



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Ana Carla dos Santos Menezes

**DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE PLUVIÔMETROS**  
**AUTOMÁTICOS DE BAIXO CUSTO**

JUAZEIRO – BA

2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Ana Carla dos Santos Menezes

**DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE PLUVIÔMETROS**  
**AUTOMÁTICOS DE BAIXO CUSTO**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, Campus Juazeiro/BA, como requisito da obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Prof. Orientador: Prof. Dr. Clóvis Manuel Carvalho Ramos

JUAZEIRO – BA

2019

M534d Menezes, Ana Carla dos Santos.  
Desenvolvimento e calibração de pluviômetros automáticos de baixo custo / Ana Carla dos Santos Menezes. – Juazeiro - BA, 2019. vii, 47 f.: il. ; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro – BA, 2019.

Orientador (a): Prof. Dr. Clóvis Manuel Carvalho Ramos.

Inclui referências.

1. Processo de fabricação. 2. Pluviômetro. 3. Calibração. I. Título. II. Ramos, Clóvis Manuel Carvalho. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 621.9

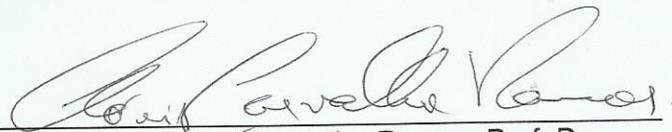
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

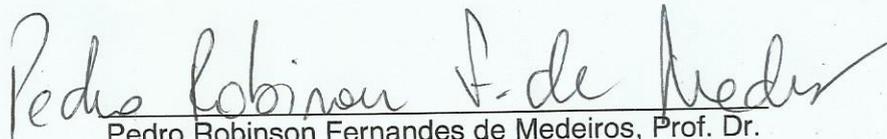
Ana Carla dos Santos Menezes

**“DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE PLUVIÔMETROS  
AUTOMÁTICOS DE BAIXO CUSTO”**

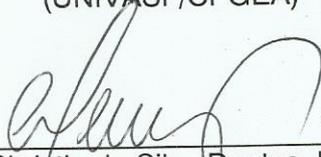
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Clóvis Manoel Carvalho Ramos, Prof. Dr.  
(UNIVASF/CPGEA)



Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, Prof. Dr.  
(UNIVASF/CPGEA)



Alan Christie da Silva Dantas, Prof. Dr.  
(UNIVASF/CEMEC)

Juazeiro-BA, 18 de Outubro de 2019.

Dedico esse trabalho à minha família que sempre me deu apoio nessa trajetória e a todos que venham a obter conhecimento através desse.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, por ter me permitido vivenciar todos os momentos, sendo minha base nos momentos mais difíceis e toda minha gratidão pelas conquistas.

A minha mãe, Maria das Graças, e minha irmã, Aline, que foram o alicerce de minha caminhada, sempre com muito amor, paciência e confiança em minha capacidade de vencer os obstáculos da vida.

Ao meu namorado Laudir, por todo companheirismo, ajuda e incentivo nessa jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Clóvis Manuel Carvalho Ramos, por ter confiado em mim do princípio ao fim, por todo conhecimento desprendido e por toda compreensão.

A todos os professores que ao decorrer do mestrado pela trocaram conhecimento e motivação à pesquisa.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À Adélia Curaçá e Juliana Pires, que muito me ajudaram para que fosse possível a construção dos equipamentos.

À Carol, secretária do CPGEA por todo apoio e preocupação que tem com todos os alunos.

Aos meus colegas de mestrado, Amélia, Camila, Fabiana, Jadna, Janiele, Marcelo, e os demais, que dividiram comigo essa jornada, foram amigos, conselheiros e muito me apoiaram.

Aos demais amigos, colegas de trabalho, colegas de graduação e pessoas próximas, que contribuíram de alguma forma para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Muito obrigada!

MENEZES, Ana Carla dos Santos. **DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE PLUVIÔMETROS AUTOMÁTICOS DE BAIXO**, 2019, pág. 45. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF – Juazeiro/BA

## RESUMO

Os pluviômetros automáticos são equipamentos meteorológicos usado para recolher e medir a quantidade de chuva precipitada em um determinado local sendo fundamental no monitoramento da ocorrência de precipitação, entretanto apresentam custos elevados no mercado em relação aos convencionais impossibilitando que pequenos e médios agricultores possam adquiri-los. O objetivo desse trabalho foi construir pluviômetros automáticos de balança de baixo custo utilizando uma plataforma arduino para realizar o registro da precipitação. A base automática desses pluviômetros conta com o mecanismo de balança, esse elemento funciona com um ímã acoplado a mesma e à medida que a chuva é coletada na balança essa se movimenta, o ímã por sua vez passará por um sensor eletromagnético que captará esse movimento. Os pulsos captados pelo sensor são transmitidos a um arduino. Para conferir a confiabilidade dos dados desses equipamentos realizou-se a calibração das balanças. As retas de regressão linear obtidas na calibração das balanças demonstraram que não há diferenças significativas entre os dados reais e os registrados para nenhum dos equipamentos. Com isso foi possível construir equipamentos capazes de registrar dados de precipitação automaticamente, e foi possível verificar que é possível manter um padrão construtivo realizando os ajustes necessários a partir da calibração.

**Palavras-chave:** Equipamento meteorológico. Pluviômetro de balança. Calibração. Arduino.

MENEZES, Ana Carla dos Santos. **DEVELOPMENT AND CALIBRATION OF LOW COST RAIN GAUGE**, 2019, p. 45. Dissertation (Master degree) - Agricultural Engineering Course - Federal University of the Valley of São Francisco - UNIVASF - Juazeiro / BA

## **ABSTRACT**

Automatic rain gauges are meteorological equipment used to collect and measure the amount of rainfall in a given location and are essential in monitoring the occurrence of rainfall, however they present high costs in the market compared to conventional, making it impossible for small and medium farmers to purchase them. The objective of this work was to construct low cost automatic rain gauges using an arduino platform to record rainfall. The automatic base of these rain gauges has the tilt mechanism, this element works with a magnet attached to it and as the rain is collected on the tilt it moves, the magnet will pass through an electromagnetic sensor that will capture this movement. The pulses captured by the sensor are transmitted to an arduino. To check the reliability of the data of these equipments was performed the calibration of the scales. The linear regression lines obtained in the calibration of the weighing scales demonstrated that there are no significant differences between the real data and those recorded for any of the equipment. With this it was possible to build equipment capable of recording precipitation data automatically, and it was possible to verify that it is possible to maintain a constructive standard by making the necessary adjustments from the calibration.

**Keywords:** Meteorological equipment. Bucket rain gauge. Calibration Arduino

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de posicionamento de pluviômetro .....	19
Figura 2 - Partes e funcionamento de pluviômetro automático de balança. ....	20
Figura 3 - Detalhes do sensor reed switch e esquema de funcionamento. ....	22
Figura 4 - Arduino UNO.....	24
Figura 5 - Ciclo de desenvolvimento do produto. ....	26
Figura 6 - Detalhamento das peças. ....	28
Figura 7 - Balança modelada.....	29
Figura 8 - Mecanismo de balança .....	30
Figura 9 - Esquema de calibração de balança com auxílio de bureta. ....	32
Figura 10 - Retas de calibração obtidas para os respectivos equipamentos. ....	37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Especificações dos equipamentos .....	35
Tabela 2 - Análise estatística das lâminas obtidas nas respectivas básculas....	36
Tabela 3 - Equações das respectivas básculas. ....	38

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.	PRECIPITAÇÃO.....	13
2.2.	PLUVIÔMETROS.....	14
2.2.1.	TIPOS DE PLUVIÔMETROS .....	17
2.2.2.	INSTALAÇÃO.....	18
2.4.	CALIBRAÇÃO .....	20
2.5.	SENSOR REED SWITCH .....	22
2.6.	ARDUINO.....	23
2.7.	PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	25
2.8.	MANUFATURA ADITIVA.....	25
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1.	PROJETO DO EQUIPAMENTO.....	28
3.2.	MATERIAL.....	28
3.3.	FERRAMENTAS E PROCESSOS .....	29
3.4.	PRODUTO FINAL .....	30
3.5.	CALIBRAÇÃO DAS BÁSCULAS.....	31
3.6.	AUTOMAÇÃO .....	32
3.7.	ESTATÍSTICA DOS DADOS .....	33
3.7.1.	DESVIO PADRÃO.....	33
3.7.2.	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	35
4.1.	CONSTRUÇÃO .....	35
4.2.	CALIBRAÇÃO DAS BÁSCULAS.....	36
4.3.	TESTE DE AUTOMAÇÃO .....	36
5.	CONCLUSÃO.....	39
5.1.	TRABALHOS FUTUROS.....	39
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40

## 1. INTRODUÇÃO

A região do vale do São Francisco, em especial a porção compreendida pelas cidades de Juazeiro e Petrolina, é marcada por atividades agrícolas desenvolvidas por pequenos e grandes agricultores. A fruticultura é a base da economia regional e cada manejo requer um cuidado diferente quanto a quantidade de água que deve ser absorvida pelas plantas (DA SILVA, A. O. et al., 2015).

A água é um dos principais elementos climáticos relacionados à produção agrícola, sendo a ocorrência de chuvas um fator significativo. Em contrapartida essa necessidade decorre em riscos na programação das atividades deste setor devido ao seu caráter aleatório. A precipitação é a principal forma de transferência de água da atmosfera para a superfície terrestre, esse processo ocorre devido à condensação do vapor de água presente na atmosfera (MELO JÚNIOR et al, 2006; TUCCI, 2004).

É importante se identificar a época e os períodos de déficits de chuvas, pois cada cultura tem sua fase de sensibilidade à seca e para esses estudos a utilização de equipamentos eficientes é essencial. Com a devida orientação o produtor rural irá agir no sentido de minimizar os danos, podendo ainda estimar toda a necessidade de água para o seu cultivo e assim planejar melhor o que e quando plantar (OLIVEIRA, 2007; PINHEIRO et al, 2015).

