

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**HUMBERTO CHODASKI PERINNI**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE UMIDADE  
EM UM GALPÃO DE ARMAZENAMENTO DE CAFÉ**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2019**

**HUMBERTO CHODASKI PERINNI**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE UMIDADE  
EM UM GALPÃO DE ARMAZENAMENTO DE CAFÉ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Marcelo Vasconcelos de Carvalho

**PONTA GROSSA**

**2019**



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE UMIDADE EM UM GALPÃO DE ARMAZENAMENTO DE CAFÉ**

por

**HUMBERTO CHODASKI PERINNI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 25 de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Marcelo Vasconcelos de Carvalho  
Prof. Orientador

---

Gilberto Zammar  
Membro titular

---

Tárik Linhares Tebchirani  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho aos meus pais,  
que me suportaram em todos os  
momentos de minha graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus colegas de curso, que tornaram as dificuldades da vida acadêmica menos pesadas. Em especial, agradeço ao amigo Thomas Bordignon – amigo que jamais negou a mão amiga e tenho certeza que levarei essa amizade até o final de minha vida.

Agradeço aos meus amigos Jorge Jung Marcondes de Moraes e Matheus Oliveira Faria da Silva e Melissa Roberta Scheid, que, mesmo distante, sempre estiveram ao meu lado e me deram suporte nos meus piores momentos.

Agradeço aos meus pais e minha irmã, que tornaram possível a minha graduação.

(...) ação é a vontade posta em funcionamento, transformada em força motriz; é procurar alcançar fins e objetivos; é a significativa resposta do ego aos estímulos e às condições do seu meio ambiente; é o ajustamento consciente ao estado do universo que lhe determina a vida.

(VON MISES, Ludwig. 1949)

## RESUMO

PERINNI, Humberto Chodaski. **Dimensionamento de um sistema de controle de umidade em um galpão de armazenamento de café.** 2019. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

A umidade é um dos fatores com maior peso na qualidade do armazenamento de grãos em geral. Atualmente é pequeno o número de empresas e cooperativas que fazem este controle, apesar da relativa simplicidade da aplicação de sistemas de controle nos dias modernos. A popularização de dispositivos eletrônicos e programação cria a possibilidade para que indivíduos com um conhecimento básico sobre programação e eletrônica sejam capazes de idealizar conjuntos capazes de automatizar tarefas que antes eram complexas ou custosas demais para serem realizadas. Diante disso, toma-se como desafio neste trabalho a criação de um sistema simples de controle de umidade em um galpão de armazenamento de grãos – em específico, café – que utiliza dispositivos de uma placa de controle Arduino UNO e dispositivos eletrônicos de baixo custo, bem como o dimensionamento e seleção das peças do conjunto hidráulico para este sistema.

**Palavras-chave:** Controle de umidade. Arduino. Armazenamento de grãos. Café.

## ABSTRACT

PERINNI, Humberto Chodaski. **Dimensioning of a moisture control system in a coffee storage shed**. 2019. 60p. Final Year Project (Bachelor's Degree in Mechanical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2019.

Moisture is one of the most important factors in the quality of grain storage in general. Nowadays, the number of companies and cooperatives that does the control of this factor is still small, despite the relative simplicity of the application of control systems in modern days. The popularization of programming and electronic devices creates the possibility for individuals with basic knowledge about electronics and programming skills to be able to idealize sets capable of automating tasks that were previously complex or way costly to perform. With all that information in mind, this study takes as a challenge the creation of a simple moisture control system in a grain storage shed – in particular, coffee – that uses devices such as an Arduino UNO control board and low-cost electronic devices, as well as the sizing and selection of hydraulic assembly parts for the system.

**Keywords:** Moisture control. Arduino. Grain storage. Coffee.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES.

Figura 1 - Diagrama de fluxo de informação e comando.....	15
Figura 2 – Esboço de distribuição das linhas .....	16
Figura 3 - Diagrama de Moody.....	20
Figura 4 - Representação simplificada de uma bomba centrífuga .....	23
Figura 5 - Tipos principais de rotores .....	23
Figura 6 - Exemplo de catálogo de pulverizadores para Modelo Teejet Turbojet TT11001 .....	25
Figura 7 - Desenho esquemático válvula de retenção .....	26
Figura 8 - Arduino Uno REV 3.....	27
Figura 9 - Diagrama de cobertura hidráulica MARK GRUNDFOS multiestágio 60 Hz .....	39
Figura 10 - Curvas de performance modelos HM 2 pólos 60Hz.....	40
Figura 11 - Cotagem e dimensões modelos HM monofásico .....	41
Figura 12 - Placa lógica Arduino Uno.....	42
Figura 13 - Sensor DHT11 .....	43
Figura 14 - Relay SONGLE.....	44
Figura 15 - Módulo LED RGB KY-016.....	45
Figura 16 - Buzzer Passivo .....	46
Figura 17 - Esquema de ligação na placa lógica.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição percentual volumétrica do ar seco.....	17
Tabela 2 - Rugosidade para diferentes materiais.....	21
Tabela 3 - Comprimento equivalente de acessórios .....	22
Tabela 4- Condições psicrométricas do ar .....	29
Tabela 5 - Dimensões do galpão.....	30
Tabela 6 - Vazão necessária em função do tempo de despejo.....	32
Tabela 7 - Listagem e comprimento equivalente dos dispositivos.....	35
Tabela 8 - Tabela de informações técnicas de vazão e pressão de trabalho para bicos pulverizadores.....	36
Tabela 9 - Código de referência para conexões selecionadas.....	38
Tabela 10 - Dimensões dos modelos com base na figura 10 (Valores sem a indicação de polegadas ou peso estão em mm) .....	41
Tabela 11 - Tabela Orçamentária.....	50

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS GERAIS .....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
2.2 TERMOS E DEFINIÇÕES .....	16
2.2.1 Psicrometria .....	16
2.2.1.1 Composição do ar seco .....	16
2.2.1.2 Ar úmido .....	17
2.2.1.3 Umidade relativa .....	17
2.2.2 Perda de carga .....	18
2.2.2.1 Número adimensional de Reynolds .....	18
2.2.2.2 Perda de carga distribuída para escoamento laminar .....	19
2.2.2.3 Perda de carga distribuída para escoamento turbulento .....	20
2.2.2.4 Perda de carga localizada .....	21
2.3 MATERIAIS E PRINCÍPIOS .....	22
2.3.1 Bombas Centrífugas Ou Radiais .....	22
2.3.2 Higrômetros .....	24
2.3.2.1 Higrômetro mecânico .....	24
2.3.2.2 Higrômetros por impedância elétrica .....	24
2.3.2.3 Higrômetros por condensação .....	25
2.3.3 Pulverizadores .....	25
2.3.4 Válvula de retenção .....	26
2.3.5 Arduino .....	26
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>28</b>
3.1 ESTIMATIVAS DE VAZÃO LÍQUIDA .....	28
3.1.1 Determinação Das Condições De Atuação .....	28
3.1.1.1 Determinação das condições psicrométricas do ar .....	29
3.1.1.2 Determinação da densidade do ar .....	29
3.1.1.3 Determinação da vazão .....	30
3.2 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA .....	32
3.2.1 Perda Distribuída .....	32
3.2.1.1 Número de Reynolds .....	32
3.2.1.2 Determinação do fator de atrito .....	33
3.2.1.3 Cálculo da perda de carga distribuída .....	33
3.2.2 Perdas localizadas .....	34
3.2.3 Perdas totais .....	35
3.3 SELEÇÃO DOS COMPONENTES HIDRÁULICOS .....	35

3.3.1 Seleção dos bicos de Pulverização .....	36
3.3.2 Seleção das conexões e dispositivos de linha (Luvas, Tês, Cotovelos e tampões) .....	37
3.3.3 Seleção de válvula de retenção .....	38
3.3.4 Seleção de tubulação .....	38
3.3.5 Seleção da bomba hidráulica.....	38
<b>3.4 EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS .....</b>	<b>41</b>
3.4.1 Componentes Utilizados .....	41
3.4.1.1 Placa lógica arduino.....	42
3.4.1.2 Sensor DHT11 .....	42
3.4.1.3 Relé de contato SONGLE .....	43
3.4.1.4 Módulo LED RGB KY-016.....	44
3.4.1.5 Buzzer passivo.....	45
<b>3.5 PROGRAMAÇÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>47</b>
4.1 LIMITAÇÕES DE VAZÃO .....	47
4.2 VALORES DE PERDA DE CARGA .....	47
4.3 EQUIPAMENTOS DE LINHA.....	48
4.4 BOMBA HIDRÁULICA .....	48
4.5 CÓDIGO E ESQUEMA ELETRÔNICO .....	49
4.6 ORÇAMENTO.....	50
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para uma boa qualidade do café e grãos em geral é necessário que existam condições adequadas para a manutenção das características originais do grão armazenado. Fatores como a umidade e a temperatura local apresentam grande peso no que se refere ao armazenamento adequado e à longevidade do produto armazenado.

Apesar da importância dos fatores citados, a maioria dos sistemas de armazenamento de café no Brasil não conta com nenhum tipo de controle dos fatores que podem interferir na qualidade (SILVA et al., 2001), o que, muitas vezes, gera perdas, tanto na qualidade, quanto no peso do produto, que é sensível às variações de umidade.

Fenômenos como o branqueamento, onde os grãos de café apresentam mudança de coloração, passando de um tom verde azulado para um amarelo-claro, são intimamente ligados às condições de umidade e temperatura (JUNIOR, 2001, apud CORADI, 2007). Este fenômeno, considerado um defeito no grão, em específico, tende a ser aumentado com altos níveis de umidade. Contudo, as informações da literatura não são concordantes com os resultados de testes realizados em ambiente controlado, onde o fenômeno do branqueamento não pode ser confirmado (SILVA et al., 2001).

Produtos com características de coloração e peso alterados podem perder valor de mercado e, portanto, o assunto é alvo de preocupação dentro das empresas que fazem o armazenamento e beneficiamento do café.

Em locais com climas tropicais e subtropicais o controle das variáveis de temperatura e umidade apenas por aeração e insuflação de ar é inviável, já que as altas temperaturas atingidas fazem com que a umidade em ambientes confinados – como galpões – caia, e isso não é adequado para o bom armazenamento de grãos.

De maneira a driblar esta impossibilidade de controle, é possível se utilizar das características locais do ar atmosférico e criar sistemas capazes de atenuar os danos provocados pelas condições climáticas para pelo menos uma variável: a umidade.

## 1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente projeto tem como objetivo dimensionar os componentes hidráulicos básicos e criar um protótipo eletrônico de um sistema capaz de permitir o controle da umidade em um galpão por meio do uso de sensores, bombeamento e pulverização de água no ar atmosférico.

