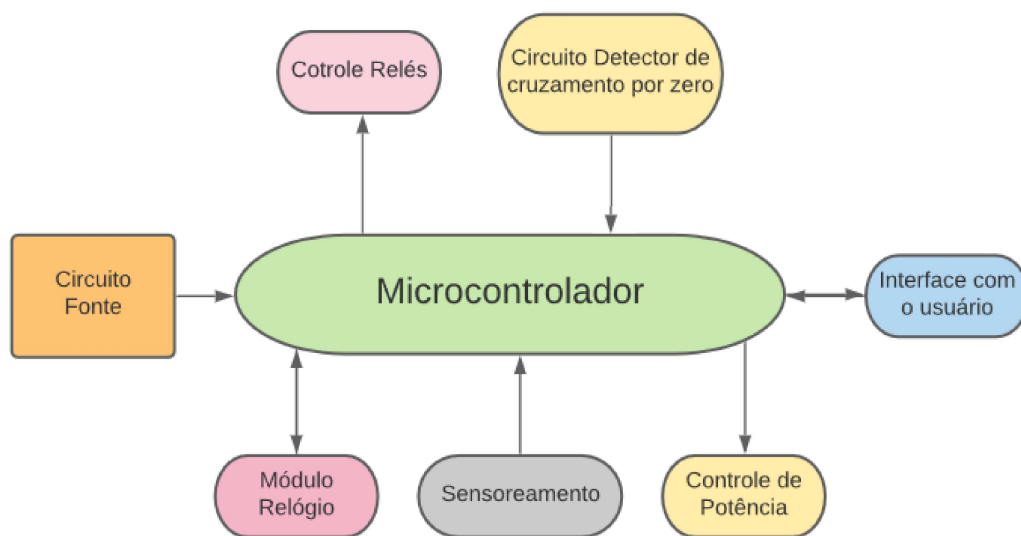


Fonte – Autoria própria.

## 5.2 PROJETO ELETRÔNICO DA PLACA DE CONTROLE

A placa eletrônica é responsável por fazer todo o controle do sistema, comunicando-se com uma interface homem-máquina (IHM) que será responsável de exibir informações do sistema e permitir sua operação por meio da sua interface. A placa de controle é constituída por um circuito fonte, circuito do microcontrolador, circuito do controle de potência da carga resistiva, circuitos para acionamentos via relés, e um circuito com um *chip* de identificação de data e hora.

Figura 9 – Esquemático do sistema eletrônico.



Fonte – Autoria própria.

### 5.2.1 CIRCUITO FONTE

O circuito fonte é responsável por fornecer a energia necessária para que o sistema funcione. Para isso ele foi projetado com uma fonte chaveada capaz de fornecer uma corrente contínua (CC) máxima de 2 A com tensões de 5 e 12 V.

### 5.2.2 MICROCONTROLADOR

Devido às características apresentadas na Seção 4.4, um microcontrolador foi definido como componente responsável por fazer o controle de todo o sistema. Para isso foi utilizado o ATMEGA-328p da Microchip o qual de acordo com os documentos descritos em Microchip (2018), abordam as principais características de interesse do projeto, sendo os principais deles:

- frequência de *Clock* de até 20 MHz;

- SRAM de 2KB;
- 2 interfaces de comunicação SPI;
- Temperatura de operação entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $105^{\circ}\text{C}$ ;
- EEPROM de 1 kB;
- Memória *Flash* de 32 kB;
- 23 portas de entrada e saída.

### 5.2.3 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

O meio de comunicação com o usuário (operador) é por meio de uma IHM responsável por atualizar os dados no *display* e também por receber instruções ou mudanças de parâmetros definidos pelo operador.

Para isso foi utilizado a IHM da Nextion, um *display* com tela de toque, que é possível enviar e receber dados via comunicação serial. As principais características do modelo utilizado que constam na folha de dados são:

- *Display Serial Touch* de 3,5 polegadas;
- Resolução de  $350 \times 420$  *pixels*;
- Memória *Flash* de 4 MB para código e dados;
- Tensão de operação de 5V;
- Processador integrado à placa;
- Leitor de cartão micro SD;
- Consumo de corrente de 90 mA;
- *Touchscreen* do tipo resistivo.

### 5.2.4 SENSORES

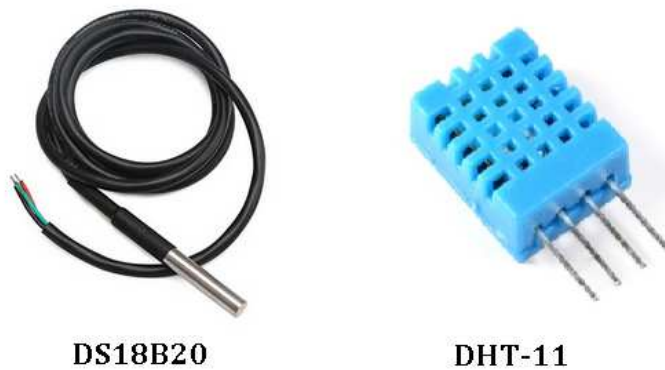
Para fazer o controle de temperatura e umidade é necessário fazer as leituras do ambiente. Dentre os diversos tipos de sensores foram elencados o DS18B20 para temperatura e o DHT-11 para umidade. Muito embora o DHT-11 também faça leitura de temperatura, foi escolhido o DS18B20 exclusivamente para temperatura devido a maior precisão e maior velocidade de leitura.

O DS18B20 é um sensor de temperatura capaz de efetuar leituras entre  $-55^{\circ}\text{C}$  e  $125^{\circ}\text{C}$  com precisão de até  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , trabalhando sob uma tensão de operação entre 3 a 5,5V. Em sua forma a prova d'água, possui uma ponta de aço inoxidável de  $6 \times 50$  mm. Outra

importante vantagem é a comunicação por um fio (*one wire*). Para que esta condição seja possível, cada sensor possui um endereço físico, possibilitando a utilização de vários sensores em uma única porta do microcontrolador fazendo leituras de múltiplos sensores de forma individual.

Por outro lado o sensor DHT-11 permite leituras de umidade relativa do ar na faixa de 20 a 90% com precisão de  $\pm 5,0\%$ , e leituras de  $0^\circ$  a  $50^\circ\text{C}$  para temperatura com precisão de  $\pm 2,0^\circ\text{C}$ . Muito embora a umidade seja um dos requisitos a serem controlados, ela não é um fator determinante, assim este sensor atende por ser principalmente de baixo custo e encontrado comercialmente.

**Figura 10 – Sensores utilizados no projeto.**



Fonte – Autoria própria.

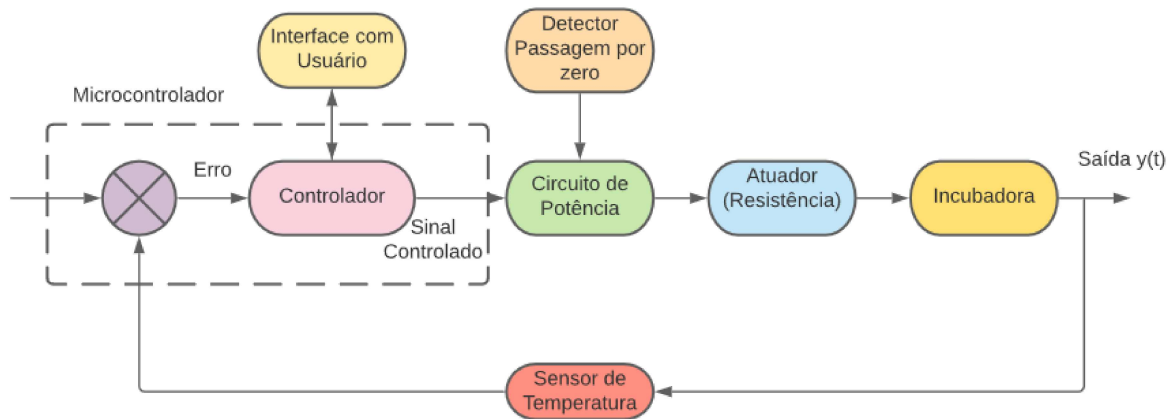
### 5.2.5 CIRCUITO DE CONTROLE DE POTÊNCIA DA CARGA RESISTIVA

O controle de temperatura de uma estufa pode ser feito de forma eficiente com o uso de um triodo para corrente alternada (TRIAC – *Triode for Alternating Current*). Um circuito de aplicação do TRIAC conhecido como *dimmer* permite controlar eletrodomésticos ou cargas de alguns quilowatts de potência de forma segura e eficiente. Deste modo, foi escolhido para o controle da carga resistiva usado no aquecimento do ambiente controlado.

Como pode ser observado na Figura 11, o pulso de controle provém da porta digital (pino 4) do microcontrolador. O TRIAC utilizado é o BT139 sendo de corrente nominal de 16 A e tensão máxima de operação de 800 V. Além disso o circuito está optoacoplado pelo circuito integrado CI MOC3021 isolando eletricamente a etapa de potência da eletrônica de controle.

Entretanto para fazer o disparo do gatilho do TRIAC, é necessário que o microcontrolador tenha a informação do instante em que a onda da rede cruza o eixo zero por meio de um circuito de detecção do ponto zero (*zero crossing detector*). Para isto, foi implementado o circuito da Figura 12. Assim, este circuito informa o microcontrolador mediante um sinal aplicado em uma de suas portas de entrada digital.