Há muito tempo pesquisadores vêm percebendo a necessidade de incluir as variáveis do meio físico aos estudos de cunho agrícola, dentre essas temos as variações pluviométricas, dada a sua importância tanto para o planejamento agropecuário e dos recursos hídricos, quanto, para estudos hidrológicos (TEIXEIRA et al, 2013).

O índice de medida de chuva mais usado em experimentos agrícolas é a altura pluviométrica e o equipamento básico para a sua medição é o pluviômetro. Os pluviômetros são equipamentos hidro meteorológico que tem por finalidade medir a quantidade de precipitação atmosférica, apresentando dados de altura pluviométrica para mensurar a quantidade de chuva precipitada na região. Estes instrumentos são amplamente utilizados em aplicações de hidrologia urbana para fornecer volume e

frequências de chuva, para fornecer às agências de gerenciamento de emergência e às comunidades locais os avisos necessários. O índice pluviométrico de uma região é um fator muito importante dada a necessidade do monitoramento desse fenômeno (ALVERENGA et al., 2016).

Os pluviômetros podem ser classificados em convencionais e automáticos. Os convencionais são aqueles que basicamente armazenam água da chuva em um recipiente graduado, entretanto para obter o índice pluviométrico através desse instrumento é necessária uma leitura direta no equipamento, exigindo assim a presença de um operador em campo. Isto pode tornar os dados obtidos imprecisos e altamente sujeitos a erro. As fontes de erros relacionadas às medidas pluviométricas podendo ocorrer devida a perdas evaporatórias, aderência à parede das provetas medidoras, respingos, paralaxe, entre outros. Devido as desvantagens apresentadas pelo modelo convencional e os avanços na tecnologia surgiram os pluviômetros automáticos. (FERREIRA et al., 2017).

Os pluviômetros automáticos com maior visibilidade no mercado são os pluviômetros de balança cujo princípio de funcionamento consiste no movimento de um pequeno suporte que coleta a água da chuva e tem seu movimento registrado através de sensores eletromagnéticos. Com esse instrumento os dados são transmitidos diretamente ao computador dispensando a presença constante de um operador. No entanto, o pluviômetro automático apresenta um alto custo, sendo pouco utilizado por pequenos e médios agricultores (MILANESI et al., 2017).

Nesse sentido, pode-se destacar a importância do desenvolvimento de um sistema nacional e de baixo custo, sem que isso reflita negativamente na funcionalidade do mesmo. Uma alternativa para se ter um pluviômetro automático de baixo custo é selecionar materiais alternativos na sua confecção, como materiais recicláveis. Além disso, o seu uso proporciona uma série de benefícios à sociedade e ao meio ambiente, possibilitando o desenvolvimento de novos produtos com um baixo custo (SILVA et al., 2017).

O amplo uso de dados fornecidos pelos pluviômetros indica a importância de compreender seus erros de medição para capturar a estrutura complexa do

processo de precipitação. Vários estudos mostraram que os dados medidos por pluviômetros são corrompidos por erros, tanto aleatórios quanto sistemáticos, podendo haver grandes diferenças nas estimativas entre os conjuntos de dados monitorados e nas previsões de precipitação. Logo, é de extrema importância que os pluviômetros sejam calibrados para que evidenciem valores compatíveis (FERREIRA et al., 2017; BRAGA et al., 2008; MANSANO et al., 2015).

Pensando em contribuir para o aumento da automatização da produção agrícola, o presente trabalho visa a construção e calibração de pluviômetros automáticos capazes de fornecer e estimar precisamente medidas do índice pluviométrico, produzido com materiais de qualidade e custo acessível, e utilizando a plataforma arduino na automação dos equipamentos.

#### 1.1. OBJETIVO GERAL

Essa dissertação tem como objetivo a construção de pluviômetros automáticos de baixo custo.

#### 1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Desenvolver pluviômetros automáticos
- Calibração dos equipamentos
- Adequação do sistema de armazenamento de dados

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PRECIPITAÇÃO

Há muito tempo o homem vem percebendo a necessidade de incluir as variáveis do meio físico aos estudos de cunho agrícola, dentre essas variáveis temos o conhecimento da distribuição e das variações pluviométricas, dada a sua importância tanto para o planejamento agropecuário e dos recursos hídricos, quanto, para estudos hidrológicos (TUCCI, 2004).

A distribuição geográfica da chuva depende, basicamente, de quatro fatores: latitude, distância do oceano, ação do relevo e efeito das correntes marítimas. Desta forma a distribuição estacional e espacial da precipitação varia de um local para outro, dependendo ainda, do tipo predominante da formação da chuva (DE OLIVEIRA SANCHES et al., 2013).

De maneira geral, o regime de chuvas de um local é caracterizado pela quantidade e distribuição de precipitação ocorrida em determinados meses ou estações do ano (CASTRO et al., 1994).

Um dos processos principais para a formação de chuva é o processo da coalescência, em que duas ou mais gotículas de água fundem-se, formando apenas uma. Quando as gotículas tornam-se muito grandes para serem sustentados pelas correntes de ar essas começam a cair em forma de chuva (TUCCI, 2004).

Existem três causas primárias de formação da chuva e todas elas têm a ver com a ascensão de massa de ar quente e úmida na atmosfera (TUCCI, 2004).

- Diferenças de temperatura e tamanho entre os elementos das nuvens;
- Movimentos turbulentos dos elementos das nuvens;
- Existência de cargas elétricas entre os elementos de nuvens.

A precipitação pode ser orográfica, convectiva ou frontal. Uma precipitação é orográfica quando uma massa de ar quente e úmida se movendo ao longo de uma região é forçada a ascender, devido a uma barreira montanhosa, eleva-se e resfria adiabaticamente. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração. Já as

chuvas convectivas ocorrem quando uma massa de ar instável rapidamente se eleva na atmosfera a partir de uma área que se aqueceu (TUCCI, 2004).

A precipitação frontal é resultado do confronto entre duas grandes massas de ar, uma quente e outra fria. Se a massa fria é a que avança, o resultado é uma frente fria; se a quente avança, uma frente quente se desenvolve. São chuvas de grande duração e média intensidade (TUCCI, 2004).

## 2.2. PLUVIÔMETROS

Segundo Tucci (2004) existem basicamente duas maneiras de medir a chuva: espacialmente, com o auxílio de radares, e pontualmente, através de pluviômetros ou pluviógrafos. Esses últimos diferem entre si quanto a forma de coleta dos dados, enquanto o pluviômetro precisa de leituras manuais, o pluviógrafo registra os dados em forma gráfica.

O pluviômetro se trata de um instrumento hidro meteorológico, se dedicando ao estudo da transferência de água e energia entre a superfície e a atmosfera, e tem como finalidade medir a quantidade de precipitação atmosférica. O princípio de funcionamento desse equipamento é coletar a água da chuva em um recipiente graduado, logo os dados de pluviosidade serão fornecidos através da “altura pluviométrica” indicada no instrumento.

A altura pluviométrica pode ser compreendida como a altura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação admitindo-se que essa água não infiltrasse, não evaporasse, nem escoasse para fora dos limites da região. A unidade de medição habitual é o milímetro, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1L/m<sup>2</sup> de superfície (BLAINSKI et al., 2012).

O funcionamento dos pluviômetros é aparentemente simples e assim como a tecnologia evoluiu, as técnicas para análise pluviométrica também, sendo criados os pluviômetros automáticos. Nesse equipamento a coleta da chuva é feita de forma automatizada e os dados são registrados dispensando a necessidade de um operador em campo para fazer a leitura desses dados.

A altura de lâmina d'água ou altura pluviométrica é calculada através da equação 1:

$$H = 10 \times \frac{V}{A} = 40 \times \frac{V}{\pi D^2} \quad (1)$$

Em que,

H – altura de chuva (mm);

V – volume de água coletado (ml ou cm<sup>3</sup>);

A – área da seção de captação de água (cm<sup>2</sup>);

D – diâmetro da seção de captação (cm).

A intensidade da chuva, por sua vez, é definida como a altura pluviométrica (H) registrada em um determinado tempo ( $\Delta t$ ), sendo calculada pela equação 2:

$$I = \frac{H}{\Delta t} \quad (2)$$

Em que,

I – Intensidade da chuva (mm/h);

H – Altura de chuva (mm);

$\Delta t$  – Tempo (h).

Admite-se de forma geral que a interceptação da chuva deve ser feita a uma altura média acima da superfície do solo entre 1 m e 1,5 m. O aparelho também deve ficar longe de qualquer obstáculo que possa prejudicar as medições, admite-se que a distância entre a superfície de interceptação deve ser maior que duas vezes a altura do maior obstáculo (ANA, 2011).

A chuva pode ser classificada quanto a intensidade em fraca, moderada e forte, correspondendo a até 2,5 mm/h, 7,5 mm/h e superior a 7,5 mm/h, respectivamente (TUCCI, 2004).

Outro termo importante quando se discute sobre precipitação é o termo precipitação efetiva. A precipitação efetiva é um conceito desenvolvido para

caracterizar a fração da precipitação total que fica à disposição das plantas, quando a mesma ocorre sobre uma área cultivada e deve ser levada em conta na contabilização da quantidade de água aplicada à cultura.

A chuva média numa determinada área, onde mais de um pluviômetro é instalado pode ser obtida pela média aritmética ou pela média ponderada das alturas de chuva obtidas nos diferentes coletores. Nesse último caso, o fator de ponderação é a área de influência de cada pluviômetro. Este método é frequentemente utilizado em áreas de grande extensão, como as bacias hidrográficas.

A média ponderada das alturas de chuva é dada pela equação 3:

$$\bar{H} = \frac{\sum(H \times A)}{\sum A} \quad (3)$$

Em que,

$\bar{H}$  – Média ponderada de H (mm),

A – Área de influência do coletor (km<sup>2</sup>).

Segundo Tucci (2004), os pluviômetros podem ser diferenciados segundo quatro parâmetros: medição e gravação dos dados, transmissão de sinal, e transmissão de registro.