É importante ressaltar que o escopo deste projeto está apenas no controle da umidade do galpão e não no estudo das umidades adequadas para o armazenamento do café ou de grãos em geral. A determinação deste valor se mostra complexa, exigindo um grande tempo de pesquisa e não apresenta consenso metodológico na literatura pesquisada.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

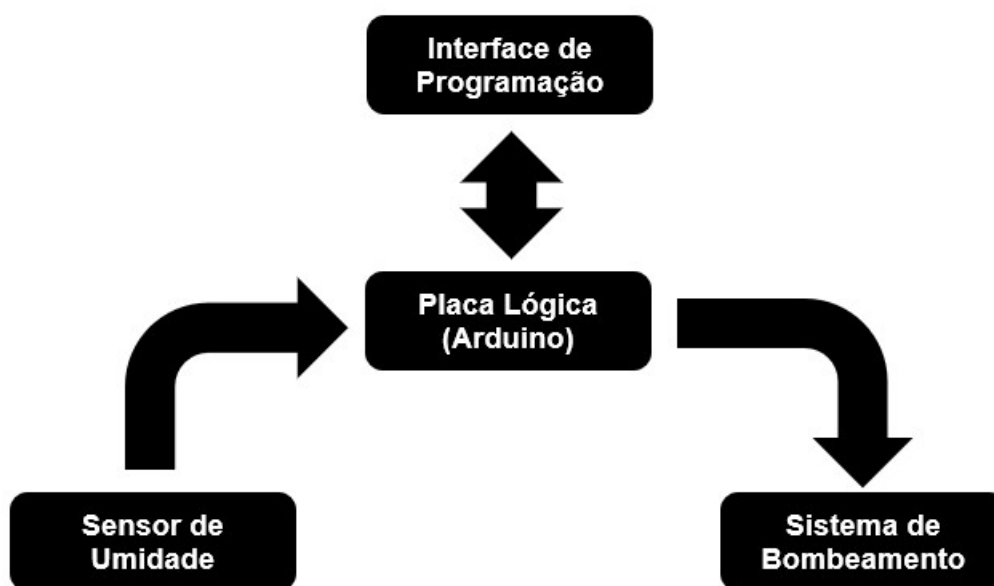
- a) Determinação das condições de operação do sistema;
- b) Determinação das dimensões do galpão;
- c) Determinação da vazão de água necessária com base nas condições de operação e dimensões;
- d) Seleção dos componentes hidráulicos;
- e) Seleção dos componentes eletrônicos;
- f) Programação do sistema em uma placa Arduino.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

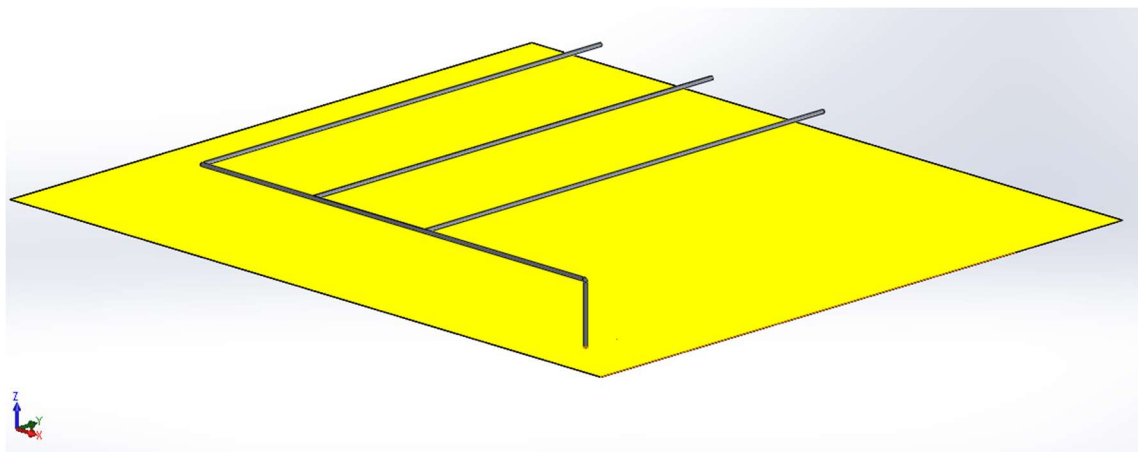
Em um primeiro momento, serão apresentadas definições indispensáveis e os equipamentos gerais que serão utilizados ou que apresentam importância para o entendimento do desenvolvimento do sistema, bem como seus princípios de funcionamento. Serão excluídos desta discussão produtos como relays, cabearmentos elétricos e alguns dispositivos eletrônicos. Além disso, tubulações e conexões serão selecionadas com base nas dimensões na seção de desenvolvimento e também não serão tratadas nesta seção.

O sistema desejado será composto por um sistema de bombeamento de água, o qual será acionado por uma placa lógica que, por sua vez, receberá os dados do sensor de umidade.



**Figura 1 - Diagrama de fluxo de informação e comando**  
Fonte: Autoria própria

A figura 1 mostra um diagrama simplificado do fluxo de informação e comando seguido para se alcançar o efetivo acionamento dos sistemas.



**Figura 2 – Esboço de distribuição das linhas**  
**Fonte: Autoria própria**

A figura 2 exibe a disposição aproximada das linhas de tubulação do sistema desejado. Ressalta-se que esta imagem é apenas um esboço apresentando a disposição geral para os cálculos de dimensionamento.

## 2.2 TERMOS E DEFINIÇÕES

Nesta seção serão apresentadas informações e definições importantes para um melhor entendimento geral do trabalho.

### 2.2.1 Psicrometria

A psicrometria pode ser definida como o estudo das propriedades termodinâmicas do ar úmido e o uso de tais propriedades na análise de processos que envolvem o ar úmido (ASHRAE, 1997, apud DIAS, 2001).

#### 2.2.1.1 Composição do ar seco

É importante lembrar que o ar atmosférico é, na verdade, uma mistura de vários componentes gasosos. Sua composição é aproximadamente constante (ASHRAE, 1997, apud DIAS, 2001) e, para o ar seco, sua composição volumétrica é vista na tabela 1 abaixo.



SUBSTÂNCIA	%
Nitrogênio	78,084
Oxigênio	20,9476
Argônio	0,934
Dióxido de Carbono	0,0314
Neônio	0,0018
Hélio	0,0005
Metano	0,0002
Dióxido de Enxofre	0 a 0,0001
Hidrogênio	0,0001
Criptônio, Xenônio e Ozônio	0,0002

**Tabela 1 – Composição percentual volumétrica do ar seco**  
**Fonte: ASHRAE, 1997, apud DIAS, 2001.**

Para efeito de cálculo, utiliza-se como massa molecular aparente do ar o valor de 28,9645 kg/kmol (DIAS, 2001). Este valor é obtido por meio de uma média ponderada dos valores de peso molar dos constituintes do ar atmosférico.

#### 2.2.1.2 Ar úmido

O ar úmido é a mistura entre a massa de ar seca e o vapor de água existente na atmosfera. O ar atmosférico seco comporta-se de maneira semelhante a uma esponja absorvendo a água em forma de vapor. Quando o valor de umidade é zero (0% UR), tem-se o ar seco. A quantidade de água absorvida pode subir até um máximo, que é conhecido como ponto de saturação (100% UR).

Neste ponto de saturação, a massa de ar não é capaz de absorver mais água e, portanto, toda a água em excesso será rejeitada e condensada em forma de líquido – ou sólido, dependendo das condições de temperatura e pressão -.

#### 2.2.1.3 Umidade relativa

A umidade relativa (UR) é definida como o simples quociente entre a quantidade de água presente na massa de ar pela quantidade de água que a massa de ar apresentaria em seu ponto de saturação (máxima quantidade de água) em determinada temperatura e pressão. Normalmente este valor é dado em percentual.

### 2.2.2 Perda de carga

A perda de carga é a perda de energia causada pelo atrito entre um fluido e as paredes do escoamento e também pela própria fricção entre as partículas do fluido. Esta perda pode ser dividida em dois tipos principais: as perdas localizadas e as perdas distribuídas. A perda de carga total é soma das perdas de carga localizada e distribuída.

O cálculo de perda de carga pode ser realizado pela equação 1 abaixo (FOX, 2006):

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Onde:

$f$ : Fator de atrito - adimensional;

L: Comprimento da linha em m;

D: Diâmetro da tubulação em m;

$v$ : Velocidade média do fluido em m/s;

g: Aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>;

h: Perda de carga resultante em m.

Para uma boa análise da perda de carga é necessário que se verifique o valor do número adimensional de Reynolds para que, assim, seja aplicada a melhor metodologia para o cálculo do valor de perda. O cálculo de perda de carga é dependente do fator de atrito e este fator, por sua vez, depende do tipo de escoamento, que é definido pelo número de Reynolds.

#### 2.2.2.1 Número adimensional de Reynolds

O número adimensional de Reynolds é um valor que representa o quociente entre as forças de inércia e as forças viscosas e é representado, para o escoamento em tubos, pela equação 2 abaixo (FOX, 2006).

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2)$$

Onde:

$\rho$ : Densidade do fluido (kg/m<sup>3</sup>);

$v$ : Velocidade média do fluido (m/s);

D: Diâmetro do tubo;

$\mu$ : Viscosidade dinâmica do fluido (N.s/m<sup>2</sup>).

Se o valor deste número for alto, os efeitos viscosos são desprezíveis para a maior parte do escoamento. Já se este número for pequeno, os efeitos viscosos são dominantes. Há também valores de transição, onde não se podem fazer afirmações (FOX, 2006).

Para um valor de  $Re < 2300$ , o escoamento é considerado laminar. Para valores de Reynolds entre 2300 e 4000, considera-se o escoamento em um regime de transição. Para  $Re > 4000$ , considera-se o escoamento turbulento. Apesar disso, nas aplicações de engenharia, normalmente se considera o escoamento como turbulento para qualquer valor de Reynolds acima de 2300 (FOX, 2006).

#### 2.2.2.2 Perda de carga distribuída para escoamento laminar

Para o escoamento laminar, o cálculo da equação 1 pode ser simplificado considerando que o fator de atrito é aproximado por  $64/Re$  (FOX, 2006). Então, escreve-se a equação 3 abaixo:

$$h = \frac{64 L v^2}{Re D 2g} \quad (3)$$

Onde:

$Re$ : Número de Reynolds - adimensional;

L: Comprimento da linha em m;

D: Diâmetro da tubulação em m;

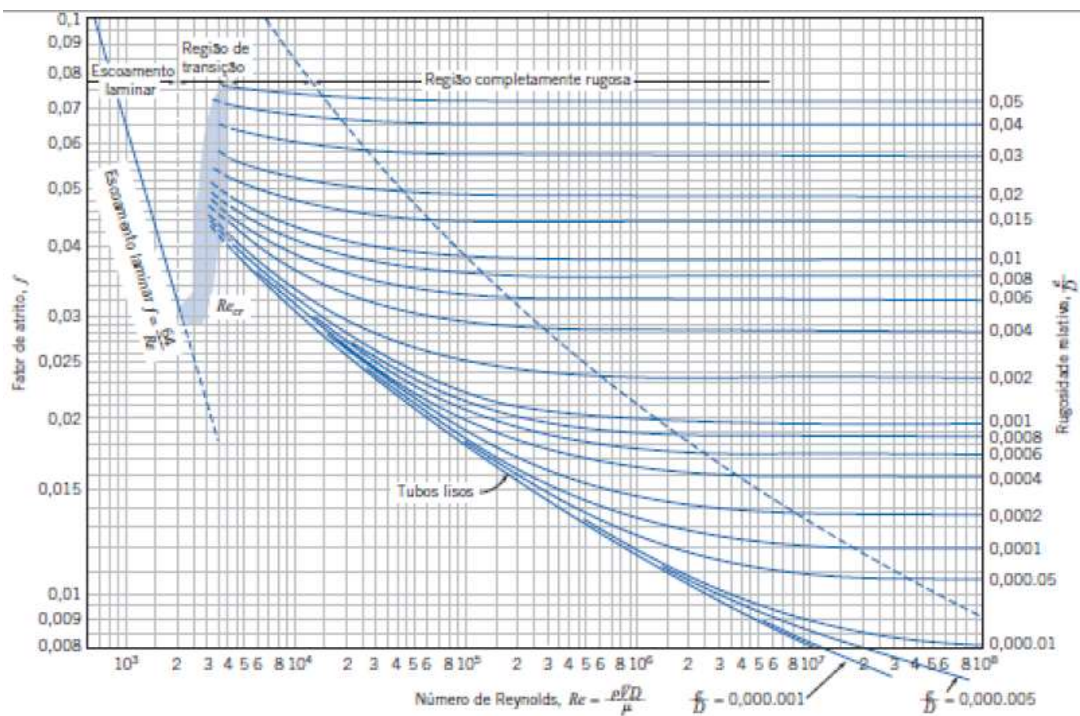
$v$ : Velocidade média do fluido em m/s;

$g$ : Aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>;

$h$ : Perda de carga em m.

### 2.2.2.3 Perda de carga distribuída para escoamento turbulento

Para o escoamento turbulento, também se utiliza a equação 1, mas deve-se buscar o valor do fator de atrito no diagrama de Moody. Este diagrama auxilia na obtenção do fator de atrito, desde que sejam conhecidos os valores de rugosidade do material da tubulação, diâmetro da tubulação e Reynolds para o escoamento.



**Figura 3 - Diagrama de Moody**  
Fonte: FOX (2006)

O diagrama de Moody mostrado na figura 3 apresenta escalas de rugosidade relativa à direita, número de Reynolds em escala logarítmica abaixo e escala de fator de atrito à esquerda. Os valores de rugosidade são fornecidos na literatura e podem ser vistos na tabela 2 abaixo.

