



**Universidade de Brasília – UnB**  
**Faculdade UnB Gama – FGA**  
**Projeto Integrador de Engenharia 2**

## **Sistema Portátil de Irrigação por Aspersão Automatizado**

**Professores:** Alex Reis, Guillermo Alvarez, Ricardo Chain,  
Rhander Viana e Sébastien Rondineau

**Brasília, DF**

**2019**



Arthur Faria, Bruna Pinos, Davi de Alencar, Dhiemerson S. Amorim, Fábio  
Barbosa, Guilherme Augusto, Guilherme Guimarães, Josué Bonfim, João  
Victor, Marcos Paulo, Rafael Marques, Thiago Miranda, Vitor Falcão

## **Sistema Portátil de Irrigação por Aspersão Automatizado**

Relatório técnico referente ao projeto Sistema Portátil de Irrigação por Aspersão Automatizado, no âmbito da disciplina Projeto Integrador de Engenharia 2.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Alex Reis, Guillermo Alvarez, Ricardo Chain, Rhander Viana  
e Sébastien Rondineau

Brasília, DF

2019

---

Arthur Faria, Bruna Pinos, Davi de Alencar, Dhiemerson S. Amorim, Fábio Barbosa, Guilherme Augusto, Guilherme Guimarães, Josué Bonfim, João Victor, Marcos Paulo, Rafael Marques, Thiago Miranda, Vitor Falcão

Sistema Portátil de Irrigação por Aspersão Automatizado/ Arthur Faria, Bruna Pinos, Davi de Alencar, Dhiemerson S. Amorim, Fábio Barbosa, Guilherme Augusto, Guilherme Guimarães, Josué Bonfim, João Victor, Marcos Paulo, Rafael Marques, Thiago Miranda, Vitor Falcão. – Brasília, DF, 2019-

127 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Projeto Integrador 2 – Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade UnB Gama – FGA , 2019.

1. Sprinkler. 2. Irrigador. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Sistema Portátil de Irrigação por Aspersão Automatizado

# **Lista de ilustrações**

Figura 1 – Aspersor irrigando um jardim (CONSTRUINDODECOR, 2016) . . . . .	18
Figura 2 – Exemplo de sistema de irrigação por aspersão (FERREIRA, 2015) . . . . .	18
Figura 3 – Features dispostas de acordo com Épicos - Sistema de Software . . . . .	23
Figura 4 – Histórias de Usuário - Sistema de Software . . . . .	23
Figura 5 – Caso de Uso - WebApp . . . . .	24
Figura 6 – Carro plataforma a ser usado para transporte de equipamentos Fonte (LEROY..., 2019) . . . . .	29
Figura 7 – Proposta de adaptação da plataforma de madeira. . . . .	30
Figura 8 – Modelo em CAD da central de comando do sistema de irrigação . . . . .	31
Figura 9 – Partes inferior (à esquerda) e superior (à direita) da central de comando	32
Figura 10 – Modelo em CAD do módulo medidor do sistema de irrigação . . . . .	33
Figura 11 – Partes inferior (à esquerda) e superior (à direita) do módulo medidor .	34
Figura 12 – Propriedades Fonte (PROPRIEDADES..., 2019) . . . . .	35
Figura 13 – Qualidade da malha da estrutura metálica . . . . .	35
Figura 14 – Detalhes da malha da estrutura . . . . .	36
Figura 15 – Deformação total . . . . .	37
Figura 16 – Tensão normal . . . . .	37
Figura 17 – Teste de convergência para a deformação . . . . .	38
Figura 18 – Tipos de perdas de carga hidráulica . . . . .	39
Figura 19 – Curva de Canalização do Sistema . . . . .	40
Figura 20 – Layout - Aspersor Sempre Verde . . . . .	41
Figura 21 – Layout - Aspersor Tramontina . . . . .	42
Figura 22 – Comparativo Aspersores . . . . .	43
Figura 23 – Aspersor Tramontina . . . . .	44
Figura 24 – Curva de Desempenho Shuffle 8000 . . . . .	45
Figura 25 – Curva de Desempenho da Bomba Singflo FL-3203 . . . . .	45
Figura 26 – Curva de Desempenho da Bomba Anauger P100 . . . . .	46
Figura 27 – Curva de Desempenho da Bomba Claw Apm75 . . . . .	47
Figura 28 – Inversor de Frequência - CFW100 . . . . .	49
Figura 29 – Válvula Borboleta com Atuador Elétrico . . . . .	50
Figura 30 – Diagrama Monofásico . . . . .	51
Figura 31 – Quadro Elétrico IP-54 . . . . .	52
Figura 32 – Circuito divisor de tensão . . . . .	56
Figura 33 – Sensor de Fluxo YF-S201B . . . . .	57
Figura 34 – Esquemático do Circuito de Alimentação para o controle do Sistema de Atuadores . . . . .	59

Figura 35 – Tela Inicial da Central de Controle . . . . .	60
Figura 36 – Tela dos Módulos Medidores . . . . .	60
Figura 37 – Tela dos Sistema de Atuadores . . . . .	61
Figura 38 – Esquemático para aplicação típica de Fonte 5V 3A com LM2576 . . . . .	62
Figura 39 – Esquemático para produção do Layout da PCB . . . . .	62
Figura 40 – <i>MultiCeiver<sup>TM</sup></i> em topologia de rede estrela para até 6 dispositivos PTX	65
Figura 41 – Diagrama de blocos NRF24L01. Fonte: (NORDICSEMICONDUTOR, 2008) . . . . .	66
Figura 42 – Formatação de Pacote - Enhanced ShockBurst <sup>TM</sup> . Fonte: (NORDICSEMICONDUTOR, 2008) . . . . .	67
Figura 43 – Diagrama de Blocos do Sistema Eletrônico . . . . .	71
Figura 44 – Esquemático do Circuito para Central de Controle . . . . .	73
Figura 45 – Esquemático do Circuito para Central de Comando do Sistema de Atuadores . . . . .	74
Figura 46 – Esquemático do Circuito para os Módulos Medidores . . . . .	75
Figura 47 – Representação da arquitetura Mestre-Escravo com várias centrais . . . . .	77
Figura 48 – Representação da arquitetura de microsserviços . . . . .	78
Figura 49 – Exemplo de gráficos gerados pelo Kibana (TAIS..., 2017) . . . . .	79
Figura 50 – Diagrama de Arquitetura - Sistema de Software . . . . .	80
Figura 51 – Diagrama de Banco de Dados - Diagrama Entidade-Relacionamento . . . . .	80
Figura 52 – Diagrama de Banco de Dados - Diagrama Lógico . . . . .	81
Figura 53 – Protótipo da tela de Login - Irri . . . . .	81
Figura 54 – Protótipo da tela de Cadastro - Irri . . . . .	82
Figura 55 – Protótipo da tela de Central - Irri . . . . .	82
Figura 56 – Protótipo da tela de Zonas - Irri . . . . .	83
Figura 57 – Protótipo da tela de Zonas e Informações - Irri . . . . .	83
Figura 58 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 1 . . . . .	105
Figura 59 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 2 . . . . .	106
Figura 60 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 3 . . . . .	107
Figura 61 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 4 . . . . .	107
Figura 62 – Estrutura Analítica do Projeto Irri . . . . .	108
Figura 63 – Cronograma - Ponto de Controle 1 . . . . .	109
Figura 64 – Cronograma - Ponto de Controle 2 . . . . .	110
Figura 65 – Cronograma - Ponto de Controle 2 (Continuação) . . . . .	110
Figura 66 – Cronograma - Ponto de Controle 3 . . . . .	111
Figura 67 – Cronograma - Ponto de Controle 4 . . . . .	111
Figura 68 – Cronograma - Ponto de Controle 4 (Continuação) . . . . .	111
Figura 69 – Softgoal Interdependency Graph - Sistema de Software . . . . .	120
Figura 70 – Diagrama de Sequência - Sistema de Software . . . . .	122

Figura 71 – Arquitetura geral do sistema . . . . .	124
Figura 72 – Arquitetura Distribuída do sistema . . . . .	125
Figura 73 – Arquitetura de microserviços . . . . .	125
Figura 74 – Logo Django . . . . .	126
Figura 75 – Fluxo arquitetural do Django . . . . .	126

# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Espaçamento do aspersores em função da velocidade do vento (EM-BRAPA, 1983) . . . . .	15
Tabela 2 – Microcontroladores Avaliados . . . . .	68
Tabela 3 – Matriz de decisão para processador dos Módulos Medidores . . . . .	69
Tabela 4 – Matriz de decisão para processador da Central . . . . .	70
Tabela 5 – Matriz de decisão para processador da Central . . . . .	70
Tabela 6 – Custos preliminares . . . . .	86
Tabela 7 – Riscos . . . . .	89
Tabela 8 – Riscos . . . . .	102
Tabela 10 – Lista É/Não é . . . . .	112

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>PROBLEMÁTICA</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Justificativa</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>13</b>
2.2.1	Objetivos Gerais	13
2.2.2	Objetivos Específicos	13
<b>2.3</b>	<b>Dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão</b>	<b>13</b>
2.3.1	Influência do clima	14
2.3.2	Influência do vento	14
2.3.3	Descrição do sistema	15
2.3.3.1	Componentes do sistema	15
2.3.3.2	Motobomba	15
2.3.3.3	Tubulações	16
2.3.3.4	Aspersores	16
2.3.3.5	Dispositivos acessórios	18
<b>3</b>	<b>REQUISITOS</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Requisitos do Sistema</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Requisitos dos Subsistemas</b>	<b>19</b>
3.2.1	Requisitos Estruturais	19
3.2.2	Requisitos de Engenharia de Energia	20
3.2.3	Requisitos de Engenharia Eletrônica	20
3.2.4	Requisitos de Engenharia de Software	22
3.2.4.1	Backlog do Produto	23
3.2.4.2	Requisitos não-funcionais	24
<b>4</b>	<b>PREMISSAS E RESTRIÇÕES</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Premissas</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Restrições</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>SOLUÇÃO</b>	<b>26</b>
<b>5.1</b>	<b>Escopo</b>	<b>26</b>
<b>5.2</b>	<b>Lista É/Não é</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>SOLUÇÃO ESTRUTURAL</b>	<b>28</b>
<b>6.1</b>	<b>Plataforma móvel</b>	<b>28</b>

<b>6.2</b>	<b>Central de comando</b>	<b>30</b>
<b>6.3</b>	<b>Módulos medidores</b>	<b>32</b>
<b>6.4</b>	<b>Processos de fabricação das peças</b>	<b>34</b>
6.4.1	Escolha do PETG para a impressão 3D	34
<b>6.5</b>	<b>Simulação Estrutural</b>	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>SOLUÇÃO DE ENERGIA</b>	<b>39</b>
<b>7.1</b>	<b>Solução Hidráulica</b>	<b>39</b>
7.1.1	Cálculo da Altura Manométrica	39
7.1.2	Escolha dos Aspersores	40
7.1.3	Escolha da Bomba Hidráulica	44
<b>7.2</b>	<b>Solução de Alimentação e Controle da Bomba Hidráulica</b>	<b>47</b>
7.2.1	Alimentação por Sistema Fotovoltaico Offgrid	47
7.2.2	Controle de vazão para a Bomba Hidráulica	48
7.2.2.1	Controle da Rotação	48
7.2.2.2	Estrangulamento de Válvula	49
7.2.2.3	Círculo de Força	50
<b>8</b>	<b>SISTEMA ELETRÔNICO</b>	<b>53</b>
<b>8.1</b>	<b>Módulos Medidores</b>	<b>53</b>
8.1.1	Sensor de Temperatura	53
8.1.2	Sensor de Umidade	54
8.1.3	Carga da Bateria	55
<b>8.2</b>	<b>Sistema de Atuadores</b>	<b>56</b>
8.2.1	Sensoriamento do Gasto Hídrico	56
8.2.2	Sensoriamento do Nível do Reservatório	57
8.2.3	Círculo de Alimentação	58
<b>8.3</b>	<b>Central de Controle</b>	<b>59</b>
8.3.1	Interface da Central de Controle via Ecrã Tátil	60
8.3.2	Círculo de Alimentação da Central de Controle	61
<b>8.4</b>	<b>Sistema de Comunicação</b>	<b>62</b>
8.4.1	Definição de Protocolo para a Rede Estrela	63
8.4.2	Círculo do Transceptor NRF24L01	64
8.4.3	Caracterização do Transceptor RF	65
<b>8.5</b>	<b>Processamento</b>	<b>68</b>
8.5.1	Módulos Medidores	69
8.5.2	Atuadores	69
8.5.3	Central	70
<b>8.6</b>	<b>Funcionamento de Geral da Solução Eletrônica</b>	<b>71</b>
8.6.1	Diagrama de Blocos do Sistema Eletrônico	71

<b>8.7</b>	<b>Esquemático dos Circuitos</b>	<b>73</b>
8.7.1	Central de Controle	73
8.7.2	Sistema de Atuadores	74
8.7.3	Módulos Medidores	74
<b>9</b>	<b>SISTEMA DE SOFTWARE</b>	<b>76</b>
<b>9.1</b>	<b>Representação arquitetural preliminar</b>	<b>76</b>
9.1.1	Mestre-Escravo	76
9.1.2	Microsserviços	76
<b>9.2</b>	<b>Solução Arquitetural</b>	<b>79</b>
9.2.1	Documento de Arquitetura	79
9.2.2	Diagrama de Classes	79
9.2.3	Diagrama de Sequência	80
9.2.4	Diagrama de Banco de Dados	80
9.2.5	Interface com usuário	81
9.2.6	Protocolos de Comunicação	83
9.2.6.1	Protocolo de Comunicação entre o Serviço Central e a Central Controladora	84
9.2.6.2	Protocolo de Comunicação entre os microsserviços e o Serviço Central	84
<b>10</b>	<b>CUSTOS</b>	<b>86</b>
<b>11</b>	<b>RISCOS</b>	<b>87</b>
<b>11.1</b>	<b>Análise quantitativa dos Riscos</b>	<b>87</b>
<b>11.2</b>	<b>Planejamento de Respostas dos Riscos</b>	<b>88</b>
11.2.1	Riscos Negativos	88
11.2.1.1	Prevenção	88
11.2.1.2	Transferência	88
11.2.1.3	Mitigação	88
11.2.1.4	Aceitação	88
<b>11.3</b>	<b>Descrição dos Riscos</b>	<b>89</b>
<b>12</b>	<b>CONSIDERAÇÕES</b>	<b>96</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>97</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO</b>	<b>101</b>
<b>A.1</b>	<b>Descrição do Projeto</b>	<b>101</b>
<b>A.2</b>	<b>Propósito e Justificativa</b>	<b>101</b>

<b>A.3</b>	<b>Objetivos</b>	101
<b>A.4</b>	<b>Requisitos</b>	101
<b>A.5</b>	<b>Riscos</b>	102
<b>A.6</b>	<b>Marcos do Projeto</b>	103
<b>A.7</b>	<b>Partes Envolvidas</b>	104
<b>A.8</b>	<b>Gerência</b>	104
<b>APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO</b>		105
<b>B.1</b>	<b>Estrutura Analítica por ponto de controle</b>	105
<b>APÊNDICE C – CRONOGRAMA</b>		109
<b>C.1</b>	<b>Cronograma de Tarefas</b>	109
<b>APÊNDICE D – LISTA É/NÃO É</b>		112
<b>APÊNDICE E – DESENHOS TÉCNICOS DA ESTRUTURA</b>		113
<b>APÊNDICE F – SOLUÇÃO DE SOFTWARE</b>		120
<b>F.1</b>	<b>Softgoal Interdependency Graph</b>	120
<b>F.2</b>	<b>Diagrama de Sequência</b>	122
<b>APÊNDICE G – DOCUMENTO DE ARQUITETURA</b>		123
<b>G.1</b>	<b>Introdução</b>	123
<b>G.1.1</b>	<b>Finalidade</b>	123
<b>G.1.2</b>	<b>Escopo</b>	123
<b>G.1.3</b>	<b>Visão Geral</b>	123
<b>G.1.4</b>	<b>Definições, Acrônimos e Abreviações</b>	124
<b>G.2</b>	<b>Representação da Arquitetura</b>	124
<b>G.2.1</b>	<b>Diagrama de Relações</b>	124
<b>G.2.2</b>	<b>Tecnologias</b>	126
<b>G.2.2.1</b>	<b>Django</b>	126
<b>G.2.2.2</b>	<b>VueJS</b>	126
<b>G.2.2.3</b>	<b>Quasar</b>	127
<b>G.3</b>	<b>Metas e Restrições de Arquitetura</b>	127

# 1 Introdução

O Cerrado, conhecido também como Savana Brasileira, é o segundo maior bioma do Brasil, abrangendo uma área de mais de 1,5 milhões de  $km^2$ . O bioma é composto por vários ecossistemas, tais como cerrado, cerradão, campestre, floresta de galeria e cerrado rupestre. (KLINK; MACHADO, 2005)

O solo do Cerrado geralmente é profundo, azonados, avermelhados ou vermelho amarelado, porosos, permeáveis e bem drenados, portanto, são desgastados. O teor de matéria orgânica é baixo, entre 5 a 3%. É bastante ácido, com pH numa média de 4 a 5 e está associada a alta concentração de íons  $Al^{3+}$ ,  $Fe$  e  $Mn$ . (ANDRADE; STONE, 2009)

Seu clima predominante é o Tropical Sazonal, com inverno seco. A média da temperatura anual é de 25°C, podendo chegar a 40°C nos meses de agosto e setembro e a 10°C. A precipitação anual está em média entre 1200mm e 1800mm com estação chuvosa entre meados da primavera e meados do outono, sendo dezembro e janeiro os meses mais chuvosos. O período de estiagem compreende os meses de maio a setembro, onde o índice pluviométrico pode chegar a zero. Para que seja possível o plantio, é necessário uso de adubagem e irrigação.

Irrigação é o conjunto de técnicas pela qual é possível o deslocamento de água no tempo e no espaço para a transformação das possibilidades agrícolas de uma área, visando corrigir a distribuição natural das chuvas. (BERNARDO, 1989)

Constituindo uma técnica que proporciona alcançar a máxima produção, em complementação às demais práticas agrícolas, a irrigação tem sido alvo de considerável interesse, principalmente nas regiões Nordeste e Centro-Sul do Brasil. De fundamental importância para a produção agrícola em regiões áridas, a irrigação vinha sendo constantemente relegada a um plano inferior nas regiões onde, sob certas condições, a precipitação natural permitia que as culturas se desenvolvessem e produzissem normalmente. (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000)

Sendo assim, o presente estudo busca a construção de um sistema automatizado e instrumentado portátil que realize a irrigação a partir dos dados de umidade do solo, temperatura sob a superfície e umidade do ar de maneira otimizada.

## 2 Problemática

O sistema atual empregado para realizar a irrigação do gramado da Universidade de Brasília Campus Gama é o método por aspersão tratado de forma simples, . Esse método é realizado de forma pontual por meio de gotas que caem diretamente sobre o solo.

A técnica atual empregada é altamente recomendável para áreas em que é necessário assegurar que as plantas naquele local recebam água suficiente durante toda a sua vida([CONSTRUINDODECOR, 2016](#)).

Sendo assim, o atual sistema empregado para realizar a irrigação de forma eficiente do gramado se mostra ineficiente. Isso porque, a técnica utilizada não atende de forma uniforme e controlada.

Logo, se faz necessário a utilização do método por aspersão, este por sua vez é uma técnica em que é feita a divisão de um ou mais jatos de água em uma grande quantidade de pequenas gotas no ar, estas caem sobre o solo como uma chuva artificial ([IRRIGAÇÃO, 2016](#)).

Portanto, para cobrir uma área em torno de  $400m^2$  o método por aspersão se mostra altamente eficiente, dado que este método não necessita de um processo de sistematização do terreno, disponibilidade de irrigar uma maior área além de não causar erosão no solo([IRRIGAÇÃO, 2016](#)).

Dado isso, o sistema de irrigação por aspersão portátil, aqui proposto, vem solucionar a falta de controle da irrigação do gramado. Por meio de um sistema integrado, objetiva-se obter dados do solo, umidade e temperatura a fim de proporcionar uma irrigação automatizada minimizando custos a longo prazo e o bom desenvolvimento do gramado.

### 2.1 Justificativa

O projeto foi concebido com o objetivo de elevar a eficiência do sistema de irrigação do Campus Gama da Universidade de Brasília (UnB), promovendo a criação de um sistema portátil e automatizado de irrigação por aspersão.

A técnica de irrigação atualmente empregada no Campus consiste na irrigação por microaspersão, através de mangueiras semelhantes à fitas com pequenos furos, realizados à laser, produzindo microjatos de água que regam de maneira uniforme, diretamente relacionado com o raio de alcance de cada mangueira. ([SANTENO, 2019](#))

Apesar da facilidade de montagem e do baixo custo, é necessário haver um monitoramento controlado para evitar o desperdício de água e a danificação do plantio e do solo. (?) Além disso, em áreas abertas com ventos muito fortes e com diversos fatores climáticos, existe a tendência de haver perda de água na área a ser irrigada, pois não há uma maneira viável de evitar tais contratempos. (RADAELLI, 2016)

Com a realização do projeto proposto, será implementado um sistema de irrigação por aspersão capaz de irrigar uma área de aproximadamente 400 m do gramado do Campus, o qual permite que seja efetuada uma irrigação homogênea e eficaz do terreno, sem qualquer necessidade de interferência manual ou mudança de posição dos aspersores, através da automatização deste processo, levando em conta todos os fatores climáticos adversos.

Logo, o projeto tem como princípio estabelecer uma solução para reduzir os gastos com água na irrigação do Campus, além de evitar o gasto desnecessário de tempo e mão de obra neste processo.

## 2.2 Objetivos

### 2.2.1 Objetivos Gerais

O projeto traz a solução para o uso equivocado de água da irrigação através do monitoramento e da automatização do processo de irrigação, agendando e tomando decisões autônomas, a partir de dados coletados pelos módulos medidores. Evitando assim, o uso escasso ou excessivo de água para os casos de uso de irrigação por aspersão.

### 2.2.2 Objetivos Específicos

- Irrigar uma área de aproximadamente  $400m^2$  composta por grama e vegetações rasteiras nas proximidades do UnB-Campus Gama.
- Integrar dados coletados com fontes externas provendo garantindo uma melhor tomada de decisão no processo de irrigação.
- Prover uma base de dados sólida para *BI*.
- Fomentar soluções inteligentes para o UnB - Campus Gama.

## 2.3 Dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão

Segundo (SOARES, 1986) o dimensionamento de um sistema de irrigação por aspersão deve ser fundamentado em dados tais como: cultura do terreno, características

físico-hídricas do solo, quantidade e qualidade da água disponível para a irrigação, clima e topografia. Fatores econômicos e de manejo do terreno também devem ser considerados, a exemplo da eficiência de aplicação, práticas culturais, tempo disponível para irrigação, entre outros.

### 2.3.1 Influência do clima

Em um bioma tão extenso como o cerrado, deve-se atentar às diferentes variáveis que podem interferir na eficiência do processo de irrigação por aspersão. Dentre essas variáveis estão a temperatura e a umidade do ar, que facilitam o processo de evaporação das gotas de água, que por sua vez acarretam na perda de eficiência do sistema.

O cerrado é um bioma onde predomina o clima seco, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, características que afetam negativamente o sistema de irrigação por aspersão, porém pode-se fazer uma análise das condições climáticas no local de irrigação, com o objetivo de minimizar as perdas por fatores ambientais.

Através de registros climáticos encontrados facilmente na internet, pode-se fazer tal análise em busca do período ideal de irrigação. Outro aspecto importante ao considerar esse tipo de irrigação é o tipo de solo. A Região Administrativa do Gama apresenta solos, em sua maioria, ácidos e com baixa fertilidade, predominando solos com horizonte B dos tipos câmbico, latossólico e textual([GEOGRAFIAGAMA, 2014](#))

Em geral esse tipo de solo de cerrado apresenta uma boa taxa de infiltração no solo, sendo adequado a utilização da irrigação por aspersão.

### 2.3.2 Influência do vento

A velocidade e a direção de incidência do vento em relação ao eixo de deslocamento do aspersor são variáveis importantes para definir o espaçamento que esses deverão estar um dos outros. Pois, os aspersores aplicam mais água perto dele do que na periferia de sua área molhada, sendo assim, surge a necessidade de planejar a distância dos aspersores a fim que ocorra uma sobreposição entre um jato de um e outro adjacente ([EMBRAPA, 1983](#))

O objetivo desta sobreposição é obter uma uniformidade de distribuição, para isso é preciso conhecer a velocidade do vento para realizar de forma adequada o dimensionamento.

A Tabela 1 abaixo retrata a velocidade do vento em função do espaçamento que os aspersores devem ser alocados.

Tabela 1 – Espaçamento do aspersores em função da velocidade do vento ([EMBRAPA, 1983](#))

<b>Velocidade do vento (Km/h)</b>	<b>Espaçamento dos aspersores menor que</b>
Pouco ou nenhum vento	65% do diâmetro do jato
Até 9,5	60% do diâmetro do jato
Até 12,5	50% do diâmetro do jato
Acima de 12,5	40% do diâmetro do jato

De posse do alcance do jato, fornecido pelo fabricante, taxa de aplicação, pressão e espaçamento obtém-se os aspersores fornecidos pelo fabricante ([EMBRAPA, 1983](#)).

Em suma, para diminuir os efeitos do vento é preciso diminuir o espaçamento entre os aspersores acarretando no aumento da uniformidade de distribuição e consequentemente no aumento da precipitação.

Além disso, pesquisas indicam que quando a incidência do vento passa de perpendicular para paralelo os efeitos prejudiciais da velocidade do vento aumentam ([CONSTRUINDODECOR, 2016](#)).

### 2.3.3 Descrição do sistema

#### 2.3.3.1 Componentes do sistema

O sistema de irrigação por aspersão convencional é constituído essencialmente por quatro componentes principais, são eles: O conjunto motobomba, as tubulações, os aspersores e os dispositivos acessórios. Cada um desses componentes desempenham funções específicas dentro do sistema como um todo, as quais serão descritas a seguir.

#### 2.3.3.2 Motobomba

No que diz respeito à irrigação por aspersão, são majoritariamente utilizadas as bombas centrífugas de eixo horizontal. Estas, por sua vez, detêm a função de captar a água advinda da fonte ou reservatório para o suprimento do sistema de aspersores ([KNIES, 2010](#)). Um motor é também acoplado à bomba para a transferência de potência, podendo o mesmo ser elétrico ou à combustão.

Para o perfeito funcionamento do sistema de irrigação, o conjunto motobomba deve ser dimensionado de modo que haja vazão suficiente ao sistema à altura manométrica requerida, isto é, fornecendo a pressão correta na água que escorre pelas tubulações. Em sistemas que utilizam a gravidade para auxiliar no aumento de pressão, a altura de

elevação da água, desde a fonte até a área a ser irrigada, compreende um dos fatores primordiais associados à redução do consumo de energia, uma vez que, quanto mais elevada a altura do manancial, menor será o consumo de energia do motor para pressurizar a água nos condutos. Com isso o sistema se beneficiará com o aumento da eficiência energética.

### 2.3.3.3 Tubulações

As tubulações nesses sistemas detém a função de conduzir a vazão necessária desde o conjunto motobomba até os aspersores, e são classificadas de acordo com sua distribuição no terreno em: linha principal, linhas secundárias e linha lateral.

Linha principal: Consiste na tubulação responsável por conduzir a água bombeada pela conjunto motobomba até as linhas secundárias ([KNIES, 2010](#)) .O material que a constitui é escolhido de acordo com a dimensão do módulo (terreno) irrigado, bem como o grau de mobilidade dessa tubulação. Em sistemas de tamanho reduzido, a tubulação é geralmente móvel, sendo comumente empregados tubos de alumínio, aço galvanizado ou PVC rígido, dotados de engate rápido. Em projetos de irrigação de grande escala, por outro lado, podem ser utilizados tubos de ferro fundido, aço, cimento amianto, etc ([SOARES, 1986](#)).

Linhas secundárias e lateral: As linhas laterais compreendem as tubulações que levam a água até os aspersores, alimentadas pelas linhas secundárias ou pela linha principal. As linhas secundárias, por sua vez, são alimentadas pela linha principal e a instalação delas entre a linha principal e as linhas laterais é opcional, e fica a critério de quem efetuará o dimensionamento da irrigação. De um modo geral, essas tubulações apresentam elevada mobilidade, com o objetivo de haver redução de custos e investimentos.

Podem ser constituídas de alumínio, aço galvanizado e PVC rígido, dotados de engate rápido. Os tubos de alumínio são mais leves que os de aço e são resistentes à oxidação, porém são mais caros em relação aos demais. Os tubos de aço galvanizado resistem a pressões maiores (50 atm), mas são mais pesados para o transporte. Os tubos de PVC rígido são leves e altamente portáteis (fáceis de transportar), possuem preços relativamente competitivos em tubos com diâmetro inferior a 4”, não oxidam, porém possuem uma pressão máxima de trabalho de 7,5 atm ([SOARES, 1986](#)).

### 2.3.3.4 Aspersores

Os aspersores compreendem as principais peças do sistema, uma vez que são responsáveis pela distribuição da água sobre o terreno na forma de chuva. Sua classificação é dada de acordo com seu funcionamento, pressão de operação, ângulo de inclinação e número de bocais ([KNIES, 2010](#)), e é descrita a seguir por cada categoria:

Funcionamento:

Rotativos: aspersores de giro completo ( $360^\circ$ ); Setoriais: cobrem apenas uma porção do terreno, oscilando em um ângulo específico definido previamente.

Angulo de inclinação do jato:

Inclinação usual entre  $25^\circ$  e  $30^\circ$ ; Subcopia com ângulo de  $6^\circ$ .

Número de bocais:

Um, dois ou três bocais, com diâmetro variando entre 2 e 30 mm.

Pressão de operação:

Baixíssima pressão - 10 a 100 KPa;

Baixa pressão - 100 a 250 KPa;

Média pressão - 250 a 500 KPa;

Alta pressão - maior que 500 KPa;

Entre os principais fatores de escolha de aspersores, destaca-se a intensidade de precipitação promovida pelos mesmos (decorrente da pressão, diâmetro do bocal e espaçamento). A configuração mais comum do campo a ser irrigado é a retangular, podendo este ser quadrado ou não. A definição do espaçamento entre cada aspersor no terreno se dá conforme as condições de velocidade do vento, sendo na linha 30% a 50% do diâmetro do círculo molhado e até 65% entre as linhas (KNIES, 2010).

O significado e a formulação da intensidade de precipitação, e intensidades média e efetiva são listadas a seguir:

Intensidade de precipitação: Irrigação (chuva) promovida pelo aspersor no tempo, em mm/h. Intensidade de precipitação efetiva: É a irrigação promovida por um único aspersor.

$$I_{EF} = \frac{Q}{A} \frac{m^3/h}{m^2} \rightarrow (mm/h) \rightarrow A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.1)$$

Intensidade de precipitação média: Corresponde à chuva distribuída por uma sistema de irrigação completo (incluindo todos os aspersores).

$$I_{EF} = \frac{Q}{S} \frac{m^3/h}{m^2} \rightarrow (mm/h) \rightarrow S = 1 \times e \quad (2.2)$$



Figura 1 – Aspersor irrigando um jardim (CONSTRUINDODECOR, 2016)

#### 2.3.3.5 Dispositivos acessórios

Os dispositivos acessórios permitem a adaptação do sistema de irrigação por aspersão a qualquer situação topográfica ou de área, de modo a facilitar a montagem de seus componentes (SOARES, 1986). Os mais comuns empregados atualmente consistem no tampão final, haste de subida do aspersor (para o caso de aspersores escamoteáveis), engate rápido para aspersores com válvula de saída, curvas, válvulas de linha, cotovelos de derivação, manômetros, registros de gaveta, derivação em “T”, válvula de retenção, borrachas de vedação, etc (KNIES, 2010).