Quanto a medição, as principais técnicas encontradas são a utilização de básculas, reservatório equipado com boia e reservatório equipado com sifão. Já a gravação da informação pode ser feita através da escrita em papel, memorizada em um suporte eletrônico ou até transmitida em tempo real.

A transmissão do sinal para acionamento do mecanismo pode ser mecânica ou elétrica. Por fim a transmissão do registro pode ser feita de forma manual, a cabo ou utilizando uma rede sem fio.

### 2.2.1. TIPOS DE PLUVIÔMETROS

Os pluviômetros podem ser classificados em automático e convencionais. O primeiro pluviômetro tecnicamente reproduzível do mundo foi o pluviômetro King Sejon, construído na Coreia em 1442 e era usado para fins agrícolas. Após esse feito outros equipamentos foram criados e aperfeiçoados (SENTELHAS et al. 2002).

Atualmente o pluviômetro Ville de Paris é um dos pluviômetros mais conhecido e utilizado ainda hoje em estações meteorológicas convencionais, sendo padrão no Brasil, isso pois, apresenta um erro menor que 0,05% em sua medição (SILVA, 2018).

Os pluviômetros automáticos registram automaticamente a altura pluviométrica em função do tempo e possibilitam a determinação da altura pluviométrica, duração e intensidade de chuvas.

Os três tipos mais comuns de pluviômetros automáticos são:

- Pluviômetro flutuador: A variação do nível de água é registrada em um recipiente apropriado por meio de um flutuador, ligado por uma haste diretamente ao mecanismo de registro.
- Pluviômetro de balança: A água captada é recolhida em um recipiente e pesada, automaticamente, em uma balança apropriada. Após a pesagem a água é descartada através de um sistema de sifão.
- Pluviômetro automático do tipo balança: Este aparelho é formado, basicamente, por um coletor que conduz a água da chuva para um sistema de duas básculas de volume conhecido. Quando uma balança se enche, automaticamente, ela vira para esvaziar e a outra balança passa a coletar a água. As básculas são unidas por um eixo que contém um ímã acoplado. A cada virada das básculas esse ímã passa em frente a um dispositivo que fecha um circuito emitindo um pulso elétrico ao datalogger. Cada pulso transmitido é convertido em altura pluviométrica, conforme o volume da balança (BLAINSKI et al., 2012).

O monitoramento pluviométrico ainda é realizado, em sua maioria por pequenos agricultores, através de pluviômetros convencionais, isso se dá pelo baixo

custo inicial desse equipamento, e pela pouca necessidade de manutenção. Em contra os pluviômetros automáticos embora tenham um custo inicial mais elevado apresentam um melhor custo benefício, pois descarta a necessidade de que um operador tenha que se deslocar até o equipamento para conferir os dados. O equipamento registra e/ou transmite os dados em tempo real (ALVERENGA et al., 2016).

Algumas vantagens dos equipamentos automáticos é a diminui de erros referentes ao operador, além de não possui limite de armazenamento, pois a água não fica retida no equipamento. Nos pluviômetros automáticos após o registro a água da chuva é descartada enquanto que nos pluviômetros convencionais há o armazenamento da mesma. Esses equipamentos possuem, portanto, um limite de aproximadamente 130 mm (AGROSMART, 2018).

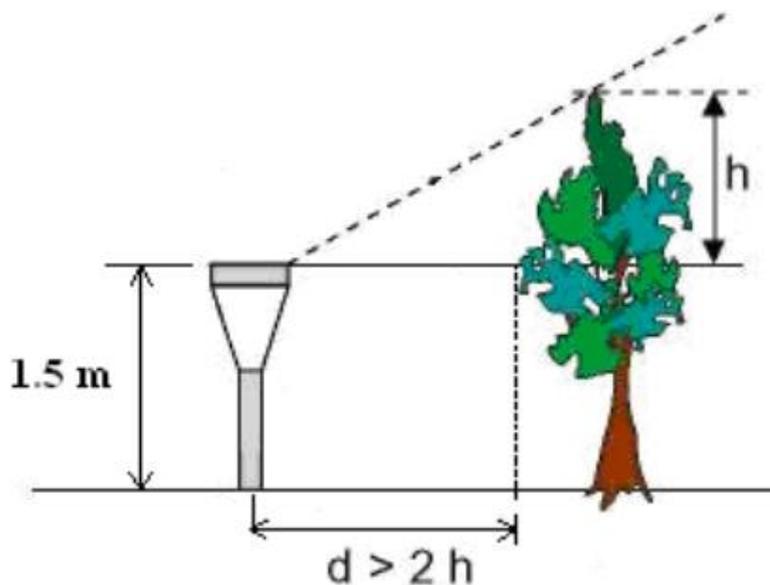
### 2.2.2. INSTALAÇÃO

A instalação ideal de um pluviômetro, deve ser feita de modo que o volume de água coletado, represente o volume precipitado na região de abrangência do equipamento. Para isso é preciso escolher bem o local de instalação do equipamento, com a menor incidência de vento possível e longe de obstáculos como muros, paredes, árvores, arbustos entre outros, que venham a causar alterações nas leituras do instrumento.

O pluviômetro deve ser instalado a no mínimo, 3 m de distância dos obstáculos ou a uma angulação de 30° a 45° com a horizontal, do topo do pluviômetro até o topo do obstáculo e a uma altura mínima de 1,5 m do solo até a área de coleta (BLAINSKI et al., 2012).

Essas orientações podem ser visualizadas na figura 1.

**Figura 1** - Esquema de posicionamento de pluviômetro.



Fonte: ANA (2011).

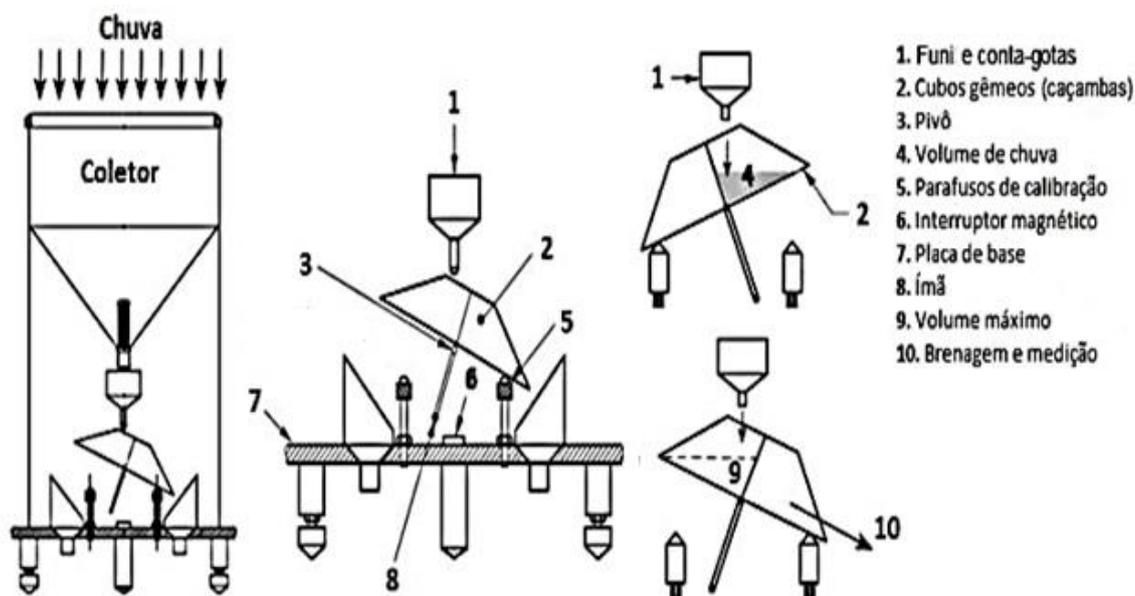
### 2.3. PLUVIÔMETROS AUTOMÁTICOS

Dentre os pluviômetros automáticos, o mais comum a ser utilizado é o pluviômetro automático de balança, que opera como uma gangorra posicionada sob o bico de um funil por onde toda a água pluvial coletada pelo aparelho é conduzida.

A operação desse pluviômetro é basicamente um ímã acoplado à balança e uma chave magnética. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma balança ou concha atinge o limite, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando um relé magnético, descartando o líquido e preparando a outra concha para receber nova quantidade de líquido. A cada mudança de posição do mecanismo produz um fechamento momentâneo da chave gerando um pulso elétrico que será transmitido e convertido em altura pluviométrica (MENDEZ et al., 2013).

A figura 2 mostra com mais detalhes o mecanismo de báscula e as partes que compõem esses pluviômetros.

**Figura 2** - Partes e funcionamento de pluviômetro automático de báscula.



Fonte: Mendez et al. (2013)

Calder e Kidd (1978) perceberam que parte do volume medido de uma chuva se perde no intervalo entre movimentos das básculas. Dada esta observao, propõem regras lineares para a calibrao desses pluviômetros e sugerem que todo pluviômetro, antes de ir a campo, deva ser calibrado.

## 2.4. CALIBRAO

A Calibrao , por definio, o conjunto de operaes que estabelece, sob condies especificadas, a relao entre os valores indicados por um instrumento de medio e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões (MANSANO et al, 2015).

Há aproximadamente três décadas, Calder e Kidd (1978) concluíram que pluviômetros automáticos devem ser verificados e calibrados antes de entrarem em operao, baseados no fato de que certa quantidade de água  perdida no instante

de tempo em que uma balança dá lugar à outra, para que comece a encher. Nesse caso, a hipótese básica seria que, quanto maior for a intensidade da chuva, maior seria a perda de água – logo, mais considerável seria a subestimativa da quantidade de água precipitada, foram então propostas regras de calibragem lineares.

Esse trabalho exige total domínio sobre os princípios e o funcionamento do instrumento de medição a calibrar. Recomenda-se sempre usar um procedimento de calibração documentado, segundo exigências de normas NBR/ISSO, DIN, JIS, ANSI, entre outras (IMETRO).