<b>Material da tubulação</b>	<b>Rugosidade (mm)</b>
Aço Rebitado	0,9 – 9
Concreto	0,3 – 3
Madeira	0,2 - 0,9
Ferro Fundido	0,26
Ferro Galvanizado	0,15
Ferro Fundido Asfaltado	0,12
Aço Comercial ou Ferro Forjado	0,046
Trefilado	0,0015

**Tabela 2 - Rugosidade para diferentes materiais**  
**Fonte: Adaptado de FOX (2006)**

Cruzando-se os dados da rugosidade e Reynolds, obtém-se, à esquerda do diagrama de Moody, o valor do fator de atrito e pode-se aplicá-lo na equação 1 e o valor da perda de carga pode ser calculado.

#### 2.2.2.4 Perda de carga localizada

A perda de carga localizada é ocasionada por restrições ou mudanças abruptas causadas pelo uso de dispositivos nas linhas de fluxo, tais como cotovelos, luvas de conexão, registros, etc. Para o cálculo da perda de carga gerada por estes dispositivos, faz-se uso da equação 1 para escoamento turbulento ou 3 para escoamento laminar, porém buscam-se valores de L/D tabelados para se encontrar comprimentos equivalentes de tubulação.

<b>Tipo de Acessório</b>	<b>Comprimento Equivalente (L/D)</b>
Válvula de Gaveta	8
Válvula Globo	340
Válvula Angular	150
Válvula de Esfera	3
Válvula de retenção Globo	600
Válvula de retenção Angular	55
Válvula de pé com crivo: disco solto	420
Válvula de pé com crivo: disco articulado	75

(Continua)

(Conclusão)

Cotovelo-padrão 90°	30
Cotovelo-padrão 45°	16
Tê-padrão de escoamento principal	20
Tê-padrão de escoamento lateral	60

**Tabela 3 - Comprimento equivalente de acessórios**  
**Fonte: FOX (2006)**

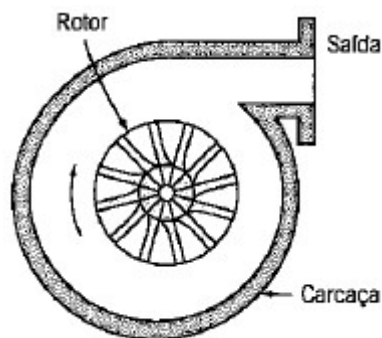
A tabela 3 apresenta o comprimento equivalente para variados tipos de dispositivos. É importante lembrar que estes valores são aproximações e variam sensivelmente com as diferenças características dos dispositivos.

## 2.3 MATERIAIS E PRINCÍPIOS

Nesta seção serão mostrados e brevemente explicados os equipamentos relacionados ao dimensionamento do sistema e seus princípios de funcionamento.

### 2.3.1 Bombas Centrífugas Ou Radiais

As bombas centrífugas ou radiais são equipamentos mecânicos que, por meio da rotação em alta velocidade de um rotor, transformam a energia cinética em energia hidrodinâmica. Este tipo de máquina é classificado como uma turbomáquina, já que não há movimentação das fronteiras do espaço no qual o fluido está contido e a rotação em alta velocidade de um rotor imprime velocidade e energia hidráulica ao fluido (FOX, 2006).

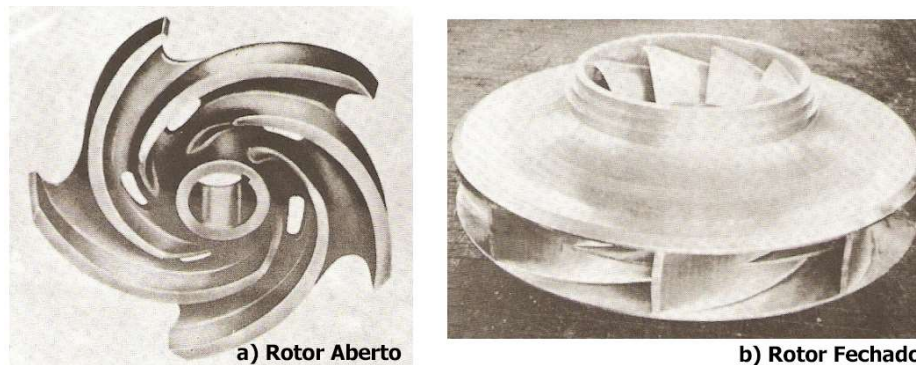


**Figura 4 - Representação simplificada de uma bomba centrífuga**  
**Fonte: FOX (2006)**

A figura 4 é um esquema simplificado de uma bomba centrífuga onde observa-se a configuração do mecanismo. Os componentes exibidos são o rotor, parte móvel que imprime velocidade ao fluido, e a carcaça de invólucro.

Esta carcaça, também chamada de voluta, apresenta um caminho para o fluido e sua geometria e dimensionamento é parte fundamental para uma boa eficiência da bomba.

Com relação ao rotor, existe uma classificação própria para sua apresentação geométrica: de rotor fechado ou aberto.



**Figura 5 - Tipos principais de rotores**  
**Fonte: Adaptado de DORIA (2009)**

Bombas com rotor aberto, que pode ser observado na figura 5 (a), tendem a ter uma menor eficiência quando comparada a bombas com rotores fechados, figura 5 (b), porém são mais bem indicadas para fluidos que apresentam pequenos detritos devido às características geométricas menos restritivas.

Já as bombas com rotor fechado são indicadas para fluidos com pouca ou nenhuma quantidade de detritos. É importante ressaltar que este tipo de rotor apresenta restrições imperativas em relação ao tamanho e geometria dos detritos e

particulados em suspensão no fluido, já que a sua característica geométrica apresenta canaletas que podem impedir a passagem do material sólido.

### 2.3.2 Higrômetros

Higrômetros são equipamentos capazes de aferir a umidade presente em um local.

A umidade é uma variável que influencia uma vasta quantidade de fenômenos físicos, químicos e biológicos (DIAS, 2001). A partir disso é possível quantizar a influência dessas variações de umidade sobre esses fenômenos e, assim, ter uma medição de umidade.

Uma breve listagem dos principais tipos de higrômetro será apresentada a seguir.

#### 2.3.2.1 Higrômetro mecânico

Os higrômetros mecânicos exploram propriedades de expansão e contração de materiais orgânicos a partir de variações da umidade. Diversos materiais podem ser usados como para se aferir estas variações: desde cabelo humano até cordas *catgut* – material obtido por meio da torção e do trançar de intestinos de animais - (SANTOS e KAWAKITA, 1992, apud DIAS, 2001).

#### 2.3.2.2 Higrômetros por impedância elétrica

Os higrômetros por impedância elétrica se utilizam de materiais higroscópicos, os quais têm suas propriedades elétricas como capacitância ou resistência dependentes da umidade à medida que perdem ou ganham moléculas de água do meio.

Estes higrômetros normalmente são compactos e apresentam medidores de temperatura acoplados. (SANTOS e KAWAKITA, 1992, apud DIAS, 2001).



### 2.3.2.3 Higrômetros por condensação

Este tipo de higrômetro explora a determinação do ponto de orvalho. A condensação do vapor é induzida por meio de um abaixamento na temperatura de uma superfície. Esta diminuição na temperatura pode ser feita de diversas formas: uso de gelo, gases frios, células Peltier, etc.

A partir do momento de início de condensação, basta cruzar dados da temperatura na qual o início da condensação ocorreu com a temperatura e pressão local para se obter os valores de umidade com o auxílio de cartas psicrométricas. Este tipo de higrômetro não é tão comum quanto os de impedância.

### 2.3.3 Pulverizadores

A literatura é limitada em relação a este tópico. A análise deste tipo de equipamento fora realizada por meio de catálogos, onde observa-se que a classificação é feita de acordo com a pressão de trabalho, a vazão na pressão de trabalho, o ângulo formado pelo spray pulverizado e o tamanho de gota.

Modelo	Tamanho de gota	Pressão		Vazão (l/min)
		bar	psi	
Laranja TT11001 Malha 100	C - Grossa	1,0	21,8	0,23
	M - Média	2,0	29,0	0,32
	F - Fina	3,0	43,5	0,39
	F - Fina	4,0	58,0	0,45
	F - Fina	5,0	72,5	0,50
	F - Fina	6,0	87,0	0,55

**Figura 6 - Exemplo de catálogo de pulverizadores para Modelo Teejet Turbojet TT11001**  
Fonte: Catálogo Turbo Teejet

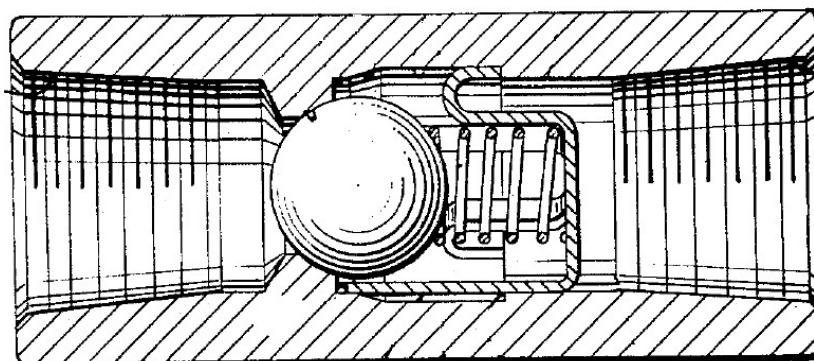
A figura 6 exibe as informações gerais apresentadas em catálogos de seleção de bicos pulverizadores. Tais bicos são mais utilizados em serviços agrícolas como aplicação de pesticidas (fungicidas, herbicidas e inseticidas), controle de umidade, controle de poeira, refrigeração por evaporação, entre outros.

Existem ainda os bicos pulverizadores por atomização a ar, ou apenas atomizadores a ar, como denominados em catálogos. Os atomizadores a ar geram uma névoa fina do fluido utilizado, e, assim, se mostram uma excelente opção para o controle de umidade.

Apesar disso, o uso destes bicos implicaria na instalação de um sistema pneumático, já que é necessário o uso de ar comprimido para o funcionamento dos equipamentos. Isso acarretaria uma subida substancial dos preços dos equipamentos necessários, portanto, não será aplicado.

#### 2.3.4 Válvula de retenção

A válvula de retenção é um dispositivo mecânico que permite o fluxo de um fluido em apenas uma direção. Este dispositivo tem a função de não deixar que as linhas de distribuição se esvaziem pelo retorno do fluido quando a unidade de bombeamento deixa de aplicar pressão sobre o fluido.



**Figura 7 - Desenho esquemático válvula de retenção**  
Fonte: Adaptado de ASLAN (1969)

Na figura 7 é possível visualizar o mecanismo de uma válvula de retenção, onde observa-se que a passagem de fluido pressurizado é permitida da esquerda para a direita, onde a própria pressão do fluido exerce força sobre a esfera e a empurra, criando um caminho por onde o fluido pode passar. Porém a passagem é bloqueada da direita para a esquerda, já que o mecanismo impede o fluxo por meio do bloqueio com esfera.

#### 2.3.5 Arduino

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto feita especificamente para facilitar a prototipação e a criação de projetos e sistemas interativos de maneira simples e rápida.

O lançamento da plataforma foi realizado em 2005 e, com o passar dos anos, o Arduino foi se tornando mais completo do ponto de vista de possibilidades e mais simples no ponto de vista de facilidade de utilização.

Grande parte dos avanços da plataforma se deve ao fato de ser de código aberto e à imensa comunidade de colaboradores: programadores, hobbistas, estudantes e profissionais das áreas de tecnologia.

Os projetos e programações feitas por tais indivíduos geralmente são compartilhados em fóruns e grupos online de maneira pública e isso facilita e abre caminho para que tais projetos sejam repetidos e melhorados, o que empurra os limites e aumenta possibilidades dos sistemas controlados com base em Arduino.



**Figura 8 - Arduino Uno REV 3**

Fonte: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> Acesso em: 07/07/2018

A figura 8 mostra o Arduino e sua disposição geral (Modelo UNO REV3). Tal placa tem a capacidade de receber e enviar informações em formato digital e analógico. Deste modo, podem ser acoplados diversos sensores e equipamentos que podem ler informações e executar ações de acordo com a programação inserida em sua memória.