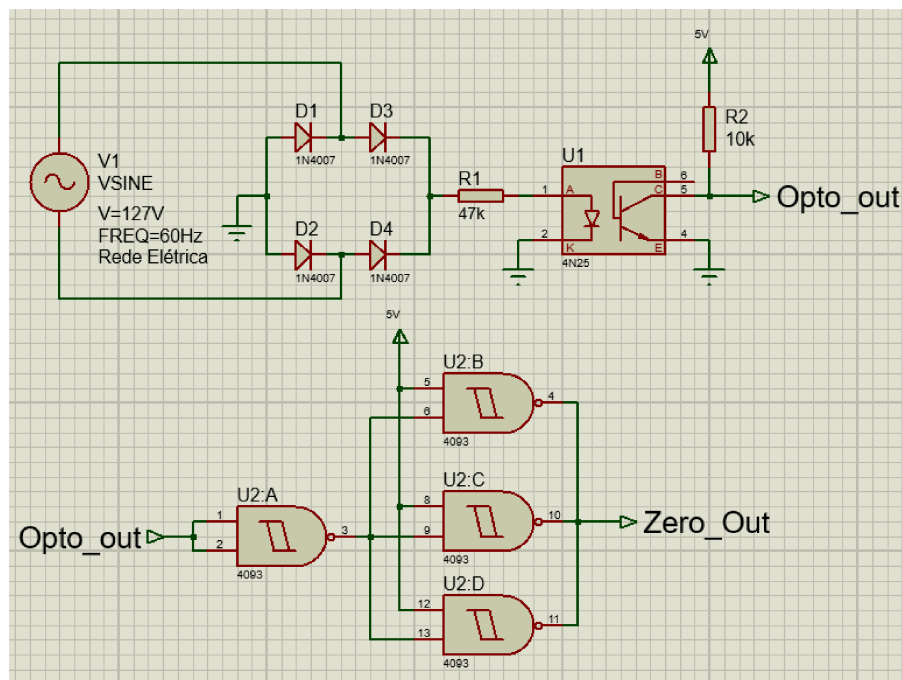
Figura 11 – Diagrama de blocos da etapa de controle de potência.



Fonte – Autoria própria.

A partir desta informação é possível atrasar o disparo do gatilho do TRIAC permitindo a condução em apenas uma parte da onda senoidal da rede.

Figura 12 – Circuito detector de passagem por zero.



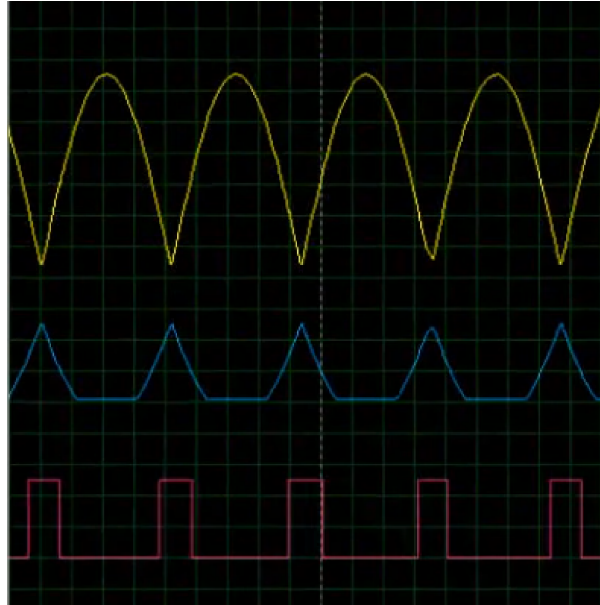
Fonte – Autoria própria.

Na entrada deste circuito temos a tensão da rede, na forma de onda senoidal, onde este sinal é retificado e posteriormente isolado por meio de um optoacoplador. Com pequenos pulsos a cada passagem por zero, o sinal é aplicado a um bloco *schmitt trigger*, onde na saída temos um pulso bem definido para ser aplicado na entrada do microcontrolador.

Na Figura 13 pode-se observar as formas de onda do circuito simulado onde o primeiro

sinal é resultado do bloco de retificação, o segundo foi obtido na entrada do *schmitt trigger* onde podemos observar um pulso quando a onda senoidal cruza o eixo zero. O último sinal é constatado na saída do circuito de detecção de zero.

**Figura 13 – Simulação: Detector de passagem por zero**



Fonte – Autoria própria.

### 5.2.6 CIRCUITO DE ACIONAMENTO DOS RELÉS

Algumas tarefas devem ser controladas via relés mediante comandos das saídas digitais do microcontrolador. São elas: o acionamento do micro-ventilador, ovoscópio, motor do virador da bandeja de ovos e o sistema de umidificação de ar. Logo, foram utilizados relés de 5 V com tensão máxima de 250 V, e corrente máxima de 10 A.

O circuito de acionamento dos relés é controlado pelo comando do microcontrolador via transistor bipolar, o qual é usado como chave de acionamento.

### 5.2.7 MÓDULO DE RELÓGIO DS1302

Para contagem de data e hora foi optado por utilizar um *chip* específico para isso. Neste trabalho foi utilizado o Relógio de Tempo Real (RTC – *Real Time Clock*) DS1302. A principal vantagem do uso no projeto é a precisão de tempo, pois se fosse fazê-lo no microcontrolador iria gerar atrasos perceptíveis ao longo do tempo, devido ao tempo de processamento com outras rotinas de trabalho. Outra vantagem do DS1302 consiste que ele não para a contagem do tempo em faltas de alimentação quando dotado de um circuito com uma bateria de *backup* de 3 V. Este circuito foi implementado na placa de circuito impresso principal da incubadora.

De acordo com a folha de dados do fabricante, as principais especificações são:

- 31-Bytes não voláteis (NV) de RAM para armazenamento de dados;
- Interface serial I2C;
- Tensão de 2,0 V  $\sim$  5,5 V;
- Corrente de 1,5 mA;
- Sinal de saída programável em onda quadrada;
- Consome menos de 300 nA no modo oscilador.

### 5.3 MÉTODO DE AQUECIMENTO

Quando se trata de aquecimento, existem vários métodos disponíveis comercialmente, dentre os quais destacam-se a calefação por lâmpada, gás, fornalhas a lenha, piso aquecido e resistências elétricas.

Chocadeiras com aquecimento por lâmpadas são muito comuns no mercado sendo em sua maior parte chocadeiras caseiras fabricadas pelo próprio utilizador. Entretanto, as lâmpadas tendem a possuir uma menor capacidade de troca de calor, mesmo que possuam um *cooler* para circulação do ar. Isso ocorre porque o calor está limitado na região próxima a de maior incidência luminosa das lâmpadas, ou seja, os ovos que estiverem com menor incidência de luz tendem a aquecer menos, gerando um desequilíbrio no tempo de chocagem de cada ovo.

Por outro lado, existem as resistências elétricas que se destacam pela característica específica de aquecer ambientes, alcançando temperaturas maiores e com melhor distribuição, a partir do dimensionamento adequado do *cooler*.

Neste trabalho foram testados dois tipos de aquecimento dado à carência deste tipo de comparação na literatura, isto com objetivo de confrontar os resultados e escolher a melhor forma de aquecimento para incubadoras.

## 6 RESULTADOS

Neste capítulo será abordado sobre os resultados alcançados no decorrer deste trabalho.

### 6.1 AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DOS SENSORES DE TEMPERATURA DS1820 (CALIBRAÇÃO)

Com o propósito de avaliar a exatidão dos sensores de temperatura DS1820 adequadamente, foi utilizada uma câmara climatizada com certificado de calibração dentro do prazo, empregada para calibração de sensores de superfície industriais. Este equipamento consiste de uma câmara climatizada micro-controlada que gera valores de referência de temperatura com resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$  com incerteza de medição de  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ , no qual permite o acompanhamento de redução ou aumento da temperatura real no interior da câmara.

Durante todo o período de calibração, a temperatura ambiente foi monitorada mantendo-se entre  $22^{\circ}\text{C}$  e  $25^{\circ}\text{C}$ . No procedimento de configuração da câmara climatizada foi estabelecida, inicialmente, a temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$ . A partir deste valor, aumentou-se gradualmente a temperatura no interior da câmara com incrementos de  $5^{\circ}\text{C}$  até a temperatura de  $35^{\circ}\text{C}$ .

Os dados obtidos são mostrados na Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3, sendo posteriormente apresentado um gráfico com os valores medidos frente ao valor de calibração.

**Tabela 1 – Resultados de medida sensor 1.**

REF. [ $^{\circ}\text{C}$ ]	SENSOR 1		
	MÉDIA	ERRO SISTEMÁTICO	DESVIO PADRÃO
15	15,024	0,024	0,0537
20	20,024	0,024	0,0537
25	24,948	-0,052	0,0751
30	29,048	-0,052	0,0751
35	34,948	-0,052	0,0712

Fonte – Autoria Própria.

**Tabela 2 – Resultados de medida sensor 2.**

REF. [ $^{\circ}\text{C}$ ]	SENSOR 2		
	MÉDIA	ERRO SISTEMÁTICO	DESVIO PADRÃO
15	15,072	0,072	0,0657
20	19,948	-0,052	0,0712
25	25,048	0,048	0,0693
30	29,948	-0,052	0,0751
35	35,072	0,072	0,0657

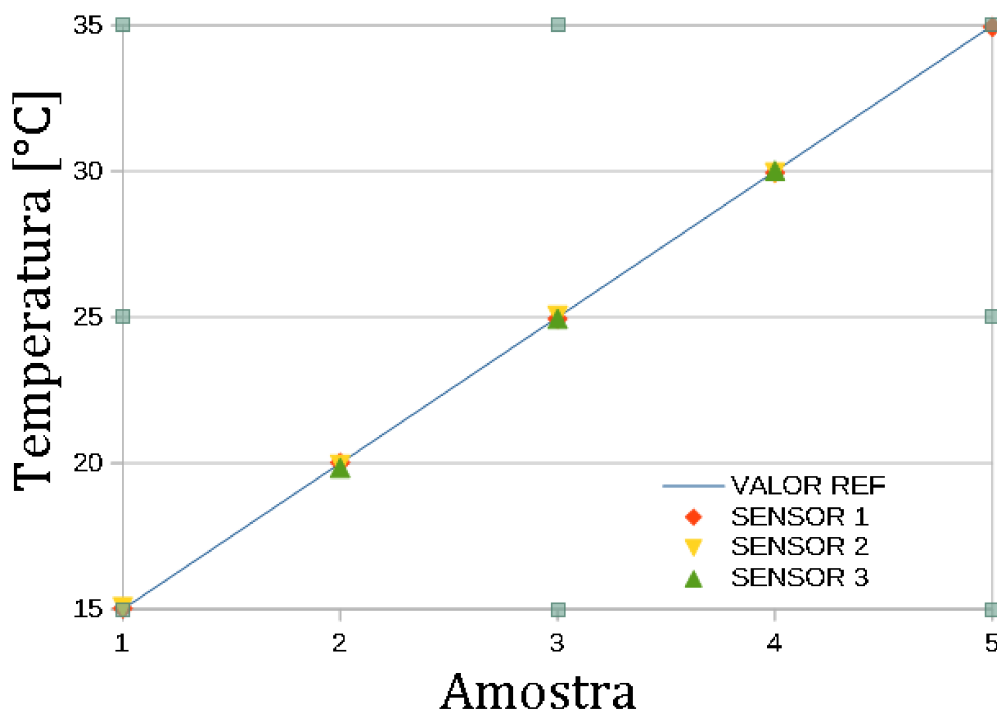
Fonte – Autoria Própria.