O certificado de calibração apresenta várias informações acerca do desempenho metrológico do instrumento de medição e descreve os procedimentos adotados. Em função dos resultados obtidos, o desempenho do instrumento de medição pode ser comparado com aquele constante nas especificações de uma norma técnica ou fabricante, e um parecer de conformidade podem ser emitidos (IPQ, 2008).

Através desse procedimento experimental é possível correlacionar os valores indicados pelo sistema de medição e sua correspondência com a grandeza que está sendo medida.

Os métodos de calibração são de calibração direta ou indireta. Na calibração direta o mensurado é aplicado sobre sistema de medição por meio de medidas materializadas, e as indicações dos sistemas de medição são confrontadas com cada valor verdadeiro convencional. Feito isso, a correção e sua incerteza são estimadas por meio de medições repetitivas.

Já na calibração indireta, o mensurado é gerado por meio de um dispositivo auxiliar, que atua simultaneamente no sistema de medição a calibrar e também no sistema de medição padrão. Assim, as indicações são comparadas com as do sistema padrão, e os erros são determinados.

Procurando o equilíbrio técnico-econômico, adota-se como padrão um elemento que, nas condições de calibração apresente incerteza não superior a um décimo da incerteza esperada para o sistema de medição a calibrar. Quando se trata de um trabalho não rotineiro, de cunho técnico-científico, e muitas vezes de alta

responsabilidade, é fundamental que sejam registrados todos os eventos associados com o desenrolar da atividade, na forma de um memorial de calibração (IPQ, 2008).

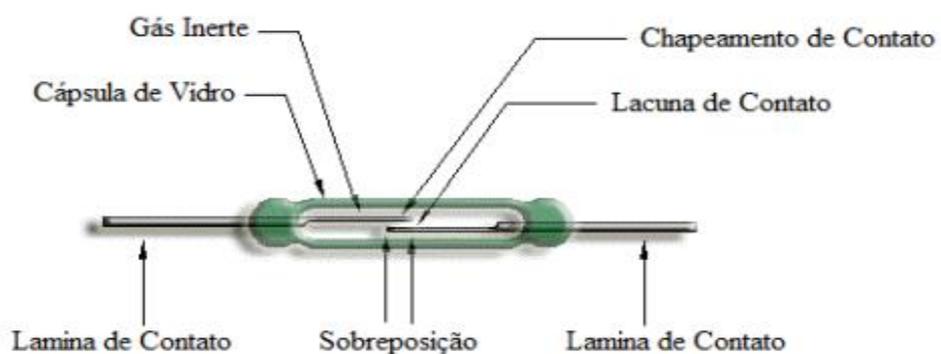
Em nota técnica Calder e Kidd (1978) afirmam que é possível obter alta resolução e precisão com pluviômetros de balança se esses dispositivos forem calibrados dinamicamente. Como primeira aproximação, uma calibração estática pode ser assumida a vazão. Edwards et al. (1974) mostraram que é possível fazer uma correção de erro no volume estático da balança por calibração individual de medidores.

Os pluviômetros de balança devem ser calibrados individualmente, para diferentes valores de volume coletado e tempo, pois esses parâmetros variam em resposta principalmente a altura pluviométrica registrada pelas balanças (CALDER et al., 1978).

## 2.5. SENSOR REED SWITCH

Os reed switches, também conhecidos como interruptores de lâminas, são sensores magnéticos que apresentam grande aplicabilidade na mecatrônica, robótica e automação, atuando como componentes fundamentais no desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos (OKI, 2010). Na figura 3 é apresentado em detalhes o sensor reed switches, bem como seu princípio de funcionamento.

**Figura 3** - Detalhes do sensor reed switch e esquema de funcionamento.



Fonte: Ardubotics (2015).

O reed switch foi desenvolvido em 1936 por Dr. W. B. Ellwood na Bell Telephone Laboratories. Com o avanço da pesquisa foram feitas diversas melhorias, diminuindo o tempo de resposta do sensor, este passou a ser fabricado com contatos hermeticamente fechados, seu tamanho diminuiu consideravelmente e a vida útil teve grande acréscimo, contribuindo assim para o desenvolvimento de diversas outras tecnologias com o uso deste interruptor magnético (OKI, 2010).

O aperfeiçoamento do reed switch em sistemas de comutação foi de muito importante, para sua aplicação como sensor e controlador em dispositivos elétricos automotivos, relés de junco e outros instrumentos de vários tipos. Segundo OKI (2010), o *reed switch* apresenta características muito importante como:

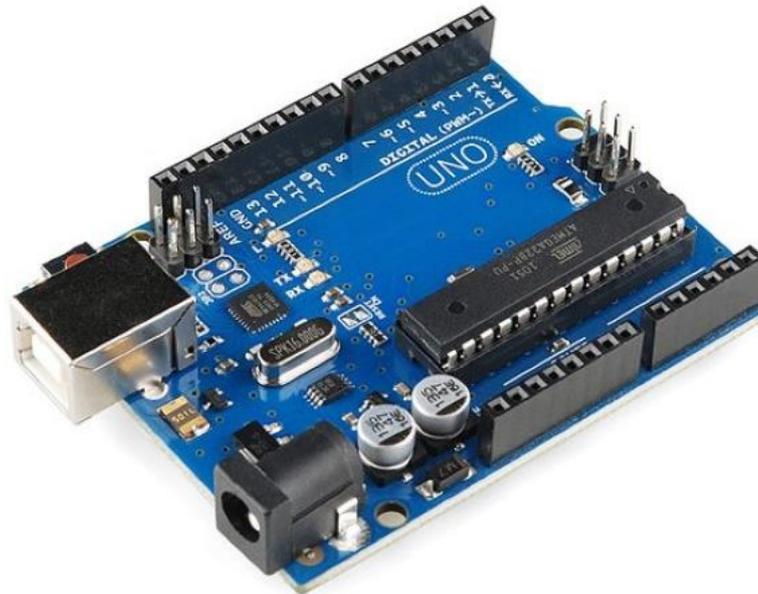
- Ser hermeticamente selado em tubo de vidro, com gás inerte, o que impede, que os contatos sofram influência do ambiente externo;
- Ter resposta rápida, por apresentar uma massa de peças móveis muito pequena;
- Ter partes operacionais e peças elétricas dispostas coaxialmente, sendo muito adequado para aplicações de alta frequência;
- Ser compacto e leve;
- Ter resistência à corrosão e ao desgaste dos contatos, garantindo uma operação estável e uma grande vida útil;
- Facilmente utilizado como interruptor de proximidade, na presença de um ímã permanente instalado.

## 2.6. ARDUINO

O Arduino é uma plataforma de computação física ou embarcada, capaz de executar comandos previamente programados, armazenar dados, receber sinais elétricos de sensores e enviar para atuadores. A placa Arduino é composta de um microprocessador Atmel AVR, um cristal ou oscilador e um regulador de tensão de 5 volts. A Dependendo do tipo de Arduino, pode também ter uma saída USB que permita conectá-lo a um computador, com a finalidade de fazer upload ou recuperar dados.

A placa, Figura 4, expõe os pinos de entrada/saída do microcontrolador para ser conectada a outros circuitos, sensores elétricos, etc (MCROBERTS, 2015).

**Figura 4** - Arduino UNO.



Fonte: McRoberts, 2015.

A programação do Arduino é feita pelo IDE do mesmo, um software livre que permite programar o hardware em linguagem codificada baseada em C/C++ que pode ser estendida por meio de bibliotecas C++. O IDE permite a escrita do algoritmo que então, deverá fazer o upload para o Arduino. Assim o Arduino estará pronto para executar as instruções e interagir com o que estiver conectado a ele. Os programas feitos no Arduino, são comumente conhecidos como *sketches* (MCROBERTS, 2015).

O Arduino é encontrado em muitas versões diferentes como Due Leonardo, Duemilanove, Mega 2560, Mega ADK, Fio, Arduino Ethernet, Mini, Nano, Lilypad, Bluetooth, sendo a mais comum a versão Uno (lançada em 2010). As versões mais recentes são a Arduino Leonardo e a Arduino Due, que é a primeira incursão na utilização de processadores ARM em vez de processadores com arquitetura AVR. O Due tem um processador de 32 bits em vez do tradicional processador de 8 bits das outras versões do Arduino, executando a uma frequência de 84 Mhz e com uma memória flash de 512 KB (MCROBERTS, 2015).

## 2.7. PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O planejamento do processo de fabricação pode ser entendido como o procedimento de determinação do método e a sequência de manufatura para a confecção de componentes de acordo com as especificações do projeto (BATOCCHIO, 1992). Há várias etapas a serem desenvolvidas no planejamento de processos, como as que são citadas abaixo:

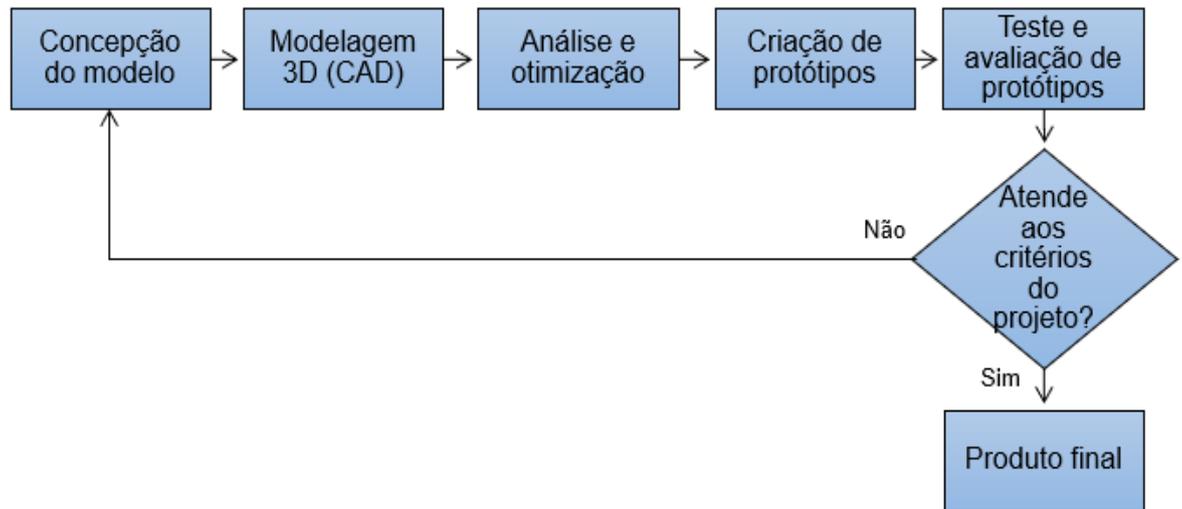
- Etapa de seleção – Seleção das matérias-primas, dos processos elementares de fabricação, das operações, dos equipamentos e das ferramentas;
- Sequenciamento – Determinação da sequência das operações elementares pertencente a determinado processo de fabricação;
- Inspeção – Inspeção das dimensões, das tolerâncias de produção e dos tempos ativos e passivos.