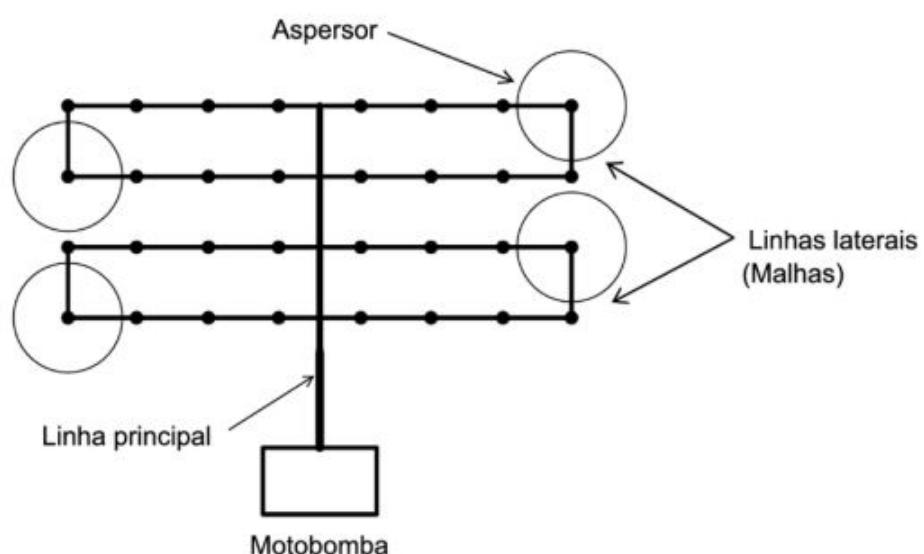


Figura 2 – Exemplo de sistema de irrigação por aspersão (FERREIRA, 2015)

# 3 Requisitos

## 3.1 Requisitos do Sistema

Abaixo estão descritos os requisitos de alto nível do sistema:

- O usuário poderá gerenciar o agendamento da irrigação remotamente.
- O usuário poderá gerenciar as centrais de controle remotamente.
- Os atuadores deverão cobrir a irrigação de toda área planejada.
- O usuário poderá analisar a eficiência da irrigação remotamente.
- O sistema deverá propor ao usuário as condições propícias para a irrigação.
- O sistema deverá ser escalável dentro dos limites impostos em hardware.
- O sistema deverá ser portável.

## 3.2 Requisitos dos Subsistemas

### 3.2.1 Requisitos Estruturais

- A estrutura deve ser capaz de resistir às condições de umidade e temperatura.
- Os elementos sensíveis à água devem ser isolados e protegidos pela estrutura.
- A estrutura deve ser flexível e leve o suficiente para que haja portabilidade
- A estrutura deve permitir uma boa transmissão do sinal para a central de controle.
- A estrutura deve prover uma iluminação de penumbra (baixo consumo).
- A estrutura deve permitir uma boa transmissão do sinal para a central de controle.
- A estrutura deve ser de fácil instalação.
- Os elementos sensíveis à água devem ser isolados e protegidos pela estrutura.
- A estrutura deve ser otimizada para evitar o desperdício de água.
- A estrutura deve ser capaz de resistir ao peso de seus componentes
- A estrutura deve resistir a pressão da água requerida para o funcionamento.
- O consumo de água do sistema deve ser menor que o consumo atual.

### 3.2.2 Requisitos de Engenharia de Energia

- O módulo medidor deve ser alimentado por baterias recarregáveis;
- O módulo deve ter autonomia energética de 5 dias;
- O módulo deve ser alimentado também por uma célula fotovoltaica;
- A central de controle deve ser alimentada por meio de fonte de 5 Volts;
- O sistema de atuadores deve ser alimentado por meio de fonte de 3.3 Volts;
- O sistema de atuadores será alimentado por meio da rede elétrica;
- A bomba hidráulica deve ter vazão volumétrica regulável.

### 3.2.3 Requisitos de Engenharia Eletrônica

A partir do escopo do projeto, foi possível levantar os requisitos dos sistemas eletrônicos, os quais são:

- A central deve controlar os atuadores para irrigação;
- A central deve prover informações em um *display*;
- A central deve ser capaz de exportar dados armazenados;
- A central deverá formatar os dados recebidos dos atuadores;
- A central deve possuir um sistema embarcado;
- A central deve processar as informações provenientes dos módulos de medição;
- A central deve ser capaz de se comunicar com os módulos de medição;
- A central deve ser capaz de se comunicar com a internet;
- A central deve ser capaz de armazenar dados para posterior envio em caso de falha de conexão com a nuvem;
- A central deve ser capaz de detectar falhas de comunicação com os módulos de medição;
- A central deve ser capaz de detectar falhas em sensores nos módulos de medição;
- A central deve ser capaz de detectar falhas de comunicação com os atuadores;
- A central deve alertar ações/medições fora do esperado conforme configuração em relação aos atuadores e módulos medidores;

- A central deverá enviar para o serviço central os dados tratados;
- A central deverá informar para o serviço central o cadastro de novos módulos medidores;
- Ao iniciar uma nova central o serviço central deverá ser notificado;
- Ao receber a resposta da notificação de inicialização, deve-se armazenar em memória não volátil a chave de autenticação;
- Ao receber a resposta da notificação de inicialização, deve-se mostrar em um display a chave de acesso;
- O módulo deve medir a umidade do solo em uma profundidade definida;
- O módulo deve medir a temperatura do solo sob a superfície;
- As medições devem ser adquiridas com um período de 1 minuto, se a irrigação estiver ligada e 10 minutos, caso esteja desligada;
- O módulo deve estimar a capacidade da bateria remanescente;
- O módulo deve ser capaz de se comunicar com a central de comando através de radiofrequências;
- O módulo deve transferir os dados adquiridos para a central via RF;
- Os módulos se comunicam exclusivamente com a central de comando;
- O sistema de atuadores deve processar as requisições provenientes da central de comandos;
- O sistema de atuadores deve mensurar o gasto hídrico;
- o sistema de atuadores deve medir o nível de água no reservatório;
- O sistema deve controlar os atuadores por meio de relês/contadora;
- O sistema deve possuir modos de operação manual e automático;
- O sistema de atuadores deve armazenar os dados adquiridos de gasto hídrico;
- O sistema de atuadores deve ser capaz de se comunicar com a central de comando através de radiofrequências;
- O sistema deve transferir os dados adquiridos para a central de comando através de radiofrequências;
- O sistema de atuadores se comunica exclusivamente com a central de comando.

### 3.2.4 Requisitos de Engenharia de Software

Como requisitos preliminares dos serviços para comunicação entre as centrais e interface de visualização do sistema, forma levantados os seguintes itens, utilizando a técnica de elicitação Brainstorm.

- O serviço central deve gerar a chave de registro de maneira aleatória ao ser notificada sobre a conexão de uma nova central
- O serviço central deve possuir *endpoints* para conexão das *websockets* com a Central
- O serviço central deve manter uma conexão em tempo real com a Central para manter o envio de eventos.
- O serviço central deve enviar para o ElasticSearch os dados recebidos.
- O serviço central deve ter autonomia para decidir o acionamento das tarefas automatizadas ou agendadas.
- O serviço central deve fazer o agendamento das tarefas dos atuadores.
- O ElasticSearch deve configurar a estrutura do documento.
- O ElasticSearch deve armazenar os documentos em um índice.
- O Kibana deve consumir os documentos armazenados no índice do ElasticSearch
- O Kibana deve disponibilizar visualizações para cada dado armazenado no índice do ElasticSearch.
- A aplicação deve gerenciar usuários, que serão separados entre administradores e de negócio.
- A aplicação deve disponibilizar o *status* de cada módulo medidor.
- A aplicação deve disponibilizar o estado de cada central.
- A aplicação deve disponibilizar os dados de cada módulo medidor cadastrado.
- O usuário administrador poderá validar a chave de acesso para adicionar uma nova central.
- O usuário administrador pode gerenciar cada central.
- O usuário administrador pode gerenciar os usuários do sistema.
- A aplicação deve disponibilizar uma interface para gerenciar o agendamento das irrigações.

### 3.2.4.1 Backlog do Produto

Especificando melhor os requisitos, destrinchamos estes em **Épicos, Features e User Stories**(Histórias de Usuário). Esta estrutura de requisitos são adotadas pelas metodologias ágeis que pautam a metodologia adotada pela equipe.

Os Épicos e Features do sistema de software, com base nos requisitos, se encontram na tabela da figura 3.

Épico		Feature	
ID	Descrição	ID	Descrição
1	Gerenciamento de Irrigação	1	Gerenciamento do acesso a aplicação
		2	Cadastro das centrais de controle
		3	Gerenciamento das centrais de controle
		4	Agendamento de irrigação
2	Coleta de Informação	3	Gerenciamento das centrais de controle
		5	Obtenção de dados de temperatura e umidade
		6	Desenvolvimento da aplicação

Figura 3 – Features dispostas de acordo com Épicos - Sistema de Software

Épico	Feature	User Story	
		ID	Descrição
1	1	1	Eu como usuário desejo fazer o logout da aplicação
		2	Eu como usuário desejo fazer o Login na aplicação para ter acesso às funcionalidades
		3	Eu como usuário desejo fazer o logout da aplicação
	2	4	Eu como usuário administrador desejo cadastrar uma nova central de controle
		5	Eu como usuário administrador desejo visualizar as centrais de controle cadastradas na página inicial
		6	Eu como usuário administrador desejo visualizar os módulos medidores de cada central de controle
	3	7	Eu como usuário administrador consigo deletar uma central de controle
		8	Eu como usuário administrador desejo editar as informações de uma central de controle
		9	Eu como usuário desejo gerar relatório sobre o consumo de cada central de controle
		10	Eu como usuário desejo ligar ou desligar a central a qualquer momento
	4	11	Eu como usuário desejo adicionar uma zona de irrigação a uma central
		12	Eu como usuário administrador consigo realizar um agendamento de irrigação
		13	Eu como usuário administrador desejo visualizar informações sobre os atuadores
		14	Eu como usuário consigo editar/deletar um agendamento
2	3	15	Eu, como serviço central, desejo cadastrar novas centrais controladoras e seus módulos associados.
		16	Eu, como serviço central, desejo cadastrar novas centrais controladoras e seus módulos associados para garantir um bom controle dos equipamentos.
		17	Eu, como serviço central, desejo realizar a coleta dos dados obtidos por cada módulo medidor para atualizar o sistema em tempo real.
		18	Eu como serviço central desejo gerenciar as zonas de irrigação.
		19	Eu como serviço central desejo gerenciar os agendamentos de irrigação.
	5	20	Eu, como servidor central, desejo expor as informações relacionadas aos dados das centrais e dos módulos cadastrados para serem acessados pelo WebApp.
		21	Eu, como servidor central, desejo expor as informações relacionadas aos dados das centrais e dos módulos cadastrados para serem acessados pelo WebApp.
		22	Eu, como servidor central, desejo expor as informações relacionadas aos dados das centrais e dos módulos cadastrados para serem acessados pelo WebApp.
		23	Eu, como servidor central, desejo expor as informações relacionadas aos dados das centrais e dos módulos cadastrados para serem acessados pelo WebApp.
	6	24	Eu, como desenvolvedor, desejo estudar um algoritmo ideal para ativar a irrigação automática, de forma eficiente e automatizada.
		25	Eu, como desenvolvedor, desejo configurar o ambiente de desenvolvimento do serviço para facilitar no processo de criação do código.
		26	Eu, como desenvolvedor, desejo configurar o ambiente de desenvolvimento do serviço para facilitar no processo de criação do código.

Figura 4 – Histórias de Usuário - Sistema de Software

Dos requisitos funcionais, derivou-se o caso de uso geral da aplicação WebApp do produto, que consta na figura 5. Este diagrama tem uma visão geral das ações que o usuário ou o sistema podem tomar.

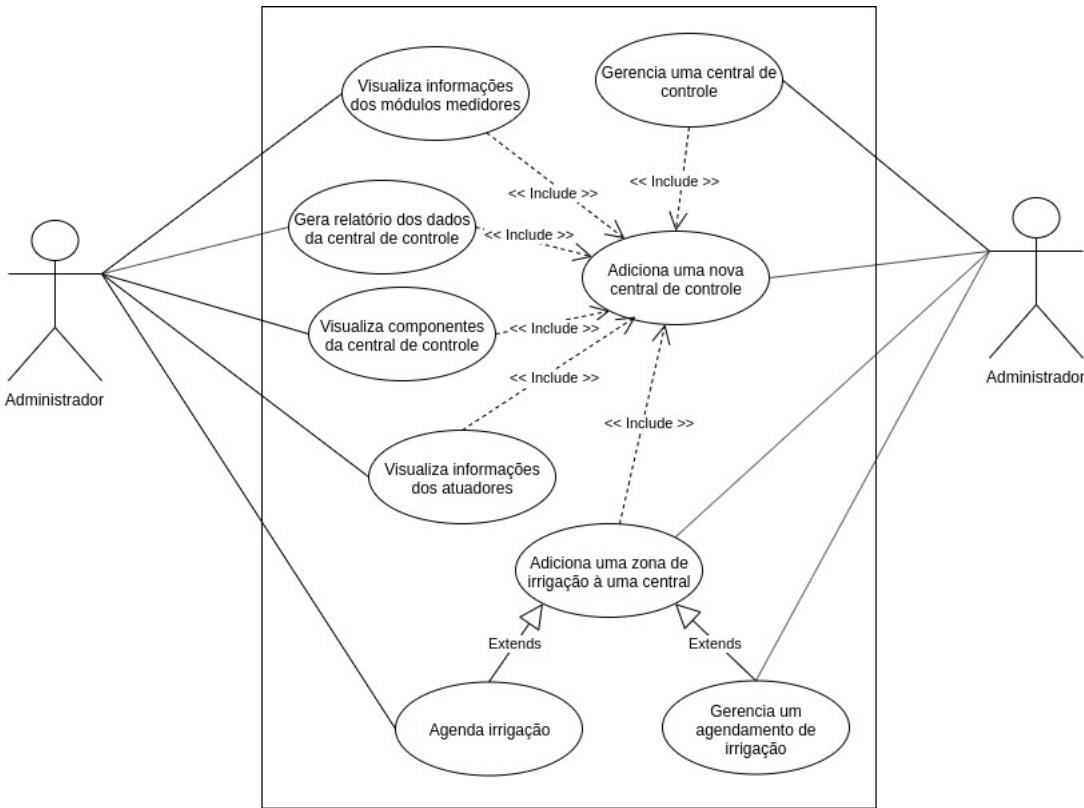


Figura 5 – Caso de Uso - WebApp

### 3.2.4.2 Requisitos não-funcionais

No levantamento dos requisitos não funcionais do sistema, usamos o *NFR Framework* que traz o Softgoal Interdependency Graph (SIG) como um gráfico que mantem os *softgoals* ou requisitos não funcionais em formas de nuvem e como operacionalizar estes requisitos (??).

Na figura 69, no apêndice F, encontra-se o SIG da aplicação, levando em consideração os requisitos não funcionais de **usabilidade, segurança e eficiência**.

## 4 Premissas e Restrições

Para a excelência da execução do projeto, restrições e premissas foram levantadas. Estes foram a base para o planejamento do projeto.

### 4.1 Premissas

- O sistema deve ser portátil;
- Os módulos devem ser resistentes a água;
- O sistema deve se comunicar com a aplicação web;
- O usuário deve ter facilidade na instalação do sistema;
- O gerenciamento do sistema deve ser remoto;
- O usuário deve poder acompanhar os dados dos sistemas;
- O usuário deve ser capaz de adicionar outros sistemas.

### 4.2 Restrições

- Os integrantes do grupo não terão acesso às instalações físicas do Galpão para produção e construção de elementos do projeto.
- O local de instalação da Central de Controle requer conexão a Internet.
- Os módulos medidores e o sistema de atuadores devem estar dentro do alcance da comunicação de radiofrequência para transmissão de dados.
- O sistema de irrigação requer um ponto de fornecimento de água em suas proximidades.
- O sistema de irrigação requer energia elétrica em suas proximidades.

# 5 Solução

## 5.1 Escopo

O projeto compreende de um sistema de irrigação por aspersão com opção de controle remoto, equipado com módulos medidores coletando dados do solo utilizados no processo de irrigação. A estrutura do projeto abrange também um sistema de atuadores para fornecimento de água aos aspersores.

O produto consiste, em sua parte lógica é composto por uma aplicação *mobile* para cada usuário e um conjunto de microsserviços únicos como o servidor de gerenciamento, de interface com o usuário e de coleta de dados.

A composição da solução eletrônica baseia-se no sensoriamento da temperatura e umidade por meio dos módulos presentes na região de irrigação, podendo manter essa rotina mesmo em momentos sem irrigação. Ademais, a solução engloba também o sensoriamento do gasto hídrico no sistema de atuadores e a ativação da irrigação de maneira remota com monitoração adicional do nível de água do reservatório para conter situações de operação adversas. Como elemento integrante entre as partes apresentadas propõe-se o uso de uma central de controle baseada em um sistema embarcado microprocessado para coleta/processamento/armazenamento das informações provenientes desses outros sistemas.

A solução eletrônica visa integrar a estrutura física do projeto juntamente a solução de energia, realizando uma interface analógico-digital com a solução de software.

A comunicação entre a parte física e lógica é feita a partir de duas interfaces providas dentro do servidor de gerenciamento, uma de protocolo *websocket* para comunicação *full-duplex* e uma API REST para envio de dados da central para o servidor. Uma nova conexão entre o usuário e a central é feita a partir de *tokens* de autenticação, enquanto entre o servidor de gerenciamento e a central é feita de maneira automática pois, o servidor está exposto de maneira pública à rede global de computadores.

A aplicação *mobile* abastece o usuário com *data visualization* proveniente de dois dos microsserviços, o Kibana e ElasticSearch, e é apresentada de maneira intuitiva e informativa. Além disso é a responsável por agir como interface de comandos entre o usuário e o servidor de gerenciamento que será responsável por redirecionar os comandos para o dispositivo apropriado.

## 5.2 Lista É/Não é

A lista É/Não é, que mantém claro o que o projeto Irri abrange, encontra-se no Apêndice D.

# 6 Solução Estrutural

A proposta de um sistema portátil de irrigação por aspersão passa pela concepção de mobilidade, facilidade de manuseio e manutenção. Foi com esses princípios que a solução estrutural foi elaborada, a qual, neste projeto, divide-se em três partes essenciais. A primeira compreende a adaptação de um carro plataforma para suportar os componentes mais pesados do sistema, tais como o reservatório de água, a bomba hidráulica, o quadro de energia e os aparelhos eletrônicos conectados à estes para alimentação e medição. A segunda consiste na elaboração de um modelo em CAD da central de comando do sistema, a qual responde pelo acionamento de todo o sistema de irrigação e pela interação deste com o usuário final. Já a terceira parte constitui-se na confecção de um outro modelo em CAD com o detalhamento das características e dimensões dos módulos medidores, nos quais estarão contidos os sensores de temperatura e umidade do solo e os módulos de comunicação destes com a central de comando. Os módulos medidores permitirão assim a coleta dos dados essenciais do solo e disponibilizarão os mesmos para o usuário após sua exibição na central de comando. Os modelos CAD serão impressos em 3D, utilizando-se uma impressora Sethi3D AiP 1.75 mm e serão fabricados a partir de filamento de material PETG, cujas propriedades serão descritas em detalhes mais adiante nesta seção.

## 6.1 Plataforma móvel

O carro plataforma compreende a solução para a mobilidade do sistema de irrigação. O modelo consiste em uma plataforma móvel de madeira com dimensão de 100 x 60 cm, movida a partir de rodas maciças de metal e uma estrutura também metálica. Tal escolha de materiais se dá pela alta resistência estrutural que o conjunto oferece, além da alta capacidade de adaptação deste para locomover-se em diferentes tipos de terreno. A plataforma é capaz de suportar uma carga de até 200 kg, e será adaptada para alocar o reservatório de água, a bomba hidráulica, o quadro de energia e os aparelhos eletrônicos correlatos. A Figura 6 ilustra o carro-plataforma em questão.



Figura 6 – Carro plataforma a ser usado para transporte de equipamentos Fonte ([LE-ROY..., 2019](#))

A adaptação da plataforma de madeira será efetuada de modo a instalar por sobre a mesma uma estrutura metálica com comprimento de 1 m, largura de 60 cm e altura de 70 cm, cobrindo assim uma área igual à da plataforma. A estrutura terá a função de fixar o quadro elétrico e fornecer uma proteção ao usuário em relação à bomba hidráulica e ao reservatório de água, durante a operação do sistema. Também será fixada na mesma uma caixa de dimensão 100 x 200 x 100 mm em que estarão contidos alguns dos equipamentos eletrônicos associados ao sistema. O material escolhido para compor a estrutura metálica corresponde ao metalon, isto é, um aço carbono com ou sem costura, anticorrosivo e antioxidante, de fácil usinagem e soldagem, além de ser bastante acessível em termos de custo e disponibilidade quando comparado ao ferro e ao alumínio, por exemplo. Isso possibilita sua aplicação neste projeto, tendo em vista que é amplamente utilizado na construção civil em trabalhos com orçamento reduzido e prazos curtos de entrega ([ACOPLANO, 2017](#)). O metalon usado para compor o conjunto metálico será adquirido na forma de tubos quadrados de 25 x 25 mm e cantoneiras com 3,18 mm de espessura e 31,75 mm de largura e altura. Esses perfis são comumente vendidos em lojas de materiais de construção civil em comprimentos padrão de 6 metros cada. A

Figura 7 representa a proposta de adaptação para a plataforma de madeira, bem como os componentes do sistema de irrigação que serão transportados sobre ela.

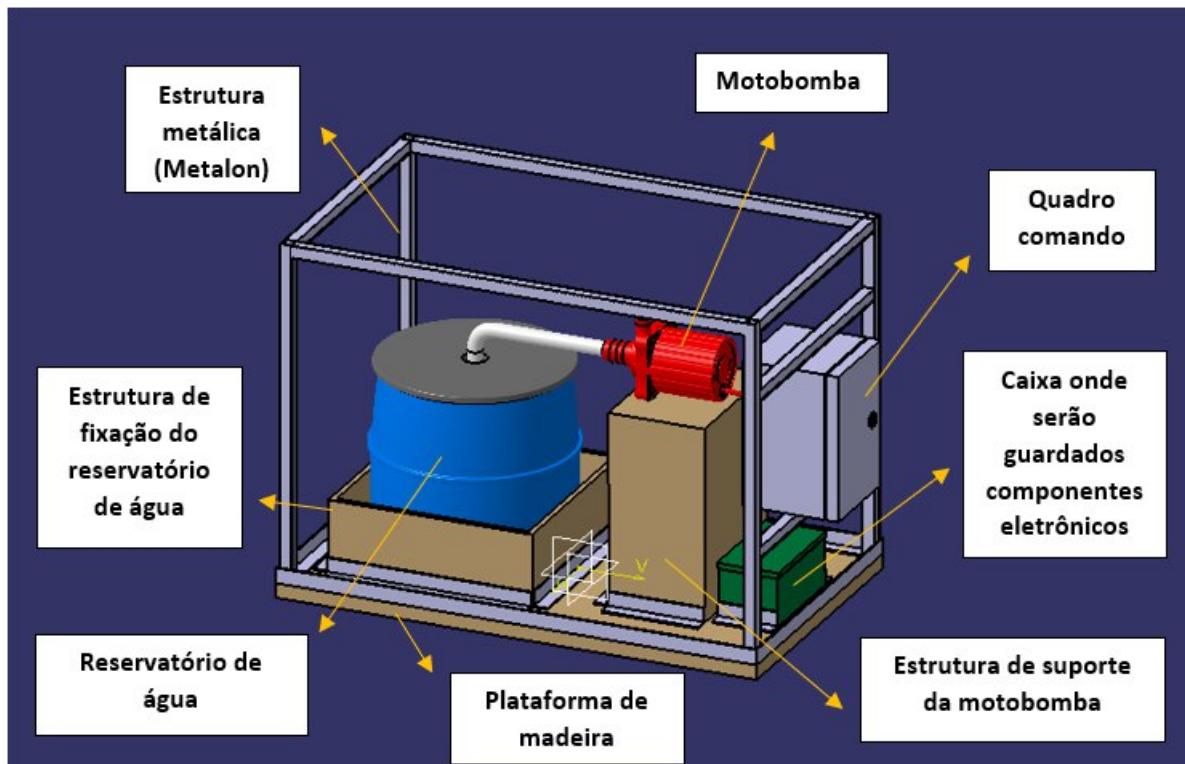


Figura 7 – Proposta de adaptação da plataforma de madeira.

Além da estrutura metálica, serão instaladas sobre plataforma de madeira móvel a estrutura de fixação do reservatório de água de 50L e a estrutura de suporte da motobomba, cuja função consiste em bombear a água do reservatório até os aspersores posicionados no solo. Estas são constituídas de MDF envernizado para impermeabilização contra água e serão fixadas na plataforma com o uso de cantoneiras de metalon, combinadas com parafusos de marcenaria apropriados para fixação entre metal e madeira. A caixa de armazenamento de componentes eletrônicos também constitui-se de MDF impermeabilizado e será fixada da mesma forma. O quadro de comando, por sua vez, tem largura e comprimento de 20 cm e altura de 30 cm, sendo fixado por parafusos à estrutura metálica mencionada na Figura 7. Os detalhes da construção da proposta são descritos na seção de fabricação das peças na seção 5.3.4 e as dimensões detalhadas de cada um dos componentes da plataforma estão dispostas nos desenhos técnicos (*draftings*) do Apêndice E.

## 6.2 Central de comando

A central de comando, como fora descrita, consiste em um dos componentes essenciais do sistema de irrigação, pois é por meio dela que será efetuado o acionamento

dos aspersores para irrigar o solo. A peça foi modelada com o intuito de alocar os seguintes componentes eletrônicos: Raspberry Pi 3B+, módulo RF nRF24L01, circuito de alimentação, além de um display touch de 5 polegadas. Estes componentes permitem o comando total do sistema pelo usuário final. As dimensões da central foram estabelecidas considerando-se o espaço ocupado por todas estas peças, além de seus encaixes e fixação por parafusos. A estrutura será impressa em 3D a partir do modelo em CAD representado na Figura 55, desenvolvido no software Catia V5R19.

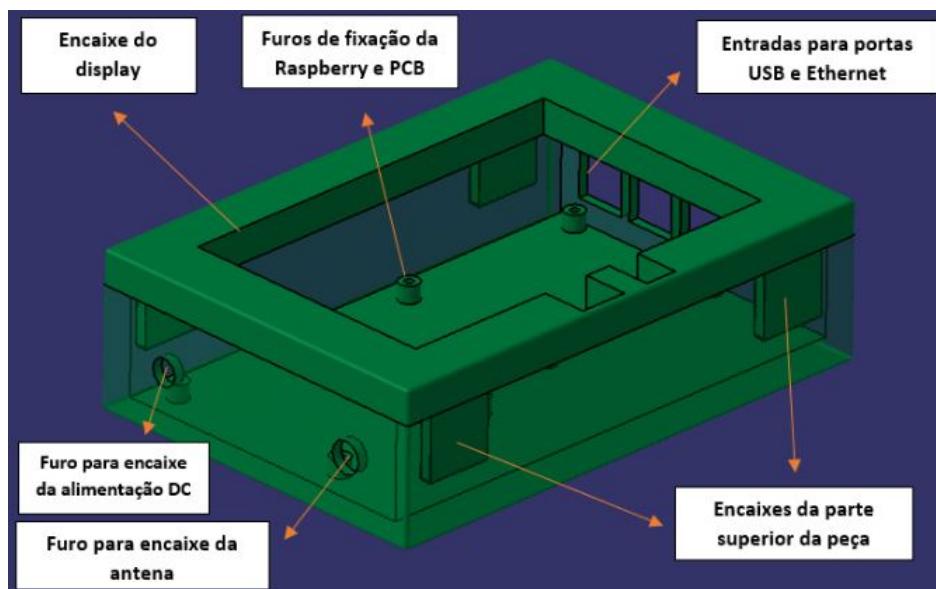


Figura 8 – Modelo em CAD da central de comando do sistema de irrigação

O conjunto a ser impresso em 3D consiste em duas partes, isto é, uma parte inferior e uma superior. A parte inferior contém os furos de encaixe da alimentação DC, da antena de comunicação RF e os furos de fixação da Raspberry e PCB, bem como os furos correspondentes às entradas USB e Ethernet. Possui ainda quatro furos nos quais será efetuado o encaixe da parte superior, em que estará contido o display touch de 5 polegadas mencionado anteriormente. As duas partes estão representadas na Figura 9.

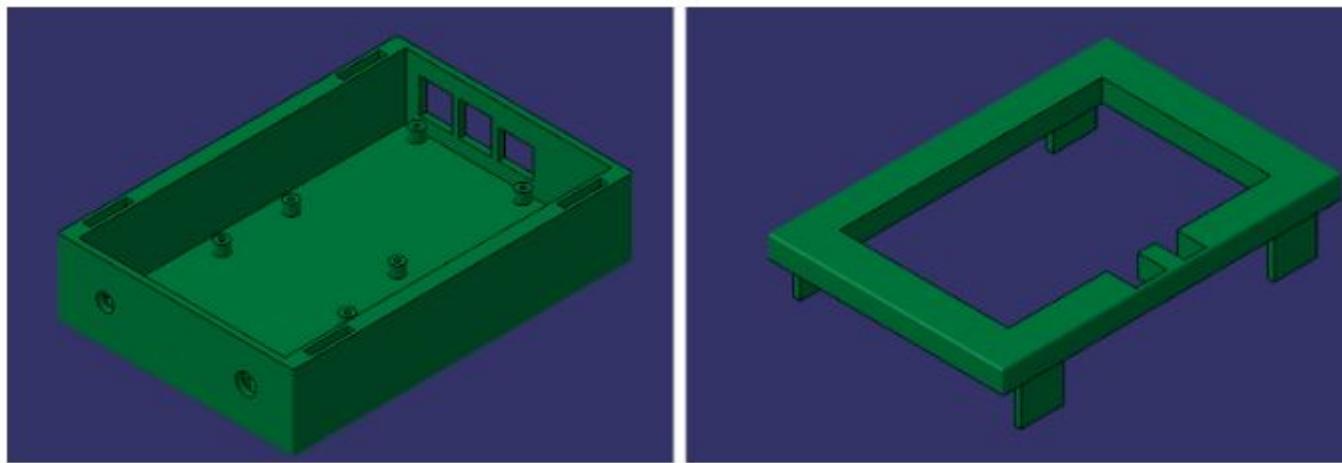


Figura 9 – Partes inferior (à esquerda) e superior (à direita) da central de comando

As dimensões da estrutura estão descritas no Apêndice E, e tiveram como base as cotas especificadas no *datasheet* de cada um dos componentes eletrônicos listados.

### 6.3 Módulos medidores

Os módulos medidores são responsáveis pela coleta de dados de temperatura e umidade do solo coberto pelo sistema de irrigação. Para desempenhar esta função, um módulo dispõe dos seguintes componentes eletrônicos: sensor de umidade SEN1903, sensor de temperatura DS18B20, microcontrolador Attiny85, célula fotovoltaica e circuito de alimentação. Assim como a central de comando os módulos medidores serão impressos em 3D utilizando-se PETG como filamento de impressão, e foram dimensionados conforme as cotas de *datasheets* dos componentes eletrônicos que o mesmo tem de alocar em sua estrutura. A Figura 10 ilustra o modelo em CAD desenvolvido no software Catia V5R19 para o módulo medidor.