Tabela 3 – Resultados de medida sensor 3.

REF. [°C]	SENSOR 3		
	MÉDIA	ERRO SISTEMÁTICO	DESVIO PADRÃO
15	14,974	-0,026	0,0581
20	19,846	-0,154	0,0537
25	24,948	-0,052	0,0751
30	30,024	0,024	0,0693
35	35,024	0,024	0,0537

Fonte – Autoria Própria.

Figura 14 – Leitura dos sensores aferidos.



Fonte – Autoria Própria.

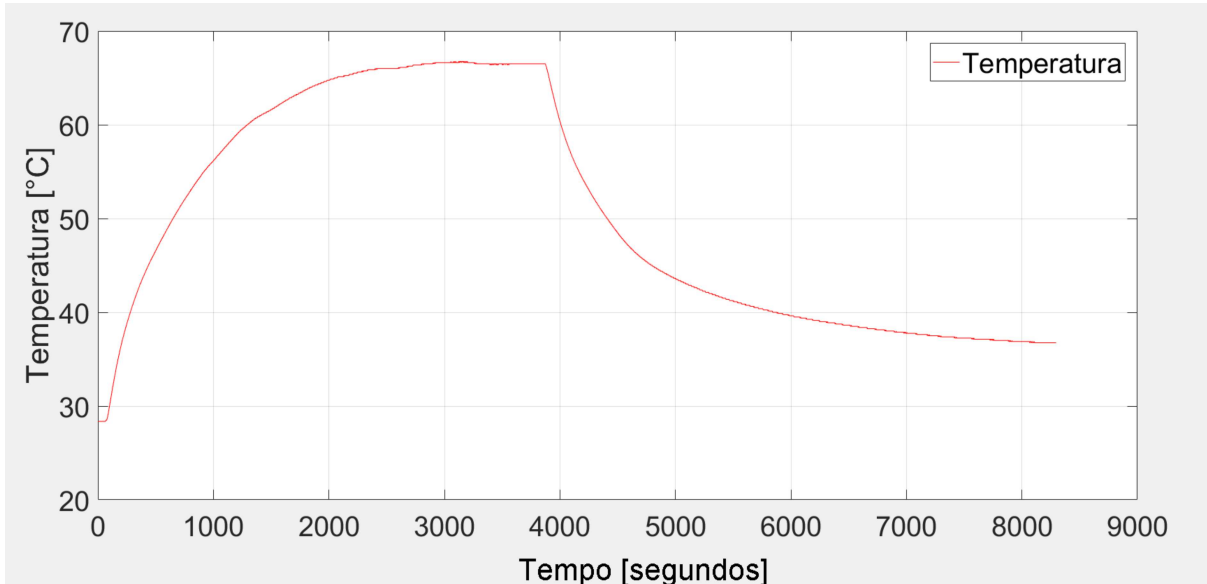
De acordo com a folha de dados fornecido pelo fabricante, os sensores DS1820 podem apresentar uma variação máxima de temperatura de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  em torno do valor verdadeiro nas temperaturas compreendidas entre  $0^{\circ}$  e  $70^{\circ}\text{C}$ . A partir dos resultados obtidos na calibração dos sensores DS1820, verificou-se que as temperaturas medidas por estes sensores apresentaram faixa de variação, em torno do valor verdadeiro, inferior à mencionada pelo fabricante.

## 6.2 IDENTIFICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DO SISTEMA

Frequentemente, não é possível ou prático obter a função de transferência de um sistema pois em geral, os sistemas são fechados e muitos dos seus componentes não são

facilmente identificáveis. Neste caso, a técnica de resposta ao degrau pode ser aplicada a partir dos dados coletados para estimar uma função de transferência aproximada do sistema. Neste trabalho foi usado o *software* Octave como ferramenta para obter o modelo matemático do sistema, a partir dos dados recolhidos foi obtida a curva da Figura 15.

**Figura 15 – Resposta ao degrau.**



Fonte – Autoria Própria.

A curva característica da resposta ao degrau (Figura 15) evidencia que é aproximadamente um sistema de primeira ordem. Assim o ganho em malha aberta da planta conforme a resposta ao degrau pode ser aproximado para:

$$G_p(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{\tau s + 1}; \quad (6.1)$$

sendo  $K$  o ganho e  $\tau$  a constante de tempo do sistema.

Logo, observando a curva da Figura 15, obtemos  $T_0$  igual a 28,37°C em  $t_0$  igual a 0 segundos enquanto a temperatura no modo estacionário é de 66,56°C em 727 segundos.

Adicionalmente, foi determinada a constante de tempo no qual a resposta atinge 63% do seu ganho. Sendo  $K = T_{max} - T_{min} = 38,38$ , a temperatura em 63% do ganho resulta em:

$$T_{63\%} = K \cdot 0,63 + T_0 = 38,38 \cdot 0,63 + 28,37 = 52,54^\circ\text{C}. \quad (6.2)$$

Analisando por meio da ferramenta de *data cursor* do MATLAB, este valor de temperatura é atingido em um tempo de 727 segundos. Assim é possível obter a constante de tempo  $\tau$  calculando:

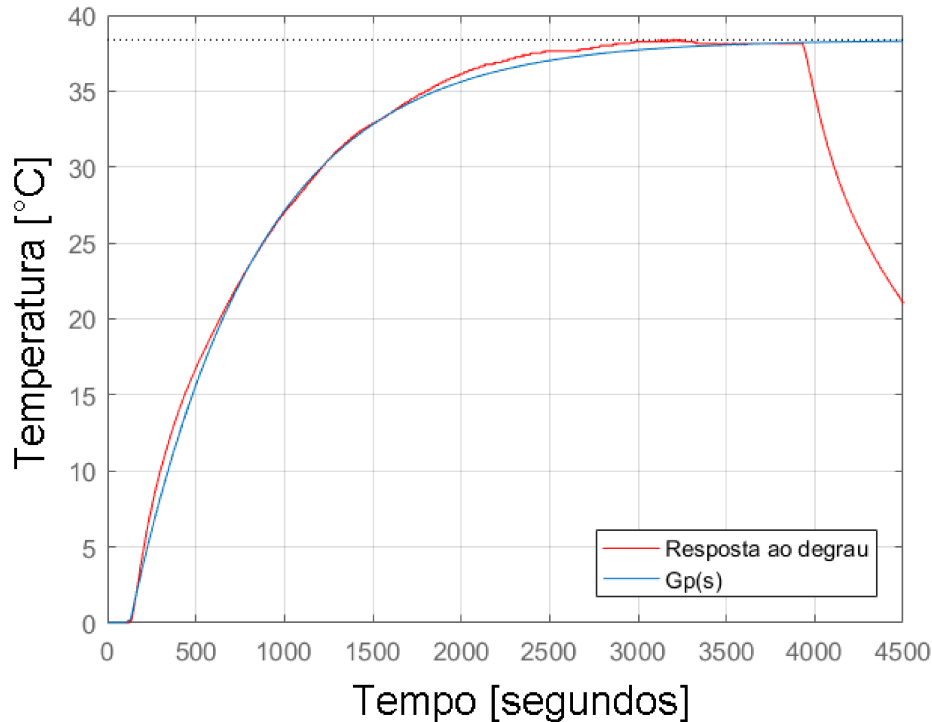
$$\tau = t_{63\%} - t_{atraso} = 727 - 15 = 712 \text{ segundos}. \quad (6.3)$$

Portanto o modelo matemático representativo do sistema pode ser expresso como:

$$G_p(s) = e^{-15s} \cdot \frac{38,38}{712s + 1} \quad (6.4)$$

Como resultado, a Figura 16 apresenta a comparação entre o modelo matemático  $G_p(s)$  e a resposta ao degrau da Figura 15.

Figura 16 – Comparação entre o Modelo matemático ( $G_p(s)$ ) e a resposta ao degrau.

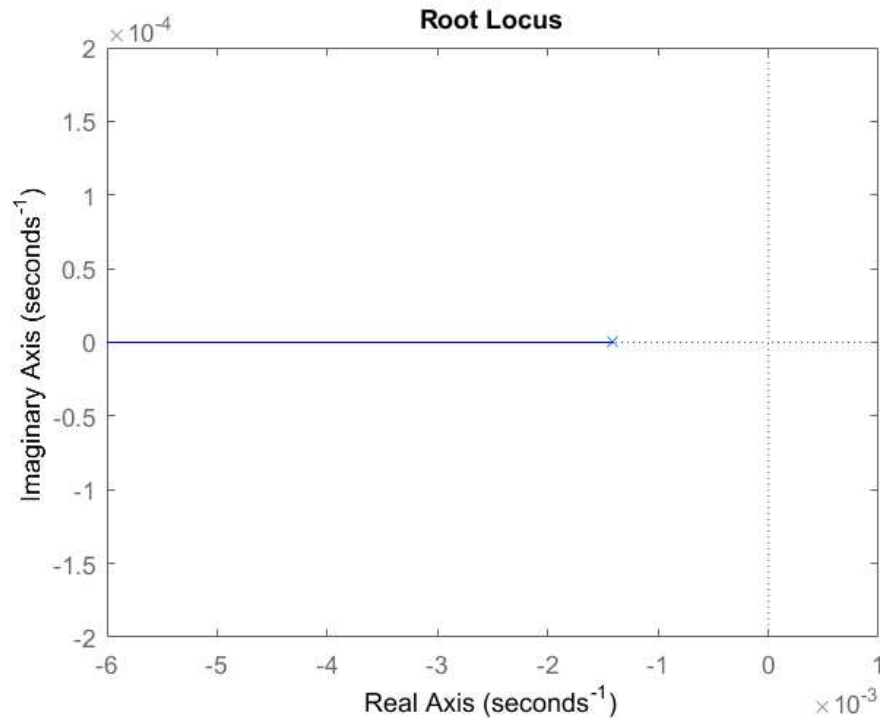


Fonte – Autoria Própria.