## 2.8. MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva é um processo de fabricação que usa as informações de um arquivo de desenho auxiliado por computador (CAD) e o converte em um arquivo de estereolitografia (STL). Nesse processo, o desenho feito no software CAD é aproximado por triângulos e fatiado, transmitindo as informações de cada camada para o mecanismo que deposita o material um plano por vez, formando assim a peça final. A impressão 3D como é comumente conhecida, foi desenvolvida na década de 1980 para a criação de modelos e peças de protótipos, essa tecnologia foi criada para ajudar na realização do que os engenheiros têm em mente (WONG, 2012).

As etapas envolvidas no desenvolvimento de produtos usando a manufatura aditiva são mostradas na Figura 5. Aqui, pode-se ver que a criação de modelos mais rapidamente economiza muito tempo e existe a possibilidade de testar mais modelos.

**Figura 5** - Ciclo de desenvolvimento do produto.



Fonte: Adaptado de Noorani, 2006.

Este tipo de processo de fabricação tem sido muito utilizado atualmente por cientistas, médicos, estudantes, professores, pesquisadores e artistas (NOORANI, 2006; CHUA 1998). Suas inúmeras aplicações vem facilitando o desenvolvimento da tecnologia em diversos ramos como na criação de peças leves que reduzam a relação peso-força na indústria automotiva e aeroespacial (BLETZINGER, 2001; WILLIAMS, 2002), na fabricação de modelos de arquitetura (PRASAD, 2015), em aplicações Médicas (JAMES, 1998; BAR-COHEN, 2019) , na engenharia de tecido ósseo (FIELDING, 2012; MAKOVEC , 2010; GIBSON, 2002], na odontologia (VAN NOORT, 2012; HOLLISTER, 2005), na fabricação de células de combustível (TAYLOR, 2015), nas áreas artísticas, entre outras. Entre os principais avanços que esse processo apresentou ao desenvolvimento de produtos estão a redução de tempo e custo, a interação humana e, conseqüentemente, o ciclo de

desenvolvimento de produtos (ASHLEY, 1991), também a possibilidade de criar praticamente qualquer formato que possa ser muito difícil de usinar.

É importante notar que a manufatura aditiva se tornou possível pelo auxílio de outras tecnologias, que são desenho auxiliado por computador (CAD), a fabricação auxiliada por computador (CAM) e o comando numérico computadorizado (CNC). Essas três tecnologias combinadas possibilitaram a impressão de objetos tridimensionais (NOORANI, 2006; COOPER, 2001; KRUTH, 1991). No entanto, ainda há muito trabalho e pesquisa a ser realizada antes que as tecnologias de manufatura aditiva se tornem padrão no setor industrial, porque nem todo material de manufatura comumente usados pode ser manuseado. A precisão precisa ser aprimorada para eliminar a necessidade de um processo de acabamento (WONG, 2012).

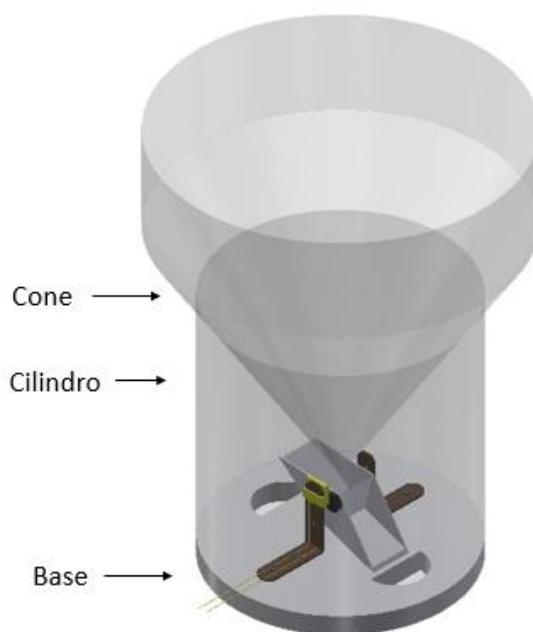
### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A estratégia inicial para realização desse projeto foi identificar a finalidade desse produto e as limitações a que estaria submetido, dessa forma uma sequência de escolhas pôde ser tomada. Realizou-se também um plano de fabricação, afim de evitar perdas de material, além de facilitar o processo de fabricação.

#### 3.1. PROJETO DOS EQUIPAMENTOS

Um detalhamento das peças que compõem o equipamento encontra-se na figura 6.

**Figura 6** - Detalhamento das peças.



Fonte: Próprio autor.

#### 3.2. MATERIAL

Na escolha do material considerou-se o fato que o pluviômetro, sendo um equipamento meteorológico cuja finalidade está relacionada a coleta de chuva, deve ser capaz de suportar as intempéries de um campo aberto, seu material deverá ser adequado para as condições de esforços e também os desafios ambientais aos quais estará submetido. Dessa forma buscou-se utilizar de um material não corrosivo

e resistente. O alumínio foi o material escolhido e o mesmo foi utilizado na confecção do cilindro e do funil coletor, que por sua vez possui um anel ao redor de forma a maximizar a capacidade de coleta de chuva no equipamento.

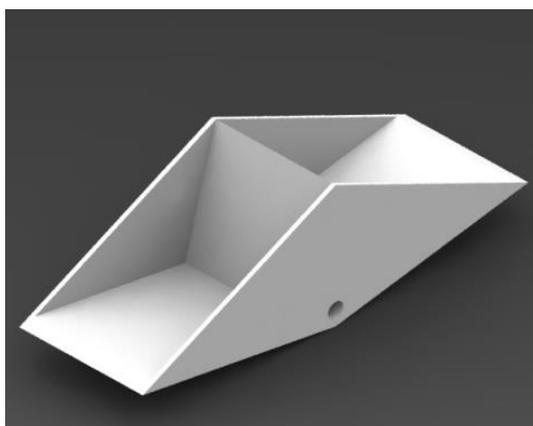
### 3.3. FERRAMENTAS E PROCESSOS

Para unir essas peças foi realizada a soldagem das mesmas com solda TIG (Tungsten Inert Gas) depositando a solda nos extremos para em seguida completar os cordões de solda de forma a evitar a deformação do material e preservar a circunferência do funil. O diâmetro do funil foi definido para 25,50 cm, resultando em uma área de captação de aproximadamente 510,70 cm<sup>2</sup>.

Os pluviômetros foram projetados para coletar e registrar a lâmina de água proveniente da chuva, a partir do sistema de báscula. Esta é uma das peças mais importantes desse equipamento, sendo responsável por transmitir seu movimento para o sensor através do ímã acoplado à mesma.

A báscula, Figura 7, foi modelada de forma que a capacidade máxima de cada reservatório é de 18,20 ml, correspondendo a uma lâmina de até 0,455 mm por basculada. Para a produção dessa peça utilizou-se o processo de manufatura aditiva, popularmente conhecido como impressão 3D. A impressora 3D modelo Stella 1.6 realizou a impressão das básculas em sua máxima qualidade.

**Figura 7** - Báscula modelada.

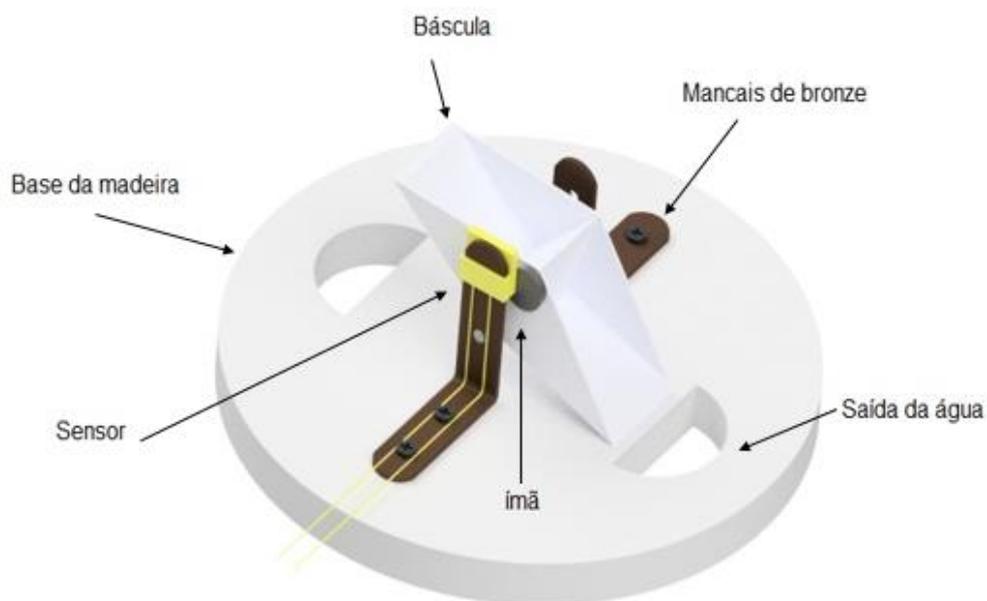


Fonte: Próprio autor.

### 3.4. PRODUTO FINAL

O interior do pluviômetro é protegido pelo cilindro de alumínio onde se encontram as peças responsáveis pela automação do equipamento: báscula, ímã e sensor magnético. Como ilustra a Figura 8.