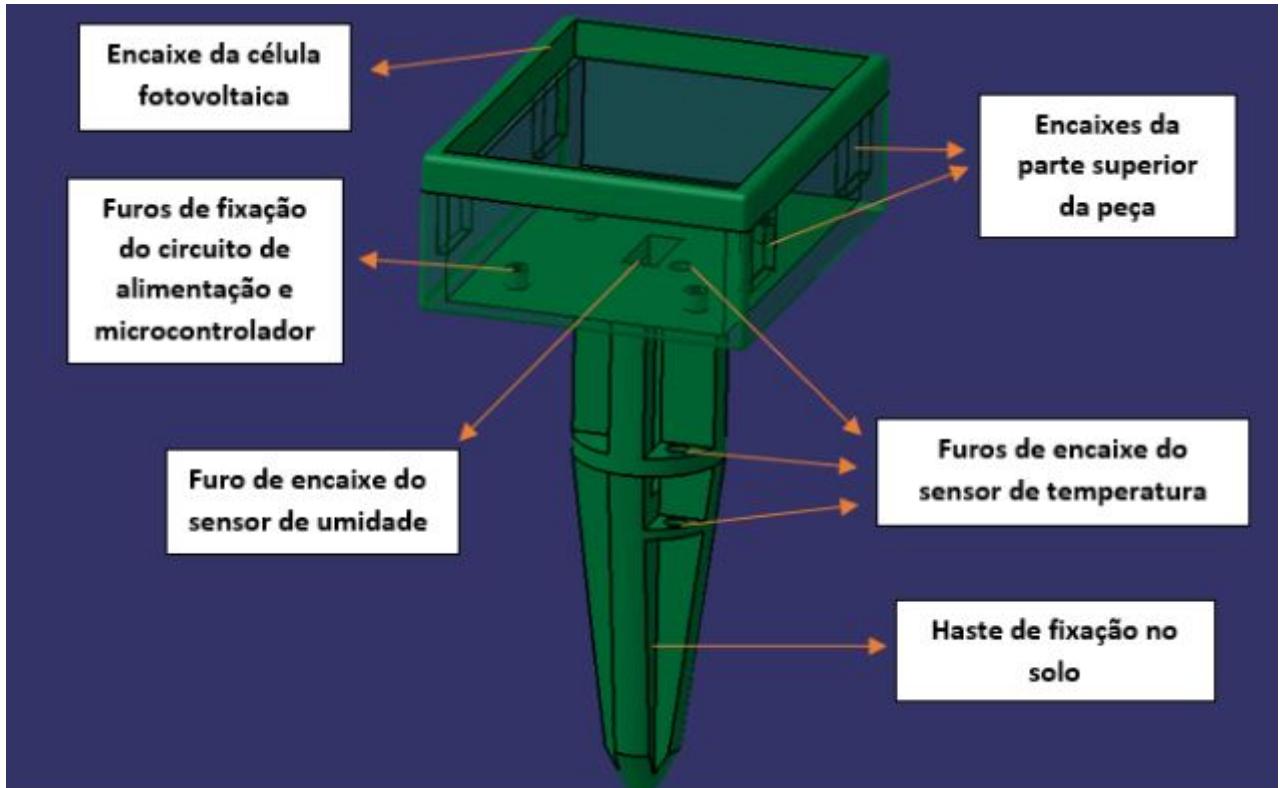


Figura 10 – Modelo em CAD do módulo medidor do sistema de irrigação

A estrutura do módulo é dividida em duas partes, tal como a central de comando. A parte inferior contém a haste de fixação no solo, três furos alinhados para o encaixe do sensor de temperatura, um furo de encaixe do sensor de umidade ao centro e os furos de fixação do circuito de alimentação e do microcontrolador. O sistema eletrônico é alimentado pela energia fornecida pela célula fotovoltaica, que encontra-se no encaixe posicionado na parte superior do modelo. As duas partes estão representadas na Figura 11.

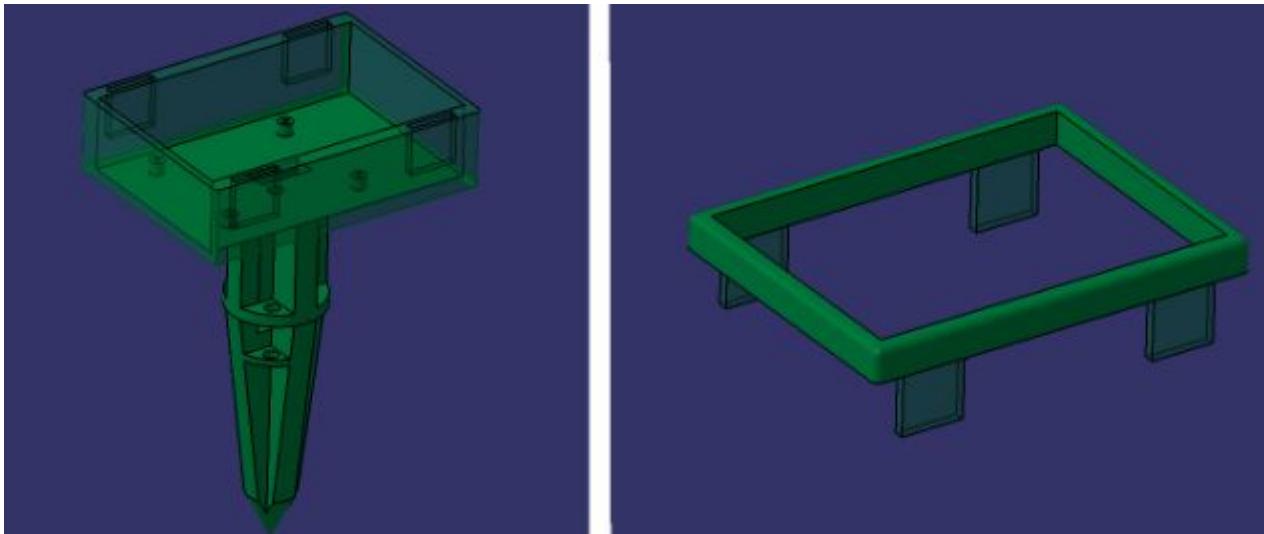


Figura 11 – Partes inferior (à esquerda) e superior (à direita) do módulo medidor

As dimensões do módulo estão descritas em detalhe no Apêndice E.

## 6.4 Processos de fabricação das peças

A estrutura metálica será construída a partir de soldagem e usinagem de barras quadradas e cantoneiras de metalon, e tal fabricação será realizada em local apropriado. A estrutura possui como função servir de apoio para o quadro de energia que será parafusado, além de uma lona para proteger a plataforma da chuva.

O reservatório de água será fixado ao carro plataforma através de uma estrutura em MDF, que será impermeabilizada com verniz para proteger de qualquer resquício de água que possa cair na plataforma. A impressora 3D utilizada para impressão da central de comando e dos módulos medidores é uma Sethi3D AiP 1.75 mm, que possui como volume de impressão 220 x 210 x 200 mm. A resolução ajustável da impressora é de 0.05mm até 0.3 mm e a mesma trabalha com filamentos de 1.75 mm.

### 6.4.1 Escolha do PETG para a impressão 3D

A escolha deste material como matriz para os componentes impressos em 3D não foi por acaso, dentre os filamentos comumente utilizados em impressão 3D o PETG apresenta o conjunto mais nobre de propriedades para o projeto. Dentre essas propriedades as mais interessantes para o projeto são a resistência contra temperatura e resistência química. A Figura 12 mostra as propriedades desse material quando comparadas a outros filamentos de impressão 3D.

Propriedades Materia Prima 3D LAB - Grãos			
Propriedades	PLA	ABS Premium	PETG
Densidade	1,24 [g/cm3]	1,04 [g/cm3]	1,27 [g/cm3]
Temp. Fusão	185 [°C]	220 [°C]	240 [°C]
Tg	60 [°C]	100 [°C]	85 [°C]
Tensão de Escoamento	66 [MPa]	38 [MPa]	51 [MPa]
Resistencia a Flexão	130 [MPa]	66 [MPa]	72 [MPa]
Modulo de Elasticidade	4350 [MPa]	2200 [MPa]	2120[MPa]
Resultado ensaio de Tração segundo a Norma ASTM D 638 - Corpo de provas Impresso			
Propriedades	PLA	ABS Premium	PETG
Tensão de Escoamento	24,8 [MPa]	14,7[MPa]	18,6 [MPa]
Modulo de Elasticidade	1896,0 [MPa]	1335,9 [MPa]	1067,9 [MPa]
Tensão de Ruptura	46 [MPa]	29 [MPa]	32,6 [MPa]
Alongamento	3,69 [%]	7,08 [%]	7,74 [%]
Resultado ensaio de Dureza segundo a Norma ASTM D 2240 - Corpo de provas Impresso			
Dureza Shore D	85 [Shore D]	74 [Shore D]	75 [Shore D]
Resultado ensaio HTD segundo a Norma ISO 75 - Corpo de provas Impresso			
Temperatura HDT	55,11°C	86,13°C	67,3 °C

Figura 12 – Propriedades Fonte ([PROPRIEDADES...](#), 2019)

## 6.5 Simulação Estrutural

Na simulação estrutural, o CAD da estrutura de metalon que será fixada na superfície da plataforma móvel foi desenhado no software CATIA V5R19 e exportado para o software de simulação ANSYS R19.2. Através do software foi gerada uma malha refinada para a realização da simulação, as Figuras 13 e 14 mostram a qualidade dos elementos da malha além de outras informações relevantes.

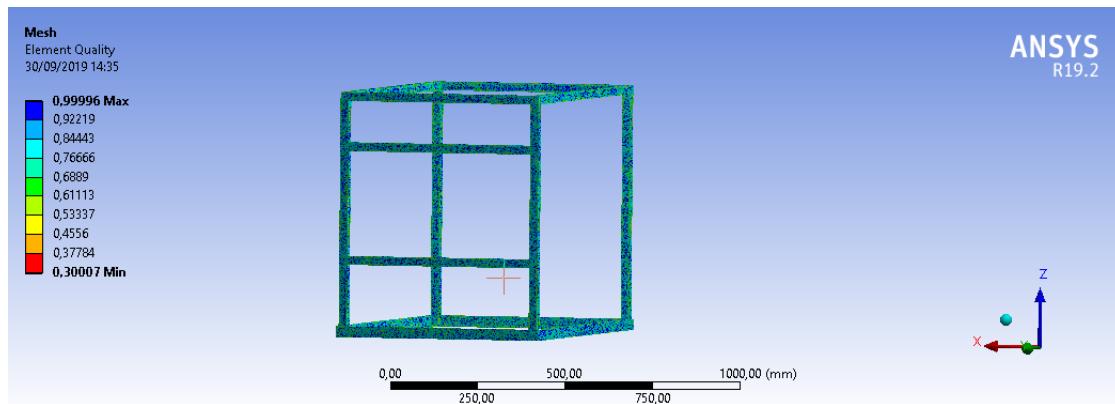


Figura 13 – Qualidade da malha da estrutura metálica

<b>Quality</b>	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	High
Mesh Metric	None
<b>Inflation</b>	
Use Automatic In...	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Lay...	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorit...	Pre
View Advanced ...	No
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs ...	Program Controlled
Straight Sided El...	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Beha...	Dimensionally Reduced
Triangle Surface ...	Program Controlled
Topology Checki...	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch o...	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	4171249
<input type="checkbox"/> Elements	2284221

Figura 14 – Detalhes da malha da estrutura

Na simulação estrutural, foi adicionado um apoio fixo na parte inferior da estrutura metálica (condição de contorno) para representar a fixação na plataforma de madeira, além da aplicação de uma carga de 400 N na estrutura onde será fixado o quadro de energia, apenas para verificar a resistência do conjunto. O quadro, por sua vez, têm apenas 4 kg de massa, gerando uma força peso aproximada de apenas 40 N, dez vezes menor que a carga simulada. Também foi considerado como material constituinte um aço de baixo carbono que estava incluso na própria biblioteca do Ansys, com o intuito de representar o metalon.

Na simulação foram analisadas a tensão normal e a deformação total que a estrutura estaria sujeita. Para a deformação, o valor total do deslocamento foi mínimo na estrutura, sendo o valor máximo de deslocamento aproximadamente 0,096 mm. Em relação a tensão normal os valores máximos encontrados foram de aproximadamente 99 MPa (Tração) e 127 (Compressão) sendo que esses valores são encontrados apenas em um ponto de soldagem da estrutura. Nos outros pontos da estrutura o valor de tensão fica próximo de apenas 1 MPa. É importante citar que todas essas tensões permaneceram abaixo do limite de escoamento do material que segundo as especificações do software é de 233 MPa. Considerando esses resultados, pode-se afirmar que a estrutura irá suportar o peso do quadro elétrico.

As Figuras 15 , 16 e 17 mostram os resultados da simulação realizada pelo software.

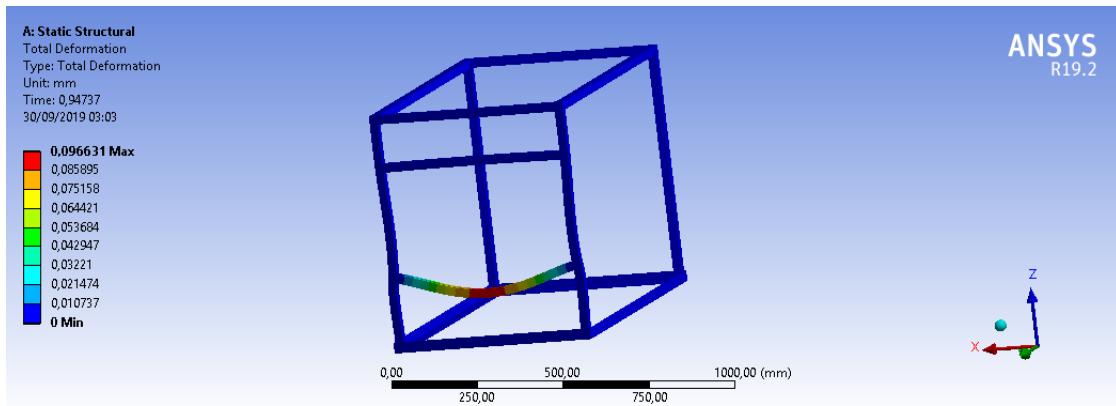


Figura 15 – Deformação total

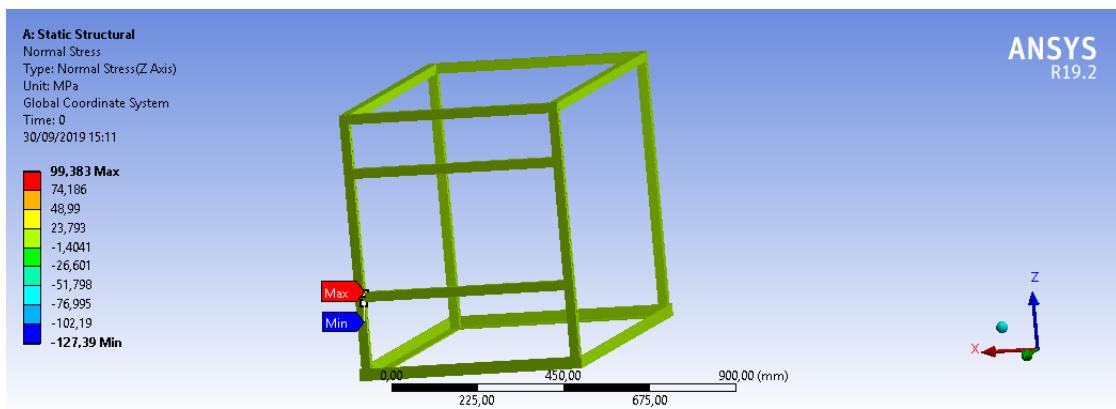


Figura 16 – Tensão normal

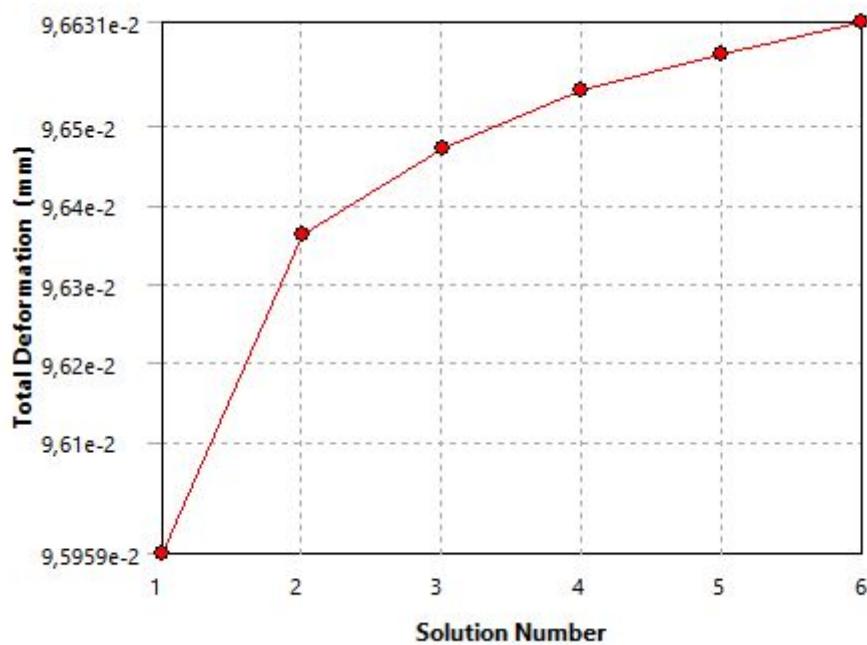


Figura 17 – Teste de convergência para a deformação

# 7 Solução de Energia

## 7.1 Solução Hidráulica

A solução hidráulica prevista no Ponto de Controle 1 deste projeto baseava-se na utilização de bombas hidráulicas de corrente contínua alimentadas por painéis fotovoltaicos. A validação da solução foi realizada com o cálculo da perda de carga hidráulica do sistema, ou seja, com base na rugosidade da tubulação, conexões e acessórios e pressão exigida pelos aspersores foi calculada a altura manométrica do sistema.

Com a altura manométrica do sistema e auxílio da curva de canalização, a escolha da bomba hidráulica é realizada.

### 7.1.1 Cálculo da Altura Manométrica

Segundo (HOUGHTALEN, 2012), o cálculo da altura manométrica é realizado com adição da perda de carga devido aos acessórios da tubulação, perda de carga devido à velocidade do fluido na tubulação e perda de carga devido ao comprimento da tubulação.

Perda de carga devido ao comprimento da tubulação	Perda de carga devido à velocidade do fluido	Perda de carga nos acessórios
$h_{ld} = f \frac{L v^2}{D \cdot 2g}$	$hv = \frac{v^2}{2g}$	$hlk = \sum k \frac{v^2}{2g}$

Figura 18 – Tipos de perdas de carga hidráulica

A equação das perdas através do comprimento da tubulação considera o fator de atrito  $f$ , velocidade do fluido  $v$ , gravitação  $g$ , o comprimento do tubo  $L$  juntamente com o diâmetro interno  $D$  das tubulações. A equação da perda de carga devido à velocidade do fluido é nula para o projeto pois o diâmetro da tubulação na sucção e no recalque serão iguais. Já a equação de perdas de carga nos acessórios é encontrada através do produto entre a perda de carga por velocidade  $v$  e a soma  $k$  das perdas de cargas de cada acessório encontrada em tabelas disponibilizadas pelos fabricantes. Entre os acessórios considerados para cálculos destas perdas estão: joelhos, derivações, junções e válvulas.

Com base no projeto hidráulico em AutoCAD, o comprimento aproximado da tubulação  $L$  é de 25 metros, diâmetro interno de 0,0174 metros, área de seção de 0,000237 metros quadrados, a rugosidade interna da mangueira de PVC é de 0,005. Segundo DD,

a vazão diária recomendada para o cultivo de gramas é de 5 litros por metro quadrado, como estamos falando de uma área aproximada de 400 metros quadrados, o sistema de irrigação deve fornecer 2000 litros de água por dia. Conforme as condições climáticas e umidade medidas in loco, na pior condição de climática, o sistema de irrigação funcionará duas vezes ao dia exigindo 1000 litros de água por período. Isso significa que a vazão estimada da bomba é de 0,033 metros cúbicos por minuto quando o processo de irrigação durar 30 minutos.

O dado de vazão de projeto fornece os parâmetros para cálculo do Número de Reynolds, classificando o escoamento do fluido como turbulento. Significando que o cálculo do fator de atrito deve ser feito utilizando a rugosidade relativa, não variando com a vazão do sistema, com a ferramenta do Diagrama de Moody ([HENN, 2006](#)).



Figura 19 – Curva de Canalização do Sistema

Logo, fixando a vazão volumétrica em 0,033 metros cúbicos a perda de carga devido o comprimento da tubulação é de 24,95 metros de coluna d'água e a perda de carga devido os acessórios utilizados é de 2,59 metros de coluna d'água. A curva de canalização Figura 1 é obtida variando o valor da vazão volumétrica e mapeando o valor obtido com a altura manométrica.

### 7.1.2 Escolha dos Aspersores

A escolha do modelo de aspersor a ser utilizado no projeto varia a curva de canalização do sistema, pois cada um dos aspersores exige uma pressão local diferente. Isto é,

quanto menor a pressão local exigida pelos aspersores menor será a altura manométrica do sistema e maior será a vazão da bomba. Prezando pelo custo-benefício, se baseando na vazão volumétrica, pressão fornecida pela bomba hidráulica e raio de alcance, foram feitos os cálculos de altura manométrica para 5 modelos de mercado conforme tabela X.

Para distribuição dos aspersores utilizou-se o AutoCAD e foi levado em consideração o raio de alcance para irrigação de forma uniforme. Foram propostos os seguintes layouts :



Figura 20 – Layout - Aspersor Sempre Verde



Figura 21 – Layout - Aspersor Tramontina

Para o cálculo da vazão total multiplica-se a vazão unitária do aspersor pela quantidade necessária de aspersores para irrigar a área.

Aspersor	Vazão Máxima (L/h)	Pressão Máxima(Bar)	Raio de Alcance (m)	Quantidade (Un)	Vazão Total (L/h)	Altura Manométrica (m)
Sempre Verde	790	3	5	9	7.110	62,14
Irrigador setorial tipo espiga Vonder	550	6	11	3	1.650	64,04
Aspersor de impulso setorial Tramontina	550	3	14	3	1.650	31,62
Aspersor de impulso setorial Tigre Pingo	880	3	12	3	2.640	36,31
Aspersor setorial JET 8427 Biosementes	700	3	12	3	2.100	35,24

Figura 22 – Comparativo Aspersores

Após propor os layouts, foi feita uma análise da vazão necessária e perda de carga imposta pelo aspersor para dimensionamento da bomba hidráulica. Optou-se pelo modelo da Tramontina, por possuir menor vazão e pressão de operação, conforme figura 22 e 23.



Figura 23 – Aspersor Tramontina

### 7.1.3 Escolha da Bomba Hidráulica

O cálculo da altura manométrica permitiu reavaliar a solução proposta no Ponto de Controle 1, baseada na utilização de bomba hidráulica de corrente contínua com painéis fotovoltaicos. Foram analisados 4 modelos de bombas hidráulicas para aplicação no projeto, cruzando a curva de canalização com a curva de desempenho das bombas, buscando um ponto de operação com a vazão volumétrica que o cultivo requer.

A figura 24 é a curva de desempenho para a Bomba Shuffle 8000, a vazão nos aspersores com esta bomba é de 0,006 metros cúbicos por minuto, 19% do que o projeto requer.

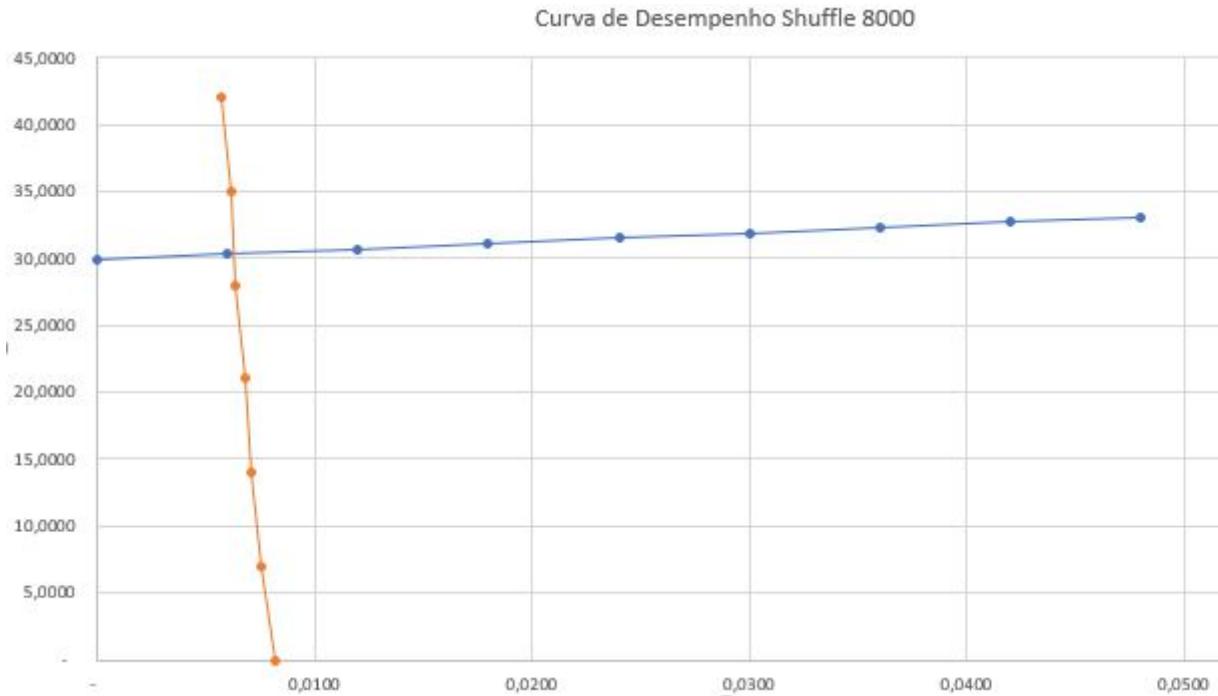


Figura 24 – Curva de Desempenho Shuffle 8000

A figura 25 é a curva de desempenho para a Bomba Singflo FL-3203, a vazão nos aspersores com esta bomba é de 0,0032 metros cúbicos por minuto, 9,6% do que o projeto requer.

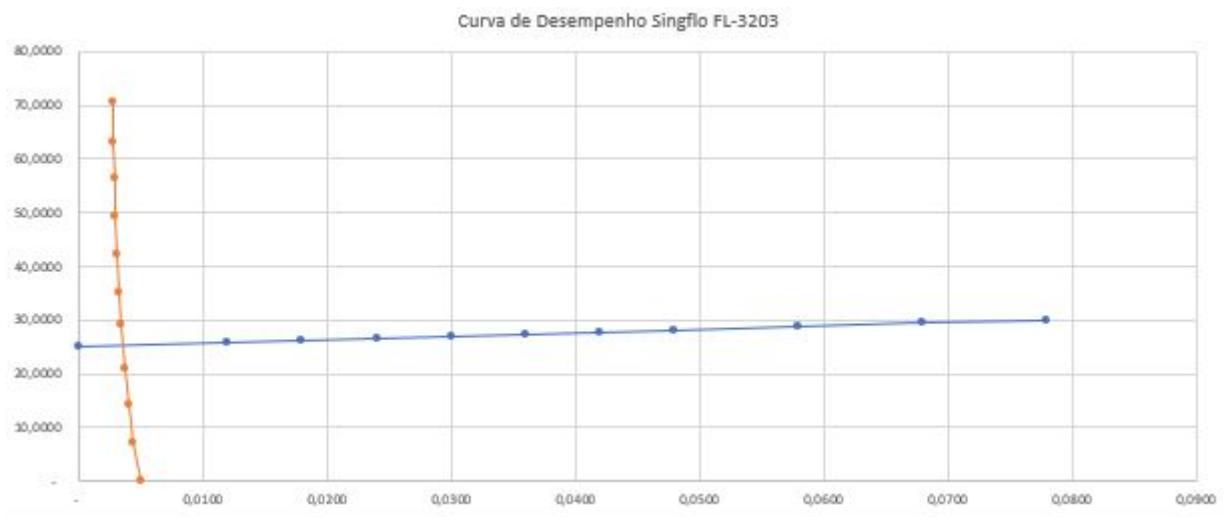


Figura 25 – Curva de Desempenho da Bomba Singflo FL-3203

A figura 26 é a curva de desempenho para a Bomba Anauger P100, a vazão nos aspersores com esta bomba é de 0,0015 metros cúbicos por minuto, 2,5% do que o projeto requer.

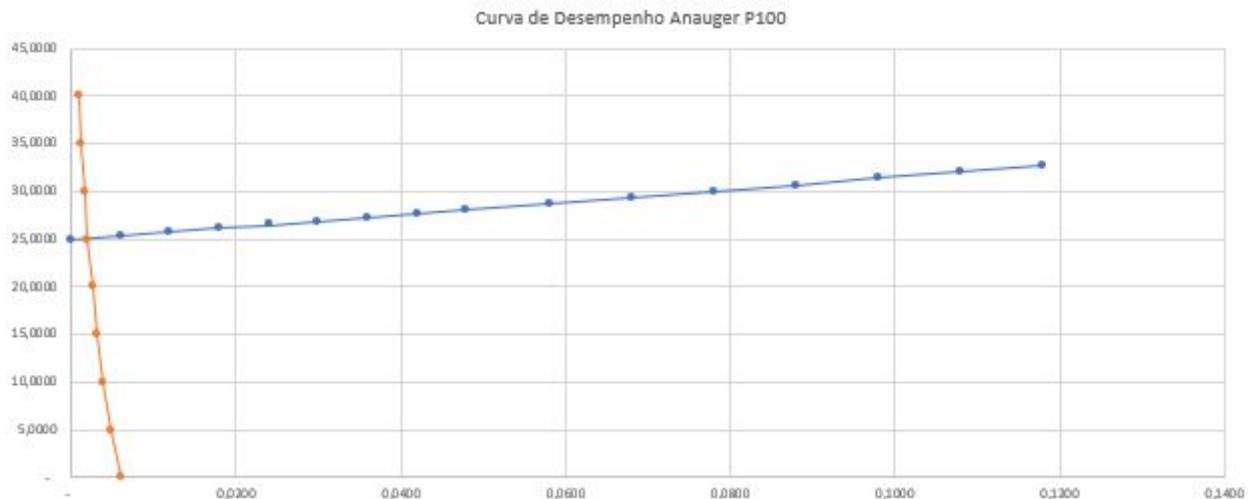


Figura 26 – Curva de Desempenho da Bomba Anauger P100

A análise das bombas hidráulicas e suas curvas de desempenho indicam que nenhuma das soluções de bombeamento utilizando corrente contínua é capaz de fornecer pressão e vazão necessárias para a irrigação. Além disto, a vazão da bomba deve atender às especificações mínimas de vazão dos aspersores de 0,02 metros cúbicos por minuto, incapacitando por mais um quesito as soluções de bombeamento de corrente contínua.

Por não atender os requisitos do projeto, a solução de bombeamento utilizando corrente contínua foi excluída do escopo do projeto. Por conseguinte, foi estudada a aplicação da bomba periférica alimentada por corrente alternada Claw Apm75 com a seguinte curva de desempenho.

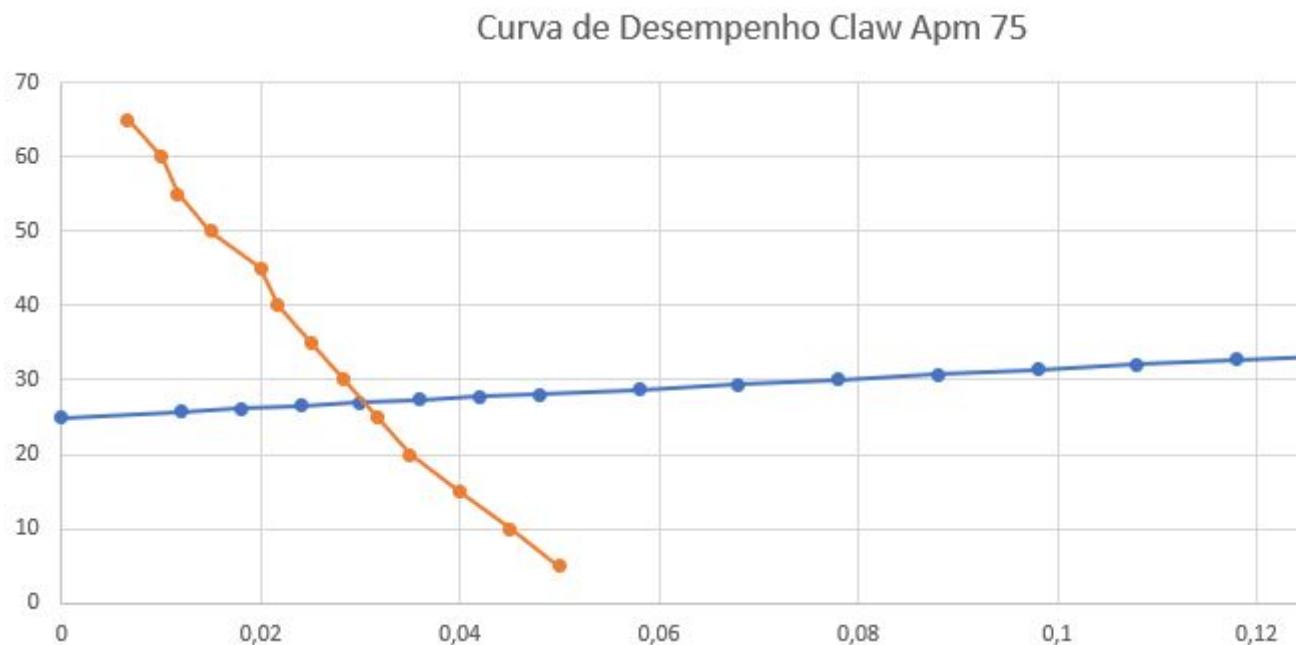


Figura 27 – Curva de Desempenho da Bomba Claw Apm75

O ponto de operação da bomba hidráulica Claw Apm75 com a altura manométrica requerida fornecerá ao sistema aproximadamente 0,028 metros cúbicos por minuto de vazão, valor próximo ao exigido pela cultura e pelo conjunto de aspersores e suficiente para cumprir com os requisitos de projeto.