Na sequência foi determinado o Lugar Geométrico das Raízes (LGR) da Equação 6.4 podendo ser observado na Figura 17. Assim, notamos um polo em  $-1,4 \cdot 10^{-3}$  em que valores menores caracterizam a controlabilidade do sistema, isso porque para valores acima do tempo em que o valor de temperatura se torna estável, não há como definir um maior valor de temperatura para o controle.

### 6.3 RESULTADO DE SINTONIA DO CONTROLADOR PID

Por meio da função de transferência da Equação 6.4 e aplicando a primeira regra de sintonia de Ziegler Nichols obtemos  $L=15$  e  $T=712$ . Substituindo-se os valores de  $L$  e  $T$  na tabela proposta pelo método de Ziegler-Nichols, chega-se aos valores dos parâmetros  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  para cada tipo de controlador.

Figura 17 – LGR da função de transferência ( $Gp_s$ )

Fonte – Autoria Própria.

Quadro 2 – Valores dos parâmetros calculados para cada tipo de controlador.

Tipo de Controlador	$K_p$	$K_i$	$K_d$
P	47,46	0	0
PI	42,72	0,02	0
PID	56,96	0,033	7,5

Fonte – Autoria Própria.

## 6.4 ENSAIO DE AQUECIMENTO

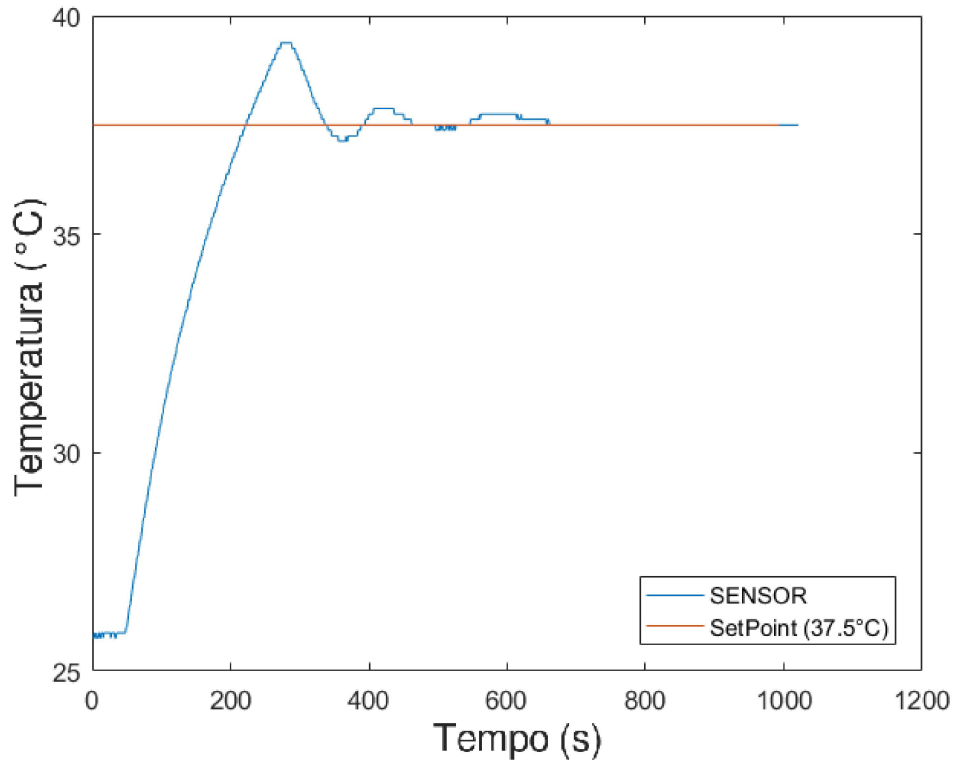
Após concluído os testes funcionais do equipamento, foram realizados experimentos com o sistema de aquecimento com intuito de constatar qual método de aquecimento é mais adequado para a incubação de ovos. Abaixo, são discutidos os resultados mediante o aquecimento por lâmpadas incandescentes e por resistências elétricas.

### 6.4.1 AQUECIMENTO POR LÂMPADAS INCANDESCENTES

Inicialmente foi realizado um teste com aquecimento com lâmpadas incandescentes por serem de menor custo e serem amplamente utilizadas em chocadeiras artesanais. Neste ensaio houve boa controlabilidade de temperatura fazendo-a estável no ponto de ajuste desejável, neste caso mantido em 37,5°C.

Adicionalmente foram posicionados outros quatro sensores em diferentes pontos dentro

Figura 18 – Resultado prático de controle PID da planta



Fonte – Autoria Própria.

da câmara de aquecimento com o objetivo de comprovar a homogeneidade de temperatura, onde o resultado pode ser observado na Figura 19.

Baseado nos dados observáveis no gráfico, é possível notar diferenças de temperatura medida pelos sensores, fato já previsível devido ao fato da irradiância decrescer rapidamente com a distância do ponto de medição em questão até a fonte. Considerando o filamento da lâmpada como uma fonte pontual, a irradiância decai com o quadrado da distância  $D$  podendo ser descrita como:

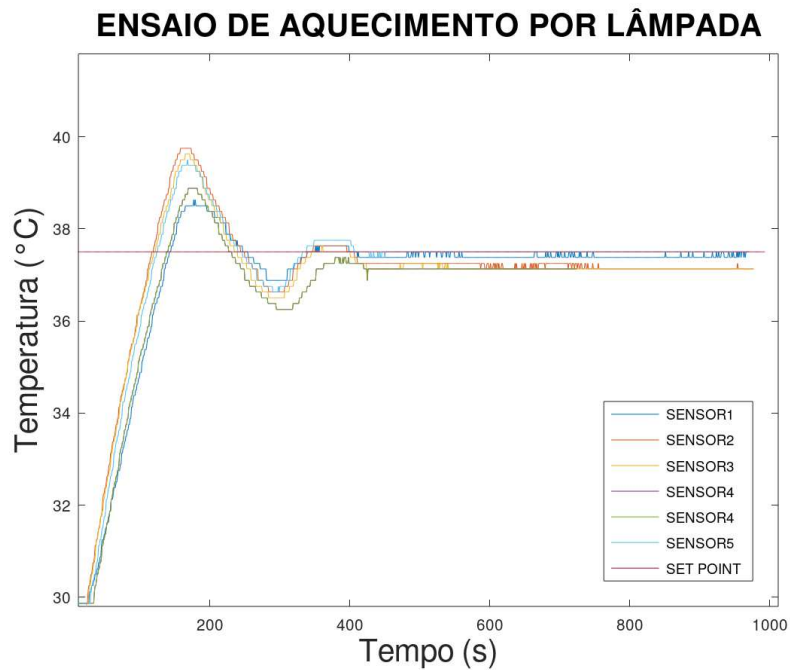
$$I \propto \frac{1}{D^2}. \quad (6.5)$$

Logo, para os sensores posicionados mais próximos às lâmpadas, a temperatura medida foi maior. Já nos sensores mais distantes, ou posicionados posterior a barreiras estruturais, a temperatura medida foi menor, como observável no gráfico.

#### 6.4.2 AQUECIMENTO POR RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS

Para este estudo, foi posicionada a resistência atrás do exaustor com objetivo de soprar o ar quente em direção ao teto e espalhar o ar quente no interior da estrutura. A controlabilidade deste sistema também foi satisfatória mantendo a temperatura estável em 37,5°C no ponto de ajuste do sensor de referência.

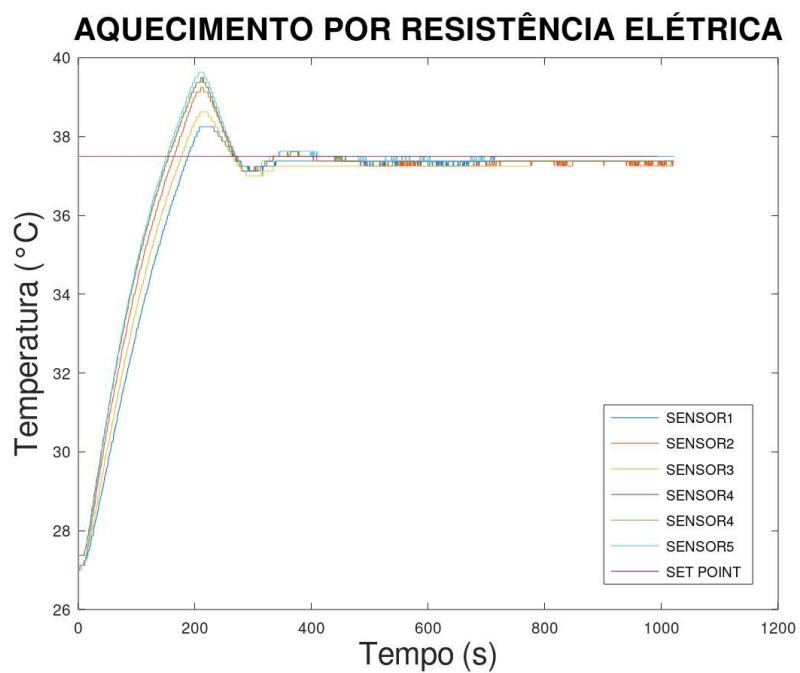
Figura 19 – Ensaio do aquecimento por lâmpada.



Fonte – Autoria Própria.

Para verificar as diferenças de temperatura no interior do equipamento, foram posicionados novamente quatro sensores espalhados na incubadora para a monitoração. Os resultados das leituras obtidas podem ser observados na Figura 20.

Figura 20 – Ensaio de aquecimento por resistência elétrica.



Fonte – Autoria Própria.

As leituras realizadas pelos sensores apresentaram menores diferenças de temperaturas, desta forma, evidencia que as resistências mantêm de forma mais homogênea a temperatura com maior estabilidade no interior da câmara. Isto ocorre devido o ar quente circular e espalhar o calor com maior uniformidade. Eventuais variações de temperatura fora do tolerável podem ser minimizadas ao adicionar mais sensores. Deste modo, pode ser utilizada a média das medidas dos diversos sensores como sinal de *feedback* para o controlador.