**Figura 8 - Mecanismo de báscula**



Fonte: Próprio autor.

Uma base de madeira foi confeccionada para posicionar a báscula abaixo do funil. Como a madeira  um bom isolante térmico essa base além de servir de suporte também evita que o calor do solo interfira nos dados coletados pelo equipamento.

O suporte conta com mancais e eixo de alumínio de modo que a báscula fique centralizada e receba adequadamente as gotículas de chuva que escoaro pelo funil. Os mancais foram fixados com parafusos removíveis caso seja necessário realizar ajustes na báscula.

Todo o equipamento recebeu pintura branca e brilhante para diminuir a condutividade térmica, além de aumentar a durabilidade do equipamento e evitar a corrosão.

### 3.5. CALIBRAÇÃO DAS BÁSCULAS

Para obter o volume real de chuva que a balança consegue coletar faz-se necessária a calibração das mesmas para que as três balanças coletem aproximadamente o mesmo volume de água.

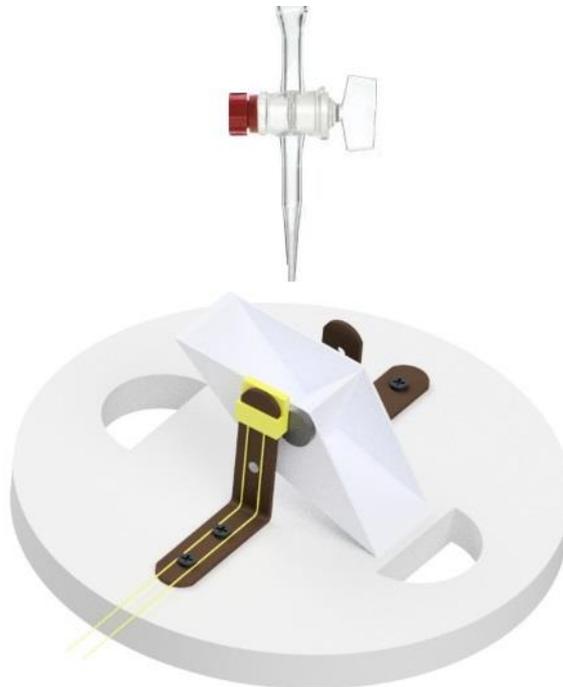
Para conferir a quantidade de chuva passível a ser coletada pelas balanças foi realizado o mesmo experimento com as três peças, identificadas ao longo do trabalho como A, B e C. O método utilizado para calibração contou com a utilização de uma bureta graduada de 25 ml, a mesma foi colocada acima da balança a uma distância previamente definida a fim de simular a distância do funil à peça no equipamento.

A balança foi fixada em um suporte e em seguida deu-se início ao gotejamento da água simulando uma chuva de pequena intensidade para facilitar a observação do momento exato que a balança entorna. Ao ocorrer o pendular da balança o registro foi imediatamente fechado, cessando o gotejamento. Em seguida fez-se a anotação do volume de água despejado verificando a marcação na bureta. Esse procedimento foi repetido até ser obtido um total de quarenta repetições.

Ao fim das observações nas 3 balanças foi possível calcular os erros e desvios padrão entre as observações. Para sanar as diferenças obtidas foram implementadas melhorias nas peças e os testes foram então realizados novamente.

Um esquema desse procedimento pode ser visualizado na Figura 9.

**Figura 9** - Esquema de calibração de balança com auxílio de bureta.



Fonte: Próprio autor.

### 3.6. AUTOMAÇÃO

A automatização dos equipamentos foi realizada com o auxílio de um Arduino UNO com leitor/gravador de cartão SD acoplado a cada equipamento. O arduino é uma plataforma física baseada numa placa microcontroladora e um ambiente de desenvolvimento para escrever o código para a placa.

Nesse trabalho o arduino foi programado para atuar como receptor de pulsos elétricos enviados pelo sensor reed switch. O sensor é acionado quando o ímã acoplado na balança passa por ele, enviando um pulso ao programa. Cada pulso corresponde a uma altura pluviométrica previamente estabelecida a partir da calibração dos equipamentos.

No código do programa, que pode ser consultado no Anexo II deste trabalho, foi implementada a equação 4, afim de obter a altura pluviométrica total obtida após o registro do número de pulsos ocorridos.

$$H = P * h \quad (4)$$

Em que,

H = altura pluviométrica (mm);

P = número de pulsos obtidos;

h = altura obtida a partir da calibração (mm).

Feita a calibração e aferição dos pluviômetros foi implementado o código no arduino com o valor aproximado para uma báscula e seu respectivo erro. Um display foi adicionado aos equipamentos expondo a altura pluviométrica coletada ao decorrer do teste e a intensidade atingida em cada teste. Para a alimentação do circuito utilizou-se uma bateria recarregável de 450 mAh.

A aquisição dos dados pode ser feita utilizando um shield para cartão SD, assim foi possível monitorar os pluviômetros durante os testes e obter as alturas pluviométricas registradas.

### 3.7. ESTATÍSTICA DOS DADOS

#### 3.7.1. DESVIO PADRÃO

O desvio padrão é uma medida de dispersão e o seu valor reflete a variabilidade das observações em relação à média. O cálculo do desvio padrão é dado pela equação x:

$$DP = \sqrt{\frac{\sum(X_1 - \bar{X})^2}{n}} \quad (5)$$

Em que,

DP = Desvio padrão,

$X_1$  = valor na posição 1 no conjunto de dados,

$\bar{X}$  = média aritmética dos dados,  
 $n$  = quantidade de dados.

### 3.7.2. COEFICIENTE DE VARIAÇÃO

O coeficiente de variação, também conhecido como desvio padrão relativo, é uma medida padronizada de dispersão de uma distribuição de probabilidade ou de uma distribuição de frequências, sendo geralmente expresso como uma porcentagem. A equação 6 expressa essa medida.

$$CV = \frac{DP}{\bar{X}} \quad (6)$$

Em que,

CV = Coeficiente de variação,

DP = Desvio padrão,

$\bar{X}$  = média aritmética dos dados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CONSTRUÇÃO

Algumas especificações dos equipamentos encontram-se na Tabela 1. Mais detalhes do equipamento podem ser obtidos consultando o Anexo I deste trabalho.

**Tabela 1** - Especificações dos equipamentos

<b>Área de Captação</b>	510,70 cm <sup>2</sup>
<b>Diâmetro do funil</b>	25,50 cm
<b>Resolução</b>	0.2636 mm
<b>Altura</b>	32 cm
<b>Massa</b>	717 g

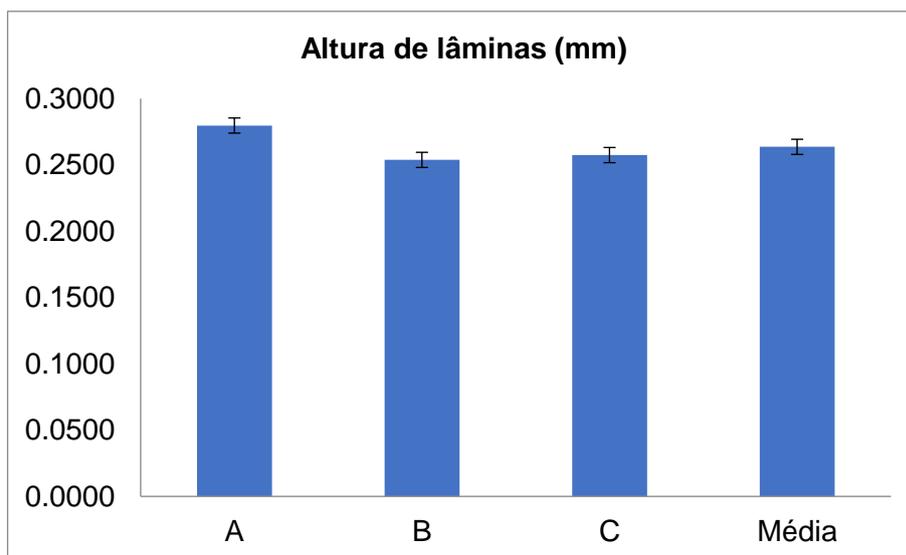
Em estudos induzidos com o intuito de avaliar erros entre pluviômetros convencionais e automáticos de balança obteve-se a conclusão que a tentativa de obter medidas mais precisas com básculas menores pode, pelo contrário, torná-las menos confiáveis (REDA et al., 2008).

Já a impressão 3D das básculas apresentou algumas imperfeições que puderam ser corrigidas ao decorrer da calibração. Foi possível perceber que essas peças estavam desbalanceadas, logo as cunhas coletavam volumes de água bastante diferentes. Para solucionar esse problema lixou-se os lados que estavam com mais depósito de material até que ambos os lados conseguissem acumular aproximadamente o mesmo volume de água.

Ainda acerca das básculas, observou-se que a peça não apresentava uma superfície lisa o suficiente para o escoamento da água. Utilizou-se, portanto, um papel plástico capaz de aderir à superfície da balança e auxiliar o escoamento da água com o mínimo de atrito.

## 4.2. CALIBRAÇÃO DAS BÁSCULAS

As médias das lâminas de água coletadas por cada balança ao longo dos experimentos são apresentados no gráfico a seguir, onde também pode se observar a média obtida entre as três balanças e a barra de erro padrão para cada uma delas.



Na tabela 2 evidencia-se que as balanças A e B apresentarão variação de 5%, significando uma maior confiabilidade dos dados, enquanto que a balança C apresentou 7% de variação, é possível chegar à conclusão que a mais distorções nas medidas da balança C que nas demais (VASVARI, 2004).