## 7.2 Solução de Alimentação e Controle da Bomba Hidráulica

### 7.2.1 Alimentação por Sistema Fotovoltaico Offgrid

Foi proposto no Ponto de Controle 1 que um sistema composto por painel fotovoltaico, controlador de carga e baterias fizesse a alimentação da bomba hidráulica. Como mostrado na Solução Hidráulica, a vazão e pressão proporcionada pelos modelos de corrente contínua não atendem o projeto e por este motivo optou-se por utilizar um modelo de corrente alternada. Desta forma, a aplicação do sistema fotovoltaico para este tipo de alimentação exige a utilização de inversor solar de onda senoidal pura, próprio para motores de indução.

A utilização deste equipamento, além de requerer mais espaço na Plataforma Móvel, traz ônus financeiro ao projeto, justificando a opção em excluir do escopo a alimentação do sistema de bombeamento com sistema fotovoltaico offgrid.

## 7.2.2 Controle de vazão para a Bomba Hidráulica

Foi incluído no escopo do projeto que o usuário fizesse o controle da vazão do sistema de bombeamento, este controle pode ser feito com o estrangulamento de válvula ou por controle da rotação da bomba utilizando inversor de frequência.

### 7.2.2.1 Controle da Rotação

Para uma determinada bomba onde as curvas de desempenho são conhecidas, as leis de semelhança determinam as novas condições de operação com a variação da frequência. A nova vazão da bomba é diretamente proporcional à mudança da rotação, enquanto a altura manométrica muda ao quadrado da rotação e a potência muda com o cubo da rotação. Por exemplo, para uma redução de 50% da rotação a bomba fornece 50% da vazão, 25% da sua altura manométrica original e requer 12,5% de potência.

Utilizando este tipo de controle, é possível ajustar o ponto de operação da bomba com a curva de canalização do sistema de forma que o rendimento da bomba seja maior. Este controle se dá por meio de um Inversor de Frequência, equipamento que com auxílio de uma ponte retificadora, transistores e circuitos auxiliares, altera a frequência fundamental para o parâmetro que o usuário programar e consequentemente a rotação do motor.



Figura 28 – Inversor de Frequência - CFW100

Os benefícios da utilização deste equipamento vão desde os diversos parâmetros e funcionalidades que podem ser programáveis até a detecção de falhas e emissão de alarmes sobre o funcionamento do motor. As principais desvantagens deste equipamento são o custo elevado e a impossibilidade do usuário realizar o controle da vazão via aplicativo.

#### 7.2.2.2 Estrangulamento de Válvula

O controle da vazão também pode ser realizado por estrangulamento utilizando uma válvula de registro com o objetivo ajustar a vazão para uma nova condição de operação. A obstrução do escoamento com o registro produz um aumento de perda de carga por pressão o que modifica a curva de canalização deslocando o ponto de operação até a interseção da curva da bomba com a curva de canalização do sistema. Desta forma, a potência consumida aumentará para suprir o aumento da perda de carga por pressão. Cabe ressaltar que neste procedimento a curva característica da bomba se mantém a mesma e desta forma não é modificada a rotação do motor.



Figura 29 – Válvula Borboleta com Atuador Elétrico

Os benefícios da utilização desta estratégia para controlar a vazão está no baixo custo, simplicidade na montagem eletromecânica e monitoramento e controle do posicionamento da válvula pelo usuário via aplicativo. As principais desvantagens deste equipamento é o aumento do consumo de energia pela bomba e menor quantidade de parâmetros a serem programados. Devido às dimensões do projeto e custos envolvidos, foi escolhido esta solução para controle da vazão.

#### 7.2.2.3 Circuito de Força

A alimentação especificada pelo fabricante para a bomba hidráulica escolhida exige um circuito monofásico. Para proteção deste circuito, será utilizado um disjuntor monofásico, uma chave-contadora e um relé térmico. A figura 30 representa este circuito elaborado no Software CADe Simu 3.0.

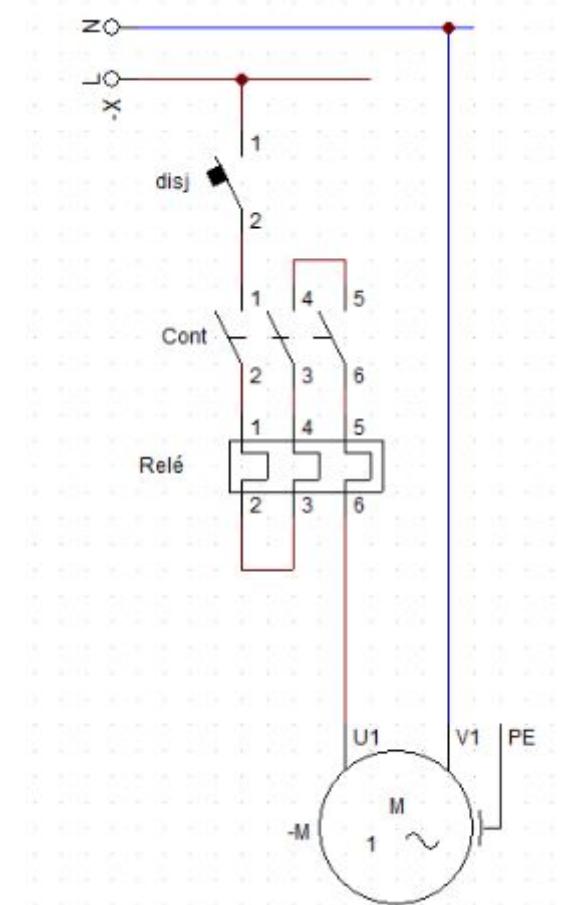


Figura 30 – Diagrama Monofásico

O disjuntor monofásico tem como função proteger os cabos e a chave-contadora, já esta será utilizada para o acionamento do motor de indução. O relé térmico, por sua vez, é um dispositivo de proteção que atua contra sobre-correntes, causando aumento da temperatura, consequentemente o desarme deste.

A montagem eletromecânica do circuito acima deve ser feita utilizando um quadro elétrico que tenha proteção contra poeira e contra jorro de água, já que este estará exposto ao tempo e ao próximo ao reservatório na plataforma. Dito isso, o grau de proteção exigido para o quadro é o IP54, conforme figura 31.



Figura 31 – Quadro Elétrico IP-54

# 8 Sistema Eletrônico

## 8.1 Módulos Medidores

Os módulos medidores serão responsáveis por coletar características do solo como umidade e temperatura para a tomada de decisão inteligente quanto às rotinas de irrigação. As subseções [8.1.1](#), [8.1.2](#) e [8.1.3](#) especificam o sensoriamento dos módulos medidores. Já a seção [8.5](#) apresenta os aspectos relativos ao microprocessador escolhido e suas características para os módulos medidores.

### 8.1.1 Sensor de Temperatura

O projeto tem como objetivo automatizar a irrigação de uma gramado com área aproximada de  $400m^2$ . O sensor então deve ser a prova d'água, afim de seja possível aferir a temperatura da superfície do solo sem que haja preocupação com a integridade física do sensor. Sendo assim, o sensor que se melhor se adequa aos requisitos do projeto é o sensor DS18B20 da *Maxim Integrated*.

O sensor DS18B20 é um termômetro digital oferece medidas de temperatura em Célsius com resolução de 9 a 12 bits e possui uma função de alarme. Cada sensor utiliza apenas uma porta para comunicação com o microcontrolador. Ademais, o sensor pode receber alimentação diretamente do microcontrolador, não necessitando de uma alimentação externa. Todo sensor possui um código serial único de 64 bits, o que permite que vários sensores funcionem utilizando a mesma porta de comunicação.

A seguir, está uma lista com algumas características do sensor.

- Tensão de Alimentação - 3,0V a 5,0V;
- Corrente de Operação - 1.5mA;
- Comunicação requer apenas uma porta digital do microcontrolador;
- Faixa de operação:  $-55^{\circ}\text{C}$  até  $+125^{\circ}\text{C}$ ;
- $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  de precisão garantida na faixa de temperatura entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+85^{\circ}\text{C}$ ;
- Resolução de 9 a 12 bits programável;
- Funciona com alimentação parasita (Alimentação pelo fio de comunicação);
- Altamente escalável;

- Função alarme ajustável pelo usuário.

Esse sensor necessita de 3 pinos para ligação ao microcontrolador: Vcc, GND e dados. Para este projeto, será necessário um resistor pull-up de 4,7K, conectado entre o pino de dados e o Vcc. Sem ele, o sensor não será detectado pelo programa do microcontrolador.

Entre os métodos de calibração para o sensor de temperatura, pode-se adotar um sistema simples. Esse sistema consiste na leitura de duas constantes físicas: o ponto de fusão e de ebulação da água (embora o último deva ser corrigido para a pressão atmosférica). Esse método é fácil, barato e possui boa precisão.

### 8.1.2 Sensor de Umidade

O projeto possui também como objetivo o monitoramento da irrigação do gramado. Logo, é necessário um sensor de umidade que possua alta durabilidade. Estão disponíveis no mercado sensores resistivos, capacitivos e tensiômetros. Para o propósito deste projeto, foi decidido, de acordo com os requisitos, que o sensor escolhido é o sensor capacitivo. O sensor capacitivo que melhor se adequa é o *SEN0193*.

O sensor de umidade capacitivo mede a quantidade de umidade no solo por sensibilidade capacitiva. Isso o torna menos suscetível a corrosão o que garante a alta durabilidade do sensor. Ele possui um regulador de tensão incluso, fazendo possuir uma tensão de operação entre 3,3V e 5,0V, o que proporciona boa compatibilidade com microcontroladores que operam na mesma faixa de tensão. Sua comunicação com microcontrolador é do tipo analógica, fazendo com o que o microcontrolador possua um conversor analógico digital para que seja realizada a leitura dos dados provenientes do sensor.

A seguir, está uma lista com algumas características do sensor.

- Tensão de Alimentação - 3,3V a 5,5V.
- Corrente de Operação - 5mA
- Tensão de Saída - 0 a 3,0V.
- Dimensões: 9,80 x 2,3 cm
- Peso: 15g

Entre os métodos para determinação da umidade do solo, o gravimétrico direto (padrão de estufa) é o mais preciso e utilizado como padrão para a calibração de outros métodos. Por meio desse método, o teor de água no solo é determinado de forma direta e seu valor expresso em percentagem de umidade.

$$U_{midade}(\%) = \frac{Ms + Mt}{Ms} \times 100 \quad (8.1)$$

Sendo: Ms, massa do solo seco; Mt, massa do solo úmido.

### 8.1.3 Carga da Bateria

Para alimentação dos módulos medidores, será utilizada uma bateria recarregável de lítio, modelo 18650, com 3,7V de tensão. Essa bateria deve ser monitorada, a fim de avisar ao usuário que a carga está baixa e deve ser recarregada. Uma característica pouca conhecida do ATtiny85 é a capacidade de medir a tensão de referência interna de 1,1 volts. Este recurso pode ser explorado para medir o Vcc – (utilizado para alimentação positivo), fornecida ao chip AVR – (microcontrolador), proporcionando, assim, um meio de monitorar a tensão da bateria.

A tensão de referência determina o limite superior da faixa do conversor A/D, ele poderá converter uma tensão (analógica) em um número inteiro de 8 bits (256 valores). Para melhorar a precisão dos dados, serão coletadas cinco amostras de 8 bits do conversor A/D, em seguida serão descartados o maior e o menor valor, e por fim, será calculada a média dos três restantes. Com essa precisão é possível mostrar valores de tensão com variação mínima de 14,51mV.

Sendo a tensão de referência igual a 1,1V e a tensão da bateria igual a 3,7V, será necessário diminuir a tensão máxima que o ATtiny85 receberá. Isso é possível através de um divisor de tensão, utilizando 2 resistores em série. A fórmula a baixo indicará a proporção dos resistores.

$$\frac{V_{in}}{V_{out}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \rightarrow \frac{1,1}{3,7} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \rightarrow Z_2 = 1,1; Z_1 = 2,5 \quad (8.2)$$

Ou seja, a proporção dos resistores deve ser de 2,27:1. Pode-se escolher qualquer valor para esses resistores, mantendo a proporção, sendo que quanto maior o valor menor será a interferência na aferição do VCC.

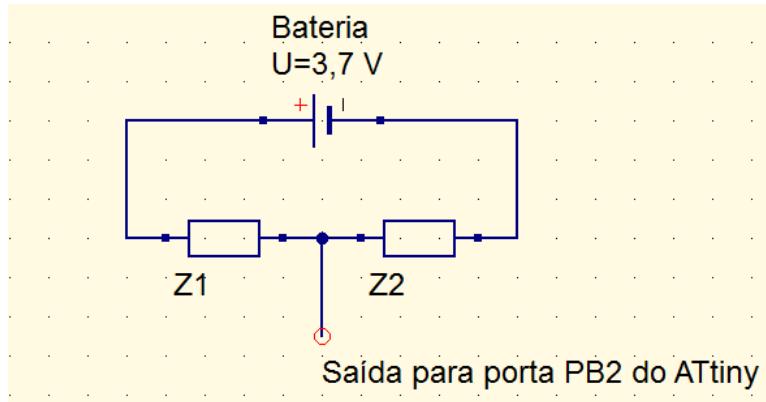


Figura 32 – Circuito divisor de tensão

## 8.2 Sistema de Atuadores

Para o Sistema de Atuadores a solução de eletrônica inclui o controle do sistema de bombeamento via módulo de relês; sensoriamento do sistema hidráulico: (i) gasto hídrico, (ii) nível de água do reservatório; Ademais, o hardware microcontrolado adotado no sistema de atuadores é especificado e caracterizado na seção 8.5. De acordo com os requisitos elaborados para o sistema, a comunicação RF (seção 8.4) também é o meio de comunicação escolhido entre o Sistema de Atuadores e a Central de Controle.

### 8.2.1 Sensoriamento do Gasto Hídrico

O Sensoriamento do gasto hídrico será realizado a partir de um sensor de fluxo de água, que é um dispositivo que consiste basicamente de um corpo de válvula de plástico, um conjunto de rotor e um sensor de corrente do tipo Hall. É instalado na entrada de água para da detecção do fluxo. Quando a água flui através do conjunto rotor, o mesmo gira, fazendo com que o sensor Hall gere em sua saída uma onda quadrada com frequência que aumenta diretamente proporcional com o fluxo. Dentre os sensores disponíveis no mercado, destaca-se o YF-S201B, apresentado pela figura 33, que de acordo com suas especificações técnicas e preço, se adequa ao projeto Irri.



Figura 33 – Sensor de Fluxo YF-S201B

A seguir, está uma lista com algumas especificações do sensor.

- Leve, pequeno e fácil de montar;
- Tipo de Sensor: Efeito Hall;
- Tensão de Operação: 5,0V a 24,0V;
- Corrente máxima de operação: 15mA (5,0V);
- Faixa de Fluxo: 1 a 30 l/min;
- Pressão Máxima: 2,0 MPa;
- Pulsos por litro: 450;
- Frequência:  $7,5 \cdot \text{Fluxo(l/min)}$ ;
- Temperatura de operação: -25°C a 80°C;
- Pinagem: Vermelho → alimentação; Amarelo → Saída PWM; Preto → GND;
- Preço médio: R\$ 39,90.

### 8.2.2 Sensoriamento do Nível do Reservatório

Um sensor de nível é um dispositivo de instrumentação eletrônica que funciona como uma chave on-off, que pode ser utilizado para o acionamento de bombas, relés, válvulas solenoides, lâmpadas e etc através de um microcontrolador. É construído de material plástico, composto de uma haste, na qual desliza um cilindro feito de material pouco denso. Esse cilindro possui um íma que aciona um sensor magnético no meio da haste, que por sua vez fecha o contato dos fios que saem do sensor.

É importante notar que, como seu funcionamento é baseado em uma chave liga e desliga, é fundamental que sejam utilizados resistores de pull-down na entrada do microcontrolador para que não haja curto circuito na porta de entrada do sinal.

A seguir, está uma lista com algumas especificações do sensor.

- Material: Plástico PP;
- Tensão Máxima de Operação: 100V DC ;
- Corrente Máxima de Operação: 1A;
- Carga Máxima: 50W;
- Temperatura de operação: -20°C a 80°C;
- Peso: 12g;
- Dimensões: 50 x 19mm.

### 8.2.3 Circuito de Alimentação

A subseção de Circuito de Alimentação descreve os requisitos e as funcionalidades do circuito retificador.

O microcontrolador escolhido para o controle do sistema de atuador é a ESP32. De acordo com seu datasheet, sua tensão de alimentação é 3,3V e sua corrente é de 500mA na sua máxima operação. Logo, é necessário que seja elaborado um circuito retificador para a conversão da tensão alternada fornecida pela concessionária de energia elétrica para a tensão contínua adequada para o sistema.

Dado que a tensão entregue pela concessionária de energia elétrica de Brasília (CEB) é de 220V à 60Hz, será necessário um transformador de aproximadamente 35:1, transformando 220VAC para aproximadamente 6,3VAC. Após a tensão ser abaixada, o sinal elétrico passa por uma ponte retificadora, afim de transformar a senóide em pulsos positivos de frequência duas vezes maior que a da entrada.

Passado este processo de retificação da onda, é necessário a filtragem dos pulsos, logo é necessário que o capacitor possua tempo de carga e descarga lento, a fim de que a descarga seja mais lenta que a próxima carga do capacitor. A saída nessa parte do circuito está entre 6,3V e 4,5V.

Para a adequação da tensão na saída, é colocado um diodo zener de 3,9V, para que a saída seja constante à essa tensão. A saída do diodo é ligada à base de um transistor TBJ PNP com tensão VEB de 0,6V, para que a corrente entregue seja maior. Logo, a saída do circuito terá 3,3V e corrente máxima de 1A.

A figura 34 mostra o esquemático do circuito, enquanto a lista descreve os materiais a serem utilizados na construção.

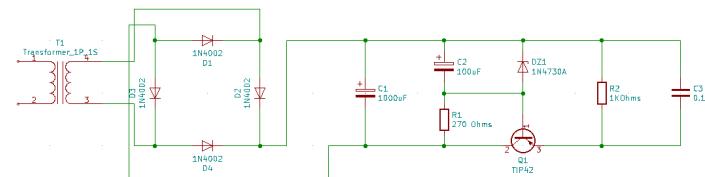


Figura 34 – Esquemático do Circuito de Alimentação para o controle do Sistema de Atuadores

- 1 Transistor TBJ TIP42 PNP 4A
- 1 Resistor  $270\Omega$  1/2W
- 1 Resistor  $1K\Omega$  1/2W
- 2 Capacitores  $1000\mu F/25V$  Eletrolítico
- 1 Capacitor  $100\mu F/25V$  Eletrolítico
- 1 Capacitor  $0.1\mu F/50V$  Cerâmico
- 4 Diodos 1N4002 - 100V, 1A
- 1 Diodo Zener 1N4730A 3,9V 1W
- 1 Transformador 230VAC - 6.3VAC 1A

### 8.3 Central de Controle

A central de Controle é o subsistema responsável pelo gerenciamento dos Módulos Medidores e pelo Sistema de Atuadores. Conforme os requisitos levantados no Ponto de Controle 1 e diante da análise mostrada adiante na seção 8.5 que trata exclusivamente do processamento dos subsistemas, a Central de Controle empregará um microprocessador com *Linux* embarcado - em especial um RaspberryPi 3B+. Na seção 8.4 que trata do sistema de comunicação RF é especificada um topologia de rede em estrela para os subsistemas constituintes do **Irri**. Agregado a essas características, a Central de Controle será também o ponto de integração com a solução de software para processamento dos dados coletados e redirecionamento para a API e microsserviços.

Nesse sentido, pode-se elencar alguns dos componentes da Central de Controle: (i) Comunicação RF via NRF24L01 ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#)); (ii) Comunicação WiFi e Ethernet via RaspberryPi; (iii) Display TFT Touch Screen; (iv) Circuito de Alimentação: 220V AC - 5V DC 3A. Ressalta-se que o sistema de comunicação proposto para o sistema é explicitado em minúcias na seção [8.4](#) e todos os aspectos relativos ao processamento do sistema são também expostos na seção [8.5](#). Dessa maneira, o restante final da presente seção se destina a especificar a aplicação de interface gráfica a ser utilizada com o display touch e a especificar o circuito de alimentação proposto para fornecimento de energia a Central via rede elétrica.

### 8.3.1 Interface da Central de Controle via Ecrã Tátil

A interface da Central deve garantir uma visualização simples e compacta dos estado de operação dos Módulos Medidores e do Sistema de Atuadores. A interface será desenvolvida no ambiente *Qt Creator* ([QT..., 2018](#)) presente na Raspberry Pi. No presente ponto de controle apresentamos o *mockup* das telas presentes na interface a ser desenvolvida.



Figura 35 – Tela Inicial da Central de Controle

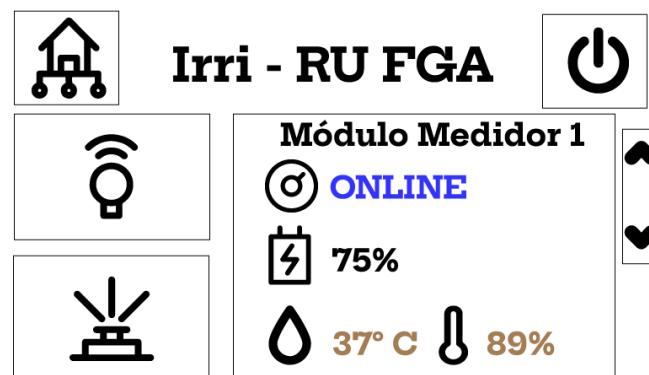


Figura 36 – Tela dos Módulos Medidores



Figura 37 – Tela dos Sistema de Atuadores

### 8.3.2 Circuito de Alimentação da Central de Controle

Por último, é preciso conceber um circuito de alimentação capaz de alimentar os componentes citados inicialmente. De acordo com as especificações constantes no datasheet da Raspberry Pi 3B+ ([RASPBERRY... , 2019](#)) é preciso fornecer uma entrada com uma tensão de 5 V e corrente usual de operação 2.5 A, podendo alcançar até 3 A. Os dados no datasheet também informam que o regulador de tensão presente no equipamento suporta tolerâncias de até  $\pm 5\%$  na tensão de entrada. Como os elementos periféricos também serão alimentados pela Raspberry Pi torna-se conveniente desenvolver um único circuito que alimente o sistema.

Diante das especificações foram buscados circuitos integrados do tipo regulador de tensão para o circuito de alimentação. Usualmente, circuitos reguladores de tensão suportam correntes de até 1 A. Como as exigências impostas para o circuito são maiores é preciso adotar um circuito do tipo "buck" (*step-down*). Esse tipo de circuito funciona por meio do chaveamento da tensão de entrada permitindo sua passagem ou ligando a entrada a um indutor. Juntamente com um regulador de tensão e um circuito de realimentação é possível controlar a tensão de saída conforme desejado. Como esse procedimento de chaveamento impõe ripples na tensão de saída é preciso atenuar essas flutuações com elementos externos ao circuito como capacitores e filtros. O LM2576 ([ON-SEMICONDUCTORS, 2006](#)) é um CI que atende aos requisitos do projeto com variações na tensão de saída de  $\pm 4\%$  e corrente máxima de 3 A. Além de possuir proteção térmica e baixa dissipação térmica, o circuito externo ao componente requer poucos elementos para construção. Uma das aplicações típicas desse componente é mostrada a seguir, tendo sido testada e validada pelo fabricante ([ON-SEMICONDUCTORS, 2006](#)). Adicionalmente, para prover a tensão DC na entrada do circuito com LM2576 será empregado um Transformador 220 V AC - 12 V com tap central e uma ponte retificadora de onda completa.

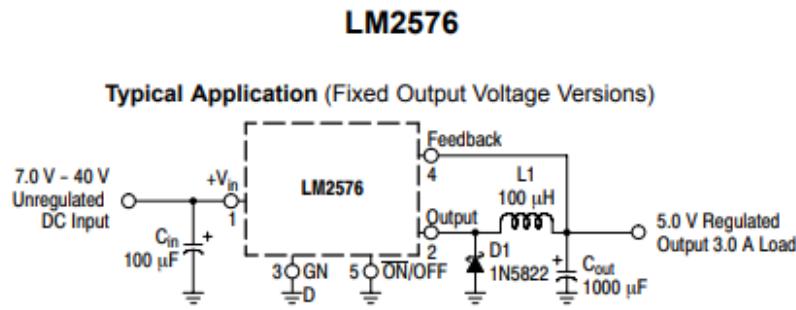


Figura 38 – Esquemático para aplicação típica de Fonte 5V 3A com LM2576

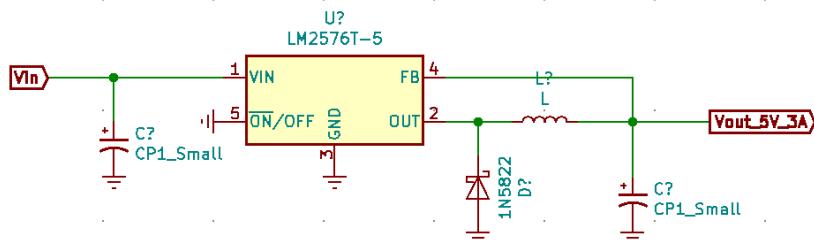


Figura 39 – Esquemático para produção do Layout da PCB

## 8.4 Sistema de Comunicação

Dentro do contexto de *IoT*, a comunicação assume um papel crucial na difusão de informações para a rede escolhida. A necessidade em transferir as informações entre os Módulos Medidores, Sistema de Atuadores para a Central de Controle coloca-se como um ponto de interesse para a equipe de Eletrônica.

O produto a ser desenvolvido propõe uma coleta de dados e o controle dos atuadores de maneira remota. Por simplicidade e visando redução de complexidade do sistema, definiu-se que os subsistemas (Módulos e Atuadores) comunicariam-se exclusivamente com a Central de Controle sem nenhum elemento intermediário na rede, configurando uma topologia de rede em estrela. Ademais, trata-se de uma das topologias mais comuns para diversos sistemas.

A topologia em estrela reduz o impacto de falhas na transmissão ao conectar de maneira independente cada *host* ao elemento central. Uma das vantagens é de que caso um módulo presente no solo sofra algum dano ambiental ou humano não afetará os outros módulos. Entretanto, o elemento central é um ponto único e geral de falha da rede. Ademais, a topologia de rede escolhida facilita a adição de mais elementos sem elevada dificuldade.

### 8.4.1 Definição de Protocolo para a Rede Estrela

Dentre os protocolos de comunicação que são compatíveis com as necessidades do projeto incluem-se: WiFi, LoRaWAN, SigFox, ZigBee, Bluetooth e Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup>. Dentre as características necessárias para o projeto destacam-se: baixo consumo (especificamente para os Módulos Medidores); alcance médio (10-100m em média) para cobertura da área a ser irrigada.

Algumas características pertinentes aos protocolos citados são descritas a seguir para então realizar uma tomada de decisão para o protocolo a ser utilizado.

#### LoRaWAN

Protocolo de comunicação voltado para comunicação *Machine to Machine* de baixo consumo energético com topologia estrela e longo alcance (15km). Os kits de desenvolvimento apresentam custo relativamente elevado e módulos são de tamanho médio.

#### Sigfox

Aliado ao LoRaWAN, o Sigfox também é uma tendência no ramo de IoT. Coloca-se como uma alternativa entre WiFi e redes de maior alcance. Utiliza a banda ISM (*Industrial-Scientific-Medical*) por meio de uma tecnologia *UNB - Ultra Narrow Band*. Aplicável para taxa mais reduzidas entre 10bits/s e 1kbit/s com alcance de 30-50 Km.

#### WiFi

Possivelmente o protocolo mais difundido e utilizado para LAN (*Local Area Network*), apresentando suporte a grande volume de dados e altas taxas de transmissão com alto consumo energético e curto alcance (em torno de 50m).

#### Zigbee

Protocolo bastante utilizado e documentado, forma um padrão para redes *wireless* industriais de 2.4GHz, alcance de 10-100m com taxa máxima de 250kbps regularmente. Ademais, Os módulos possuem elevado custo para aquisição.

#### Bluetooth 5.0

Protocolo bastante utilizado para aplicações comerciais de IoT já que oferece alcance de até 200m e taxas de 50Mbit/s. Aliado a isso, possui extensa documentação e compatibilidade com diversos sistemas microcontrolados.

### Enhanced Shockburst

Este protocolo oferece controle do envio de pacotes de dados, controlando sua montagem, temporização e re-transmissão em caso de falhas. Possibilita a implementação de sistemas de comunicação de elevada performance com baixo consumo energético operando na banda ISM com taxas de até 1Mbit/s. Ademais, é otimizado para sistemas microcontrolados, reduzindo a complexidade de implementação.

### Considerações Finais

Os dois protocolos que melhor se adequam são: Bluetooth e Enhanced Shockburst. Embora o Bluetoth apresente maior taxa de transmissão, o volume de dados do sistema é compatível com o Enhanced Shockburst. Ambos possuem transceptores de dimensões compatíveis com as necessidades do projeto - para os módulos medidores o tamanho reduzido é um aspecto crítico, bem como baixo consumo energético. Em especial, o Enhanced Shockburst destaca-se por oferecer mais modos de comunicação e suportar operação autônoma de montagem envio e retransmissão de pacotes. Comercialmente, o módulo NRF24L01 da *Nordic Semiconductor* utiliza esse protocolo. Nesse módulo, a operação com maior taxa de transmissão e modos de baixo consumo torna-o ideal para sistemas com microcontroladores proposto pelo nosso projeto. Para uso na Central de Controle pode ser usada uma versão deste módulo com maior alcance.

#### 8.4.2 Circuito do Transceptor NRF24L01

A interface de dados e controle detêm total acesso ao módulo NRF24L01 ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#)). Essa interface consiste em sinais digitais com tolerância de 5V:

- IRQ - Sinal ativo em nível baixo e controlado por três interrupções mascaráveis
- CE - Sinal ativo em nível alto e usado para ativar o chip em RX ou TX
- CSN - Sinal para comandos SPI em transição *High-Low*
- SCK - Sinal SPI
- MOSI - Sinal SPI
- MISO - Sinal SPI

### 8.4.3 Caracterização do Transceptor RF

Diante das especificações constantes no *datasheet* do dispositivo NRF24L01 ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#)) é realizado um panorama de suas características quanto a implementação da camada Física e de Enlace que são implementadas no transceptor segundo o padrão *OSI* (*Open Systems Interconnection*).

O módulo escolhido permite ainda uma configuração para a topologia de rede em estrela com auxílio da tecnologia *MultiCeiver<sup>TM</sup>* presente de maneira conjunta com o protocolo *Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup>*. Um módulo configurado como RX primário (PRX) consegue se comunicar com 6 *data pipes*, vide figura 40. Cada *data pipe* contém um endereço único mantendo o mesmo canal de frequência. Significa que até outros 6 módulos em TX primário (PTX) comunicam-se com um PRX. Todos os *pipes* podem utilizar Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup>.