## 6.5 TESTE DO PROCESSO DE UMIDIFICAÇÃO

A umidade relativa no período de incubação deve estar entre 40% a 70% como citado anteriormente. Para isso foi projetado e fabricado a partir de uma impressora 3D um umidificador como mostrado na Figura 8. Consiste de um reservatório que localizado externamente para o abastecimento de água. Internamente o umidificador possui um micro-ventilador para ventilação forçada e uma grade com tiras de tecido que entram em contato com a água criando o efeito de capilaridade, melhorando a eficiência de umidificação.

Nos testes realizados, a umidade com o sistema de umidificação desligado decaiu em 30% a umidade relativa, logo com o sistema ligado, obteve-se aumento da umidade relativa no ambiente com valores dentro da faixa aceitável para incubação.

## 6.6 TESTE DE CICLO DE INCUBAÇÃO

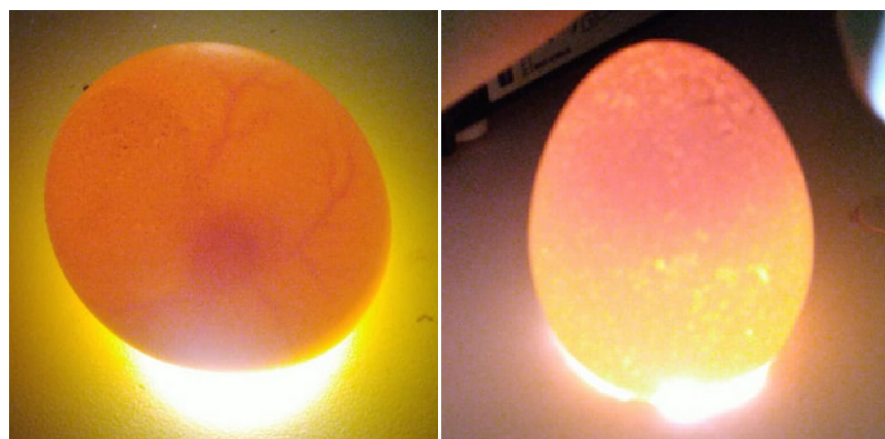
Esta etapa consiste no teste prático de incubação que foi realizado com ovos de galinha caipira com duração de ciclo de 21 dias. Inicialmente foram classificados 50 ovos de acordo com o guia de manejo de incubação da Cobb (2008). Foram descartados ovos sujos, com machas de sangue, trincados, alongados, redondos e enrugados.

Após classificados, os ovos foram acomodados nas bandejas no interior da incubadora para o início do ciclo. Como recomendado na literatura, realizou-se o pré-aquecimento iniciando-se com temperatura ambiente de 25°C e depois elevando-se meio grau celsius a cada 30 minutos até atingir a temperatura de incubação de 37,7°C. Este processo tem o objetivo de evitar o choque térmico dos ovos. O ajuste de umidade foi mantido em 45%.

Durante os dois primeiros dias de incubação o sistema de movimentação da bandeja de ovos iniciou-se desligado sendo que, posteriormente a movimentação ocorreu de hora em hora conforme programado. No oitavo dia de incubação foi realizada a primeira ovoscopia onde foram identificados 10 ovos inférteis sendo posteriormente retirados do ambiente de incubação.

No 19º dia, por volta da 460ª hora de incubação, iniciou-se a eclosão dos primeiros pintainhos. A janela de eclosão estendeu-se até o 21º dia na 516ª hora de incubação com

Figura 21 – Diferença entre ovos férteis e inférteis observados na ovoscopia.



**Ovo Fértil**

**Ovo Infértil**

Fonte – Autoria Própria.

a eclosão do último pintainho como pode ser observado na Tabela 4. Posteriormente o equipamento foi desligado e higienizado para realização do período de vazio sanitário.

Tabela 4 – Resultado por tempo de incubação.

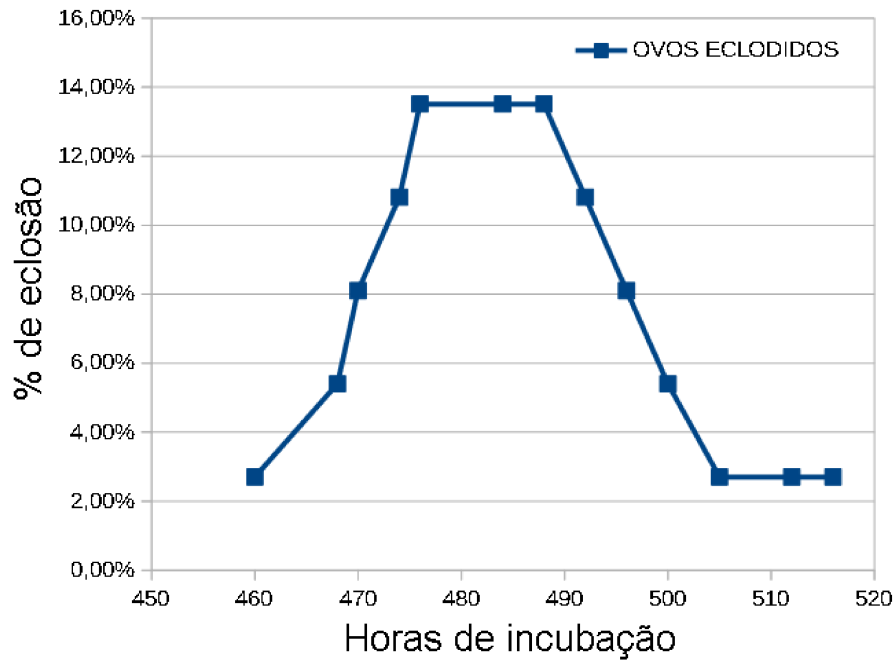
Tempo (Hrs)	Ovos Eclodidos	%
460	1	2,7%
468	2	5,41%
470	3	8,11%
474	3	10,81%
476	4	10,81%
484	5	13,51%
488	5	13,51%
488	5	13,51%
492	4	10,81%
496	3	8,11%
500	2	5,41%
505	1	2,70%
512	1	2,70%
516	1	2,70%

Fonte – Autoria Própria.

Os resultados das quantidades de ovos férteis, inférteis, os que sofreram morte embrionária e os que eclodiram são apresentados na Tabela 5. Do total de ovos incubados, eclodiram 37 pintainhos saudáveis.

Diante da quantidade considerável de ovos inférteis, foram levantadas as causas deste problema. Foi verificado que a infertilidade dos ovos está ligada diretamente às matrizes utilizadas. Tanto nos machos quanto nas fêmeas, o excesso de gordura e massa muscular

Figura 22 – Curva da janela de nascimento.



Fonte – Autoria Própria.

Tabela 5 – Resultado de incubação.

	Total Ovos Incubados	Ovos Férteis	Ovos Inférteis	Morte Embrionária	Ovos Eclodidos
<b>Total</b>	50	40	10	3	37
<b>Total (%)</b>	100	80	20	6	74

Fonte – Autoria Própria.

interfere na cópula. Outro fator da causa da infertilidade diz respeito ao libido do animal onde após 40 semanas de idade, o interesse de realizar a cópula diminui, provocando a redução do número de espermatozoides depositados na fêmea (FAVERO, 2013). Outras causas para infertilidade estão relacionadas a machos imaturos, poucos machos no bando de aves, ou ainda com machos acima do peso, problemas de nutrição ou densidade muito alta (ROSA; AVILA, 2000).

Quanto a mortalidade embrionária, verificou-se um total de 6% sobre os ovos incubados. Este resultado pode estar diretamente relacionado com o período prolongado em que os ovos permaneceram acima da temperatura do zero fisiológico, ou seja, período em que não há desenvolvimento embrionário, propiciando maior percentual de morte embrionária (FIUZA et al., 2006). Logo, o tempo de armazenamento do ovo interfere na mortalidade embrionária. Idealmente os ovos podem ser armazenados pelo período de até 5 dias. Muitos autores afirmam que o tempo de armazenagem dos ovos reduz a eclosão e aumenta a morte embrionária como avaliado por SILVA (2005). Para ROSA e AVILA (2000), percentuais de morte embrionária entre 1% a 5% são aceitáveis e que índices maiores indicam

possíveis falhas na incubação.

**Figura 23 – Eclosão de pintainhos.**



Fonte – Autoria Própria.

**Figura 24 – Resultado do experimento de incubação.**



Fonte – Autoria Própria.

## 7 CONCLUSÃO

Por conseguinte, utilizando os conhecimentos adquiridos durante o curso e a experiência profissional, foi possível construir uma incubadora de ovos de pequeno porte, desde a sua parte estrutural e atuadores, até a eletrônica embarcada de controle e de interface com o operador. Isto de forma criteriosa na seleção, calibração e aplicação dos seus diferentes componentes. Foi possível avaliar técnicas de aquecimento e inclusive refutar uma que é utilizada até hoje. Utilizando técnicas de identificação de sistemas, foi possível determinar os parâmetros que caracterizam o sistema de aquecimento. Isto propiciou o adequado projeto do sistema de controle em relação a estabilidade, menor erro e menor tempo de resposta.

Embora seja muito utilizado em incubadoras de pequeno porte, constatou-se que o uso de lâmpadas de filamento como elemento aquecedor não é adequado. Isto devido às maiores diferenças de temperatura verificadas entre os diversos pontos de medição na câmara de incubação. Foi verificado que este efeito foi ocasionado pelo fato da intensidade da radiação térmica gerada pela lâmpada incandescente não ser homogênea dentro da câmara. Essas diferenças de temperatura iriam impactar diretamente na eficiência do equipamento, pois os ovos teriam diferentes temperaturas dependendo da sua localização, podendo diminuir o índice de eclosão entre outros. Deste modo, a solução implementada mediante um conjunto de resistências elétricas mais ventilador confirmaram menores gradientes de temperatura ao longo da câmara ao utilizar troca de calor por convecção forçada.