### 3 DESENVOLVIMENTO

Esta seção irá apresentar os procedimentos a partir dos quais se torna possível dimensionar o sistema e selecionar os dispositivos desejados da maneira adequada possível.

#### 3.1 ESTIMATIVAS DE VAZÃO LÍQUIDA

Para que um sistema de controle funcione de maneira adequada, é necessário que haja a capacidade de atendimento das necessidades de atuação mesmo em condições de pico, ou seja, um bom sistema deve ser projetado para o perfeito funcionamento nas condições máximas ao qual será exigido. Contudo, as condições financeiras para a execução de um projeto são fatores limitantes e pesam na hora de se determinar os limites de atuação de um equipamento ou sistema projetado.

##### 3.1.1 Determinação Das Condições De Atuação

A determinação das condições de atuação fora feita em conjunto com o corpo de engenheiros e diretores da Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel – COOABRIEL. Era necessário determinar a umidade-alvo, a qual o sistema dimensionado buscaria alcançar como equilíbrio.

Para isso, visitou-se o armazém da empresa Louis Dreyfus Company da cidade de Nova Venécia, na região noroeste do estado do Espírito Santo. Verificou-se então que a umidade relativa de controle para este armazém é de 75%. Ressalta-se que este armazém em específico é utilizado para o armazenamento de grãos de café, ou seja, armazena o mesmo tipo de produto que o armazém da COOABRIEL.

Além disso, contatou-se o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER – para dados de umidade. Contudo, não há série histórica para os níveis mínimos de umidade relativa local. Foi apenas informado que muito raramente são registradas umidades relativas abaixo de 40%.

Com os cálculos do volume de água necessário para variadas condições de temperatura, determinou-se, então, que o sistema seria projetado para corrigir a umidade de 40% para 75% a uma temperatura de 37°C.

### 3.1.1.1 Determinação das condições psicrométricas do ar

Com o auxílio do software *Computer-Aided Thermodynamic Tables 3* (CATT3), foi possível determinar as condições do ar.

Assim, foram consideradas as temperaturas de 37°C, bem como uma umidade relativa de 40% e 75%. É importante ressaltar que estes valores de temperatura e umidade não são os valores de pico registrados, já que para atender tais condições seria necessário um volume muito grande de água (o procedimento de cálculo para o volume de água será mostrado adiante). Os valores obtidos para as condições determinadas podem ser observados abaixo:

Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)	Umidade Absoluta (kg água/kg de ar seco)	Ponto de orvalho (°C)
37	75	0,03032	31,82
37	40	0,01581	21,16

**Tabela 4- Condições psicrométricas do ar**  
Fonte: Autoria própria

De posse dos dados fornecidos pela tabela 4 é possível prosseguir e estimar a vazão máxima necessária de água.

### 3.1.1.2 Determinação da densidade do ar

Para se fazer a determinação da densidade do ar seco na condição buscada, fez-se uso da equação 4, de gases ideais (MORAN e SHAPIRO, 2009):

$$PV = RT \quad (4)$$

Onde:

P: Pressão em kPa;

V: Volume específico do gás em m<sup>3</sup>/kg;

R: constante ideal do gás em kJ/kg°C;

T: Temperatura em K.

Aplicando-se as condições de 101,325 kPa de pressão (pressão atmosférica),  $R = 0,287$  kJ/kg°C,  $T = 310$  K e resolvendo para  $v$ , conclui-se que o volume específico do gás é  $0,878$  m<sup>3</sup>/kg. Logo, invertendo-se para a densidade, encontra-se um valor aproximado de  $1,14$  kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1.1.3 Determinação da vazão

Com as informações da tabela 4, é possível identificar que, para elevar a umidade relativa do ar nas condições estabelecidas de 40% para 75% são necessários  $0,01451$  kg de água para cada kg de ar seco. Este valor é encontrado fazendo-se apenas a diferença entre as umidades absolutas fornecidas na tabela 4.

As dimensões do galpão de armazenamento foram medidas e encontram-se mostradas na tabela 5 abaixo.

Dimensões Galpão		
Largura (m)	Comprimento (m)	Altura (m)
78,8	82,2	13

**Tabela 5 - Dimensões do galpão**  
Fonte: Autoria própria

Com os dados da tabela 5, foi possível calcular o volume total do galpão,  $84206$  m<sup>3</sup>. Apesar disso, deve-se considerar que a necessidade de controle de umidade se dá apenas com o uso do galpão durante os períodos de plena armazenagem, já que não há necessidade de se controlar a umidade de um galpão vazio.

Para as estimativas do volume ocupado pelo próprio produto, mediram-se as áreas de movimentação de empilhadeira e pessoal e assim constatou-se que apenas  $5145,2$  m<sup>2</sup> de área são efetivamente utilizados para o empilhamento dos *bags* – sacos utilizados para o armazenamento de café. Como são empilhados quatro *bags*, mediu-se a altura e obteve-se  $4,2$ m de altura. Com a área e a altura

encontrou-se o volume aproximado de 21610 m<sup>3</sup> de volume ocupado pelo produto armazenado.

Além disso, assumiu-se também que o maquinário ocupava cerca de 2200 m<sup>3</sup>. Para se chegar neste valor, fora feita a medida das dimensões laterais dos equipamentos e estimou-se que, dentro da área delimitada pelos equipamentos, havia apenas 40% de volume ocupado. Esta estimativa foi feita tendo em mente que a altura média dos equipamentos era menor que a metade de altura do galpão e que, devido à geometria vazada dos objetos, o espaço ocupado por eles deveria ser menor que 50% do volume total.

Reduzindo-se o volume ocupado do volume total, chegou-se a um volume de aproximadamente 60396 m<sup>3</sup>. Este é o volume de ar que precisa ser corrigido para a umidade.

Com o valor de densidade encontrado na seção 3.1.1.2, determinou-se a massa de ar seco contida dentro deste galpão e, assim, calculou-se a massa de água necessária para despejo. Os cálculos indicaram um total de 998,04 kg de água.

Aproveitando-se do fato de que, em condições ambiente, um kg de água apresenta aproximadamente 1 Litro em volume, determinou-se a vazão necessária para diferentes tempos de despejo. Os resultados podem ser observados na tabela 6 a seguir.

<b>Tempo de despejo (minutos)</b>	<b>Vazão necessária (L/hora)</b>
<b>15</b>	<b>3992,16</b>
<b>20</b>	<b>2994,12</b>
<b>25</b>	<b>2395,29</b>
<b>30</b>	<b>1996,08</b>
<b>35</b>	<b>1710,92</b>
<b>40</b>	<b>1497,06</b>
<b>45</b>	<b>1330,72</b>

(Continua)

(Conclusão)

<b>50</b>	<b>1197,65</b>
<b>55</b>	<b>1088,77</b>
<b>60</b>	<b>998,04</b>

**Tabela 6 - Vazão necessária em função do tempo de despejo**  
**Fonte: Autoria própria**

Como observado na tabela 6, a vazão necessária diminui à medida que o tempo de despejo é aumentado, como esperado. De um ponto de vista técnico-industrial, essas vazões são consideradas baixas e, portanto, há vasta listagem com opções de escolha de unidades bombeadoras para o atendimento da necessidade de vazão.

### 3.2 DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA

Para se dimensionar corretamente o sistema de bombeamento, deve-se prever as perdas de carga da linha. Para isso, divide-se o cálculo da perda de carga em perdas distribuídas e perdas localizadas.

#### 3.2.1 Perda Distribuída

A perda distribuída é aquela gerada pelo atrito entre a parede da tubulação e o fluido. Nesta seção são apresentados os cálculos para a perda de carga distribuída.

##### 3.2.1.1 Número de Reynolds

Antes de mais nada, deve-se calcular o coeficiente adimensional de Reynolds. Este coeficiente já foi discutido em seções anteriores e a equação 2 é repetida aqui por conveniência.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2)$$



Onde:

$\rho$ : Densidade do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

$v$ : Velocidade média do fluido ( $\text{m/s}$ );

D: Diâmetro do tubo;

$\mu$ : Viscosidade dinâmica do fluido ( $\text{N.s/m}^2$ ).

Determinou-se para o projeto um diâmetro de tubulação de uma polegada. Com os valores da velocidade do fluido (0,55 L/s), viscosidade dinâmica (0,000893  $\text{N.s/m}^2$ ) e densidade ( $997\text{kg/m}^3$ ) em mãos, determinou-se que o valor de Reynolds é de 15514,48. Este valor foi estimado com as propriedades da água a  $25^\circ\text{C}$ . Como o valor de Reynolds está consideravelmente acima do valor de transição para escoamento interno ( $\text{Re}>4000$ ), determinou-se que o escoamento é turbulento.

#### 3.2.1.2 Determinação do fator de atrito

Como o fluxo é turbulento, para a determinação do fator de atrito, definiu-se que o material das tubulações seria o ferro galvanizado, já que, como será mostrado a frente, as ponteiros de pulverização necessitam de uma pressão relativamente alta para gerar uma nuvem pulverizada com partículas finas, que são ideais para o controle de umidade.

Para o ferro galvanizado, o valor de rugosidade é de 0,15mm, como visto na tabela 2. Com isso, calculou-se o valor da rugosidade relativa de aproximadamente 0,006. Com o auxílio do diagrama de Moody, obteve-se o valor do fator de atrito.

Como pode ser constatado no diagrama de Moody da figura 3, cruzando-se os dados do valor de Reynolds e rugosidade relativa, obtém-se o valor aproximado de 0,04 para o fator de atrito.

#### 3.2.1.3 Cálculo da perda de carga distribuída

Com o valor do fator de atrito em mãos, utilizou-se da equação 1, já apresentada em seções anteriores e repetida aqui por conveniência.

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Onde:

$f$ : Fator de atrito - adimensional;

L: Comprimento da linha em m;

D: Diâmetro da tubulação em m;

$v$ : Velocidade média do fluido em m/s;

g: Aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>;

h: Perda de carga resultante em m.

Calculou-se então, considerando o maior comprimento estimado da linha (174 metros) para tubo de ferro galvanizado de 1 polegada. Com isso, obteve-se 4,18m de perda de carga distribuída.

É importante ressaltar que, para efeito de simplificação, fora considerada a mesma velocidade de escoamento desde o início até o final da linha, o que não é o que ocorre na realidade, já que há ramificações e a velocidade do fluido é diminuída em alguns trechos de tubulação.

### 3.2.2 Perdas localizadas

Já determinado o tipo de escoamento – Reynolds -, fator de atrito e as perdas distribuídas, deve-se calcular as perdas geradas pelos dispositivos adicionados à linha. Para isto, fez-se a listagem dos dispositivos utilizados na linha e fizeram-se os cálculos com base nesta listagem.

Dispositivo	Quantidade	Comprimento equivalente (L/D)	Comprimento equivalente multiplicado
Cotovelos 90*	3	30	90
Filtro de linha	1	2000	2000
Tê	2	60	120
Válvula de retenção	1	600	600
Bicos	73	10	730
<b>Soma do comprimento equivalente (L/D)</b>			<b>3540</b>

**Tabela 7 - Listagem e comprimento equivalente dos dispositivos**  
**Fonte: Autoria própria**

Na tabela 7 pode ser observada uma lista dos dispositivos, bem como os comprimentos equivalentes já devidamente multiplicados pela quantidade de dispositivos e somados.

Com o valor da soma do comprimento equivalente, basta aplicar este valor na equação 1 de perda de carga. Resolvendo para  $f = 0,04$ ,  $L/D = 3540$ ,  $V = 0,55$  m/s e  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>, tem-se que o valor de perda de carga localizada é aproximadamente 1,28 m. Os valores de comprimento equivalente dos bicos e filtro foram estimados pois não foram fornecidos pelo fabricante.

### 3.2.3 Perdas totais

Com os valores das perdas localizadas e perdas distribuídas, basta fazer a soma dos valores e obter as perdas totais.

Ainda existem as perdas chamadas pela literatura de perdas menores, que são as perdas por curvas nas tubulações, perdas por variação do diâmetro da tubulação, entre outros. As perdas menores não serão calculadas para este dimensionamento.

Com uma soma simples das perdas distribuídas e localizadas, obtém-se um valor aproximado de 5,46m de perda de carga.