**Tabela 2** - Análise estatística das lâminas obtidas nas respectivas balanças.

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Média</b>
<b>Média</b>	0.2797	0.2538	0.2574	0.2636
<b>Desvio padrão</b>	0.0132	0.0129	0.0189	0.0150
<b>Erro padrão</b>	0.0021	0.0020	0.0030	0.0024
<b>CV</b>	5%	5%	7%	

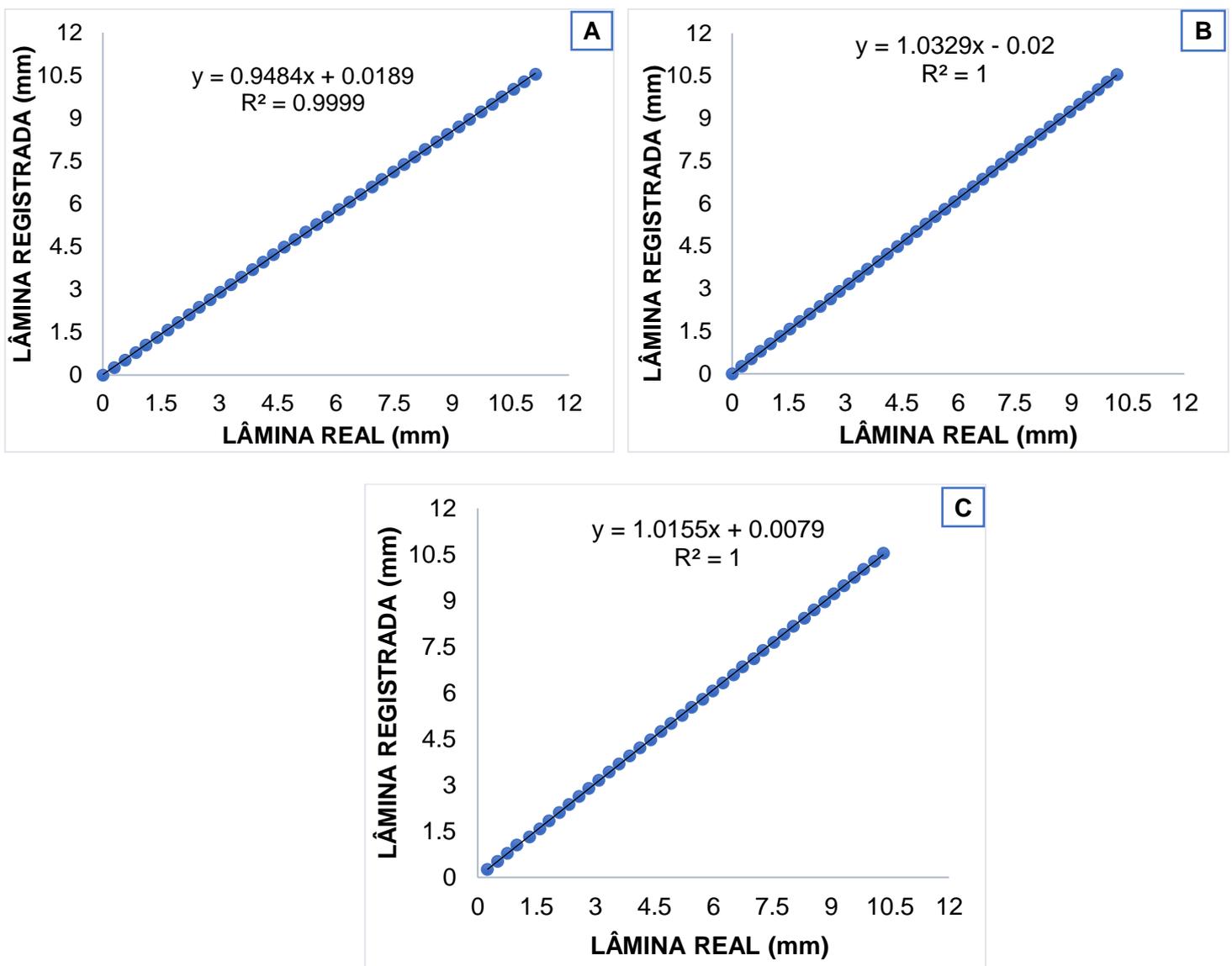
## 4.3. TESTE DE AUTOMAÇÃO

Com a calibração foi possível preparar as retas de calibração, ou seja, a relação linear entre o valor calibrado e implementado no código com o medido por

cada báscula. As diferenças ocorrem principalmente pois uma quantidade variável de água  perdida durante o tempo de inflexão da báscula como constatado por Calder e Kidd, 1978.

A figura 10 (a, b e c) apresenta o gráfico de dispersão e relação linear entre os dados reais e os registrados pelo arduino.  possível observar que o coeficiente angular da reta em A  igual a 0,9484, ou seja, está sendo subestimado nos valores registrados. Isso indica que o valor real de lâmina captado por esse equipamento  maior que o valor registrado.

**Figura 10** - Retas de calibração obtidas para os respectivos equipamentos.



Por outro lado, assim como a correlação de Pearson, o coeficiente de determinação igual a 0,999 indica um alto grau de ajuste linear entre os dados, ou seja, um elevado grau de semelhança.

Na figura 10.B é possível observar que o coeficiente angular da reta é igual a 1,0329, indicando que os valores registrados pelo pluviômetro superestimam a lâmina real coletada. Esse fato pode também ser observado para o equipamento C. Porém, o coeficiente de determinação igual a 1 obtido em ambos indica um alto grau de ajuste linear entre os dados, ou seja, um elevado grau de semelhança.

Na tabela 3 são apresentados a regressão linear das retas e os coeficientes de determinação. Os valores de  $R^2$  indicam que os equipamentos individualmente apresentam alta relação com o referencial. A melhor relação encontrada foi para os equipamentos B e C.

**Tabela 3** - Equações das respectivas básculas.

	<b>EQUAÇÃO</b>	<b>DETERMINAÇÃO</b>
<b>A</b>	$y = 0.9484x + 0.0189$	$R^2 = 0.999$
<b>B</b>	$y = 1.0329x - 0.0200$	$R^2 = 1$
<b>C</b>	$y = 1.0155x + 0.0079$	$R^2 = 1$

Os valores de  $R^2$  são menores na correlação em A e maiores na correlação para B e C, apresentando, ainda assim, alta correlação positiva diretamente proporcional entre eles.

Apesar destas oscilações, os testes estatísticos mostraram que o elevado grau de semelhança nos registros pluviométricos do arduino em relação ao valor real produzido. Isso indica a viabilidade do uso desse protótipo para monitoramento da precipitação.

## **5. CONCLUSÃO**

Os pluviômetros desenvolvidos apresentaram bons resultados construtivos, pois os materiais não sofreram mudanças que alterassem o seu desempenho ao decorrer dos testes realizados. Identificou-se básculas com maior capacidade de acúmulo de água auxiliam na diminuição de erros decorrentes ao tombamento, entretanto não soluciona os erros provenientes do acúmulo de água nas cunhas. As retas de regressão linear obtidas na calibração das básculas demonstraram que não há diferenças significativas entre os dados reais e os registrados para nenhum dos equipamentos.

### **5.1. TRABALHOS FUTUROS**

Sugere-se a implementação de módulos para a transmissão dos dados sem fio a fim de facilitar o acompanhamento dos dados pluviométricos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSMART. Pluviômetro digital automático é o primeiro passo na transformação da fazenda conectada. 2018.

ALVERENGA, Antonio Mello et al. Startups revolucionam o campo. **Revista A Lavoura**. Rio de Janeiro/RJ, v.717, n.120, p. 18-23, p. 32-44, dez. 2016.

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2011.

ARDUBOTICS. Ardubotics. **Oficina na linha seguidor, sensor de obstáculo, robô controlado por voz, robô controlado por smartphone android**. (2015). Disponível em:< <https://ardubotics.eu/en/sensors-/1845-reed-switch-214-mka-10110-10-15at-magnetic-sensor-no-spst-contact-reed-switches.html>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

ASHLEY, Steven. Rapid prototyping systems. **Mechanical Engineering**, v. 113, n. 4, p. 34, 1991.

BAR-COHEN, Yoseph. **Advances in Manufacturing and Processing of Materials and Structures**. CRC Press, 2018.

BATOCCHIO, Antônio. Planejamento do Processo e de Célula de Manufatura. **São Paulo: Ed. Universidade Estadual de Campinas**, 1992.

BLAINSKI, Éverton; GARBOSSA, Luis Hamilton Pospissil; ANTUNES, Eduardo Nathan. Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação. **Florianópolis: Epagri**, 2012.

BLETZINGER, Kai-Uwe; RAMM, Ekkehard. Structural optimization and form finding of light weight structures. **Computers & Structures**, v. 79, n. 22-25, p. 2053-2062, 2001.

BRAGA, S.M.; BRAGA, A.S.; FERNANDES, C.V.S; SANTOS, I. Avaliação da performance de pluviômetros de báscula: sub-medição durante eventos extremos e novos esquemas de medição. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2., 2008, Porto Alegre. Anais.Rio de Janeiro: ABRH, 2008. p. 1-17.

CALDER, I. R.; KIDD, C. H. R. A note on the dynamic calibration of tipping-bucket gauges. **Journal of Hydrology**, v. 39, n. 3-4, p. 383-386, 1978.

CASTRO, LHR de; MOREIRA, A. M.; ASSAD, E. D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. **coord.) Chuvas no cerrados: análise e espacialização. Brasília: Embrapa, CPAC**, p. 13-23, 1994.

CHUA, Chee Kai et al. Rapid prototyping assisted surgery planning. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 14, n. 9, p. 624-630, 1998.

COOPER, Kenneth. **Rapid prototyping technology: selection and application.** CRC press, 2001.

DA SILVA, A. O. et al. Evapotranspiração de referência para dimensionamento de sistemas de irrigação em petrolina, pe/reference evapotranspiration for design of irrigation systems in petrolina, brazil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 1, p. 30-38, 2015.

DE OLIVEIRA SANCHES, Fabio; VERDUM, Roberto; FISCH, Gilberto. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, p. 214-228, 2013.

EDWARDS, C. A. Macroarthropods. In: Biology of plant litter decomposition, vol. 2, ed. By C. H. Dickinson and G. J. F. Pugh. Academic. Press, London and New York. Pp. 533-554, 1974.

FERREIRA, E. P. M., Soares, P. H. F., de Lima Reda, A. L., Duro, M. A. S., Cymrot, R., & Crivelari, R. M. Metodologia para corrigir dados de pluviômetros automáticos comerciais antes da sua publicação: um estudo de caso. 2017.