Como avaliação cabal, o sistema foi colocado a prova em condições reais de uso. Para isto, foi produzida uma batelada de pintainhos os quais iniciou-se a incubação com o total de 50 ovos de galinha caipira, apresentado no final do ciclo uma eclosão de 74% sendo no total 37 pintainhos. Este valor foi considerado satisfatório pois houve um descarte de 20% dos ovos no decorrer da incubação devido a sua infertilidade, fato discutido no texto ao que diz respeito a qualidade dos machos e fêmeas precursoras. Do total disposto à incubação, 6% tiveram morte na fase embrionária, o que remete também a qualidade e armazenamento dos ovos, fato conclusivo devido a todo cuidado e controle realizado no período de incubação. Dos pintainhos nascidos, todos nasceram em perfeito estado e com saúde sendo que não foi registrada nenhuma morte no período pós-eclosão.

Como trabalhos futuros é possível sugerir um esquema de controle que também considere o esfriamento da câmara no caso de dias mais quentes. Isto porque, em dias mais quentes, a maior temperatura ambiente pode extrapolar os limiares máximos de *setpoint* da temperatura da câmara, o que pode diminuir a eficácia e a qualidade dos pintainhos. Além disso sugere-se o estudo para melhoria do sistema de umidificação, com múltiplos sensores com objetivo da melhor homogeneização da umidade no interior da incubadora, pois durante o período de incubação verificou-se regiões com diferentes valores de umidade

relativa.

Uma outra possibilidade exploratória advém das frequentes quedas de energia e da demora no seu reestabelecimento. Fatos estes que ocorrem principalmente em regiões rurais mais afastadas. Assim, um sistema autônomo de energia composto por baterias seria interessante, para tentar manter as variáveis controladas durante estes eventos muitas vezes imprevisíveis. Nesta solução, uma abordagem promissora seria implementar todas as fontes e sistemas atuadores da incubadora na tensão nominal de 12V. Assim, bastaria um sistema de controle de carga do banco de baterias e um sistema de comutação na detecção da falta da rede elétrica. Esta solução seria mais econômica e eficiente por não exigir inversores ou motogeradores.

## REFERÊNCIAS

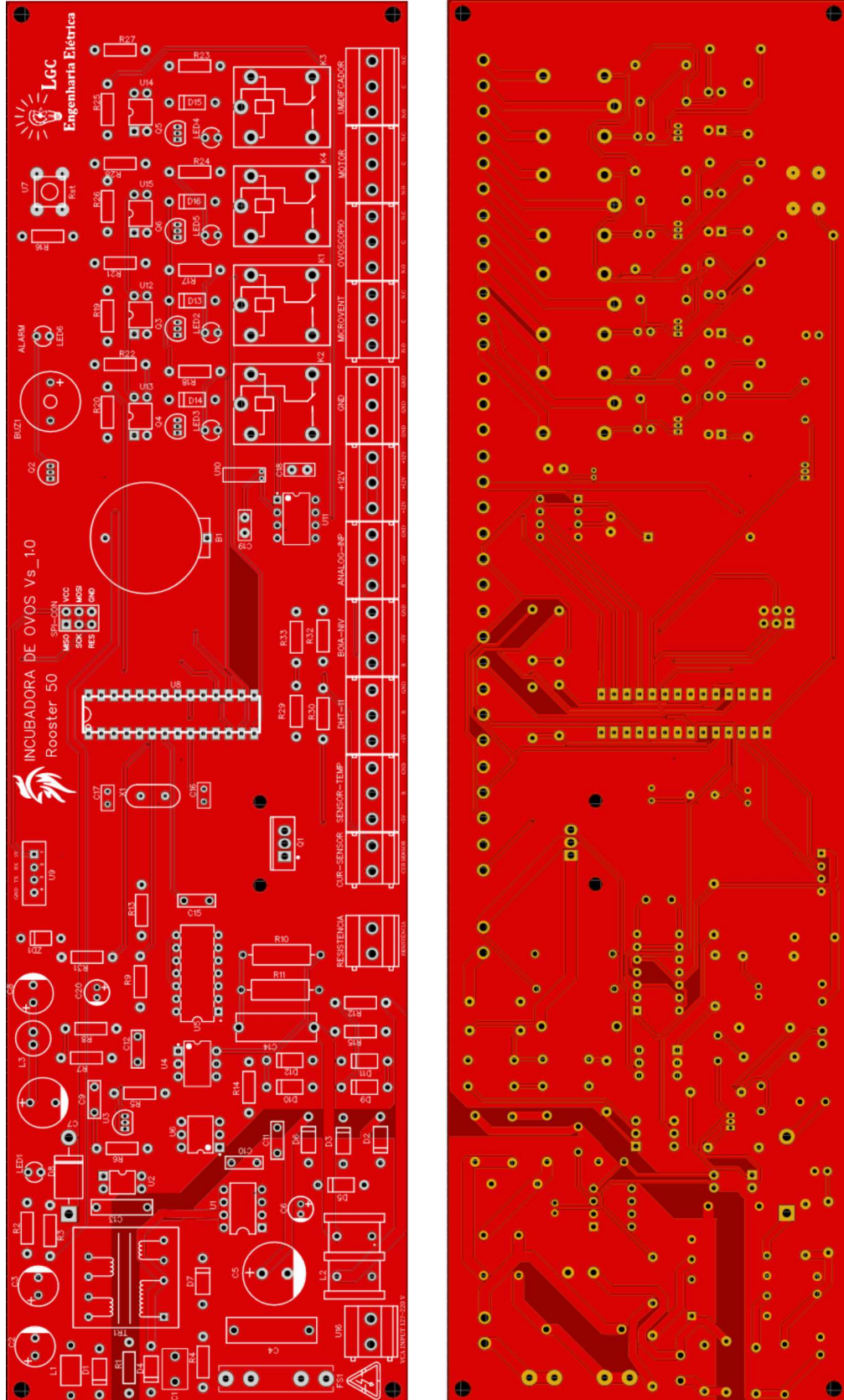
- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Exportações Brasileiras de Carne de Frango**. 2020. Disponível em: <<https://abpa-br.org/mercados/>>. Acesso em: 28 de maio de 2020.
- BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC, 2011.
- BUHR, R. J. Incubation relative humidity effects on allantoic fluid volume and hatchability. **Poultry Science Association**, n. 74, p. 874–884, 1995.
- CAMPOS, E. **Avicultura: razões, fatos e divergências**. Belo Horizonte: FEP-MVZ, 2000.
- CHEN, C. **Analog and Digital Control System Design: Transfer-function, State-space, and Algebraic Methods**. New York: Saunders College Pub., 1993.
- COBB. **Guia de Manejo de Incubação**. 1. ed. <[www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/guia\\_de\\_manejo\\_de\\_incubacao\\_000fzmqt1dv02wx5ok0cpoo6anefuoep.PDF](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/guia_de_manejo_de_incubacao_000fzmqt1dv02wx5ok0cpoo6anefuoep.PDF)>, 2008.
- DESHMUKH, A. **Microcontrollers: Theory and Applications**. Nova Deli: Tata McGraw-Hill, 2005.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Maiores produtores mundiais de carne de frango**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>>. Acesso em: 28 de maio de 2020.
- FAVERO, P. F. O manejo como melhoria na fertilidade de galos e galinhas. **Manejo da incubação**, n. 3, p. 32–327, 2013.
- FILHO, J. I. dos S. et al. Os 35 anos que mudaram a avicultura brasileira. In: **Sonho, Desafio e Tecnologia - 35 Anos de Contribuições da Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 59–83.
- FIUZA, M. A. et al. Efeitos das condições ambientais no período entre a postura e o armazenamento de ovos de matrizes pesadas sobre o rendimento de incubação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, n. 3, p. 408–416, 2006.
- FOROUZAN, B. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- FRENCH, N. A. Modeling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development, and egg size. **Poultry Science Association**, n. 76, p. 24–133, 1997.
- GARCIA, C. **Controle de processos industriais: estratégias convencionais**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.
- LATHI, B. **Sinais e Sistemas Lineares**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

- LAUVERS, G.; FERREIRA, V. P. d. A. Fatores que afetam a qualidade dos pintos de um dia, desde a incubação até recebimento na granja. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE MEDICINA VETERINARIA**, n. 16, p. 3–20, 2011.
- MICROCHIP. **ATmega328P**. 2018. <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATMEGA328P>>. Accessed: 2019-05-15.
- MORA, L. A. **Processo de incubação artificial de ovos: desenvolvimento de sistemas de medição de temperatura e massa**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, 11 2008.
- NETO, A. J. S. **AVALIAÇÃO DO SISTEMA 1-WIRE PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA EM INSTALAÇÕES AGRÍCOLAS**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, 2 2003.
- NISE, N. **Engenharia de Sistemas de Controle**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. São Paulo: PRENTICE HALL BRASIL, 2011.
- OPPENHEIM, A. **Discrete-Time Signal Processing**. New York: Pearson Education, 1999.
- PIAIA, J. L. **Aplicação da Inteligência Artificial no Monitoramento do processo de incubação**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 11 2005.
- ROMANINI, C. E. B. **Desenvolvimento de um sistema de controle Fuzzy para incubadora de ovos**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2 2009.
- ROSA, P.; AVILA, V. Variáveis relacionadas ao rendimento da incubação de ovos em matrizes de frangos de corte. **Embrapa Suínos e Aves**, n. 1, p. 1–3, 2000.
- SAGRILO, E. et al. **Validação do Sistema Alternativo de Criação de Galinha Caipira**. 2003. <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AgriculturaFamiliar/RegiaoMeioNorteBrasil/GalinhaCaipira/index.htm>>. Accessed: 2020-05-12.
- SILVA, F. H. A. **Influência dos tempos de aquecimento e armazenamento de ovos férteis de reprodutoras pesadas sobre a eclodibilidade e características de pintos de 1 dia**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 10 2005.
- SOUZA, D. **Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para o PIC 16F628A**. São Paulo: Érica, 2008.
- VISSCHEDIJK, A. H. J. Physics and physiology of incubation. **Poultry Science Association**, n. 32, p. 3–20, 1991.
- WILSON, H. R. Physiological requirements of the developing embryo: temperature and turning. **Poultry Science Symposium**, n. 22, p. 145–156, 1995.