## 3.3 SELEÇÃO DOS COMPONENTES HIDRÁULICOS

Com os valores de projeto já calculados, iniciou-se a seleção dos componentes necessários para o sistema.

### 3.3.1 Seleção dos bicos de Pulverização

Para a seleção dos bicos de pulverização, buscaram-se empresas fabricantes e, dentre as encontradas, destacou-se a empresa Spraying Systems Co. por sua facilidade de contato e suporte técnico. Com auxílio do suporte técnico da empresa, a linha de pulverizadores LNN para pulverização atomizada sem o uso de ar comprimido foi indicada.

Para estes tipos de bico de pulverização, as pressões de trabalho variam de 2 a 80 bar, sendo que, para a formação de uma névoa fina adequada para o controle de umidade, recomenda-se o uso de pressões entre 10 e 30 bar.

**E** BICOS ATOMIZADORES DE PULVERIZAÇÃO  
HIDRÁULICA, PULVERIZAÇÃO PADRÃO

**DESEMPENHO**

\*Pressão expressa em bar.

BICOS DE PULVERIZAÇÃO FINA

Conexão de Ent. (pol.)	Tipo do Bico							Capacidade	Diâmetro Equiv. do Orifício (mm)	Núcleo N°	Vazão (litros por hora)*										Ângulo de Pulverização (°)*		
	LN	LNN	LND	LNND	N	NN	M				Vazão (litros por hora)*										Ângulo de Pulverização (°)*		
											2	3	4	7	15	20	35	45	80	3	6	20	
1/4	•	•						.30	.41	106	-	-	-	-	-	3.1	4.0	4.6	6.1	-	-	51	
	•	•						.40	.41	108	-	-	-	-	-	4.1	5.4	6.1	8.2	-	-	58	
	•							.50	.41	109	-	-	-	-	4.4	5.1	6.7	7.6	10.2	-	-	63	
	•	•	•	•	•	•	•	.60	.41	206	-	-	-	3.6	5.3	6.1	8.1	9.2	12.2	-	-	35	65
	•	•	•	•	•	•	•	1	.51	210	-	3.9	4.6	6.0	8.8	10.2	13.5	15.3	20	45	62	72	
	•	•	•	•	•	•	•	1.5	.51	216	4.8	5.9	6.8	9.0	13.2	15.3	20	23	31	65	70	72	
	•	•	•	•	•	•	•	2	.71	216	6.4	7.9	9.1	12.1	17.7	20	27	31	41	70	75	77	
	•	•	•	•	•	•	•	3	.71	220	9.7	11.8	13.7	18.1	26	31	40	46	61	65	70	73	
	•	•	•	•	•	•	•	4	1.1	220	12.9	15.8	18.2	24	35	41	54	61	82	72	81	84	
	•	•	•	•	•	•	•	6	1.1	225	19.3	24	27	36	53	61	81	92	122	73	79	81	
	•	•	•	•	•	•	•	8	1.5	225	26	32	36	48	71	82	108	122	163	85	89	91	
	•	•	•	•	•	•	•	10	1.6	420	32	39	46	60	88	102	135	153	204	82	84	86	
	•	•	•	•	•	•	•	12	1.9	420	39	47	55	72	106	122	162	183	245	78	82	85	
	•	•	•	•	•	•	•	14	1.9	421	45	55	64	84	124	143	189	214	285	85	88	90	
	•	•	•	•	•	•	•	16	2.2	421	52	63	73	96	141	163	216	245	326	83	86	88	
	•	•	•	•	•	•	•	18	1.9	422	58	71	82	109	159	183	243	275	367	81	84	86	
	•	•	•	•	•	•	•	20	2.1	422	64	79	91	121	177	204	270	306	408	75	78	80	
•	•	•	•	•	•	•	22	1.9	625	71	87	100	133	194	224	297	336	449	70	72	75		
•	•	•	•	•	•	•	26	2.2	625	84	103	119	157	230	265	351	398	530	73	74	77		

A pressão máxima de operação depende do material e da aplicação. Consulte nossos técnicos para recomendações específicas.

**Tabela 8 - Tabela de informações técnicas de vazão e pressão de trabalho para bicos pulverizadores**

Fonte: Catálogo de bicos de pulverização Spraying Systems Co.

A tabela 8 mostra as informações técnicas dos bicos de pulverização. Os bicos destacados em vermelho foram escolhidos com base na vazão fornecida a 15 bar. Após a discussão de alguns dados com o corpo de engenheiros da COOABRIEL, decidiu-se por selecionar os bicos LNN com conexão de entrada de ¼ de polegada e vazão de 13,2 litros por hora à 15 bar.

Este tipo de bico é especialmente interessante devido à possibilidade de rosqueamento diretamente na tubulação. Para atender a vazão buscada de 0,277 Litro/segundo (998 Litros por hora), são necessários 76 bicos pulverizadores.

### 3.3.2 Seleção das conexões e dispositivos de linha (Luvas, Tês, Cotovelos e tampões)

Para a seleção das conexões, buscaram-se alternativas nacionais e, dentre as opções encontradas, destacou-se a praticidade e facilidade dos catálogos online da fabricante TUPY (<http://www.tupy.com.br>).

Buscou-se, então, na linha de alta pressão TupyNPT a lista de dispositivos desejados. Esta linha de produtos é indicada para aplicações de até 2000 PSI e, portanto, se mostrou uma boa escolha para o dimensionamento do sistema de umidade.

É importante ressaltar que todos os dispositivos aqui selecionados seguem as orientações das normas ABNT NBR 6925 e 12912. Estas normas apresentam especificações para o tratamento de conexões de ferro maleável, bem como as especificações de roscas cônicas.

Esta é uma informação importante, pois indica que não haverá problemas quanto à padronização de roscas no momento de montagem dos sistemas hidráulicos.

Para a conexão cotovelo em 90°, escolheu-se o produto Cotovelo TupyNPT – 1” com código de referência 6807007.

Para as conexões em Tê, escolheu-se o produto Tê TupyNPT - 1” com código de referência 6844007.

Para as luvas de conexão, selecionou-se o produto Luva TupyNPT – 1” com código de referência 6831007.

Para os tampões de fim de linha, escolheu-se o produto Tampão com rebordo TupyNPT – 1” com código de referência 6842007.

Os códigos de referência citados acima facilitam a comunicação com os fornecedores e devem ser informados na hora de realizar os pedidos.

Descrição	Diâmetro Interno (Polegadas)	Código de referência TupyNPT
Cotovelo 90°	1	6807007
Tê de conexão	1	6844007
Luvras de conexão	1	6831007
Tampões de final de linha	1	6842007

**Tabela 9 - Código de referência para conexões selecionadas**  
**Fonte: Autoria própria**

A tabela 9 sintetiza os códigos de referência de modo a facilitar a visualização rápida dos componentes selecionados.

### 3.3.3 Seleção de válvula de retenção

Para a seleção da válvula de retenção, optou-se por utilizar o sistema da fabricante Docol (<http://www.docol.com.br>) e optou-se pela válvula de retenção vertical com diâmetro de 1 polegada de código 30101000. Há a possibilidade de ser necessária uma adaptação na rosca da tubulação para o acoplamento desta válvula.

A pressão de recalque máxima é 57 PSI e a temperatura de operação é indicada para abaixo de 70°C. De acordo com as informações do site da fabricante, a válvula é capaz de uma média de 30 mil ciclos de abertura e fechamento antes da perda de vedação completa.

### 3.3.4 Seleção de tubulação

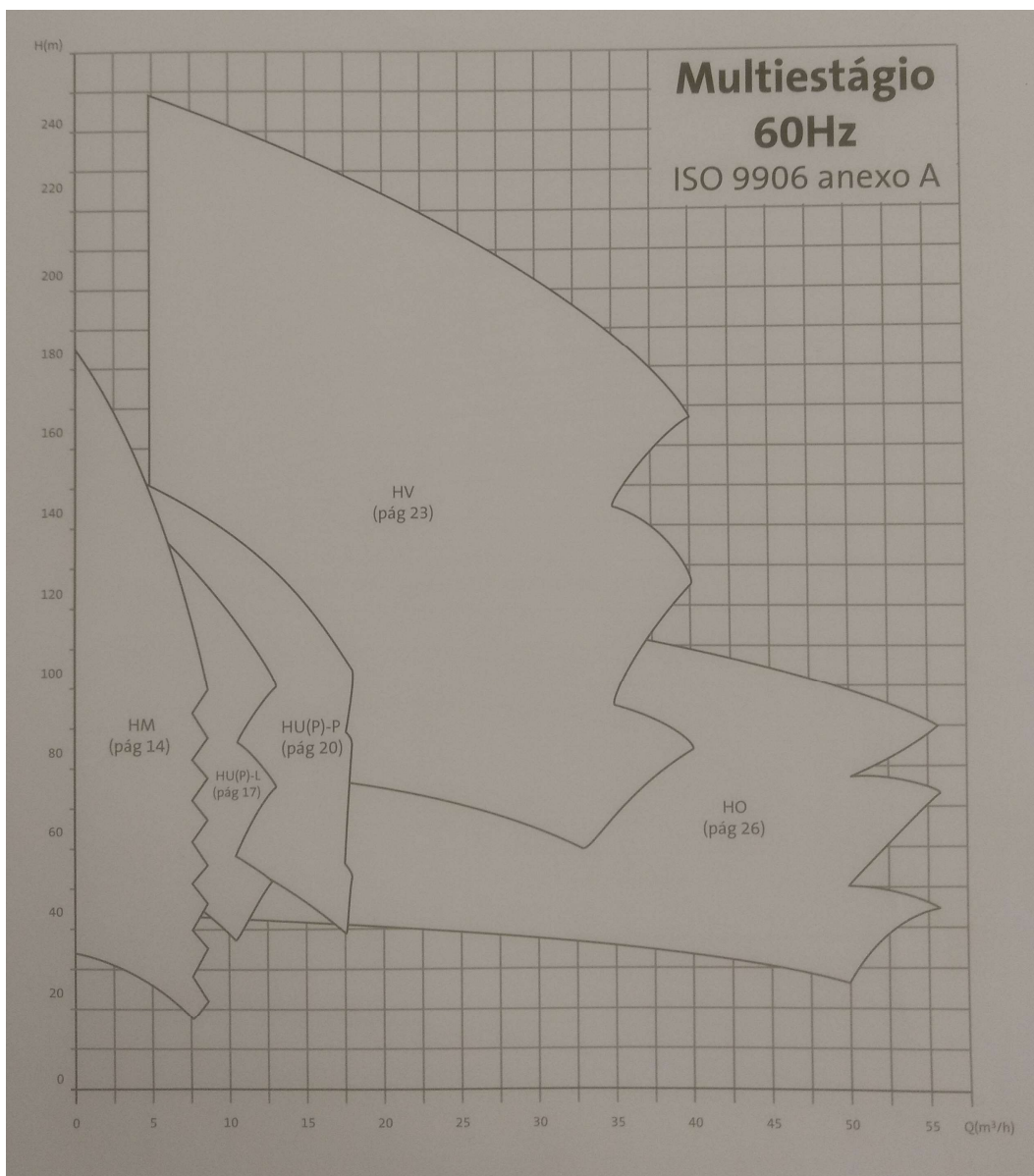
A tubulação utilizada para o dimensionamento foi de ferro galvanizado e uma polegada de diâmetro interno e roscas cônicas auto vedantes. As tubulações de ferro galvanizado são submetidas ao ensaio de pressão hidrostática com pressão de, no mínimo, 725 PSI, seguindo as recomendações da NBR5580.

### 3.3.5 Seleção da bomba hidráulica

A seleção da unidade de bombeamento foi feita com base na pressão de trabalho dos bicos pulverizadores, que é de 15 bar (150 mca). A perda de carga, já calculada anteriormente, foi adicionada a este valor, obtendo-se 155,46 mca de carga necessária.

Para facilitar a busca, a altura de carga considerada foi de 160 mca e uma vazão de 1 m<sup>3</sup> por hora. A vazão calculada era 998,04 Litros por hora.

Com o uso do catálogo técnico de bombas multiestágio MARK GRUNDFOS, é possível encontrar um modelo que atenda de maneira adequada a necessidade de carga e vazão.