FIELDING, Gary A.; BANDYOPADHYAY, Amit; BOSE, Susmita. Effects of silica and zinc oxide doping on mechanical and biological properties of 3D printed tricalcium phosphate tissue engineering scaffolds. **Dental Materials**, v. 28, n. 2, p. 113-122, 2012.

GIBSON, Ian; KVAN, Thomas; MING, Ling Wai. Rapid prototyping for architectural models. **Rapid prototyping journal**, 2002.

HOLLISTER, S. J. "Porous scaffold design for tissue engineering," *Nature Materials*, vol. 4, no. 7, pp. 518–524, 2005.

IMETRO. Guia para a Expressão de Incerteza de Medição. GUM 2008. Rio de Janeiro; IMMETRO; 2012.

JAMES, Walter J. et al. Correction of congenital malar hypoplasia using stereolithography for presurgical planning. **Journal of oral and maxillofacial surgery**, v. 56, n. 4, p. 512-517, 1998.

KRUTH, Jean-Pierre. Material in excess manufacturing by rapid prototyping techniques. **CIRP annals**, v. 40, n. 2, p. 603-614, 1991.

MAKOVEC, R. "Digital technologies in dental laboratories," Annals of DAAAM & Proceedings, p. p1579, 2010.

MANSANO, M.V. Calibração de Pluviômetros Basculantes: Metodologia prática e numérica para análises de dados. 2015. 34 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico-2ª edição: Tudo sobre o popular microcontrolador Arduino**. Novatec Editora, 2015.

MELO JUNIOR, J. C. F., SEDIYAMA, G. C., FERREIRA, P. A. ; LEAL, B. G.; MINUSI, R. B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.417-425, abr./jun. 2006.

MÉNDEZ, Dr. Alcides Juan León al et. Coleta de chuva com registradores de cuvetes e seu pós-processamento. Havana, 2013.

MILANESI, Marcos Alexandre; ALVES, Rogério Rozolen; GALVANI, Emerson. Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 2251-2261, 2017.

NOORANI, Rafiq. Rapid prototyping: principles and applications. 2006.

OKI, Sensor Device Corporation. OKI sensor device: Reed switch databook. Japão, set. 2010.

OLIVEIRA, AS de. Fundamentos de Meteorologia e Climatologia. **Cap XI: Precipitação Pluviométrica, NEAS-UFRB**, 2007.

PINHEIRO, Adilson et al. Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de Báscula. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 16, n. 1, p. 38-44, 2015.

PRASAD, Diwakar. Additive Manufacturing-A Brief Foray into the Advancements in Manufacturing Technologies. **International Journal of Advance Industrial Engineering**, v. 3, n. 3, p. 115-119, 2015.

REDA, Alexandre Gurfinkel; UEHARA, Daniel Massashi; REDA, ALL. Pesquisa de graduação: calibração dos erros de medição de pluviômetro automático de básculas para chuvas intensas no Brasil. In: **Anais: XXXVI COBENGE-Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, EE Mauá e EPUSP: São Paulo, SP**. p. 09-12. 2008.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de balança utilizados em estações meteorológicas automáticas. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 301-304. 2002.

SILVA, Nadison Francisco da et al. Desenvolvimento de um pluviômetro automático de baixo custo utilizando material reutilizável para internet das coisas. 2018.

SILVA, Saionara da et al. **Os 5 R'S da sustentabilidade**. Santa Maria, 2017. (FERREIRA et al., 2017;

TAYLOR, André D. et al. Inkjet printing of carbon supported platinum 3-D catalyst layers for use in fuel cells. *Journal of Power Sources*, v. 171, n. 1, p. 101-106, 2007.

TEIXEIRA, Claudia Fernanda Almeida et al. Intensidade da seca utilizando índices de precipitação. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 3, p. 203-213, 2013.

TUCCI, Carlos E. M.; (Org) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. Ed. Porto Alegre, RS: UFRGS Ed., 2004. 943p.

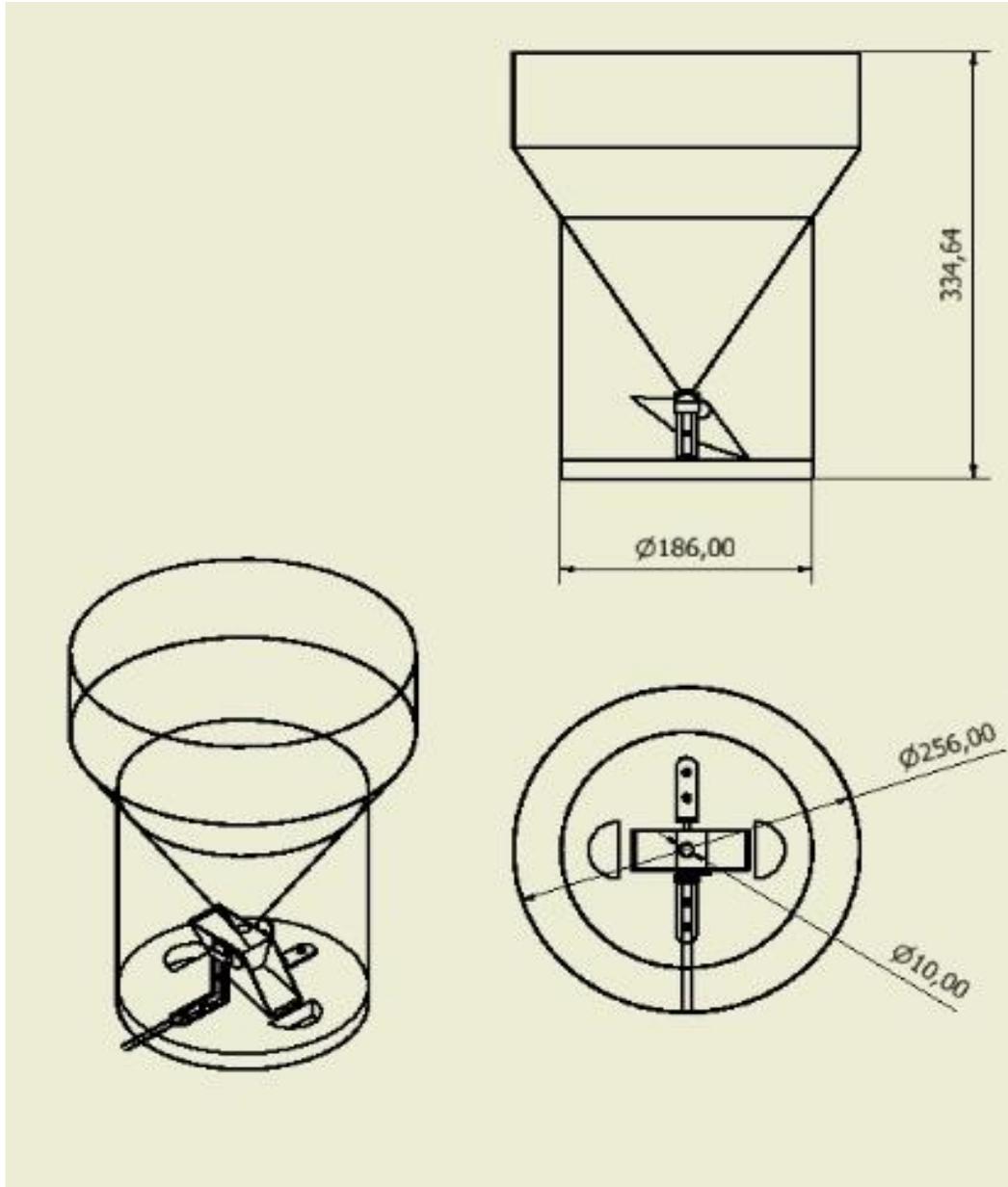
VAN NOORT, Richard. The future of dental devices is digital. *Dental materials*, v. 28, n. 1, p. 3-12, 2012.

VASVARI, Vilmos. Calibration of tipping bucket rain gauges using the example of the urban research area of the city Graz. In: **Preprints of the 6th International Workshop on Precipitation in Urban Areas**, 2003.

WILLIAMS, Alan. Architectural modelling as a form of research. **Arq: Architectural Research Quarterly**, v. 6, n. 4, p. 337-347, 2002.

WONG, Kaufui V.; HERNANDEZ, Aldo. A review of additive manufacturing. **ISRN Mechanical Engineering**, v. 2012, 2012.

ANEXO I  
VISTAS DO PLUVIÔMETRO



## ANEXO II

### CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO

```
#include<LiquidCrystal.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include "RTClib.h"

RTC_DS1307 rtc;
int sensor = 2;
volatile int cont =0;
volatile int cont_ant =0;
float altura;
const int chipSelect = 10;

//Define os pinos que serão utilizados para ligação ao display
LiquidCrystal lcd(12, 11, 6, 5, 4, 3);

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  if (! rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
  }
  Serial.print("Initializing SD card...");
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    while (1);
  }
  Serial.println("card initialized.");

  pinMode(sensor,INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2),interrupcao,FALLING);
}

void loop(){
  int estado = digitalRead(sensor);
  DateTime time = rtc.now();
  String dataString = "";
  //Serial.println(estado);
```

```

altura = (float) cont*0.2636;
Serial.print("Altura pluviométrica (mm)");
Serial.println(altura,4);

// lcd.setCursor(0, 0);
// lcd.print("h = ");
// lcd.setCursor(4, 0);
// lcd.print(altura);
// lcd.setCursor(14, 0);
// lcd.print("mm");
// lcd.setCursor(0, 1);

if (cont_ant != cont){
  dataString = String("Registro:\t")+time.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_FULL);
  dataString += " Altura: ";
  dataString += String(altura,4);
  dataString += " mm ";
  File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    dataFile.println(dataString);
    dataFile.close();
    Serial.println(dataString);

  }
  else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
  }
}
cont_ant=cont;
}

void interrupcao(){
  cont=cont+1;
  Serial.println(cont);
  delayMicroseconds(16383);
}

```