---

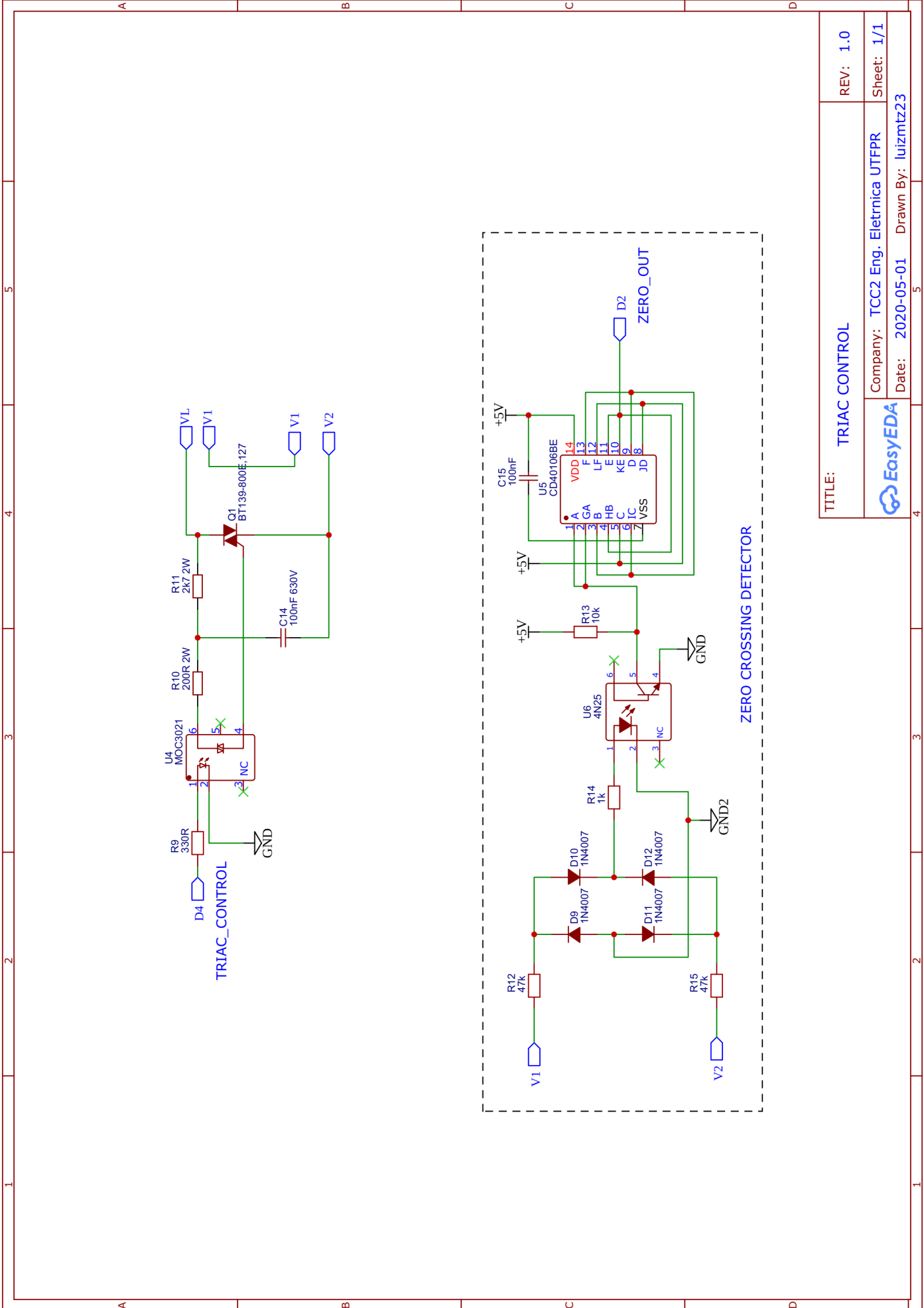
ZEN, S. D. et al. Evolução da avicultura no brasil. **Informativo CEPEA, Análise trimestral, custos de produção da avicultura - 4<sup>o</sup> trimestre de 2014**, CEPEA, 2014. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/revista/pdf/0969140001468869743.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2020.