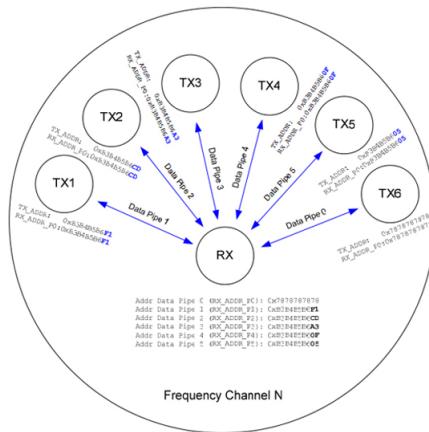


Figura 40 – *MultiCeiver<sup>TM</sup>* em topologia de rede estrela para até 6 dispositivos PTX

## Camada Física

Na camada física são tratados: (i) taxas de transferências de dados, (ii) frequências de recepção e transmissão, (iii) largura de banda do sinal e espaçamento entre bandas de transmissão (iv) filtros de modulação e demodulação. O módulo implementa todas essas funcionalidades e permite a configuração dos parâmetros via comandos SPI. A banda de operação do transceptor é a ISM com faixa entre 2.4 GHz e 2.4835 GHz, com modulação *GSFK* - *Gaussian Frequency Shift Keying*, antena comum entre receptor e transmissor possibilitando taxas de 250 Kbps, 1 e 2 Mbps. O diagrama de blocos é mostrado a seguir na figura 41 com os elementos de Transmissão, Recepção, Banda-Base e interface SPI.

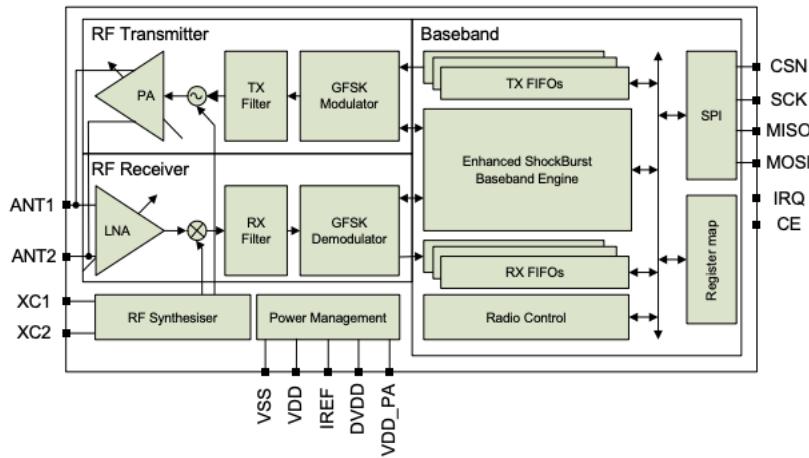


Figura 41 – Diagrama de blocos NRF24L01. Fonte: ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#))

O funcionamento do transceptor é controlado por meio de comandos SPI e determina transições entre os estados de uma FSM (*Finite State Machine*). Os modos de operação são: (i) *Power Down*, (ii) *Standby 1*, (iii) *Standby 2*, (iv) *RX*, (v) *TX*. A descrição básica dos modos de operação é colocada a seguir.

- (i) *Power Down*: Mantém consumo mínimo de corrente e estado dos registradores SPI, permite ativação via comandos SPI.
- (ii) *Standby 1*: Modo de baixo consumo com menor corrente média, permitindo tempos curtos de inicialização.
- (iii) *Standby 2*: Nesse modo, *buffers* de clock adicionais são ativados e há maior consumo de corrente em comparação ao *Standby 1*. O transceptor NRF24L01 entra no modo citado caso os FIFOs TX estejam vazios e uma transmissão seja requerida. Caso uma pacote seja inserido no FIFO TX, o filtro *PLL* é iniciado e a transmissão ocorre após  $\delta t_{PLL} = 130\mu s$ .
- (iv) *RX*: É ativado como receptor. Se um pacote válido (endereço correto e CRC não apresenta erros) for recebido, o *payload* é inserido no FIFO RX. Caso o FIFO RX esteja cheio, o conteúdo é descartado. Adicionalmente, o módulo permanece em *RX* até que seja realizada uma troca de modo de operação. Ressalta-se que o protocolo Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup> pode trocar de modo de operação de maneira automática.
- (v) *TX*: Transceptor realiza a transmissão até o FIFO TX esteja vazio se o bit rfce (*RF Control Enable*). Caso contrário, somente é enviado um pacote por vez. O *datasheet* ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#)) especifica que a temporização do modo TX máxima é de 4ms, sendo importante ater-se a esse limite.

## Taxas e Frequências do Canal

A largura de banda para cada canal varia de acordo com a taxa de transmissão configurada. Para as taxas de 250 kbps e 1Mbps, a largura de banda é inferior a 1MHz. Em taxas de 2 Mbps, a largura varia de 1 até 2 MHz. Essa especificação impõe espaçamento de 1 MHz no primeiro caso e 2 MHz para a taxa de 2 Mbps. Ademais, o espaçamento mínimo de frequência configurável é de 1 MHz.

A frequência do canal é configurável via registrador *RF\_CH*. Para poder utilizar comunicação mútua conforme mostrado na figura 40 é preciso que os elementos TX e RX compartilhem a mesma frequência do canal.

## Camada de Enlace - Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup>

Conforme especificação na seção 8.4.1 o protocolo a ser utilizado é o Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup> presente no transceptor NRF24L01 ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#)).

Esse protocolo de enlace oferece montagem automática de pacote, temporização, reconhecimento de envio (*ack - acknowledge*) e retransmissão de pacotes. Permite o envio de dados com *payload* de 1 a 32 bytes e 6 *data pipes* Multiceiver<sup>TM</sup> para redes estrela com até 6 dispositivos para cada canal de frequência com endereçamento único.

## Formatação de Pacotes - Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup>

O formato de pacote para o protocolo é mostrado a seguir na figura 42 e contém: (i) Preâmbulo, (ii) Endereço, (iii) Campo de Controle do Pacote, (iv) Carga (*Payload*), (v) CRC - (*Cyclic Redundancy Check*).



Figura 42 – Formatação de Pacote - Enhanced ShockBurst<sup>TM</sup>. Fonte: ([NORDICSEMI-CONDUCTOR, 2008](#))

- (i) Preâmbulo: Encarrega-se da sincronização do demodulador no receptor do pacote.
- (ii) Endereço: Campo para endereço único do destinatário. O endereço garante envio para o dispositivo correto.
- (iii) Campo de Controle do Pacote: Campo de 9 bits para controle da sequência de transmissão no qual 6 bits indicam tamanho do pacote; 2 bits com ID do pacote; 1 bit para *flag* de *no-ack*.

- (iv) *Payload*: Campo de tamanho variável de 1 até 32 bytes com dados a serem enviados.
- (v) *CRC - Cyclic Redundancy Check*: Detecta erros no pacote. Em caso de falha no CRC o pacote não é aceito e requer retransmissão. O código corretor é calculado sobre o endereço.

## 8.5 Processamento

A solução proposta pelo projeto **Irri** é baseada no desenvolvimento de três componentes: **Central de Controle**, **Módulos Medidores** e um **Sistema de Atuadores**. Cada um dos componentes citados possuem suas próprias especificações, sendo assim serão selecionados de forma individual. Considerando para a escolha 5 características principais, são elas: (i) Protocolos de comunicações (SPI,  $I^2C$ , UART), (ii) Quantidade de GPIO, (iii) Consumo de energia, (iv) Custo, (v) Disponibilidade no mercado nacional.

Em comum todos eles deverão ser capazes de se comunicar utilizando o módulo de comunicação selecionado previamente o NRF24L01 ([NORDICSEMICONDUCTOR, 2008](#)), utilizando comunicação SPI ou  $I^2C$ .

Tabela 2 – Microcontroladores Avaliados

Product Family	Custo (R\$)	GPIO	Flash Memory (Kb)	Função Periférica								Potência	
				Analogico		Comunicação			Geral				
				ADC (# bits)	ADC (# pin)	SPI	I2C	UART	Wi-Fi	Sleep Mode	Clock (MHz)	Tensão (V)	Corrente (A)
<b>Asus</b>													
Thinkerboard R/BR	359,00	28	SD	0	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	1800	5	230 mA
<b>Raspberry</b>													
Pi 4	475	26	SD	0	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	1500	5	140 mA
Pi 3 B+	249,00	26	SD	0	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	1400	5	80 mA
Pi Zero W	109,00	26	SD	0	-	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	1000	5	80 mA
<b>Beaglebone</b>													
Beaglebone Black	799,00	74	SD	12	7	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	1000	5	140 mA
PocketBeagle	224,00	72	SD	12	7	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	1000	5	80 mA
<b>ESP</b>													
ESP32	49,90	32	448	12	20	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	240	4.5 ~9.0	80 mA
ESP8266	29,90	16	512	10	1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	80	4.5 ~9.0	80 mA
<b>ATmega</b>													
ATMEGA8A-PU	14,00	23	8	10	6	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	16	2.7 ~5.5	3.6 mA
ATMEGA328P	25,00	32	32	10	6	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	16	1.8 ~5.5	6.6 mA
<b>ATtiny</b>													
ATtiny85	17,00	6	8	10	4	Sim	Sim	Não	Não	Sim	16	1.8 ~5.5	300 $\mu$ A
ATtiny167	40,00	16	16	10	11	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	20	1.8 ~5.5	600 $\mu$ A
<b>PIC</b>													
PIC12F675	12	6	8	10	4	Sim	Sim	Não	Não	Sim	240	2.0 ~5.5	100 $\mu$ A
PIC16F877A	30	33	14.3	10	8	Sim	Sim	Não	Não	Sim	20	2.0 ~5.5	0.8 mA
PIC18F452	40,00	34	32	10	8	Sim	Sim	Não	Não	Sim	40	2.0 ~5.5	1.6 mA
PIC24FJ64GB002	35,00	34	64	10	9	Sim	Sim	Não	Não	Sim	32	2.0 ~3.6	10 mA
<b>MSP</b>													
MSP4302553G	30	24	16	10	8	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	16	2.8 ~3.6	230 $\mu$ A
<b>Particle</b>													
Photon IoT	192,90	18	1000	10	8	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	120	3.6 ~5.5	80 mA

A tabela 2 lista os microcontroladores que são facilmente encontrados no mercado brasileiro e que atendem os requisitos de comunicação para os sistemas.

Com os dados contidos na tabela 2 e as características específicas desejadas para cada sistema foi feita uma matriz de decisão([MATRIZ..., 2017](#)). A qual foi atribuída uma nota (1, 2, 3, 4, 5) para cada um dos critérios.

### 8.5.1 Módulos Medidores

A principal característica deste subcomponente será sua fonte de energia restrita, uma bateria de Li-Ion 3.7V. Portanto a eficiência energética é o principal requisito desse módulo, mas ainda que consiga suportar efetivamente os dispositivos IOT a serem implantados listado abaixo:

- Sensor de Umidade (1 Conversor A/D),
- Módulo RF NRF24L01 (3 pinos SPI ou 1  $I^2C$ ),
- Sensor de temperatura (1 pino Digital),
- Estimativa da Bateria (1 Conversor A/D).

Tabela 3 – Matriz de decisão para processador dos Módulos Medidores

Product Family	Custo (R\$)	GPIO	Fácil Programação	Função Periférica			TOTAL
				ADC	Protocolos	Potência	
<b>ESP</b>							
ESP32	2	5	5	5	5	1	23
ESP8266	3	5	5	5	5	1	24
<b>ATmega</b>							
ATMEGA8A-PU	5	5	5	5	5	3	28
ATMEGA328P	4	5	5	5	5	2	26
<b>ATTiny</b>							
ATTiny85	5	4	5	5	4	5	28
ATTiny167	3	5	5	5	5	4	27
<b>PIC</b>							
PIC12F675	5	4	2	5	4	5	25
PIC16F877A	3	5	2	5	5	4	24
PIC18F452	3	5	2	5	5	3	23
PIC24FJ64GB002	3	5	2	5	5	2	22
<b>MSP</b>							
MSP4302553G	3	5	3	5	5	4	25
<b>Particle</b>							
Photon IoT	1	5	4	5	5	1	21

Foram desconsiderados da matriz de decisão as famílias de placas Asus, Raspberry e Beaglebone devido ao elevado consumo energético e custo frente às demais possibilidades.

Sendo assim a maior pontuação atingida pelo microprocessador Attiny85 ([ATMEL... , 2013](#)), tendo suas principais qualidades como: (i) Potência, (ii) Preço e (iii) Facilidade de Programação.. O ATmega8A-PU ficou empatado em primeiro lugar mas este fora desconsiderado por ter a necessidade de acoplar circuitos externos para seu funcionamento.

### 8.5.2 Atuadores

- Módulo RF NRF24L01 (3 pinos SPI ou 1  $I^2C$ ),

- Sensor de fluxo (1 Conversor A/D),
- Sensor de Nível (1 pino Digital).

Tabela 4 – Matriz de decisão para processador da Central

Product Family	Custo (R\$)	GPIO	Fácil Programação	Flash Memory	Função Periférica				TOTAL
					ADC	Comunicação	Geral	Potência	
<b>ESP</b>									
ESP32	4	5	5	5	5	5	5	4	38
ESP8266	5	3	5	5	1	5	5	4	33
<b>ATmega</b>									
ATMEGA8A-PU	5	4	5	1	2	5	3	5	30
ATMEGA328P	5	5	5	3	2	5	3	5	33
<b>PIC</b>									
PIC16F877A	5	5	2	2	3	5	3	5	30
PIC18F452	4	5	2	3	3	5	4	5	31
PIC24FJ64GB002	4	5	2	3	3	5	4	5	31
<b>MSP</b>									
MSP4302553G	5	3	3	2	3	5	3	5	29
<b>Particle</b>									
Photon IoT	1	3	4	5	3	5	5	4	30

### 8.5.3 Central

A principal função da central é se comunicar com os módulos Medidores e comandar os atuadores. A central deve ser capaz de interagir com o usuário por meio de display e também armazenar os dados coletados e enviar pela aplicação. Podendo utilizar para se conectar a aplicação conexões cabeadas de internet (Ethernet) ou conexões sem fio (Wi-fi) locais.

- Comunicação Wi-Fi,
- Entrada Ethernet,
- Modulo RF NRF24L01 (3 pinos SPI ou 1  $I^2C$ ),
- Display TFT Touch Screen.

Tabela 5 – Matriz de decisão para processador da Central

Product Family	Custo (R\$)	GPIO	Fácil Programação	Função Periférica			Total
				Protocolos	Wi-Fi	Geral Clock (MHz)	
<b>Asus</b>							
Thinkerboard R/BR	4	4	5	5	5	5	28
<b>Raspberry</b>							
Pi 4	3	4	5	5	5	4	26
Pi 3 B+	5	4	5	5	5	4	28
Pi Zero W	5	4	5	5	5	2	26
<b>Beaglebone</b>							
Beaglebone Black	1	5	3	5	5	2	21
PocketBeagle	3	5	3	5	5	2	23

Seguindo a tabela 5. As maiores pontuação foram da Raspberry 3 B+ (RASPBERRY..., 2019) e da Asus Thinkerboard R/BR. Contudo nesta fase de prototipagem, a adoção da placa Raspberry Pi 3B+ como o hardware para a central se mostra interessante, considerando a disponibilidade e conhecimento da placa pelo grupo.

## 8.6 Funcionamento de Geral da Solução Eletrônica

Na presente seção será dada um visão geral da arquitetura do sistema eletrônico, sobretudo em termos de comportamento e fluxo de informações. Inicialmente, é apresentado um diagrama de blocos do sistema. Posteriormente, são mostrados esquemáticos dos circuitos para a Central de Controle, Sistema de Atuadores e Módulos Medidores.

### 8.6.1 Diagrama de Blocos do Sistema Eletrônico

A figura 43 apresenta um diagrama de blocos de integração dos três sistemas eletrônicos.

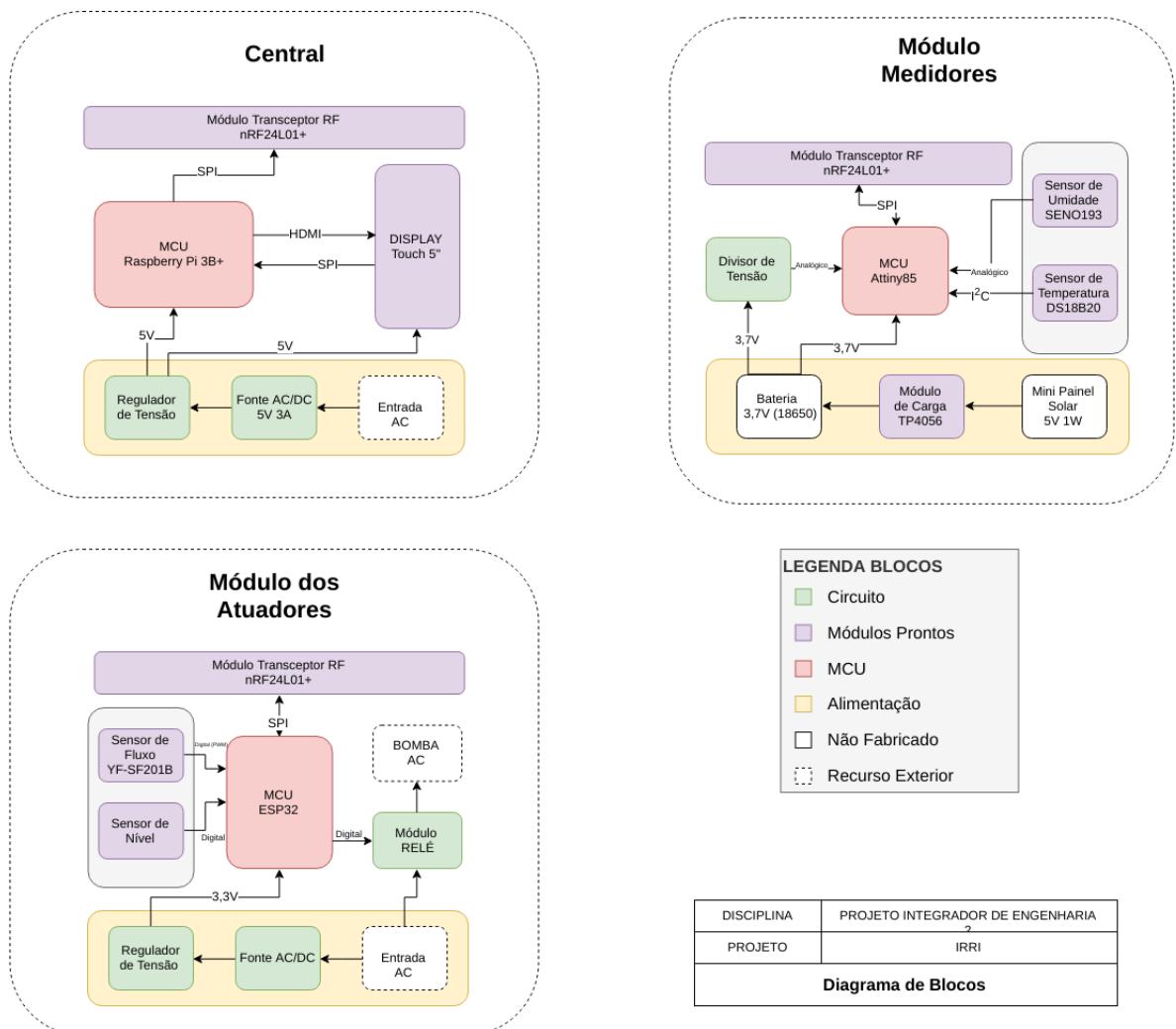


Figura 43 – Diagrama de Blocos do Sistema Eletrônico

### Central de Controle

- O *SoC* utilizado é a Raspberry PI 3B+ que irá comandar os módulos e atuadores a partir dos dados presentes no *WebApp* e dos módulos medidores.
- A comunicação da Raspberry Pi com o *WebApp* será feita a partir do Wi-Fi ou Ethernet.
- O módulo RF NRF24L01 será utilizado para a comunicação RF entre os outros subsistemas.
- A interação com o usuário também se dá por meio de um Display TFT Touch Screen 5".
- A alimentação do sistema é realizada por uma fonte de 5V que fornece uma corrente máxima de 3A.

### Módulos Medidores

- Para esse sistema foi utilizado Attiny85, um *MCU* de baixo consumo.
- O módulo RF NRF24L01 será utilizado para a comunicação RF com a central. Utilizando o protocolo SPI para a conexão com o MCU.
- O sensor de temperatura DS18B20 será utilizado para a estimativa da temperatura do solo.
- Para a umidade do solo será utilizado o sensor capacitivo SENO193.
- Também teremos um circuito para estimar da bateria do sistema.
- Célula Solar de 5V juntamente com o modulo de carga TP4056 para garantir o correto carregamento da bateria do sistema.

### Sistema de Atuadores

- O microcontrolador utilizado é a Esp32 e ela irá realizar o controle dos atuadores a partir dos comandos recebidos pela central.
- O módulo RF NRF24L01 será utilizado para a comunicação RF com a central. Utilizando o protocolo SPI para a conexão com o MCU.
- O sensor de fluxo de aguá sera utilizado para mensurar a quantidade de água gasta pelo sistema.

- O sensor de nível sera acoplado ao reservatório de aguá para evitar o funcionamento da bomba em situações adversas.
- O modulo relé sera utilizado para o acionamento da bomba.
- A alimentação do sistema irá ser feito por uma fonte de 3,3V que fornece uma corrente máxima de 1A.

## 8.7 Esquemático dos Circuitos

Uma vez que foram definidos todos os componentes e circuitos eletrônicos necessários, seus comportamentos esperados e fluxos de dados entre as partes, pode-se elaborar suas conexões físicas. A seguir são mostrados os esquemáticos dos circuitos para cada um dos módulos do sistema.

### 8.7.1 Central de Controle

O circuito presente na Central de Controle contém os seguintes componentes: (i) Módulo RF - NRF24L01; (ii) RaspberryPi 3B+; (iii) Display TFT Touch Screen; (iv) Circuito de Alimentação. Nesse sentido, propõe-se o seguinte esquemático mostrado em [44](#).

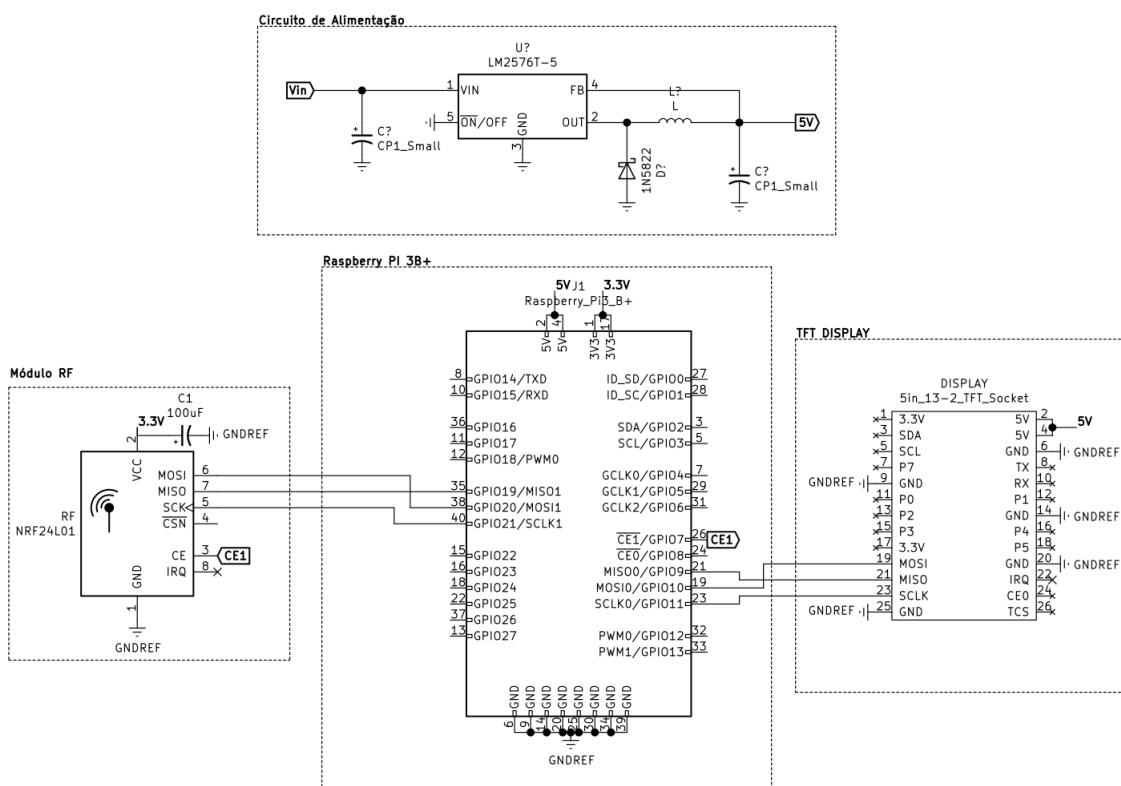


Figura 44 – Esquemático do Circuito para Central de Controle

### 8.7.2 Sistema de Atuadores

O circuito presente no Sistema de Atuadores contém os seguintes componentes:  
 (i) Módulo RF - NRF24L01 (ii) ESP32 (iii) Sensor de Nível Tipo Boia (iv) Sensor de Fluxo YF-S201B

Nesse sentido, a figura 45 apresenta o esquemático da central de comando do Sistema de Atuadores

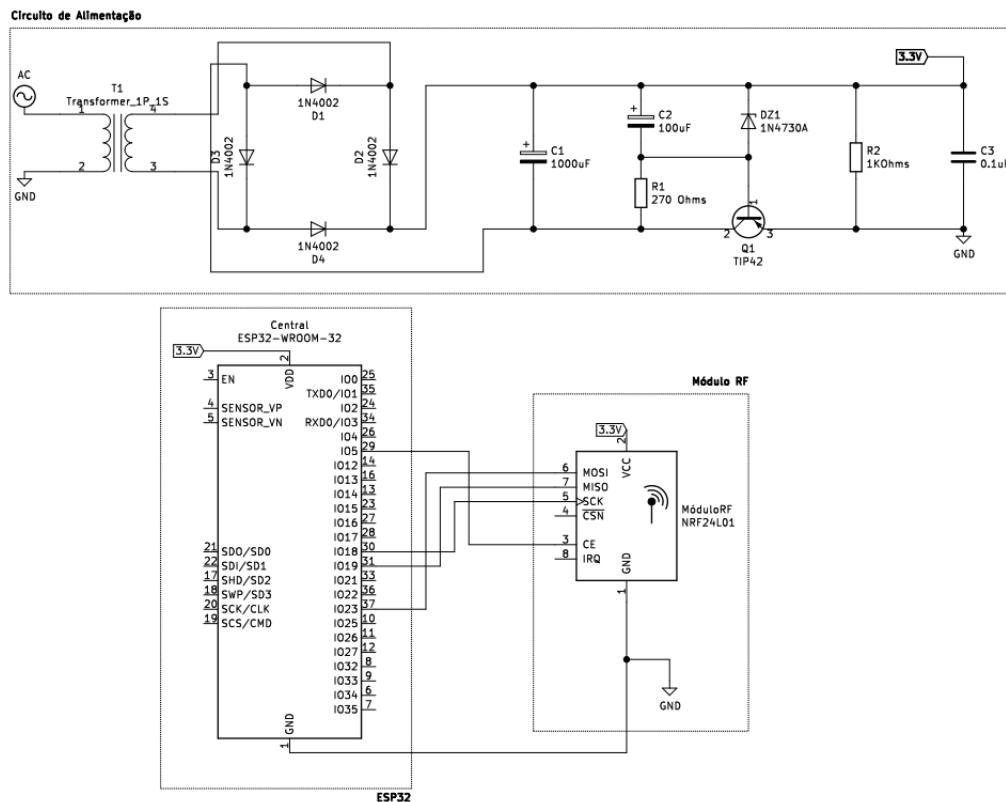


Figura 45 – Esquemático do Circuito para Central de Comando do Sistema de Atuadores

### 8.7.3 Módulos Medidores

O circuito presente no Sistema de Atuadores contém os seguintes componentes:  
 (i) Módulo RF - NRF24L01 (ii) ATTiny85 (iii) Sensor de Temperatura DS18B20 (iv) Sensor de Umidade do Solo SENO197 (v) Bateria Li-Ion 3,7V (vi) Painel Solar

Nesse sentido, a figura 46 apresenta o esquemático dos Módulos Medidores.

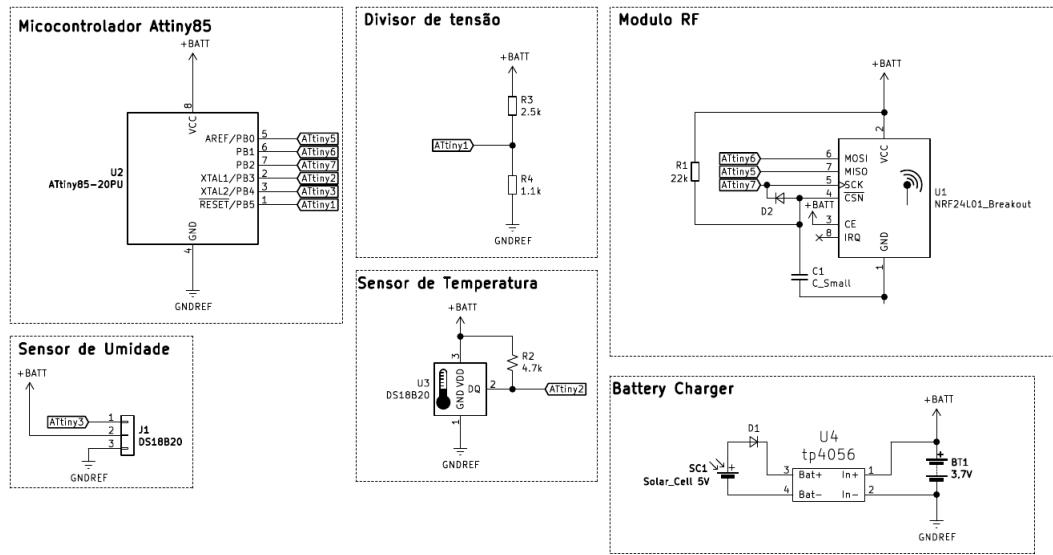


Figura 46 – Esquemático do Circuito para os Módulos Medidores

# 9 Sistema de Software

A solução de software trata-se de uma aplicação *Web* responsiva que permitirá o monitoramento das centrais e seus módulos medidores associados de forma a serem gerenciadas facilmente por cada usuário responsável pelo ambiente a ser irrigado.

O sistema como um todo é subdividido em serviços que terão responsabilidades específicas para compor o produto de software como um todo, trabalhando com o acoplamento entre arquiteturas para estabilizar um sistema mais robusto e seguro.

## 9.1 Representação arquitetural preliminar

A arquitetura geral do sistema é composta pelo conjunto das arquiteturas mestre-escravo e de microsserviços, com a finalidade de tratar mais apropriadamente o fluxo de comunicação entre o serviço gerenciador e as centrais controladoras associadas, que realizam a coleta e o gerenciamento de dados.

### 9.1.1 Mestre-Escravo

A arquitetura mestre-escravo, também denominada como arquitetura supervisor-trabalhador, é uma arquitetura de sistema em que um dos componentes realiza o sistema de controle (denominado mestre) e os outros realizam tarefas específicas (denominados escravos), com o objetivo de transferir as informações coletadas ao mestre.

Ao analisar a Figura 47, é possível associar os papéis representados com o proposto pela arquitetura, sendo que:

- Mestre: serviço gerenciador responsável por realizar a coleta das métricas coletadas pelos módulos a partir das centrais cadastradas, possibilitando a associação via chave de acesso, além de realizar o tratamento das informações disponibilizar para a aplicação *web*, abordando-o como um sistema reconfigurável.
- Escravos: centrais controladoras responsáveis pela coleta dos dados dos módulos medidores, com a proposta final de realizar o envio dos resultados ao Serviço Gerenciador.