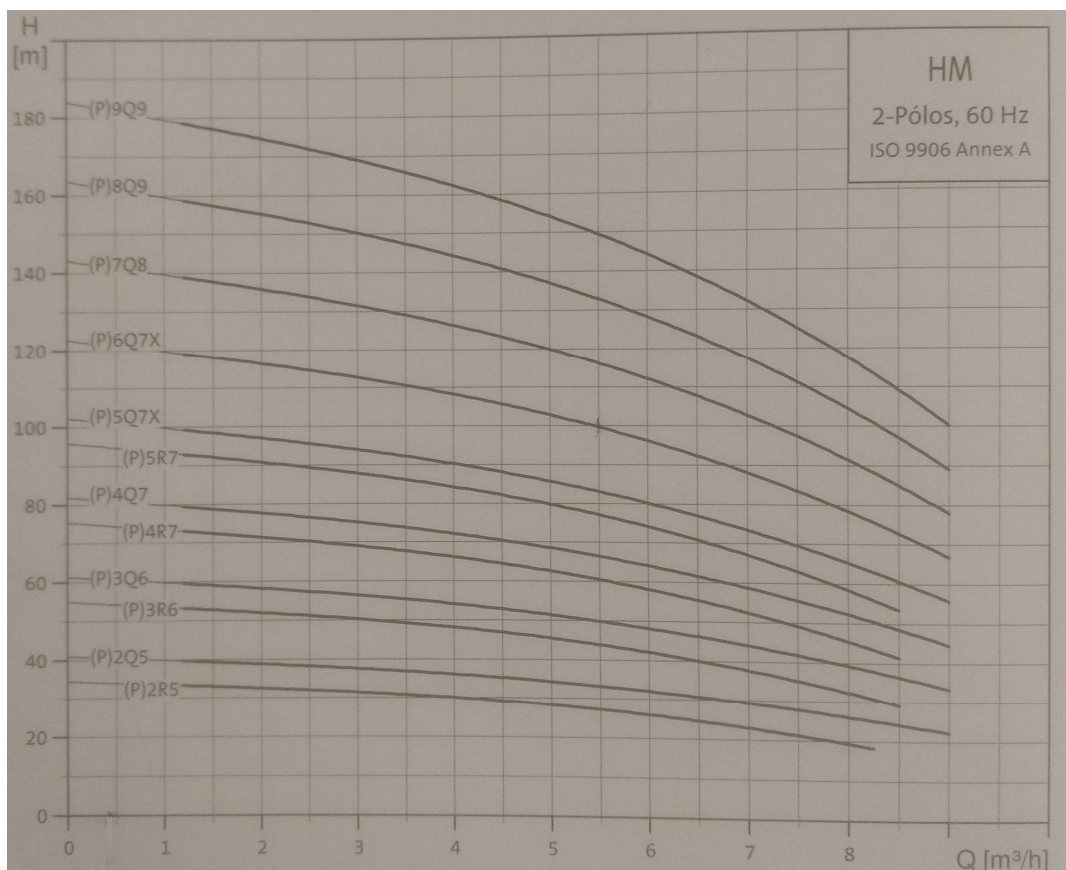


**Figura 9 - Diagrama de cobertura hidráulica MARK GRUNDFOS multiestágio 60 Hz**  
Fonte: Catálogo técnico bombas multiestágio MARK GRUNDFOS

Com o auxílio do diagrama da figura 9, é possível encontrar de maneira aproximada o tipo de modelo geral que atende às necessidades do cliente. Como busca-se 160 MCA de carga e 1 m<sup>3</sup>/h de vazão, fica evidente no diagrama que se

deve buscar uma bomba do tipo HM. Ressalta-se que, no diagrama, o eixo vertical é a altura de carga, em MCA e o eixo horizontal é a vazão em  $\text{m}^3/\text{h}$ .

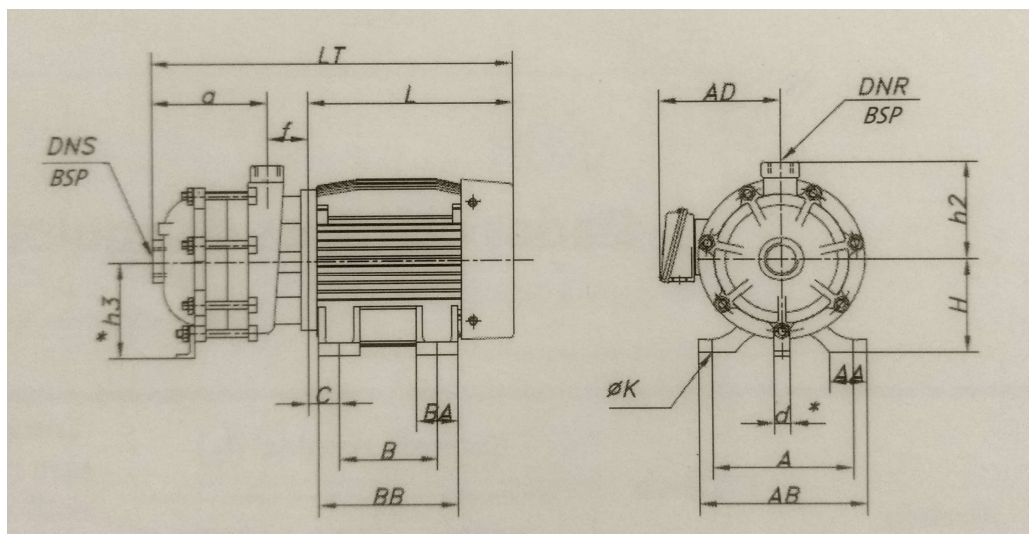
Com o modelo geral já em mente, buscou-se, então, o modelo específico que atendesse às especificações.



**Figura 10 - Curvas de performance modelos HM 2 pólos 60Hz**  
**Fonte: Catálogo técnico bombas multiestágio MARK GRUNDFOS**

A figura 10 mostra as características de altura de carga em função da vazão para os diferentes modelos de bombas hidráulicas do tipo HM. Como visto no diagrama, para 160 MCA e  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ , o modelo (P)8Q9 e (P)9Q9 atendem aos requisitos impostos.





**Figura 11 - Cotagem e dimensões modelos HM monofásico**  
**Fonte: Catálogo técnico bombas multiestágio MARK GRUNDFOS**

Modelo	DNS	DNR	A	f	h2	h3	A	AA	AB	AD	B	BA	BB	C	H	K	L	LT	Peso [KG]
HM(P)8Q9	1"	1"	298,6	77,3	125	112	216	51	248	199	178	85	225	89	132	12	420	795,9	80,6
HM(P)9Q9	1"	1"	328	77,3	125	112	216	51	248	199	178	85	225	89	132	12	420	825,3	82,6

**Tabela 10 - Dimensões dos modelos com base na figura 10 (Valores sem a indicação de polegadas ou peso estão em mm)**

**Fonte: Adaptado de catálogo técnico bombas multiestágio MARK GRUNDFOS**

Os valores encontrados na tabela 10 em conjunto com as informações da figura 11 mostram as dimensões dos dois modelos considerados.

### 3.4 EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

De modo a possibilitar o controle do sistema, foi necessária a utilização de alguns componentes eletrônicos e, também, escrever o código que apresenta a rotina de funcionamento do sistema.

### 3.4.1 Componentes Utilizados

Os componentes utilizados são mostrados um-a-um a seguir.

#### 3.4.1.1 Placa lógica arduino

A placa lógica Arduino UNO é o cérebro do sistema. Este dispositivo eletrônico faz o uso de um microprocessador e apresenta a possibilidade de ser programado de maneira simples, por meio de um computador pessoal e um cabo conector *Universal Serial Bus* (USB).

É interessante ressaltar novamente que esta placa é de uso livre, bem como as bibliotecas de programação são disponíveis online.

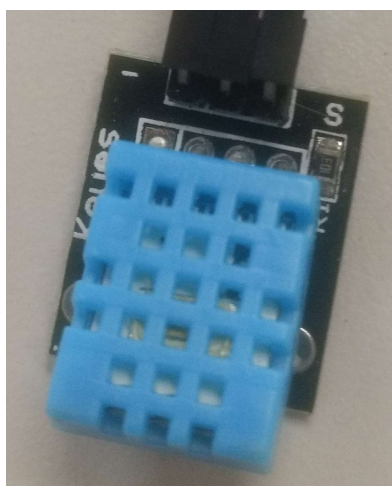


**Figura 12 - Placa lógica Arduino Uno**  
Fonte: <http://www.arduino.cc/> Acesso em: 08/07/2018

A figura 12 mostra uma placa Arduino UNO, a mesma utilizada no sistema dimensionado neste trabalho, e nela é possível observar a disposição geral do hardware do aparelho. São diversas portas (entradas ou saídas) analógicas e digitais, possibilitando a comunicação com sensores e atuadores diversos.

### 3.4.1.2 Sensor DHT11

O sensor DHT11 é um dispositivo que mede a umidade relativa e a temperatura do ar. Este sensor é especialmente popular em diversos projetos devido a sua simplicidade de uso e, por isso, é também utilizado no sistema proposto por este trabalho.



**Figura 13 - Sensor DHT11**  
Fonte: Autoria própria

A figura 13 mostra uma imagem de um sensor DHT11. Este dispositivo apresenta faixa de medição de temperatura entre 0 e 50 °C e de umidade de 20% a 90% U.R. Fora destas faixas, as medições começam a apresentar erros maiores e já não são mais confiáveis.

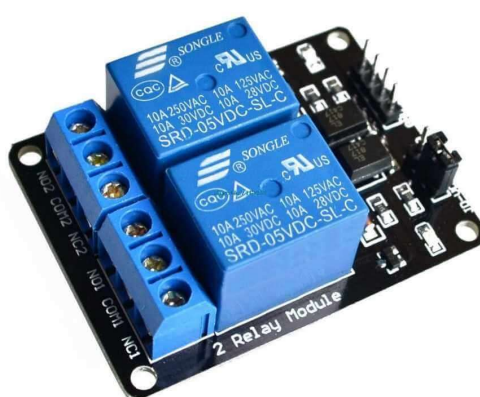
A precisão na medição da temperatura é de 2°C para mais ou para menos. A Precisão na medição da umidade relativa é de 5% U.R para mais ou para menos.

O maior ponto negativo deste dispositivo é o seu tempo de resposta para variações, que chega a ser maior que 2 segundos. Mas, para aplicações onde não há necessidade de altíssimas velocidades de atualização de variável, como o caso do sistema deste trabalho, sua aplicação é perfeita.

Mais informações são encontradas em: <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht.pdf> (apenas em inglês).

### 3.4.1.3 Relé de contato SONGLE

Muito comum para projetos em base Arduino, os conjuntos relés de contato, em especial os conjuntos relay SONGLE, são a escolha mais barata e confiável. De acordo com dados fornecidos em sua *Datasheet*, os relays operam com tempo de resposta menor que 10 milissegundos. Neste trabalho, este produto é utilizado para fazer o acionamento e desligamento da bomba hidráulica, já discutida anteriormente.



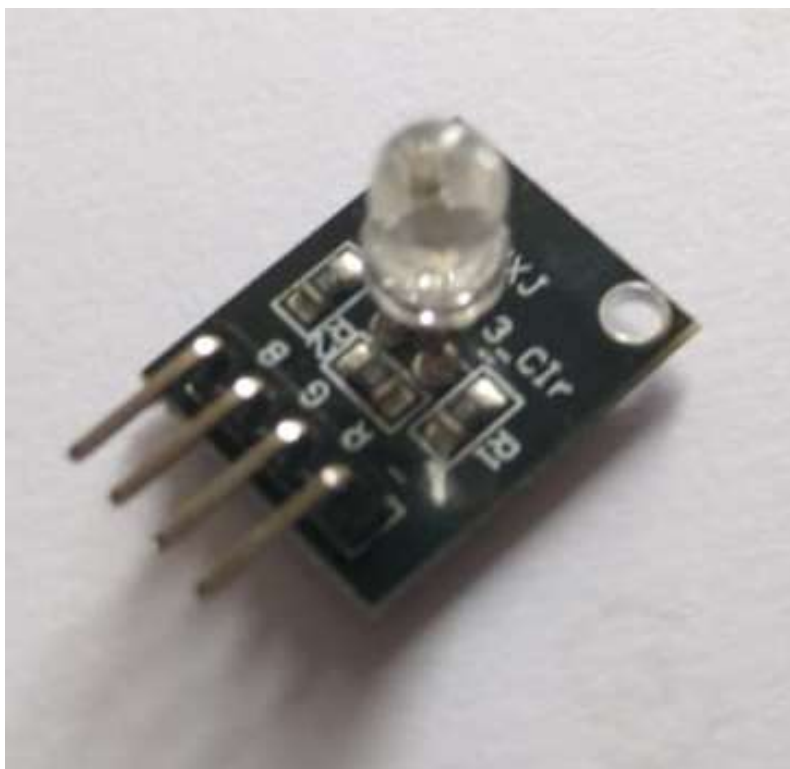
**Figura 14 - Relay SONGLE**  
Fonte: SONGLE Relay Datasheet

A figura 14 mostra o produto em suas disposições gerais. Ainda de acordo com as informações fornecidas pela fabricante, este dispositivo eletrônico é capaz de 300 operações por minuto (ciclo liga-desliga), tendo uma expectativa de ciclos de funcionamento de mais de 100 mil ciclos em plena carga e 10 milhões de ciclos mecânicos – sem carga elétrica passante.