# APÊNDICE A – PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

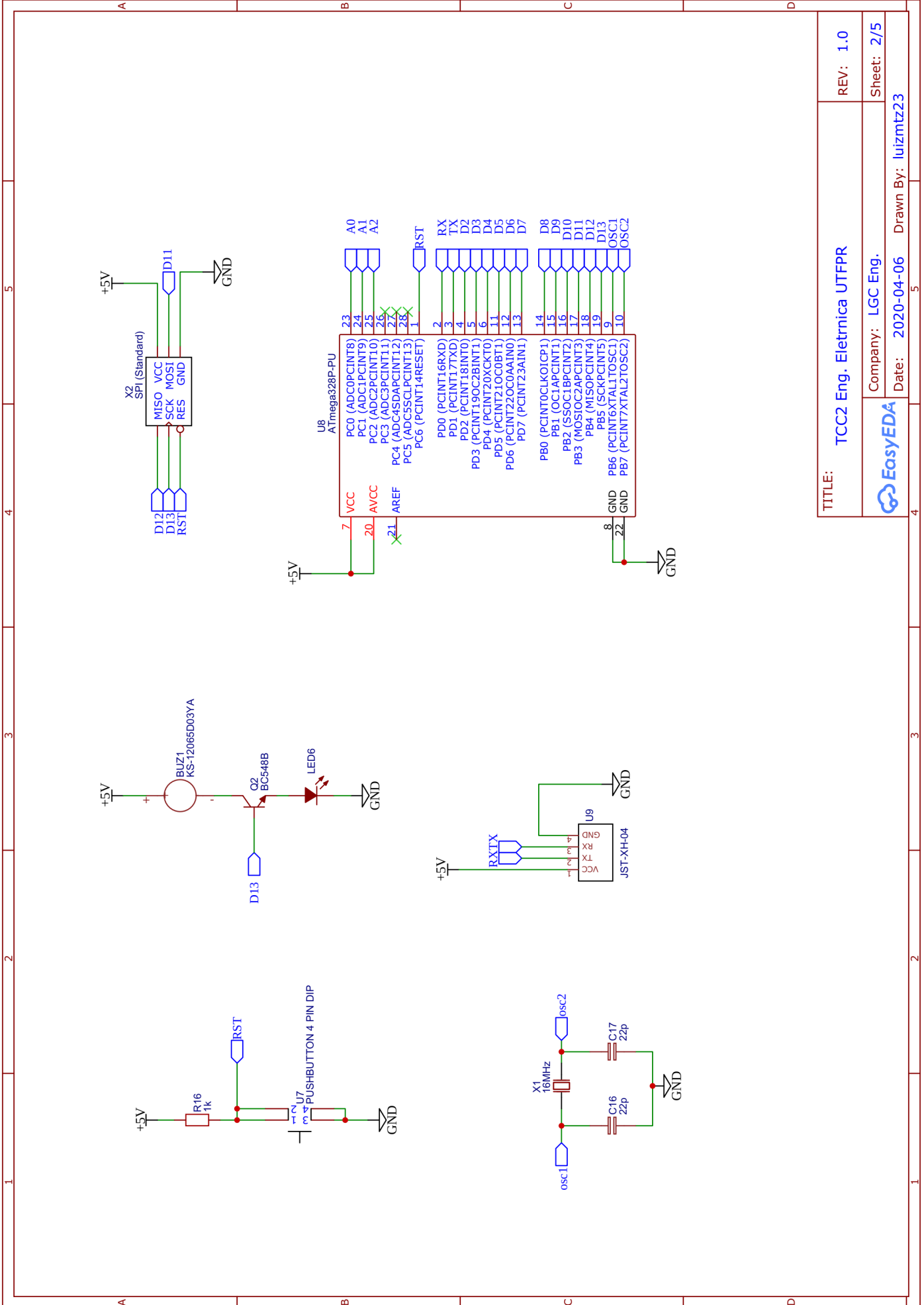


## APÊNDICE B – ESQUEMA ELETRÔNICO

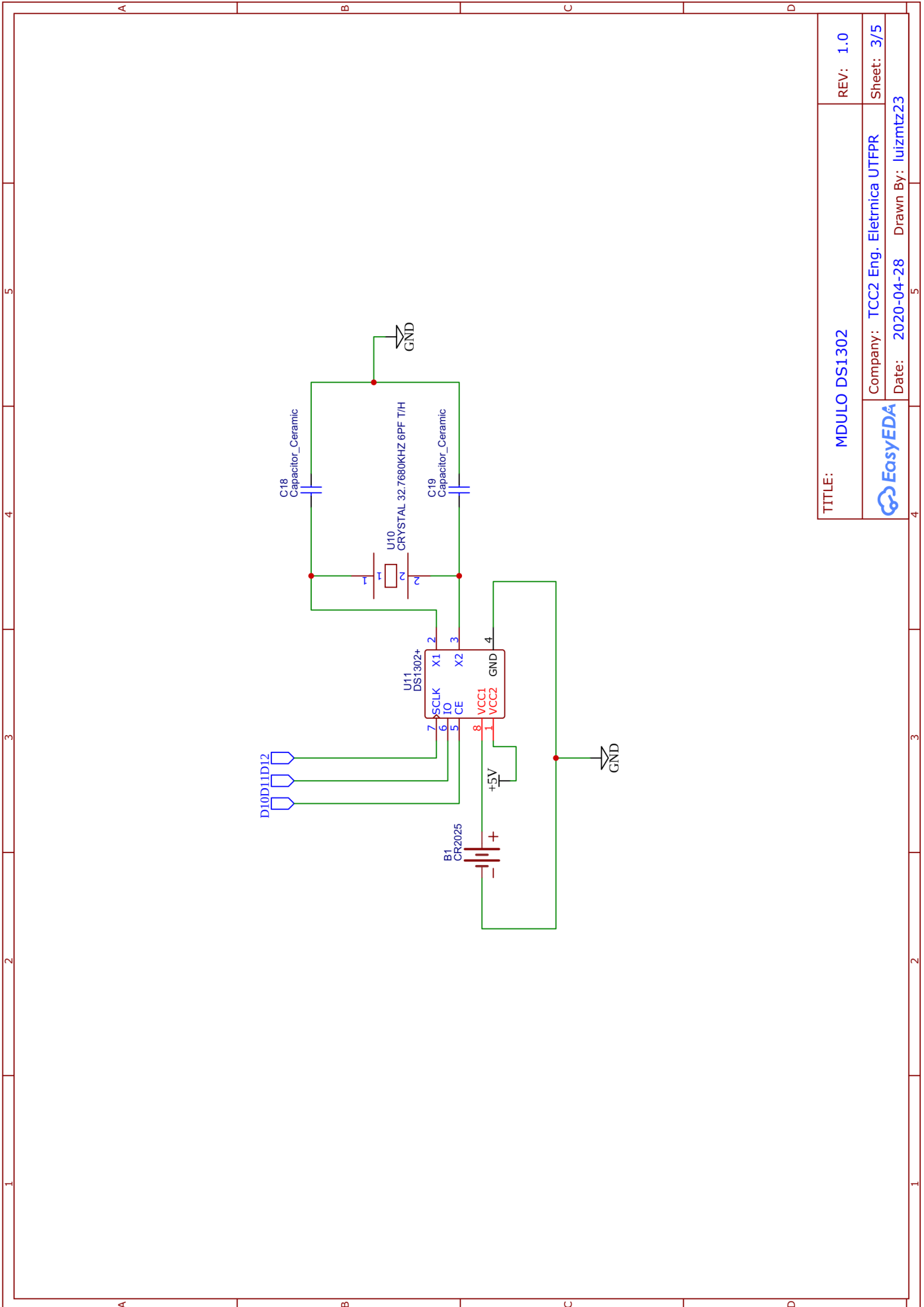





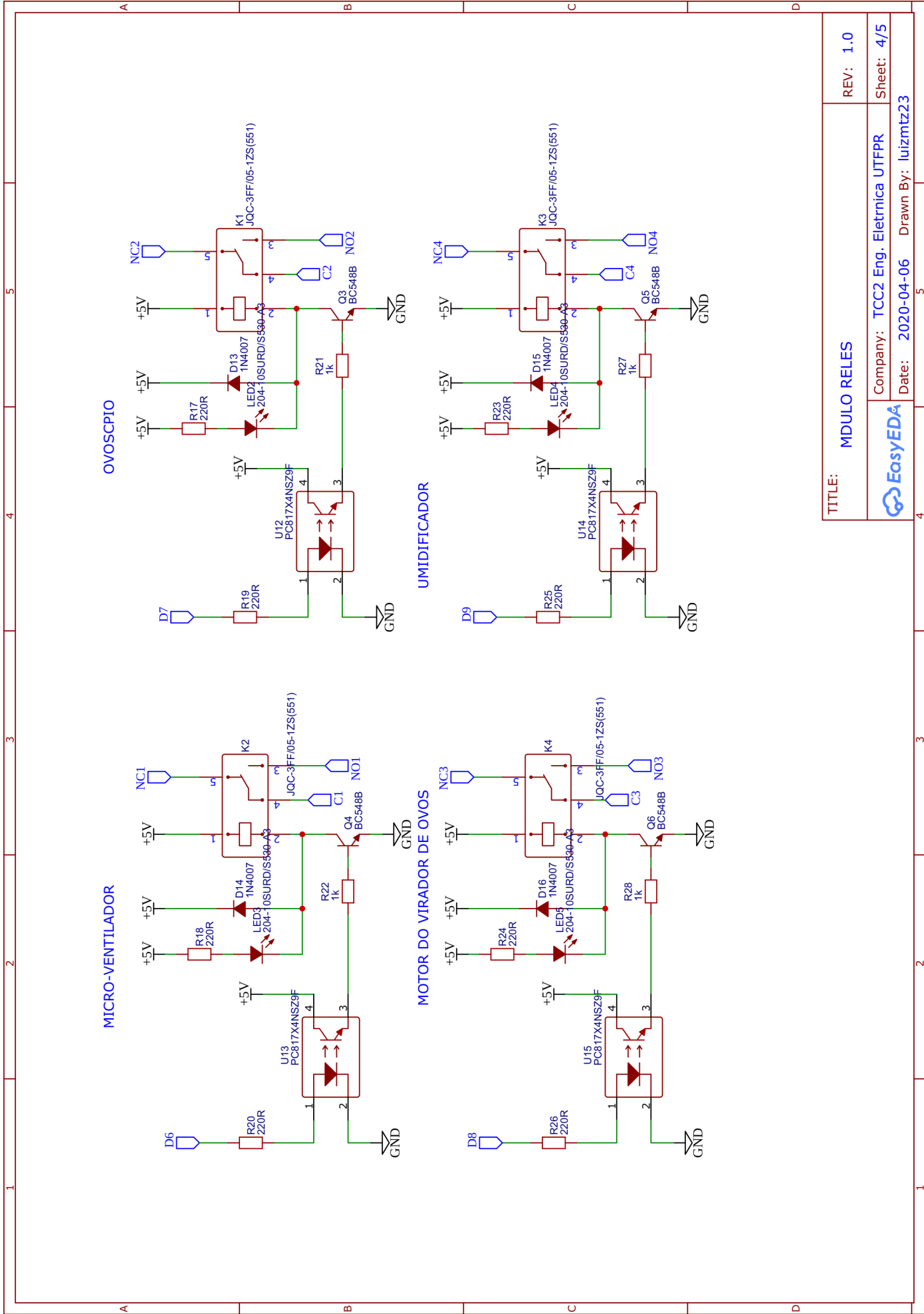
TITLE:	TRIAC CONTROL	REV:	1.0
		Company:	TCC2 Eng. Eletnica UTFPR
		Date:	2020-05-01
		Drawn By:	luizmtz23
		Sheet:	1/1



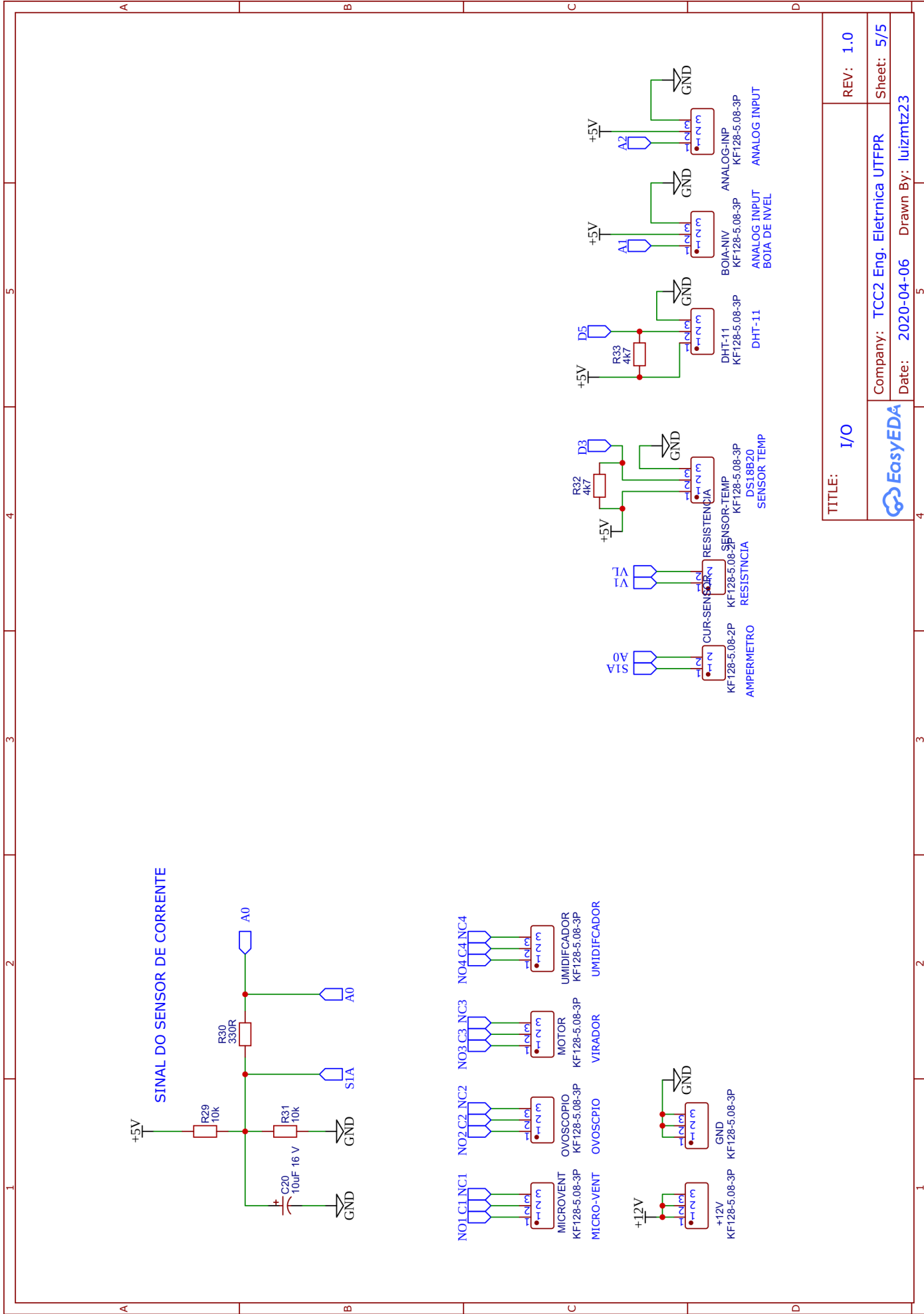
TITLE:	TCC2 Eng. Eletrnica UTFPR	REV:	1.0
Company: LGC Eng.		Sheet:	2/5
Date: 2020-04-06		Drawn By: luizmtz23	



TITLE:	MDULO DS1302	REV:	1.0
		Company:	TCC2 Eng. Eletrnica UTFPR
		Date:	2020-04-28
		Drawn By:	luizmtz23
		Sheet:	3/5



TITLE:	MDULO RELES	REV:	1.0
Company:	TCC2 Eng. Eletnica UTFPR	Sheet:	4/5
Date:	2020-04-06	Drawn By:	luizmtz23



TITLE: I/O	REV: 1.0
Company: TCC2 Eng. Elettronica UTFPR	Sheet: 5/5
Date: 2020-04-06	Drawn By: luizmtz23