### 9.1.2 Microsserviços

Com o foco no baixo acoplamento e na alta coesão, a arquitetura de microsserviços propõe a fragmentação do sistema geral em diversos serviços específicos. Com o objetivo

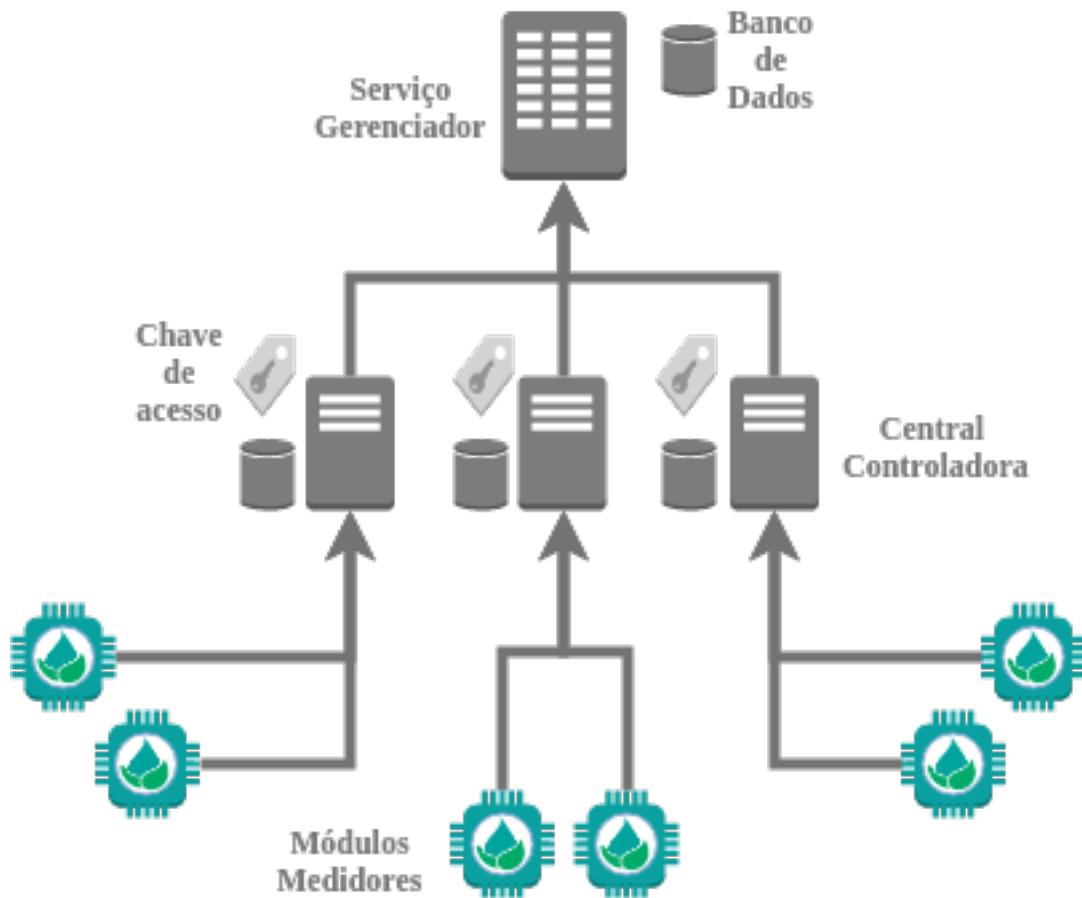


Figura 47 – Representação da arquitetura Mestre-Escravo com várias centrais

de manter uma fácil manutenibilidade nos serviços criados e uma boa estabilidade no serviço como um todo, impedindo a interrupção do sistema por completo do sistema, além de uma fácil escalabilidade para novas funcionalidades.

Os serviços apresentados na Figura 48 terão a finalidade de construir uma aplicação com mais variabilidade e escalabilidade, agregando valor a mais ao produto final.

- ElasticSearch: um dos serviços que compõe o ElasticStack, sendo considerado a parte mais importante de toda sua stack por ser uma ferramenta que permite a realização de buscas em tempo real dos dados armazenados em no banco de dados da aplicação associando à estrutura não-relacionado de banco de dados orientado à documento. Ele será o serviço que reunirá todos os dados coletados ao longo do tempo e disponibilizará para o serviço de visualização.
- Kibana: serviço de visualização que compõe a ElasticStack. Tem como principal funcionalidade fornecer recursos geradores de visualizações para os dados armazenados no ElasticSearch. Um exemplo de aplicação desse serviço pode ser visto na figura 49.

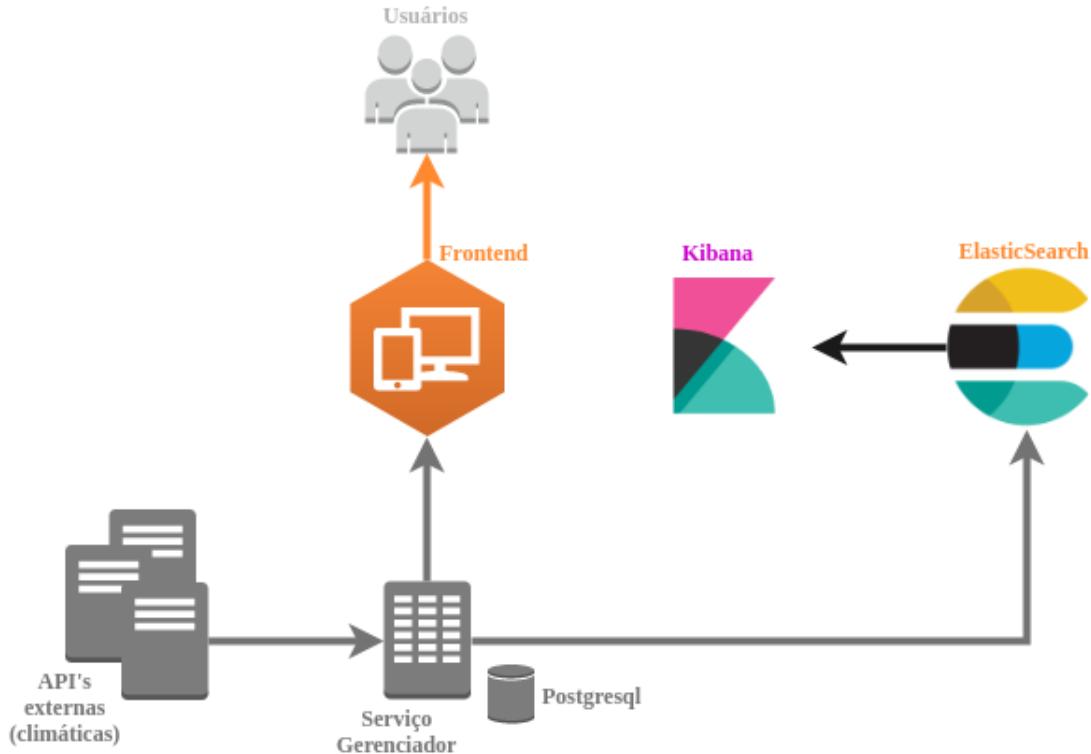


Figura 48 – Representação da arquitetura de microsserviços

- APIs externas: serviços que possuem tarefas específicas para serem feitas, dependentes do tipo de informação que será necessário coletar para realizar a análise do ambiente para realizar o processo automatizado de irrigação.
- Serviço gerenciador: serviço associado à outra arquitetura apresentada que será tratado como o componente central do sistema como um todo, possuindo robustas finalidades para realizar o processo automatizado da irrigação através de agendamento, realizando uma análise detalhada das condições climáticas do ambiente e do solo.
- Postgresql: banco de dados responsável pelo manuseamento de todos os dados necessários para o bom funcionamento do serviço gerenciador.

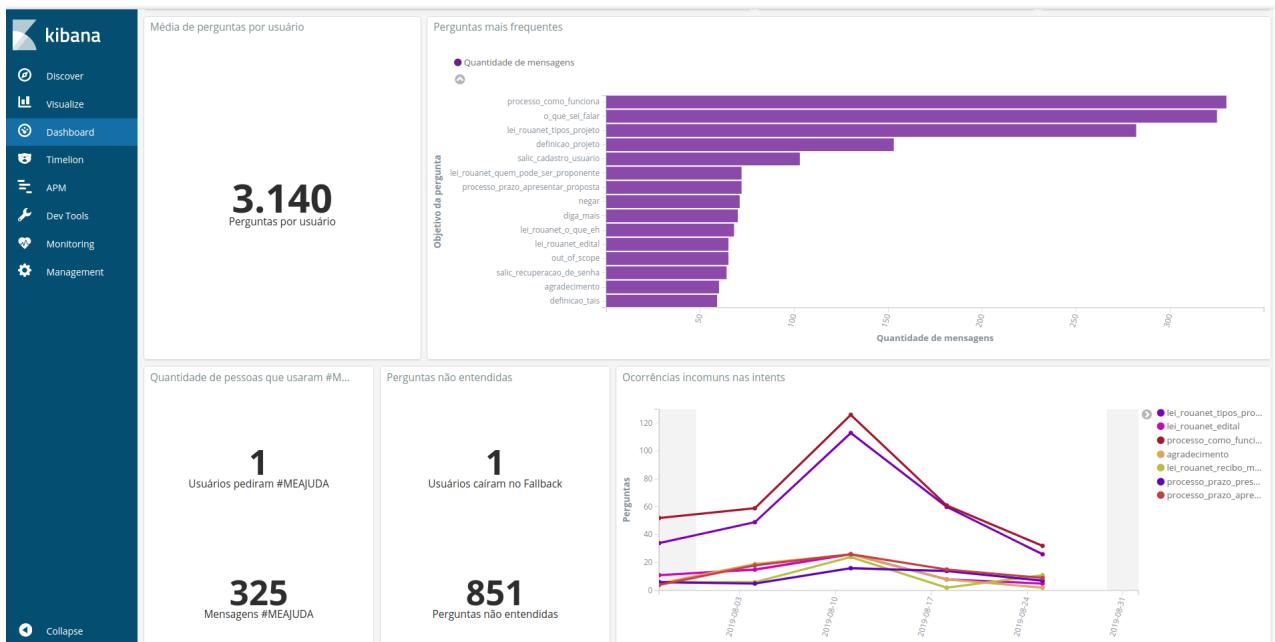


Figura 49 – Exemplo de gráficos gerados pelo Kibana ([TAIS...](#), 2017)

Desse modo, a aplicação desta arquitetura é de extrema importância para haver uma boa relevância na solução de software, garantindo um alto valor para o usuário, conseguindo, de forma prática, realizar o monitoramento em tempo real dos locais onde os módulos e as centrais estão alocadas.

## 9.2 Solução Arquitetural

### 9.2.1 Documento de Arquitetura

Especificando a arquitetura da solução de software com base na representação preliminar, no apêndice G se encontra o documento de arquitetura, artefato pertencente a metodologia adotada pela equipe.

Neste documento, são descritas as tecnologias adotadas, bem como o diagrama de classe da solução.

### 9.2.2 Diagrama de Classes

O diagrama de classes representa as classes que são determinantes para o funcionamento da aplicação. Este diagrama presente na figura 50 servirá como base para o desenvolvimento da API e da interface web.

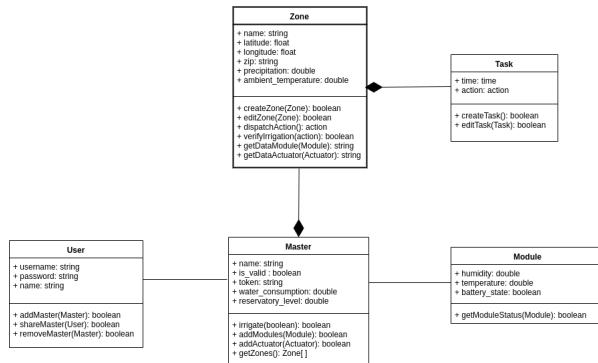


Figura 50 – Diagrama de Arquitetura - Sistema de Software

### 9.2.3 Diagrama de Sequência

Ligado aos requisitos levantados na seção 3.2.4, derivou-se o diagrama de Sequência. Este tem como propósito mostrar iterações entre objetos na sequência que estes ocorrem na aplicação.(BELL, 2004). Sua descrição pode ocorrer com ações ou como funções da própria aplicação.

Na figura 70, que encontra-se no apêndice F está o sistema de software, passando pela comunicação da central de controle, os microsserviços de coleta e a aplicação web.

### 9.2.4 Diagrama de Banco de Dados

Como a aplicação lida com controle de usuário e necessita armazenar as informações das temperatura, umidade e agendamento de irrigação de cada central, e além disso, precisa persistir os dados das zonas cadastradas, modelamos o o diagrama de entidade relacionamento (DER), na figura 52 para orientar na criação do banco de dados da aplicação, além das especificações dos atributos de cada entidade, com o diagrama lógico (MER).

As informações do banco de dados serão consumidas pelo *dashboard* de visualização *Kibana*, onde é feito o monitoramento das variáveis de irrigação.

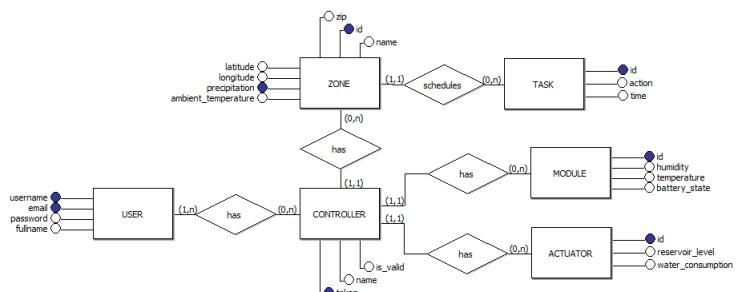


Figura 51 – Diagrama de Banco de Dados - Diagrama Entidade-Relacionamento

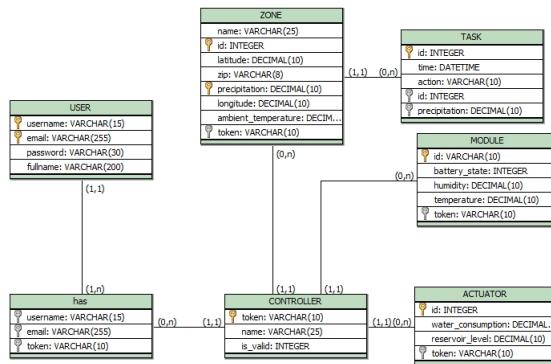


Figura 52 – Diagrama de Banco de Dados - Diagrama Lógico

### 9.2.5 Interface com usuário

Pensando na aplicação *Web*, desenvolveu-se os protótipos de alta fidelidade das telas voltadas para o acesso em dispositivos móveis.

Em sua primeira tela, na figura 53, temos o acesso da aplicação, que necessita de *login*. Este acesso ocorrerá caso a pessoa já tenha cadastro na aplicação. Na figura 54, está a tela de cadastro.

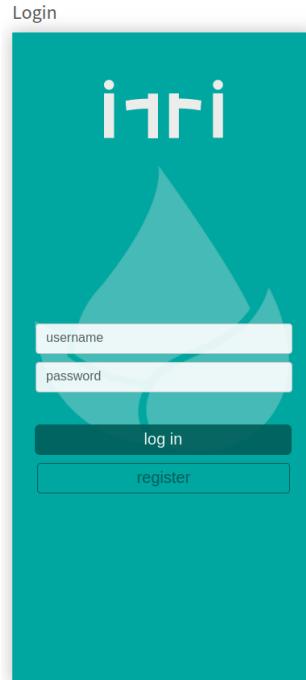


Figura 53 – Protótipo da tela de Login - Irri

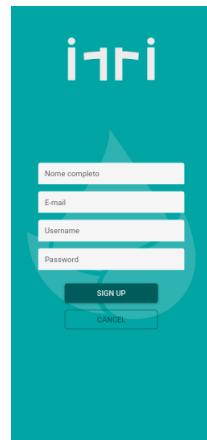


Figura 54 – Protótipo da tela de Cadastro - Irri

Após o login, a tela mostrada tem como função mostrar as centrais cadastradas para o usuário. A aplicação permite que o usuário possua mais de uma central a ser controlada. Na figura 55 observa-se a disposição das informações das centrais estão em carrossel, para evitar várias informações ou mudança de tela.



Figura 55 – Protótipo da tela de Central - Irri

Assim que acessado a central desejada, é mostrado uma lista de zonas associadas a central, e para observar suas informações de temperatura, umidade e bateria dos módulos que se encontram nela, basta clicar no item da lista. Figura 57 e ??.

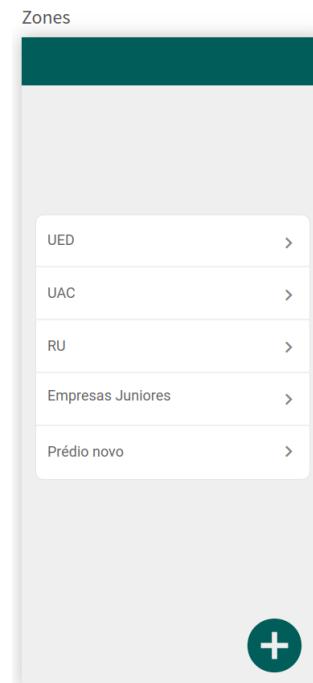


Figura 56 – Protótipo da tela de Zonas - Irri



Figura 57 – Protótipo da tela de Zonas e Informações - Irri

### 9.2.6 Protocolos de Comunicação

Os protocolos de comunicação são de suma importância para a comunicação entre diferentes aplicações ou serviços com o objetivo de, através de uma conexão realizada,

realizar a transferência de dados entre dois sistemas computacionais, onde tais protocolos podem ser implementados tanto via *hardware* quanto via *software*, havendo, também, uma combinação dos dois para um tipo de comunicação específica. Neste contexto, a base de todos os protocolos relacionados à integração Central Controladora e Aplicação *Mobile* trabalha com o protocolo HTTP.

Segundo o RFC 793, ([USC, 1981](#)), o Protocolo de Controle de Transmissão (TCP) é um dos protocolos sob os quais assenta a Internet. Complementado pelo Protocolo de Internet, normalmente denominados de TCP/IP, torna-se adequado para redes globais pela sua versatilidade e robustez, pois este verifica se os dados são enviados de forma correta e na sequência apropriada e sem erros pela rede. Sendo um protocolo a nível de transporte, a maioria das aplicações cibernéticas são enquadradas, provendo confiabilidade, através da entrega sistemática e da verificação de erros dos pacotes de dados.

Relacionado ao TCP, com base no documento do RFC 2616, ([AL, 1999](#)), o Protocolo de Transferência por Hipertexto (HTTP) é um protocolo a nível de aplicação para sistemas de informação de hipermídia, distribuídos e colaborativos. Sendo um protocolo de requisição e respostas, o processo para a utilização se dá através de uma requisição enviada por um cliente à um servidor específico, montando o pacote de dados com informações do usuário quanto a versão do protocolo e a especificação dos dados necessários para realizar a requisição.

#### 9.2.6.1 Protocolo de Comunicação entre o Serviço Central e a Central Controladora

A comunicação entre o Serviço Central e as Centrais Controladoras associadas aos usuários que realizaram o cadastro são realizadas através da tecnologia *WebSocket* que permite a comunicação bidirecional por um único soquete TCP (*Transmission Control Protocol*).

Com a central de controle conectada na rede local, será aberto o soquete para que todos os pacotes preparados com os dados coletados pela central de controle sejam entregues de forma mais confiável e eficaz ao serviço central.

#### 9.2.6.2 Protocolo de Comunicação entre os microsserviços e o Serviço Central

O serviço central, responsável pelo gerenciamento da lógica de negócios, possui comunicação com todos os outros componentes da arquitetura. Logo, pela natureza de uma API REST, toda a comunicação efetuada com os outros serviços utiliza o protocolo HTTPS em camada de aplicação, resultando no uso do TCP/IP em camada de transporte. Ressalta-se que a comunicação por *Websocket* é paralela a uma comunicação HTTP que é estabelecida entre a controladora e o serviço central.

A escolha de comunicação HTTP entre microsserviços vem da confiabilidade que

ela provê, porém por se apresentar como uma conexão unidirecional e que mantêm a conexão de curto prazo, é necessário a utilização de *WebSocket* para o envio bidirecional de dados e para mensagens em tempo real para a comunicação integral com a parte eletrônica do projeto, pois ele fornece uma conexão por um único soquete de maneira mais rápida, entregando melhor desempenho ao sistema, diretamente influenciando na melhor usabilidade ao usuário.

# 10 Custos

Tabela 6 – Custos preliminares

ID	Componente	Modelo	Fornecedor	Qtd.	Preço R\$	
					Unitario	Final
EL1	Sistema embarcado da Central	Raspberry Pi 3B+	Mercado Livre	1	R\$ 200,00	R\$ 200,00
EL2	Micocontrolador do Atuador	Esp32	Mercado Livre	1	R\$ 36,90	R\$ 36,90
EL3	Micocontrolador do Modulo Medidor	Attiny85	Curto Circuito	3	R\$ 14,00	R\$ 42,00
EL4	Sensor de temperatura	Ds18b20	Hu Infinito	3	R\$ 14,90	R\$ 44,70
EL5	Sensor Umidade Capacitivo	SEN0193	Mercado Livre	3	R\$ 17,90	R\$ 53,70
EL6	Trasnceptor RF	nRF24L01+	Hu Infinito	4	R\$ 6,56	R\$ 26,24
EL7	Trasnceptor RF (com Antena)	nRF24L01+	Hu Infinito	1	R\$ 32,90	R\$ 32,90
EL8	Bateria Litio	18650	Hu Infinito	3	R\$ 8,99	R\$ 26,97
EL9	Mini Painel Solar	Nyct	Mercado Livre	3	R\$ 25,90	R\$ 77,70
EL10	Display LCD	5" TFT TOUCH	Mercado Livre	1	R\$ 207,00	R\$ 207,00
EL11	Modulo Rele 5V	MDLRL5V04CNAL	Hu Infinito	1	R\$ 19,90	R\$ 19,90
EL12	Miscelâneas	x	x	1	R\$ 180,00	R\$ 180,00
<b>EL</b>						<b>R\$ 948,01</b>
ES3	Contator/Relé térmico			1	R\$ 190,66	R\$ 190,66
ES4	Quadro elétrico IP-54	x	Loja Física	1	72,57	R\$ 0,00
ES5	Cabos	CA	Loja Física	20	R\$ 5,50	R\$ 110,00
ES6	Mangueira de Irrigação	PVC	Loja Física	30	R\$ 1,35	R\$ 40,50
ES7	Aspersores	Tramontina	Via Inox	3	R\$ 30,00	R\$ 90,00
ES8	Bomba Hidráulica	Claw Apm 75	Fermachine	1	R\$ 800,00	R\$ 800,00
ES9	Plataforma Movel	x	Leroy Merlin	1	R\$ 474,20	R\$ 425,00
ES10	Miscelâneas	x	x	1	R\$ 407,00	R\$ 407,00
ES11	PETG	x	Loja Física	2	R\$ 125,00	R\$ 250,00
ES12	Verniz	x	Loja Física	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
ES13	Tubo quadrado metalon	x	Loja Física	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
ES14	Cantoneira	x	Loja Física	1	R\$ 60,00	R\$ 60,00
ES15	Lona de proteção	x	Loja Física	1	R\$ 100,00	R\$ 100,00
ES16	MDF	x	Loja Física	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
ES17	Reservatório	x	Mercado Livre	1	R\$ 70,00	R\$ 70,00
ES						R\$ 2.725,75
<b>Total</b>						<b>R\$ 3.673,74</b>

# 11 Riscos

O Guia PMBOK 6<sup>a</sup> edição descreve a importância do gerenciamento de riscos que estão inertes no desenvolvimento de quaisquer tipo de projeto. Identificar os Riscos é o processo de identificação dos riscos individuais do projeto, bem como fontes de risco geral do projeto, e de documentar suas características.

A documentação e o rastreio de cada risco inerte ao projeto é o principal benefício deste processo, permitindo executar ações preventivas e mitigar o impacto no desenvolvimento do projeto.

A probabilidade de ocorrência de cada risco é quantificada a partir do intervalo de **Muito Baixo**, **Baixo**, **Médio**, **Alto** e **Muito Alto**, representado pela porcentagem abaixo, respectivamente.

- Muito Baixo (0 - 20%)
- Baixo (21% - 40%)
- Médio (41% - 60%)
- Alto (61% - 80%)
- Muito Alto (81% - 100%)

## 11.1 Análise quantitativa dos Riscos

Os riscos estão associados à todo processo de desenvolvimento e planejamento do projeto. Isto posto, é necessário quantificar qual seria o impacto, probabilidade e prioridade da ocorrência deste risco no decorrer do desenvolvimento.

Para quantificar este impacto, foi definido um sistema de quantificação que possui a seguinte escala:

- Muito Baixo
- Baixo
- Moderado
- Alto
- Muito Alto

## 11.2 Planejamento de Respostas dos Riscos

O planejamento de respostas dos riscos considera atividades, rotinas e propostas em resposta aos riscos associados à solução proposta. Nesse sentido, é necessário seguir uma ordem de aplicação dessas atividades a qual está descrita a seguir.

### 11.2.1 Riscos Negativos

Os riscos negativos impactam o andamento do projeto de maneira que impede ou dificulta a sua execução. Para evitar esses entraves, as seguintes medidas podem ser tomadas:

#### 11.2.1.1 Prevenção

A prevenção é uma estratégia de resposta ao risco, assim, a equipe age de modo a eliminar a ameaça ou proteger o projeto contra os impactos provenientes desses riscos. Ou seja, o planejamento feito pode ser alterado buscando a eliminação total da ameaça. Pode-se, também, estender o cronograma, alterando a estratégia ou até mesmo reduzir o escopo para que tais riscos sejam prevenidos.

#### 11.2.1.2 Transferência

A estratégia consiste na transferência de riscos alocando o impacto e a responsabilidade da ameaça para terceiros. No entanto, esse tipo de abordagem não é capaz de eliminar o risco, apenas designa o esforço de gerenciamento dela para uma outra área, equipe ou software.

#### 11.2.1.3 Mitigação

O processo de mitigar um risco é uma resposta em que a equipe envolvida no desenvolvimento do projeto atua buscando a redução da probabilidade ou impacto do risco. Ações que buscam a redução da ocorrência do risco são mais vantajosas do que a de reparar danos. Há situações em que não é possível reduzir a probabilidade de ocorrência do risco, então, deve-se abordar fatores capazes de determinar a gravidade do impacto.

#### 11.2.1.4 Aceitação

A aceitação é uma medida que deve ser evitada já que implica em uma falta de ação em resposta ao risco. Essa abordagem só é aplicada quando não há solução ou há inviabilidade econômica para evitar, diminuir ou transferir.

### 11.3 Descrição dos Riscos

Tabela 7 – Riscos

Risco	Consequência	Probabilidade	Impacto	Medida a tomar
<b>Risco do Projeto</b>				
A Universidade aderir à greve em apoio a educação	Paralisação do desenvolvimento do projeto	Baixa	Muito Alto	<p><b>Aceitação</b> - Aguardar o retorno das atividades acadêmicas.</p> <p><b>Prevenir</b> - Fazer um re-planejamento do escopo adequando-o às novas datas das <i>releases</i> após a greve</p>
Algum membro desistir e/ou trancar a disciplina	Gerar uma carga de trabalho maior para os outros membros da equipe Atrasar o desenvolvimento do projeto	Moderada	Muito Alto	<p><b>Prevenir</b> - Fazer um acompanhamento pessoal toda semana do desempenho de cada membro, e adequando o trabalho à sua necessidade</p> <p><b>Mitigar</b> - Adequar o escopo do projeto às datas das <i>releases</i> e a quantidade de membros do projeto</p>

Aumento no custo de produção do projeto devido à adversidades	A equipe necessitará de mais verba para finalização do projeto	Alta	Moderado	<b>Prevenir</b> - Fazer um planejamento de custos com uma margem para ações emergenciais de gastos
Danificação dos componentes físicos do projeto	Atraso no desenvolvimento e aumento no custo do projeto	Alta	Alto	<b>Prevenir</b> - Possuir peças reservas para componentes mais críticos
Perda, roubo ou furto de equipamento dos membros ou do projeto	Atraso no desenvolvimento do projeto e aumento no custo de produção	Baixa	Alto	<b>Aceitação</b> <b>Mitigar</b> - Redistribuir as atividades à serem realizadas de acordo com as condições de cada membro da equipe

**Riscos de Estrutura**

A estrutura não se integrar corretamente com as outras áreas	Atraso no desenvolvimento do projeto e aumento no custo de produção	Moderado	Muito Alto	<b>Prevenir</b> - Grupo de estrutura deve sempre conversar com as demais áreas
Estrutura ser danificada durante montagem/transporte dos componentes	Atraso no desenvolvimento do projeto e aumento no custo de produção	Baixo	Alto	<b>Prevenir</b> - Ter cautela durante o transporte da estrutura e procurar um local fixo para deixá-la armazenada

A equipe de estruturas não ter domínio sobre os dimensionamentos a serem feitos	Atraso no desenvolvimento do projeto	Baixo	Muito alto	<b>Prevenir</b> - Estudar sobre cálculos de vazão.
Estrutura não ter domínio sobre cálculo e simulação da perda de cargas	Atraso no desenvolvimento do projeto e baixa eficiência	Moderado	Moderado	<b>Prevenir-</b> Estudar os cálculos sobre perdas de cargas e simulação
Estrutura não suporta o peso dos componentes	Atraso no desenvolvimento do projeto e aumento no custo de produção	Moderado	Alto	<b>Prevenir</b> - Efetuar simulações estruturais em softwares de elementos finitos antes da escolha dos materiais e peças constituintes
Estrutura não ter portabilidade o suficiente para ser transportada	Aumento do custo de produção	Moderado	Baixo	Prevenir - Realizar esboços e teste com todos os componentes
Estrutura não suportar as condições climáticas do sol e chuva	Aumento do custo de produção e perda de componentes	Alto	Alto	Prevenir - Realizar simulações estruturais antes da construção do sistema

Ocorrer vazamento nas tubulações	Aumento do custo de produção, atraso no desenvolvimento do projeto e baixa eficiência	Moderado	Alto	Prevenir - Verificar os acoplamentos entre as tubulações do sistema e observar se não há rachaduras nas mesmas
Rachadura nas tubulações	Aumento do custo de produção e atraso no desenvolvimento do projeto	Moderado	Alto	<b>Prevenir</b> - Verificar a tubulação antes da compra e evitar o manuseio incorreto das mesmas
Motobomba não funcionar	Atraso no desenvolvimento do projeto e possível elevação do custo	Baixo	Muito alto	<b>Prevenir</b> - Verificar o correto funcionamento do equipamento antes de efetuar a compra do mesmo e evitar o manuseio incorreto
Aspersores não funcionarem corretamente	Atraso no desenvolvimento do projeto e possível elevação do custo	Moderado	Alto	<b>Prevenir</b> - Verificar se o dimensionamento do sistema como um todo foi feito corretamente e se as especificações foram atendidas, ou ainda se o equipamento foi comprado com defeito

Erro no dimensionamento da bomba e cálculo perda de carga	A bomba não fornecer pressão e vazão suficiente para os aspersores irrigarem a área de forma uniforme	Médio	Alto	<b>Prevenir</b> - Consultar professores da área de Fluidos/máquinas hidráulicas, utilizar softwares para simular cálculos de perda de carga no projeto
Erro no dimensionamento do circuito de força e comando da bomba hidráulica	Não funcionamento da bomba hidráulica e controles requisitados	Médio	Alto	<b>Prevenir</b> - Consultar professores da área de Potência e utilizar softwares como CadESimu para simulação

#### Riscos de Software

A equipe de desenvolvimento não ter domínio técnico sobre partes das tecnologias escolhidas	Atraso no desenvolvimento dos serviços planejados	Baixa	Alto	<b>Prevenir</b> - Escolher tecnologias similares às já conhecidas pela equipe. Caso contrário, estudar antes do início do desenvolvimento
---	---	-------	------	---

Instabilidade nos serviços de terceiros (ex: Github, DockerHub, etc)	Atraso no desenvolvimento, configuração, gerência e integração dos softwares	Baixa	Alto	<b>Prevenir</b> - Utilizar serviços diversificados e evitar a dependência de uma única fonte fornecedora. Tentar ao máximo manter serviços mantidos pela própria equipe.
Integração dos sistemas embarcados com a aplicação de software	Atraso no desenvolvimento e/ou na entrega do projeto	Moderado	Muito Alto	<b>Prevenir</b> - Aproximar o desenvolvimento da equipe de Eletrônica e de Software. Manter uma taxa satisfatória dos testes de integração de todos os serviços desenvolvidos.