### 3.4.1.4 Módulo LED RGB KY-016

Este módulo é apenas um conjunto de LEDs (Light Emissor Diode) condensados em apenas um invólucro. O módulo KY-016 é produzido especificamente para o uso em placas Arduino, porém não foi encontrada a *Datasheet* deste dispositivo. Por meio de discussões em fóruns online, descobriu-se

que para alguns dispositivos com demasiado grau de simplicidade não há *Datasheet* fornecido.

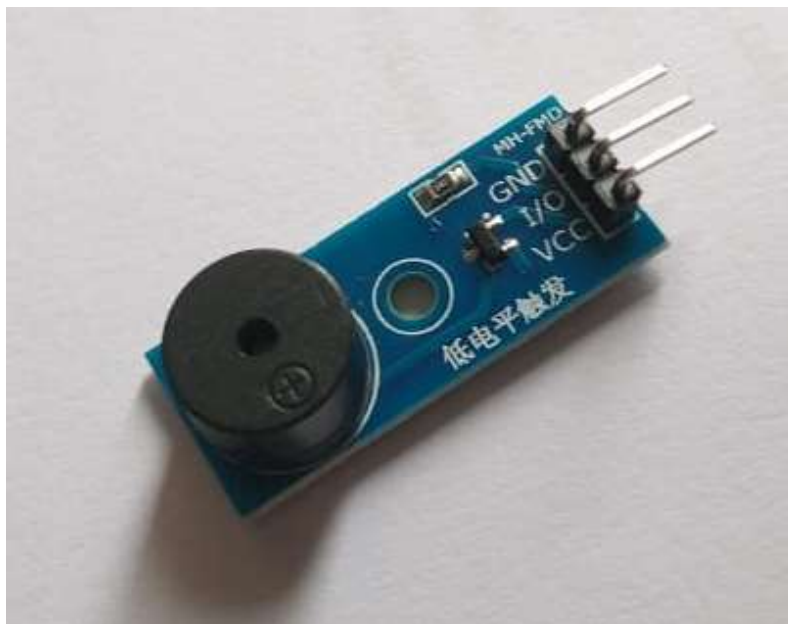


**Figura 15 - Módulo LED RGB KY-016**  
Fonte: Autoria Própria

A figura 15 mostra um módulo LED KY-106. Este módulo é usado na programação deste trabalho como um indicador de situação e precisa de uma alimentação de 5 volts para cada cor do módulo, ou seja, precisa de 3 saídas digitais da placa Arduino, que são capazes de fornecer a tensão de 5V.

#### 3.4.1.5 Buzzer passivo

O Buzzer passivo é um dispositivo sonoro que pode ser controlado por meio de variações de frequência de pulsos e intensidade da corrente elétrica fornecida.



**Figura 16 - Buzzer Passivo**  
**Fonte: Autoria Própria**

Da mesma forma que o módulo LED RGB KY-016, este equipamento não apresenta *Datasheet* devido a sua elevada simplicidade. As informações fornecidas pelos vendedores são limitadas. A voltagem de operação varia de 1.5V a 15V.

As frequências sonoras indicadas variam de 1.5 a 2.5 kHz, porém é possível alcançar tons mais baixos ou mais altos com penalidades de intensidade sonora.

Para este trabalho, este componente é utilizado como um dispositivo para o alerta sonoro quando o sensor lê valores de UR anormais.

### 3.5 PROGRAMAÇÃO

A programação foi feita utilizando-se a IDE - *Integrated Development Interface* – na versão 1.8.7 disponível para download no portal <https://www.arduino.cc>. Foi utilizada também a biblioteca DHT de programação disponível para download pelo link <http://hobbyist.co.nz/sites/default/files/WeatherStation/DHT.zip>.

É importante ressaltar que as bibliotecas e *softwares* utilizados são de uso gratuito e irrestrito. Isso permite uso particular e comercial, bem como alterações sem penalidades legais.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentadas breves discussões e resultados obtidos a partir dos procedimentos descritos nas seções anteriores. Também serão apresentadas algumas informações extras com relação à seleção dos equipamentos.

### 4.1 LIMITAÇÕES DE VAZÃO

Como exposto na seção 3.1 deste texto, as condições para os cálculos de vazão líquida do sistema não foram feitas utilizando-se de condições-pico de temperatura e umidade. Essa limitação se deve, principalmente devido ao preço dos bicos de pulverização, já que tais equipamentos têm alto valor e, com o aumento da vazão – o que aconteceria caso fossem utilizadas as condições de pico -, seriam necessários mais bicos. Isso encareceria demasiadamente o sistema. Como visto na seção 4.6 – Orçamento - deste trabalho, os bicos já seriam equivalentes a mais de 50% do preço total para as condições utilizadas neste trabalho.

### 4.2 VALORES DE PERDA DE CARGA

Realizados os cálculos de perda de carga, obtiveram-se valores relativamente baixos: 1,28 metros de coluna de água para as perdas localizadas e 4,18 metros de coluna de água para as perdas distribuídas. Com a soma, obteve-se 5,46 metros de coluna de água. Isso equivale a cerca de 3,4% do total de pressão que a unidade bombeadora teria que exercer.

Uma possível explicação para os baixos valores encontrados é a velocidade de escoamento do fluido. A velocidade utilizada nos cálculos fora de 0,55 m/s que, apesar de ser a velocidade local mais rápida para o sistema, é uma velocidade baixa. Nos equacionamentos de perda de carga (equação 1, seção 2.2.2), é observado que a parcela de velocidade do fluido é elevada ao quadrado, o que diminui consideravelmente os valores de perda de carga encontrados, já que a velocidade do fluido é menor que 1 m/s.

### 4.3 EQUIPAMENTOS DE LINHA

A seleção dos equipamentos de linha se demonstra simples, sendo basicamente feita realizando-se consultas aos catálogos. Contudo, para o específico caso dos bicos de pulverização, alguns cuidados tiveram que ser tomados. A seleção de produtos como tubulações e bomba hidráulica foram realizados com base nas pressões exigidas pelos bicos pulverizadores, e, portanto, foi necessária a atenção aos dados técnicos destes componentes.

Deve-se ressaltar que os componentes de linha - Luvas, Tês, Cotovelos e tampões - atendem à norma ABNT NBR 6925 E 12912. Isso facilita a compatibilidade de conexão entre os equipamentos e garante que foram realizados ensaios de carga de mais de 2000 PSI. Já as tubulações atendem à NBR 5580, que exige ensaios com pressões acima de 700 PSI. Isto posto, fica evidente que os componentes suportam as pressões máximas previstas no sistema, que fica por volta dos 230 PSI.

A única exceção é a válvula de retenção, que não atende às normas de compatibilidade de roscas e, portanto, podem ser necessárias adaptações para esse equipamento.

### 4.4 BOMBA HIDRÁULICA

Diante dos dois modelos de bombas hidráulicas expostos na seção 3.3.5 deste trabalho, fica recomendado o uso da unidade de bombeamento (P)9Q9, já que a unidade (P)8Q9 estaria trabalhando praticamente no seu limite de carga.

Apesar de as duas atenderem aos requisitos, o uso de equipamentos em carga máxima poderia reduzir a vida útil do equipamento, e, como demonstrado na seção 4.6 – Orçamento -, a unidade de bombeamento é equivalente a cerca de 20% do valor total do sistema. Isto posto, é interessante que este equipamento seja protegido de certa forma.



## 4.5 CÓDIGO E ESQUEMA ELETRÔNICO

O código foi escrito de modo que o programa fizesse uma espera de 30 segundos antes de começar a verificar a situação da umidade local. Após o tempo de espera inicial, o sensor de umidade realiza a leitura e o programa verifica qual a situação na qual o valor se encaixa.

Caso a UR esteja com valores iguais ou acima de 75%, a bomba hidráulica é desligada, um LED da cor verde é acendido e é indicada a mensagem “Bomba desligada por 60 segundos até próxima verificação - umidade adequada” na tela do computador. Logicamente, esta mensagem só é visualizada caso a placa Arduino esteja conectada a um computador. Faltando-se 30 segundos para a próxima verificação, também é exibida a mensagem “30 segundos para a próxima verificação”.

Caso a umidade esteja abaixo de 75% e acima ou igual a 60%, a bomba hidráulica é ligada por 60 segundos, um LED da cor azul é acendido e é indicada a mensagem “Bomba Ligada por 60 segundos - umidade abaixo da adequada” na tela do computador. Uma nova mensagem também é exibida quando faltam 30 segundos para o descanso. O descanso da bomba dura 60 segundos e é exibida a mensagem “Bomba Desligada por 60 segundos - descanso - umidade abaixo da adequada”. Faltando 30 segundos para o fim do descanso e próxima verificação, a mensagem “30 segundos para a próxima verificação” é exibida. Novamente, as mesmas condições de conexão da placa Arduino a um computador é necessária para a exibição das mensagens.

Caso a umidade esteja abaixo de 60%, um LED vermelho é acendido e o *buzzer* é ativado com um sinal sonoro como alerta. A bomba hidráulica é ligada e a mensagem “Bomba Ligada por 60 segundos - umidade muito baixa” é exibida na tela. Passados 30 segundos de bomba ligada, a mensagem “30 segundos para o descanso” é exibida na tela do computador. Para esta condição, o tempo de descanso é reduzido para apenas 30 segundos e, então, a mensagem “Bomba Desligada por 30 segundos - pausa - umidade muito baixa” é exibida na tela, repetindo-se o ciclo de leituras e ações. As condições para exibição da mensagem na tela são as mesmas das condições anteriores.

A escrita programação e o esquema de montagem do sistema eletrônico encontram-se no **Anexo I e II** deste trabalho.

#### 4.6 ORÇAMENTO

Para que se tenha uma noção prévia dos custos associados à aplicação dos sistemas propostos neste trabalho, faz-se, nesta seção, um breve orçamento. Os preços apresentam grande variação entre fornecedores, portanto não é possível afirmar que aqui encontram-se os menores preços possíveis.

Também é importante lembrar que não foi buscada informações de frete, o que pode encarecer os valores listados.

Para facilitar a visualização dos valores encontrados, optou-se por apresentar as informações por meio da tabela abaixo.