### Riscos de Eletrônica

Não conhecimento das tecnologias selecionadas para implementação	Atrasos no desenvolvimento	Baixa	Médio	Prevenir: Realizar capacitação prévia
Danos causados aos componentes eletrônicos pelo time de desenvolvimento	Não funcionamento de subsistemas e aumento de custos do projeto	Moderada	Alto	Mitigar: Assegurar condições de uso dentro dos padrões tolerados

Falha no senso-riamento	Perda de dados	Moderada	Moderado	Mitigar: Desenvolver testes individuais para os sensores
Falha na comunicação	Atrasos indesejados no sistema	Moderada	Alto	Mitigar
Danos aos componentes causados por fatores externos (temperatura e umidade)	Não funcionamento de subsistemas e aumento de custos do projeto	Moderada	Alto	Prevenir: Isolar elementos sensíveis
Falhas no projeto das placas de circuito impresso	Não funcionamento do projeto	Moderada	Moderado	Prevenir
Falhas no sistema de alimentação dos componentes eletrônicos (tensão, corrente e potência)	Não funcionamento do projeto	Baixa	Muito Alto	Prevenir: Assegurar dimensionamento correto dos parâmetros desejados

## 12 Considerações

Neste ponto de controle, além de consolidar o escopo da solução, conseguimos definir a sua composição e justificar suas escolhas. Além disso, a parte de software conseguiu desenvolver parte da aplicação WebApp, adiantando a entrega de parte do produto.

O andamento da equipe segue de acordo com o cronograma, trazendo a segurança da entrega do produto ao final da disciplina.

## Referências

- ACOPLANO. 2017. <[http://www.acoplano.com.br/blog/conheca-os-principais-beneficos-em-utilizar-o-metalon/](http://www.acoplano.com.br/blog/conheca-os-principais-beneficios-em-utilizar-o-metalon/)>. Acesso em: 29 set. 2019. Citado na página 29.
- 000]softgoal AL.], L. C. . [et. Non-functional requirements in software engineering. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2000. p. 15–16. Nenhuma citação no texto.
- AL, R. F. et. *Hypertext Transfer Protocol*. 1999. <Https://tools.ietf.org/html/rfc2616>. Acesso em: 02 out. 2019. Citado na página 84.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice s como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. Campina Grande, Brazil, p. 382 – 388, 2009. Citado na página 11.
- ATMEL 8-bit AVR Microcontroller with 2/4/8K Bytes In-System Programmable Flash. 2013. <[https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-2586-AVR-8-bit-Microcontroller-ATtiny25-ATtiny45-ATtiny85_Datasheet.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2019. Citado na página 69.
- BELL, D. *The sequence diagram*. 2004. <<https://developer.ibm.com/articles/the-sequence-diagram/>>. Acesso em: 29 set. 2019. Citado na página 80.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação, 5ed. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: UFV, 1989. p. 596. Citado na página 11.
- CONSTRUINDODECOR. 2016. <<http://construindodecor.com.br/irrigacao-por-gotejamento/>>. Acesso em: 27 ago. 2019. Citado 4 vezes nas páginas 3, 12, 15 e 18.
- EMBRAPA. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado: Programa de financiamento de equipamentos de irrigação. Planaltina DF, Brazil, p. 8–9, 1983. Citado 3 vezes nas páginas 6, 14 e 15.
- FERREIRA, R. . P. Cultivo e utilização da alfafa em pastejo para alimentação de vacas leiteiras. Brasília , Brazil, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 18.
- GEOGRAFIAGAMA. 2014. <[https://www.achetudoeregiao.com.br/df/gama/dados\\_gerais.htm](https://www.achetudoeregiao.com.br/df/gama/dados_gerais.htm)>. Acesso em: 29 ago. 2019. Citado na página 14.
- HENN, E. A. Maquinas de fluido, 2ed. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Editora UFSM, 2006. p. 230–320. Citado na página 40.
- HOUGHTALEN, R. J. Engenharia hidráulica, 4ed. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Pearson Universidades, 2012. p. 60–96. Citado na página 39.
- IRRIGAÇÃO. 2016. <<https://www.irrigacao.net/aspersao/saiba-tudo-sobre-irrigacao-por-aspersao-convencional/>>. Acesso em: 27 ago. 2019. Citado na página 12.

- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. Brasília, Brazil, p. 147 – 155, 2005. Citado na página 11.
- KNIES, A. . E. Projeto do método de irrigação por aspersão: Sistema de aspersão convencional. projeto de irrigação e drenagem. 2010. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 17 e 18.
- LEROY Merlin. 2019. <[https://www.leroymerlin.com.br/carrinho-de-carga-plataforma-200kg-ferro-roda-macica-10\\_89048064?store\\_code=28&gclid=CjwKCAjwk93rBRBLEiwAcMapUam-AxYrbLcIEDIpqTcbZJWVFHFVBDsA\\_1ZjsBIkZ7VMv\\_inoqhDeRoCpkAQAvD\\_BwE#avaliacoes](https://www.leroymerlin.com.br/carrinho-de-carga-plataforma-200kg-ferro-roda-macica-10_89048064?store_code=28&gclid=CjwKCAjwk93rBRBLEiwAcMapUam-AxYrbLcIEDIpqTcbZJWVFHFVBDsA_1ZjsBIkZ7VMv_inoqhDeRoCpkAQAvD_BwE#avaliacoes)>. Acesso em: 30 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 29.
- MATRIZ DE DECISÃO. 2017. <[https://www.napratica.org.br/app/uploads/2017/09/2017.09.01\\_-\\_Matriz\\_de\\_Decis~ao-1.pdf](https://www.napratica.org.br/app/uploads/2017/09/2017.09.01_-_Matriz_de_Decis~ao-1.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2019. Citado na página 68.
- NORDICSEMICONDUCTOR. *nRF24L01 Preliminary Product Specification*. Trondheim, Norway, 2008. 1-75 p. Citado 7 vezes nas páginas 4, 60, 64, 65, 66, 67 e 68.
- ON-SEMICONDUCTORS. *LM2576 - 3.0 A, 15 V, StepDown Switching Regulator*. Kamimeguro, Meguroku, Tokyo, Japan, 2006. 1-28 p. Citado na página 61.
- PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Campina Grande, Brazil, p. 465 – 473, 2000. Citado na página 11.
- PROPRIEDADES técnicas dos materiais para impressora 3D. 2019. <<https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>>. Acesso em: 30 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 35.
- QT Creator - A cross-platform Qt IDE. 2018. <<https://github.com/qt-creator/qt-creator>>. Acesso em: 25 set. 2019. Citado na página 60.
- RADAELLI, E. *Irrigação correta diminui desperdício de água, explica especialista do ES*. 2016. <<http://g1.globo.com/espirito-santo/agronegocios/noticia/2016/12/especialista-do-es-mostra-modelo-ideal-de-irrigacao-durante-seca.html>>. Acesso em: 29 set. 2019. Citado na página 13.
- RASPBERRY Pi Compute Module 3+. 2019. <[https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi\\_DATA\\_CM3plus\\_1p0.pdf](https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi_DATA_CM3plus_1p0.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 71.
- SANTENO. *Soluções em irrigação*. 2019. <<https://www.santeno.com.br/santeno-i/>>. Acesso em: 29 set. 2019. Citado na página 12.
- SOARES, J. M. Sistema de irrigação por aspersão. i. dimensionamento. Petrolina, Brazil, p. 14, 1986. Citado 3 vezes nas páginas 13, 16 e 18.
- TAIS - Assistente Virtual da Secretaria Especial da Cultura. 2017. <<https://github.com/lappis-unb/tais>>. Acesso em: 30 ago. 2019. Citado 2 vezes nas páginas 4 e 79.

USC. *TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL*. 1981.  
<Https://tools.ietf.org/html/rfc793>. Acesso em: 02 out. 2019. Citado na página 84.

# Apêndices

# APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DE PROJETO

## A.1 Descrição do Projeto

O projeto consiste em um sistema de irrigação automatizado para gramados e pequenas vegetações. O usuário terá controle do sistema via web mobile com acesso à dados do solo e consumo d'água.

## A.2 Propósito e Justificativa

Percebeu-se que a forma de irrigação utilizada no gramado da Faculdade do Gama não é eficiente. Não possuem controle de gasto hídrico e necessitam do manuseio da mangueira para revezar as áreas. Com isso, surgiu a ideia de fornecer um produto que irrigue a área uniformemente sem necessidade de manuseio e de forma automatizada.

## A.3 Objetivos

O objetivo é desenvolver um produto que seja capaz de irrigar de forma mais eficiente e automatizada. Com possibilidade de implementação em qualquer área que respeite o limite de  $400m^2$ .

## A.4 Requisitos

Abaixo estão descritos os requisitos de alto nível do sistema:

- O usuário poderá gerenciar o agendamento da irrigação remotamente.
- O usuário poderá gerenciar as centrais de controle remotamente.
- Os atuadores deverão cobrir a irrigação de toda área planejada.
- O usuário poderá analisar a eficiência da irrigação remotamente.
- O sistema deverá propor ao usuário as condições propícias para a irrigação.
- O sistema deverá ser escalável.
- O sistema deverá ser portável.

## A.5 Riscos

Tabela 8 – Riscos

Risco	Consequência	Probabilidade	Impacto	Medida a tomar
<b>Risco do Projeto</b>				
A Universidade aderir à greve em apoio a educação	Paralisação do desenvolvimento do projeto	Baixa	Muito Alto	<b>Aceitação</b> - Aguardar o retorno das atividades acadêmicas. <b>Prevenir</b> - Fazer um re-planejamento do escopo adequando-o às novas datas das <i>releases</i> após a greve
Algum membro desistir e/ou trancar a disciplina	Gerar uma carga de trabalho maior para os outros membros da equipe Atrasar o desenvolvimento do projeto	Moderada	Muito Alto	<b>Prevenir</b> - Fazer um acompanhamento pessoal toda semana do desempenho de cada membro, e adequando o trabalho à sua necessidade <b>Mitigar</b> - Adequar o escopo do projeto às datas das <i>releases</i> e a quantidade de membros do projeto

Aumento no custo de produção do projeto devido à adversidades	A equipe necessitará de mais verba para finalização do projeto	Alta	Moderado	<b>Prevenir</b> - Fazer um planejamento de custos com uma margem para ações emergenciais de gastos
Danificação dos componentes físicos do projeto	Atraso no desenvolvimento e aumento no custo do projeto	Alta	Alto	<b>Prevenir</b> - Possuir peças reservas para componentes mais críticos
Perda, roubo ou furto de equipamento dos membros ou do projeto	Atraso no desenvolvimento do projeto e aumento no custo de produção	Baixa	Alto	<b>Aceitação</b> <b>Mitigar</b> - Redistribuir as atividades à serem realizadas de acordo com as condições de cada membro da equipe

## A.6 Marcos do Projeto

Durante a execução projeto, ocorrerão entregas principais, os Pontos de Controle. Logo, essas entregas são os marcos do projeto, que são compostas pela documentação e o partes físicas do produto. Na tabela 9, é descrito os marcos e suas datas.

Marco	Descrição	Data
Ponto de Controle 1	Definição da problemática, e seu refinamento. Detalhamento da solução e escopo	30/8
Ponto de Controle 2	Modelagem, cálculos, simulação e testes da solução proposta e subsistemas que a compõe.	01/10
Ponto de Controle 3	Construção dos componentes e/ou subsistemas propostos.	21/10

Ponto de Controle 4	Integração dos componentes e subsistemas. Finalização do produto	04/12
---------------------	--	-------

## A.7 Partes Envolvidas

- Equipe de Projeto: Integrantes das Engenharias presentes na Universidade de Brasília - Campus Gama.
- Professores da disciplina: Avaliarão o projeto durante a disciplina, assim como sua qualidade.

## A.8 Gerência

A gerência é composta pelos membros da equipe, e estes tendo a ciência de suas responsabilidades.

# APÊNDICE B – ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO

## B.1 Estrutura Analítica por ponto de controle

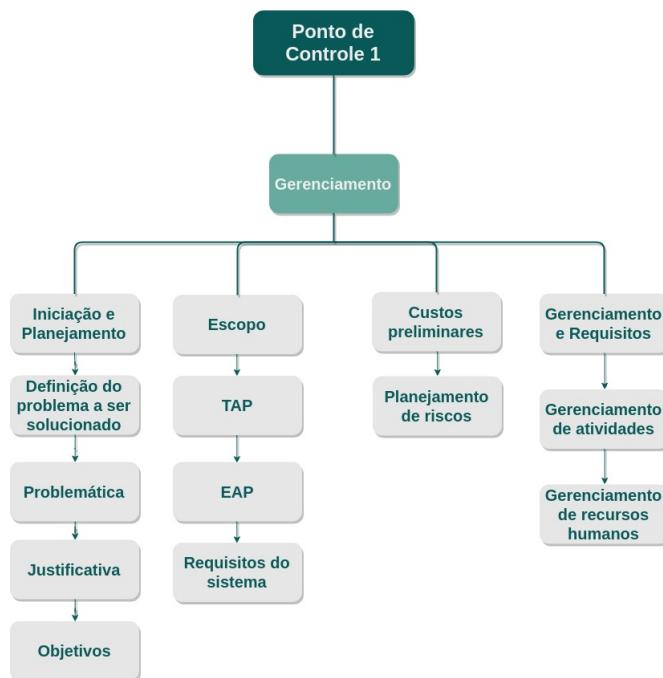


Figura 58 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 1

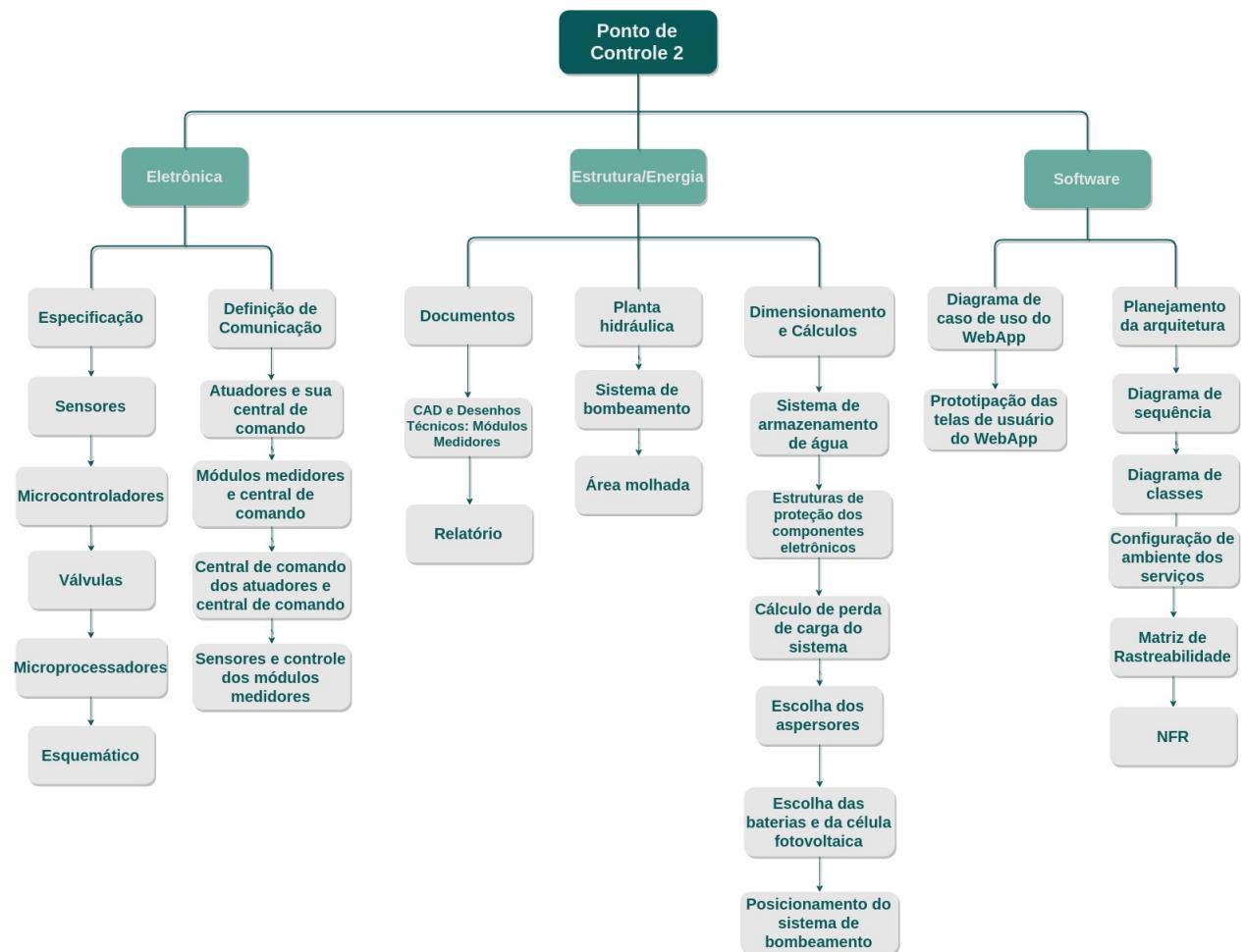


Figura 59 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 2

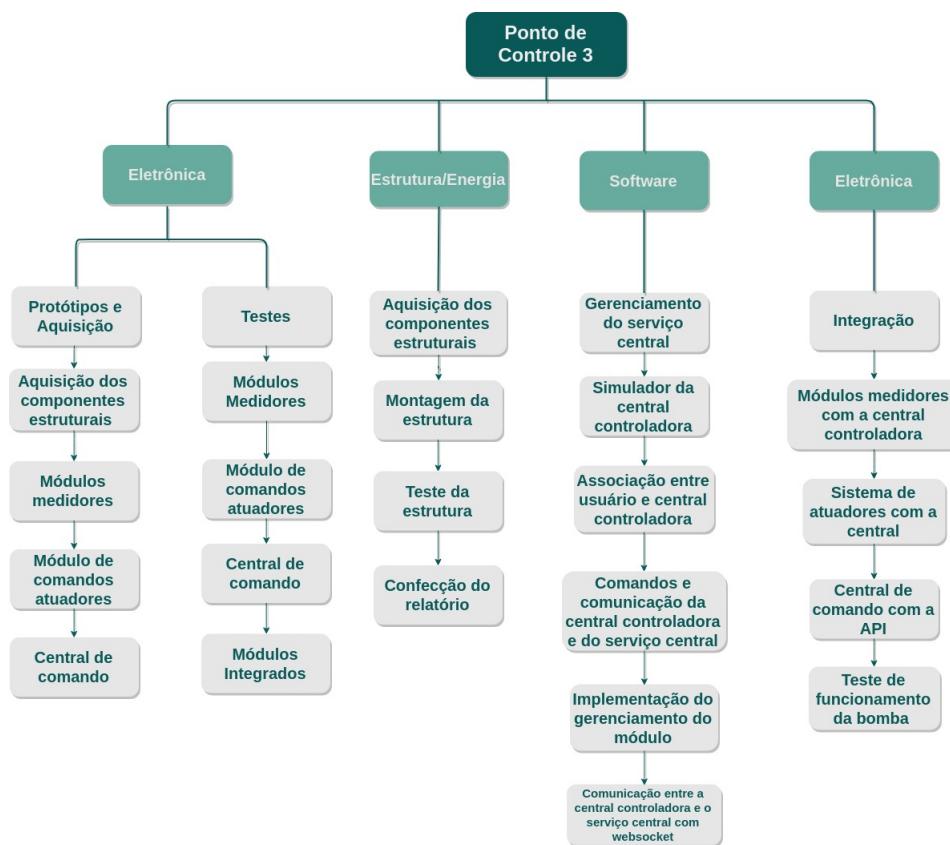


Figura 60 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 3

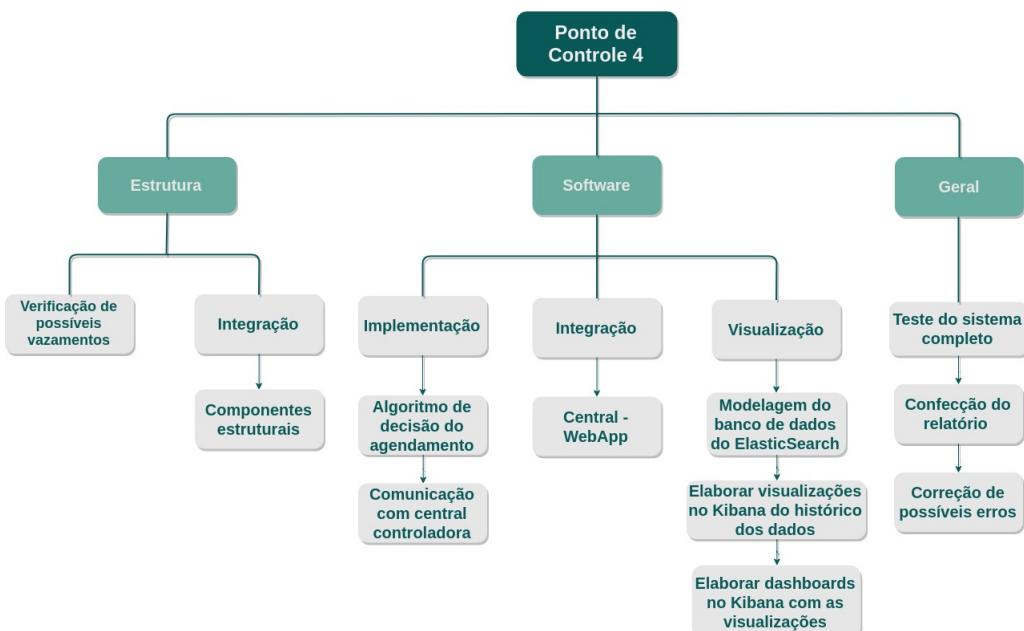


Figura 61 – Estrutura Analítica do Projeto Irri - Ponto de Controle 4

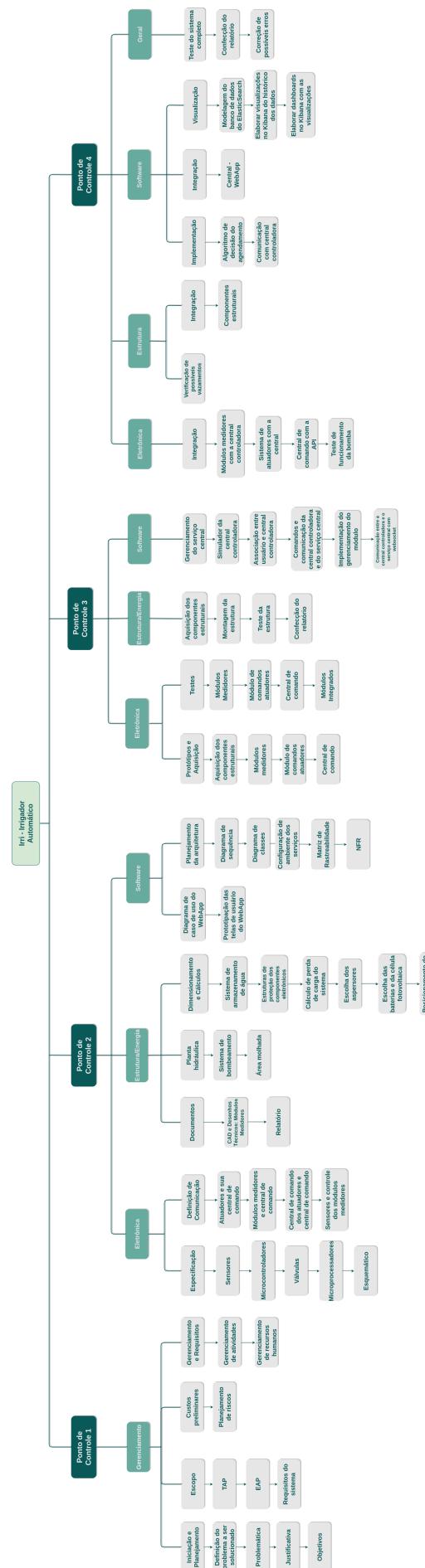


Figura 62 – Estrutura Analítica do Projeto Irri

# APÊNDICE C – CRONOGRAMA

## C.1 Cronograma de Tarefas

		Ponto de Controle 1	
Sprint		Tarefa	Equipe Responsável
Início	Término		
Sprint 0	14/08	INICIAÇÃO	
		Definição do problema a ser解决ado	Geral
		PLANEJAMENTO	
		Problemática	Estrutura e Energia
		Justificativa e Objetivos	Geral
		GERENCIAMENTO	
		Metodologia	Software
		Organização da equipe	Software
		TAP	Software
		EAP	Geral
		Gerenciamento de atividades	Software
		Gerenciamento de recursos humanos	Software
		REQUISITOS	
		Requisitos do sistema	Geral
		Requisitos dos subsistemas	Geral
		PREMISSAS E RESTRIÇÕES	
		Premissas	Software/Eletrônica
		Restrições	Software/Eletrônica
		SOLUÇÃO	
		Escopo	Geral
		Solução por área de atuação	Geral
		CUSTOS	
		Custos preliminares	Energia/Estrutura/Eletrônica
		RISCOS	
		Planejamento de riscos	Geral
		Entrega do PC1	30/08

Figura 63 – Cronograma - Ponto de Controle 1

Sprint	Tarefa	Equipe Responsável
<b>Sprint 1</b> 31/08	Posicionamento do sistema de bombeamento	Energia/Estrutura
	Planta hidráulica do sistema de bombeamento	Energia/Estrutura
	Dimensionamento do sistema de armazenamento de água	Energia/Estrutura
	Planta hidráulica da área molhada	Energia/Estrutura
	Posicionamento do sistema fotovoltaico	Energia
	Especificação dos sensores	Eletrônica
	Especificação das válvulas	Eletrônica
	Especificação dos microcontroladores	Eletrônica
	Especificação dos microprocessadores	Eletrônica
	Dimensionamento das estruturas de proteção dos componentes eletrônicos	Energia/Estrutura
	Planejamento da arquitetura geral do software	Software
	Planejamento da arquitetura dos submodulos	Software
	Destinhar os requisitos de alto nível em histórias de usuário	Software
<b>Sprint 2</b> 07/09	Cálculo de perda de carga do sistema	Energia
	Escolha dos aspersores	Energia
	Escolha das baterias e da célula fotovoltaica	Energia
	Confecção do CAD e desenho técnico das estruturas de proteção dos componentes eletrônicos	Estrutura
	Especificação dos protocolos de comunicação assíncrona	Eletrônica
	Comunicação entre sensores e controle dos módulos medidores	Eletrônica
	Comunicação entre atuadores e central de comando dos atuadores	Eletrônica
	Diagrama de classe dos submodulos	Software
	Diagrama de caso de uso do WebApp	Software
	Diagrama de sequência do WebApp	Software
	Documento de arquitetura dos submodulos do software	Software
	Diagrama NFR dos submodulos	Software
<b>Sprint 3</b> 14/09	Escolha da bomba hidráulica do sistema	Energia/Estrutura
	Escolha da plataforma móvel	Estrutura
	Escolha do painel solar de alimentação da bomba hidráulica	Energia
	Confecção do CAD e desenho técnico da plataforma móvel	Estrutura
	Comunicação entre módulos medidores e central de comando	Eletrônica
	Prototipação das telas de usuário do WebApp	Software
	Configuração de ambiente dos serviços	Software
	Matriz de Rastreabilidade	Software

Figura 64 – Cronograma - Ponto de Controle 2

<b>Sprint 4</b> 21/09	Confecção do relatório da solução estrutural	Energia/Estrutura
	Confecção do relatório do sistema fotovoltaico	Energia
	Confecção do relatório do sistema de bombeamento	Energia
	Comunicação entre central de comando dos atuadores e central de comando	Eletrônica
	Modelagem do banco de dados	Software
	Cadastro de usuário no WebApp	Software
	Login de usuário no WebApp	Software
<b>Sprint 5</b> 28/09	Comunicação do serviço central com API climática	Software
	Confecção do relatório da solução estrutural	Energia/Estrutura
	Aquisição dos componentes estruturais	Estrutura
	Confecção do relatório do sistema de bombeamento	Energia
	Especificação do esquemático geral	Eletrônica
	Pesquisar o impacto de cada variável no agendamento da irrigação	Software
	Desenvolver visualização dos dados de temperatura	Software
	Desenvolver visualização dos dados de umidade	Software

Figura 65 – Cronograma - Ponto de Controle 2 (Continuação)

Sprint	Tarefa	Equipe Responsável
<b>Sprint 6</b> 05/10	Aquisição dos componentes estruturais	Estrutura
	Prototipagem dos módulos medidores	Eletrônica
	Prototipagem do módulo de comandos atuadores	Eletrônica
	Implementação do gerenciamento do serviço central	Software
	Implementação de um simulador da central controladora	Software
	Implementação da associação entre usuário e central controladora	Software
<b>Sprint 7</b> 12/10	Montagem da estrutura	Estrutura
	Teste da estrutura	Estrutura
	Confecção do relatório	Todas
	Prototipagem da central de comando	Eletrônica
	Teste dos módulos medidores	Eletrônica
	Teste do módulo de comandos atuadores	Eletrônica
<b>Sprint 8</b> 19/10	Implementação dos comandos e comunicação da central controladora e o serviço central	Software
	Implementação do gerenciamento do módulo	Software
	Teste da estrutura	Estrutura
	Confecção do relatório	Todas
	Testes da Central de comando	Eletrônica
<b>Sprint 8</b> 19/10	Teste dos módulos integrados	Eletrônica
	Implementação da comunicação entre a central controladora e o serviço central com websocket	Software
	Implementação das telas de agendamento	Software

Figura 66 – Cronograma - Ponto de Controle 3

Sprint	Tarefa	Equipe Responsável
<b>Sprint 9</b> 26/10	Integração dos componentes estruturais com o restante do sistema	Estrutura
	Integração dos módulos medidores com a central controladora	Eletrônica
	Implementação do algoritmo de decisão do agendamento	Software
	Implementação do software de comunicação avulso da central controladora	Software
<b>Sprint 10</b> 02/11	Verificar possíveis vazamentos	Estrutura
	Integração do sistema de atuadores com a central	Eletrônica
	Implementar a comunicação de maneira real entre a central controladora e o serviço central	Software
<b>Sprint 11</b> 09/11	Verificar o funcionamento de todos os componentes do sistema	Estrutura
	Integração da central de comando com a API	Eletrônica
	Utilização dos dados reais no WebApp	Software
	Modelagem do banco de dados do ElasticSearch	Software
<b>Sprint 12</b> 16/11	Teste de portabilidade	Estrutura
	Teste da central de comandos com os módulos medidores e sistema de atuadores	Eletrônica
	Elaborar visualizações no Kibana do histórico dos dados	Software
	Teste de montagem e desmontagem	Estrutura

Figura 67 – Cronograma - Ponto de Controle 4

<b>Sprint 13</b> 23/11	Teste de funcionamento da bomba	Estrutura
	Teste do sistema completo	Todas
	Confecção do relatório	Todas
	Correção de possíveis erros	Todas
	Elaborar dashboards no Kibana com as visualizações	Software
	Correção de possíveis erros	Todas
<b>Sprint 14</b> 30/11	Confecção do relatório	Todas