Produto	Fornecedora/Revendedora	Preço Unitário	Quantidade	Preço
Tubo Galvanizado 5580L 1" X 6MT	MercadoFire Distribuidora	R\$ 107,50	67	R\$ 7.202,50
Cotovelo Fêmea 90° 1" - 6807007 TUPY	ARAFLEX Comércio e Serviços LTDA	R\$ 30,15	5	R\$ 150,75
Luva Paralela 1" - 6831007 TUPY	ARAFLEX Comércio e Serviços LTDA	R\$ 24,90	55	R\$ 1.369,50
Tampão Galvanizado 1" - 6842007 TUPY	ARAFLEX Comércio e Serviços LTDA	R\$ 22,60	5	R\$ 113,00
Tê 1" - 6844007 TUPY	ARAFLEX Comércio e Serviços LTDA	R\$ 43,70	5	R\$ 218,50
1/4LN-SS1.5 - Bico Atomizador Hidráulico	Spraying Systems Co.	R\$ 286,25	76	R\$ 21.755,00
Bomba Hidráulica HM(P)9Q9	MARK Grundfos	R\$ 8.000,00	1	R\$ 8.000,00
Arduino UNO Rev3 R3 ATMEGA 328	Baú da Eletrônica	R\$ 40,00	1	R\$ 40,00
Sensor Umidade e Temperatura DHT11	Baú da Eletrônica	R\$ 8,08	1	R\$ 8,08
Módulo Relé 5V	Baú da Eletrônica	R\$ 6,60	1	R\$ 6,60
Buzzer 5V	Baú da Eletrônica	R\$ 1,45	1	R\$ 1,45
Módulo LED RGB KY- 016	Usina Info	R\$ 7,13	1	R\$ 7,13
			<b>Total</b>	<b>R\$ 38.872,76</b>

**Tabela 11 - Tabela Orçamentária**  
Fonte: Autoria própria

Como visto na tabela 11, o preço total aproximado é de R\$38.872,76. O valor da bomba hidráulica HM(P)9Q9 é aproximado pois esta unidade é feita sob encomenda e o preço varia de acordo com a disponibilidade de peças.

## 5 CONCLUSÃO

Com a finalização deste trabalho, percebeu-se que o uso de tecnologias de controle eletrônico, visto por muitos como complexa e de alto custo, é, na realidade, de simples aplicação. Como visto na breve seção de orçamento deste corpo – seção 4.6 -, o gasto estimado com componentes eletrônicos é menor do que 0,2% do gasto total. Além disso, a programação e montagem física do *hardware* é simples e rápida, o que permite que praticamente qualquer profissional com conhecimentos básicos em eletrônica seja capaz de efetuar a execução de projetos eletrônicos com baixo grau de complexidade.

Por meio de conversas com o corpo de engenheiros da COOABRIEL foi verificado que ainda faltam alguns pontos para a efetiva execução do sistema proposto nos galpões de armazenamento, como a definição dos métodos de fixação das tubulações nas estruturas do galpão de armazenamento. Apesar disso, os objetivos deste trabalho foram alcançados. Todos os pontos exibidos na seção 1.2 deste corpo foram realizados com êxito.

A determinação das condições de operação do sistema - objetivo 1.2 a - foi realizada na seção 3.1 deste trabalho e, apesar de não serem utilizadas as condições de pico, foi considerada suficiente para a COOABRIEL levando em conta fatores financeiros e práticos.

Foram também realizados, na seção 3.1.1.1, cálculos das vazões necessárias com base nas condições de operação e dimensões do galpão e, portanto, o objetivo 1.2 b e 1.2 c foram considerados atingidos com êxito.

Os procedimentos de seleção de componentes hidráulicos, feitos com base em catálogos – seção 3.3 -, e eletrônicos, feitos por meio de pesquisas e discussões com profissionais da área da informática – seção 3.4 – foram realizados com sucesso. Especificamente para o sistema eletrônico, a montagem física do protótipo se demonstrou simples e funcional. Portanto, considera-se o objetivo 1.2 d e 1.2 e realizados.

Além disso, a programação do código – Anexo I - foi realizada e testada em conjunto com o protótipo descrito - Anexo II – e funcionaram perfeitamente. Logo, foram também atingidos o objetivo 1.2 f.

Recomenda-se para o prosseguimento deste trabalho o estudo dos efeitos de resfriamento evaporativo causados pela inserção de água no ambiente. Este

efeito, ignorado neste trabalho, é importante pois está relacionado ao conforto térmico dos trabalhadores do galpão, que é uma grande preocupação da COOABRIEL. Além disso, recomenda-se também a realização de um projeto executivo para que os dados aqui descritos possam ser aplicados de maneira adequada.

Um outro ponto que pode ser explorado é a criação de uma metodologia para a calibração e verificação dos valores medidos pelos sensores. Apesar de apresentarem ótima repetibilidade, alguns sensores de umidade podem apresentar variações consideráveis nos valores medidos. Desse modo, recomenda-se a realização do desenvolvimento de metodologias para a geração de curvas de correção para valores medidos pelo sensor eletrônico DHT11 ou a utilização de sensores mais precisos, como o DHT22 e o Bme280, da Bosch.

## ANEXO I

```
//NÃO ESQUECER DE VERIFICAR O COMPORTAMENTO MECÂNICO DO RELAY
//PROGRAMA UTILIZA A BIBLIOTECA DHT, QUE PODE SER BAIXADA NO LINK
http://hobbyist.co.nz/sites/default/files/WeatherStation/DHT.zip
#include <dht.h>

#define dht_dpin A1

int vermelho=13;
int verde=12;
int azul=11;
int buzzer=2;
int bomba=4;

dht DHT; //Inicia o sensor

void setup()
{
  pinMode(vermelho, OUTPUT);
  pinMode(verde, OUTPUT);
  pinMode(azul, OUTPUT);
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  digitalWrite(bomba, LOW);
  Serial.println("Aguardando 30 segundos - Reset ou inicialização do
sistema");
  delay(30000);
}

void loop()
{
  DHT.read11(dht_dpin); //Lê sensor

  if (DHT.humidity>=75){digitalWrite(verde, HIGH);
                        digitalWrite(azul, LOW);
                        digitalWrite(vermelho, LOW);
                        digitalWrite(bomba, LOW);
                        Serial.print("Umidade = ");
                        Serial.print(DHT.humidity);
                        Serial.print(" % ");
                        Serial.print("Temperatura = ");
                        Serial.print(DHT.temperature);
                        Serial.println("°C");
                        Serial.println("Bomba desligada por 60 segundos
até próxima verificação - umidade adequada");
                        delay(30000);
                        Serial.println("30 segundos para a próxima
verificação");
                        delay(30000);
}

  else {
    if (DHT.humidity>=60){digitalWrite(azul, HIGH);
```

```

        digitalWrite(verde, LOW);
        digitalWrite(vermelho, LOW);
        digitalWrite(bomba, HIGH);
        Serial.print("Umidade = ");
        Serial.print(DHT.humidity);
        Serial.print(" %      ");
        Serial.print("Temperatura = ");
        Serial.print(DHT.temperature);
        Serial.println("°C");
        Serial.println("Bomba Ligada por 60 segundos
- umidade abaixo da adequada");
        delay(30000);
        Serial.println("30 segundos para o
descanso");

        delay(30000);
        digitalWrite(bomba, LOW);
        Serial.println("Bomba Desligada por 60
segundos - descanso - umidade abaixo da adequada");
        delay(30000);
        Serial.println("30 segundos para a próxima
verificação");

        delay(30000);
    }

    else {
        digitalWrite(vermelho, HIGH);
        digitalWrite(verde, LOW);
        digitalWrite(azul, LOW);
        digitalWrite(bomba, HIGH);
        Serial.print("Umidade = ");
        Serial.print(DHT.humidity);
        Serial.print(" %      ");
        Serial.print("Temperatura = ");
        Serial.print(DHT.temperature);
        Serial.println("°C");
        Serial.println("Bomba Ligada por 60
segundos - umidade muito baixa");
        tone(buzzer, 5000, 30000);
        delay(30000);
        Serial.println("30 segundos para o
descanso");

        delay(30000);
        digitalWrite(bomba, LOW);
        Serial.println("Bomba Desligada por 30
segundos - pausa - umidade muito baixa");
        delay(30000);}
    }
}

```

## ANEXO II

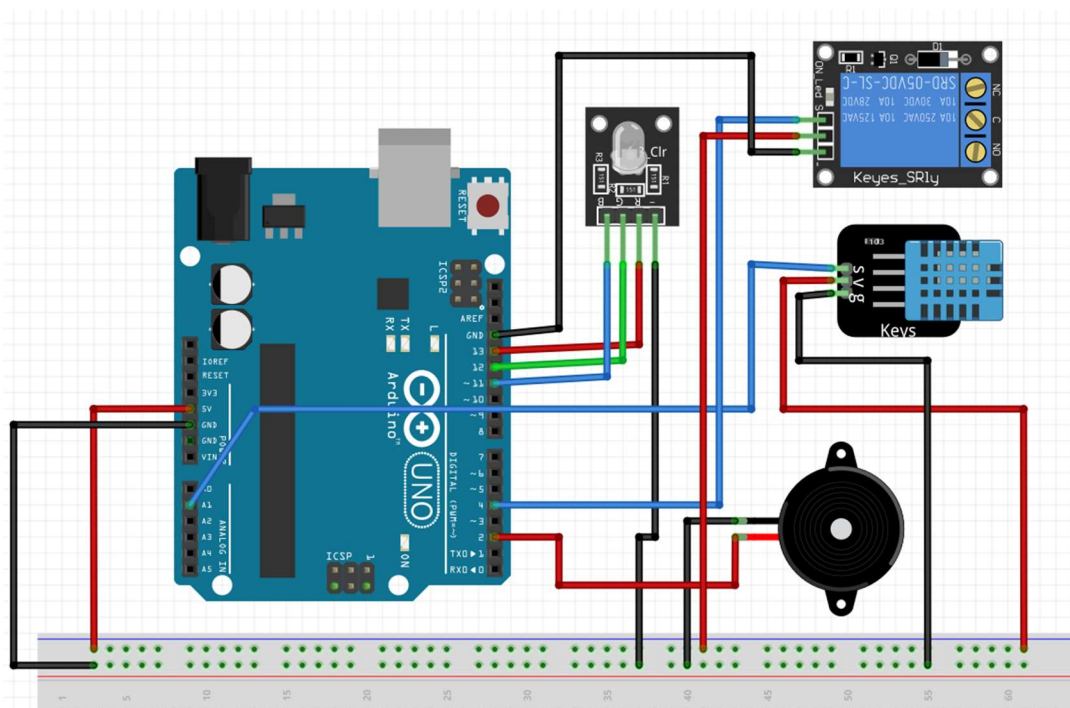


Figura 17 - Esquema de ligação na placa lógica  
Fonte: Autoria Própria

## REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. **DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors**. Disponível em: <<https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/dht.pdf/>> Acesso em 27 de setembro de 2018.

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**; 2001. 373 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, 2001.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook: Fundamentals**. Atlanta, 1997.

ARDUINO. **Getting Started with Arduino and Genuino products**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage/>> Acesso em: 12 de março de 2018.

ASLAN, W. **Check Valve Mechanism Patent**. United States Patent Office. Mahwah, New Jersey, 1969.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12912**: Rosca NPT para tubos – Dimensões. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5580**: Tubos de aço-carbono para usos comuns na condução de fluidos - Especificação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6925**: Conexões de ferro fundido maleável, de classes 150 e 300, com rosca NTP para tubulação. Rio de Janeiro, 2016.

ÇENGEL, Y.; BOLES, M. **Termodinâmica**. 5. ed. São Paulo, McGraw-Hill, 2006.

CORADI, Paulo Carteri.; et al. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despolpado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2008.



DIAS, João Batista. **Construção e validação de uma bancada para calibração de sensores para determinação da umidade relativa do ar**; 2001. 112 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2001.

DOCOL. **Sistema de catálogos de produtos**. Disponível em: <<https://www.docol.com.br/pt/produto/>> Acesso em 26 de setembro de 2018.

DORIA, Alexandre Teixeira. **Automação de um sistema para a elaboração de coquetel de vinho**; 2009. Monografia (Trabalho de conclusão). Universidade São Francisco. Itatiba, 2009.

FOX, R.W.; et al. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC 2006.

GRUNDFOS Mark. **Catálogo Técnico Bombas Multiestágio**. São Paulo, [200-].

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 6. Ed. Rio de Janeiro, LTC, 2009.

Paulo Smith Schneider. **Termometria e Psicrometria**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2012. Porto Alegre, 2012.

SANTOS, c. KAWAKITA, K. **Métodos de medição de umidade em gases**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1992.

SILVA, R.P.G.; et al. QUALIDADE DE GRÃOS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) ARMAZENADOS EM COCO, COM DIFERENTES NÍVEIS DE UMIDADE. In: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2001. **Anais**.

SONGLE. **Songle Relay Datasheet**. Disponível em: <<http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet.pdf/>> Acesso em 9 de outubro de 2018.

SPRAYING SYSTEMS Co. **Industrial Hydraulic Spray Products Catalogue**. Illinois, 2015.

TEEJET Technologies. **Catálogo 51A-PT**. Illinois, 2014.