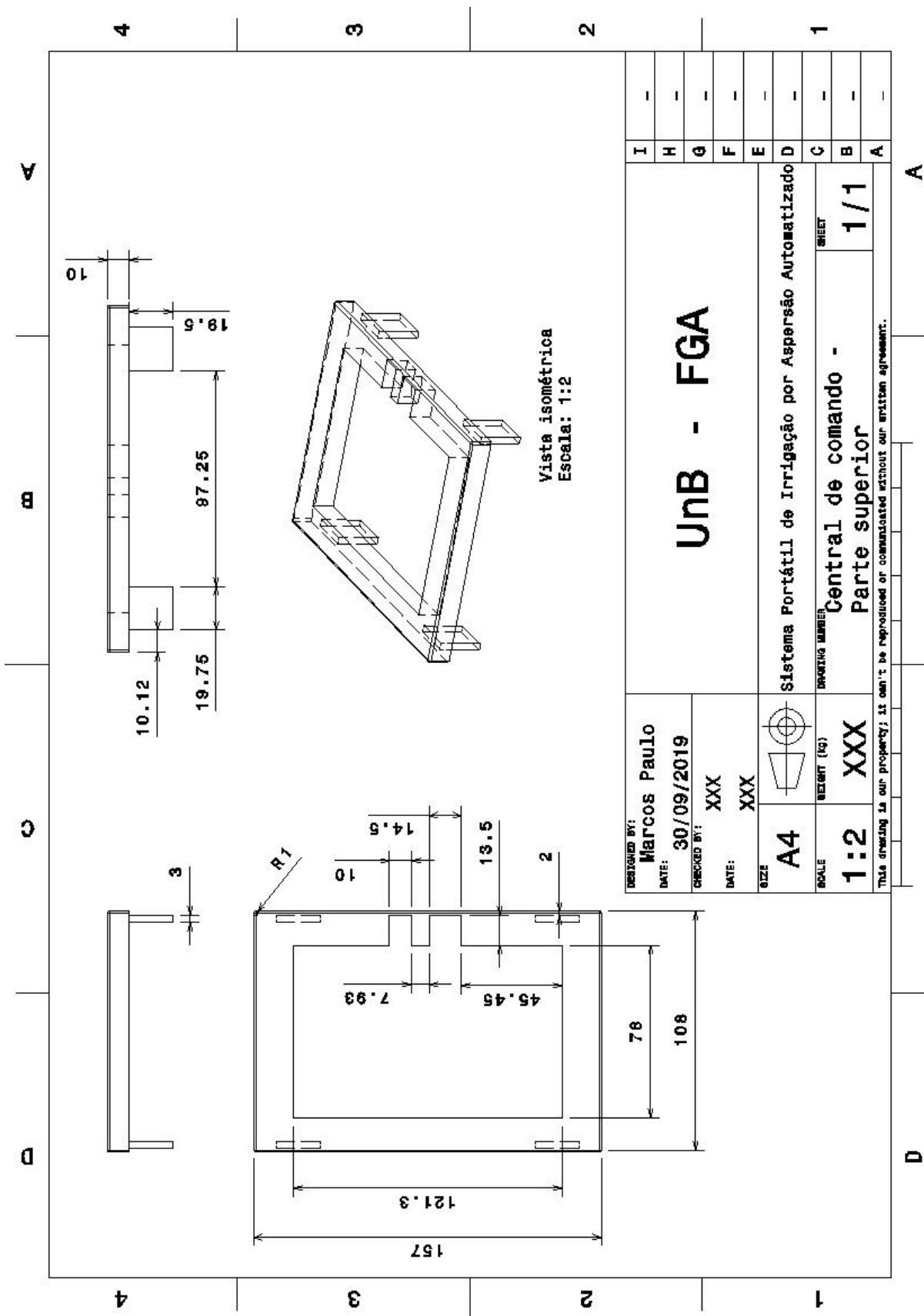
Figura 68 – Cronograma - Ponto de Controle 4 (Continuação)

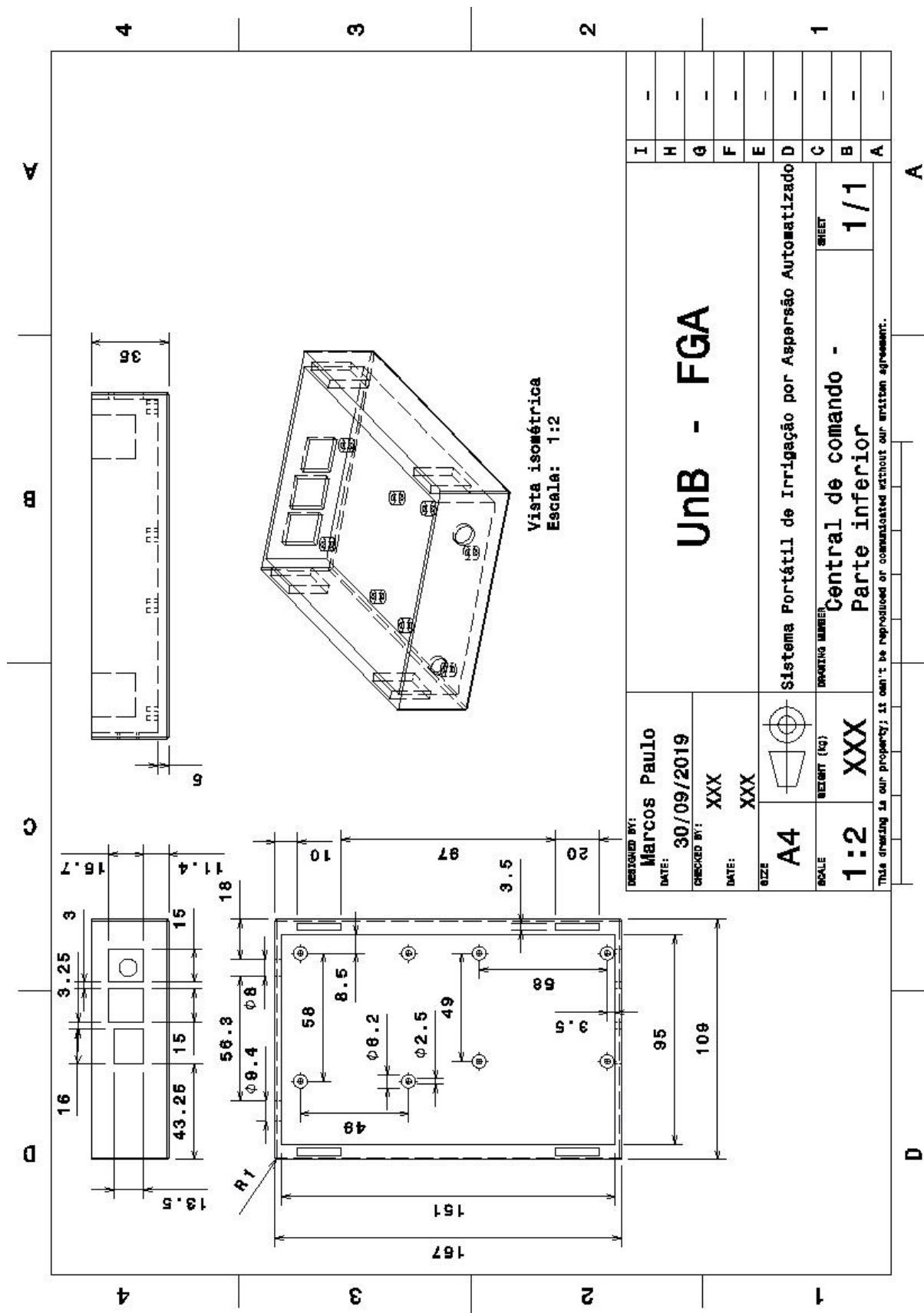
# APÊNDICE D – LISTA É/NÃO É

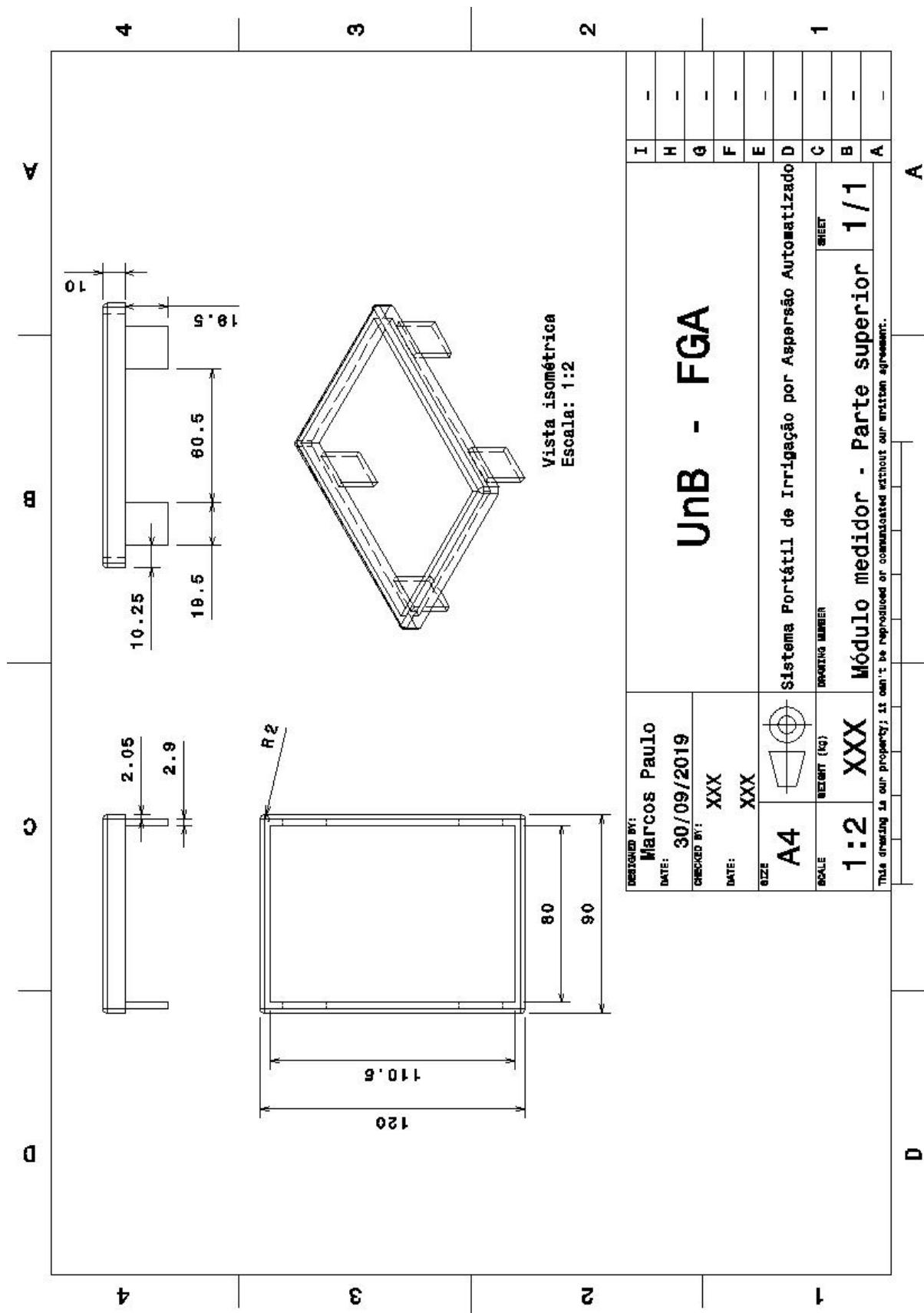
Tabela 10 – Lista É/Não é

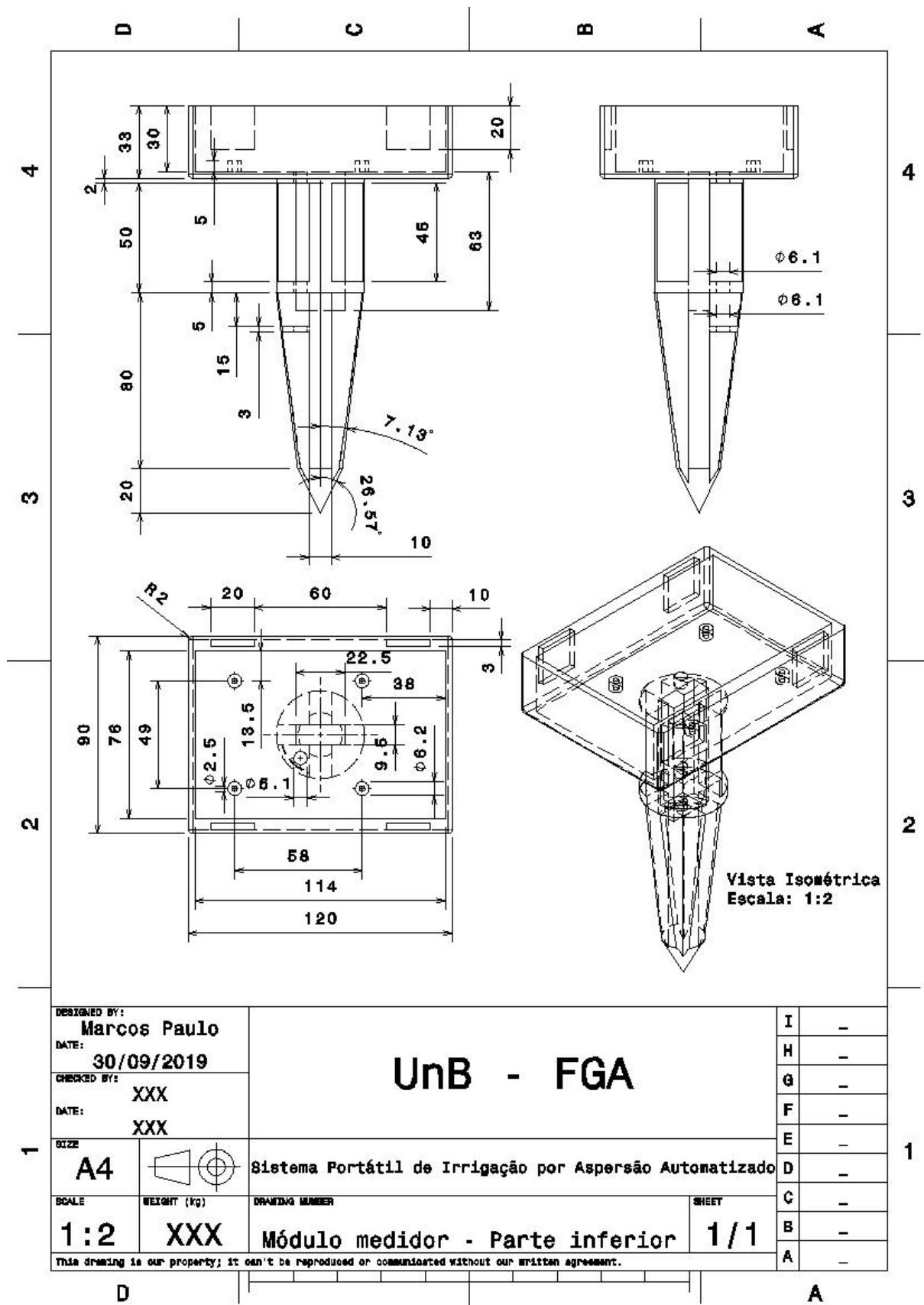
<b>É</b>	<b>Não é</b>
É um sistema de irrigação para gramados e pequenas vegetações.	Não é um sistema de irrigação para cultura ou plantio.
É um sistema que oferece funcionalidades automáticas.	Não é um sistema totalmente autônomo.
É capaz de coletar/armazenar dados de umidade e temperatura sob o solo.	Não é capaz de coletar dados de temperatura do ambiente.
É um sistema portável.	Não é fixo ou requer instalação sob o solo a ser irrigado.

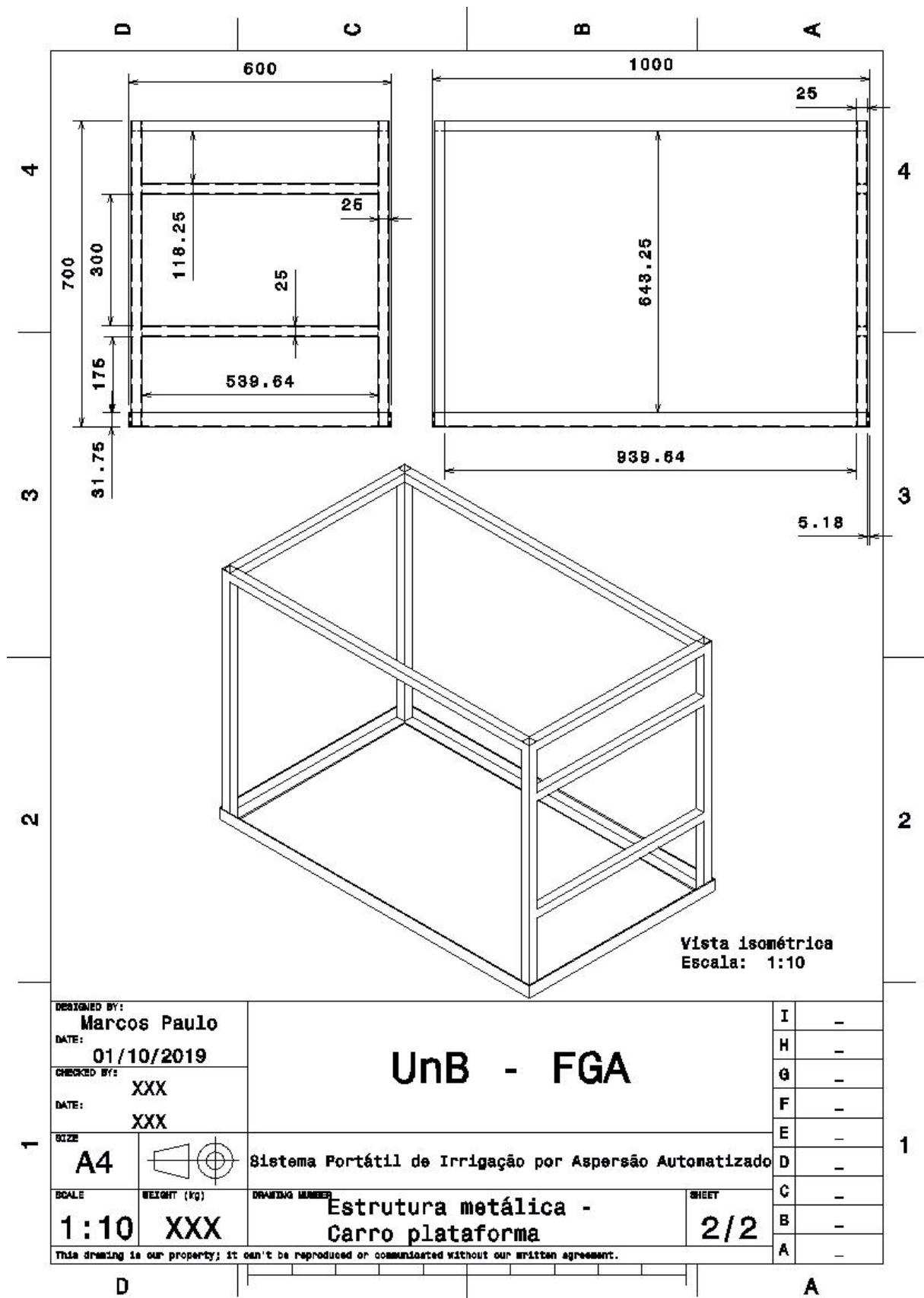
## APÊNDICE E – Desenhos técnicos da estrutura

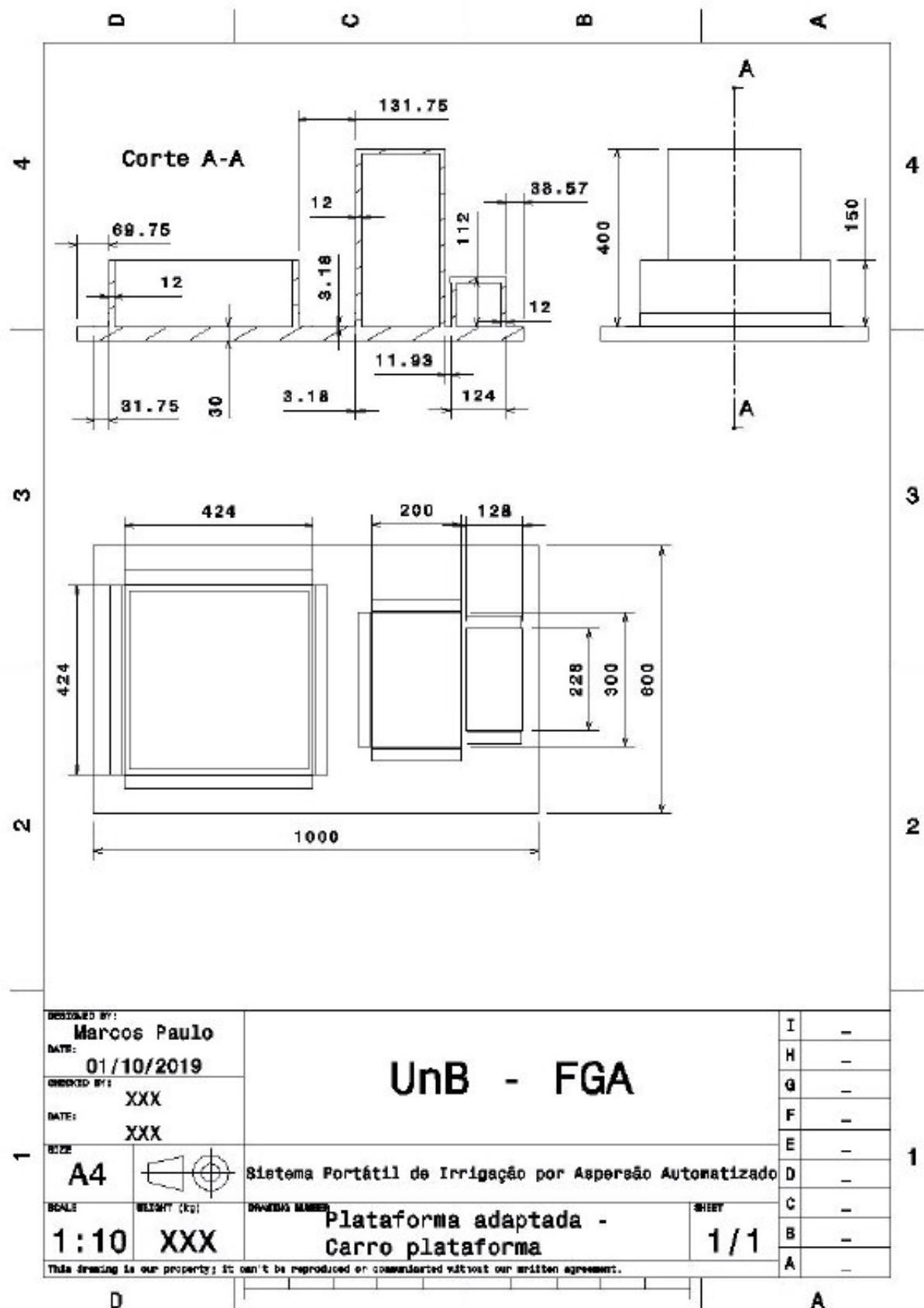












# APÊNDICE F – Solução de Software

## F.1 Softgoal Interdependency Graph

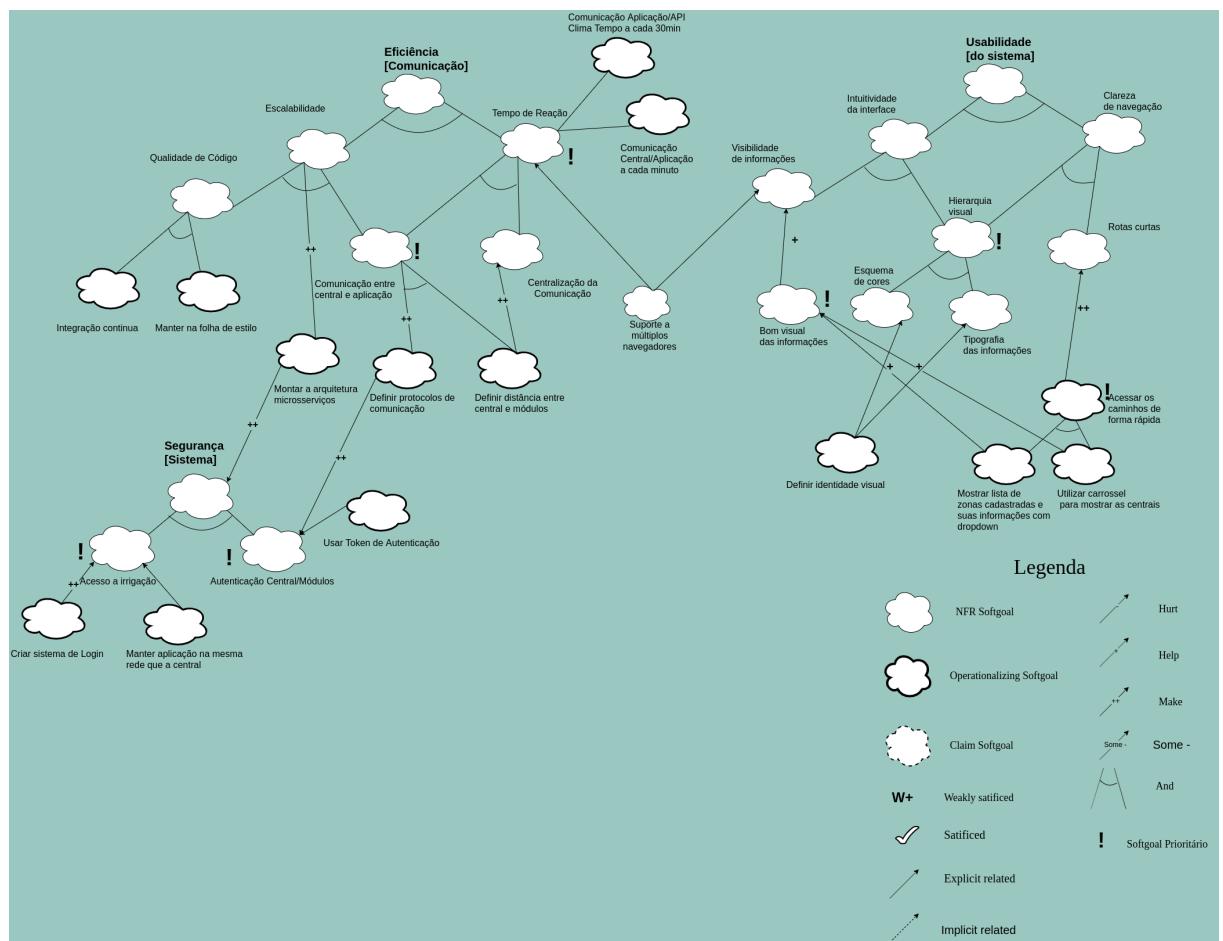
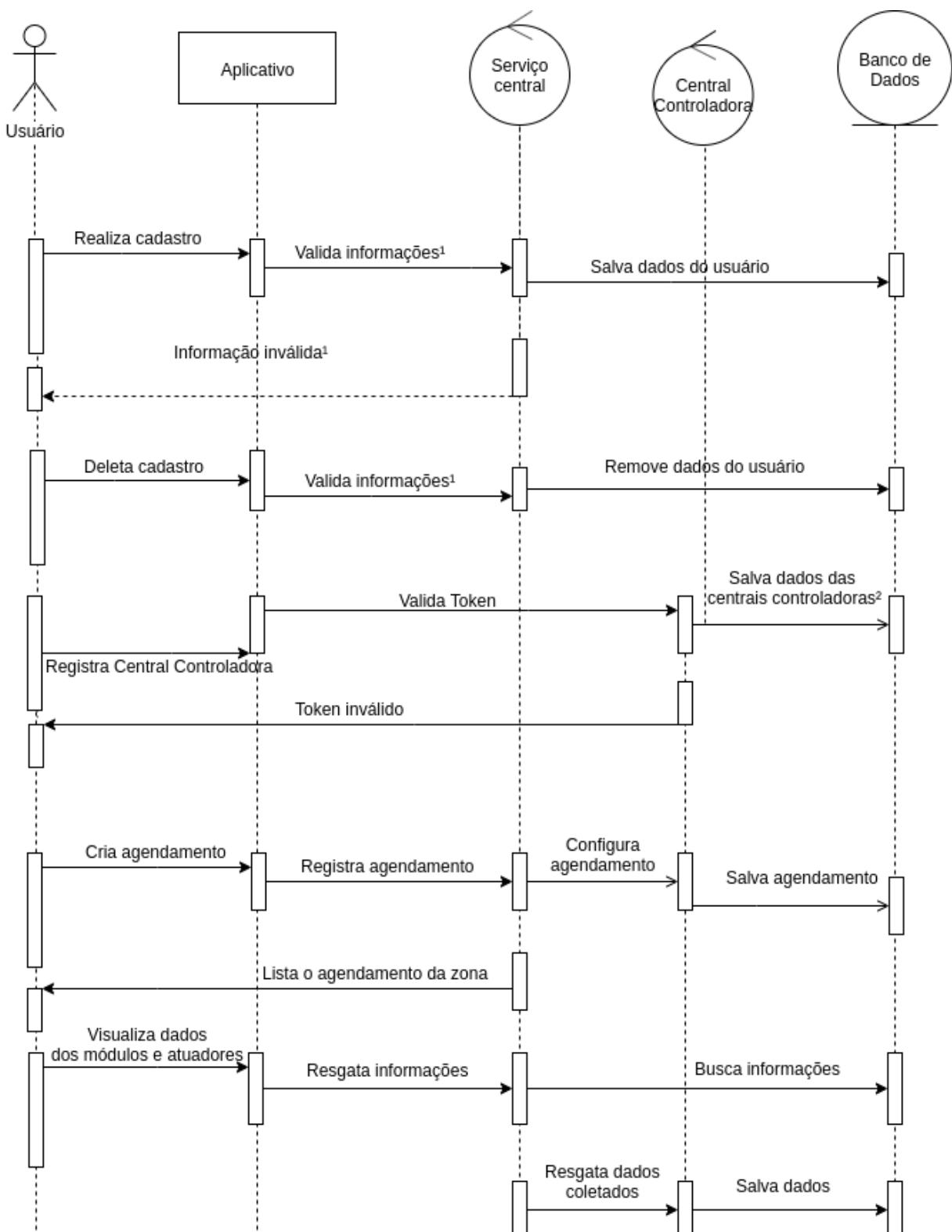


Figura 69 – Softgoal Interdependency Graph - Sistema de Software



## F.2 Diagrama de Sequência



# APÊNDICE G – Documento de Arquitetura

## G.1 Introdução

Este documento visa apresentar a arquitetura de software aplicada no desenvolvimento do sistema gerenciador de irrigação, o Irri, garantindo uma facilidade de visualização dos requisitos e da estrutura para com os desenvolvedores.

### G.1.1 Finalidade

Ao esboçar uma visão ampla das arquiteturas associada ao sistema, é possível evidenciar seus aspectos. Sendo assim, este documento procurará transparecer as decisões arquiteturais que foram tomadas, complementando com uma robustez nas informações.

### G.1.2 Escopo

A aplicação Irri terá como finalidade gerenciar os sistemas de controle de irrigação de forma dinâmica e eficiente, controlando seus atuadores para que a irrigação, anteriormente agendada, seja feita de forma automática.

O sistema geral corresponde no produto que realizará a irrigação, sendo um sistema de atuadores compondo o sistema de irrigação, em conjunto com sua respectiva central de monitoramento e gerenciamento, com o suporte de módulos medidores que farão a coleta dos dados do solo para serem enviadas à central, que terá a função gerenciar o funcionamento e analisar quando será mais apropriado realizar a irrigação.

Logo, o sistema de irrigação será gerenciado pela aplicação <i>Web/Mobile</i>, fazendo o controle das centrais e dos módulos medidores, realizando agendamentos periódicos para a ativação dos atuadores com o objetivo de irrigar o local no tempo determinado, de forma inteligente, considerando outros fatores que podem influenciar na qualidade da irrigação.

### G.1.3 Visão Geral

O documento, através de quatro principais tópicos e suas ramificações, visa detalhar a arquitetura e os requisitos do software. Facilitando o desenvolvimento e esclarecendo dúvidas a respeito deste.

### G.1.4 Definições, Acrônimos e Abreviações

- API: Application Programming Interface
- MTV: Model-Template-View

## G.2 Representação da Arquitetura

### G.2.1 Diagrama de Relações

O projeto foi modelado para uma arquitetura híbrida, envolvendo a arquitetura distribuída vulgarmente denominada de arquitetura mestre/escravo e a arquitetura de microsserviços, a fim de dar dinamicidade e sendo mais apropriada pela estrutura exigida pelo produto geral.

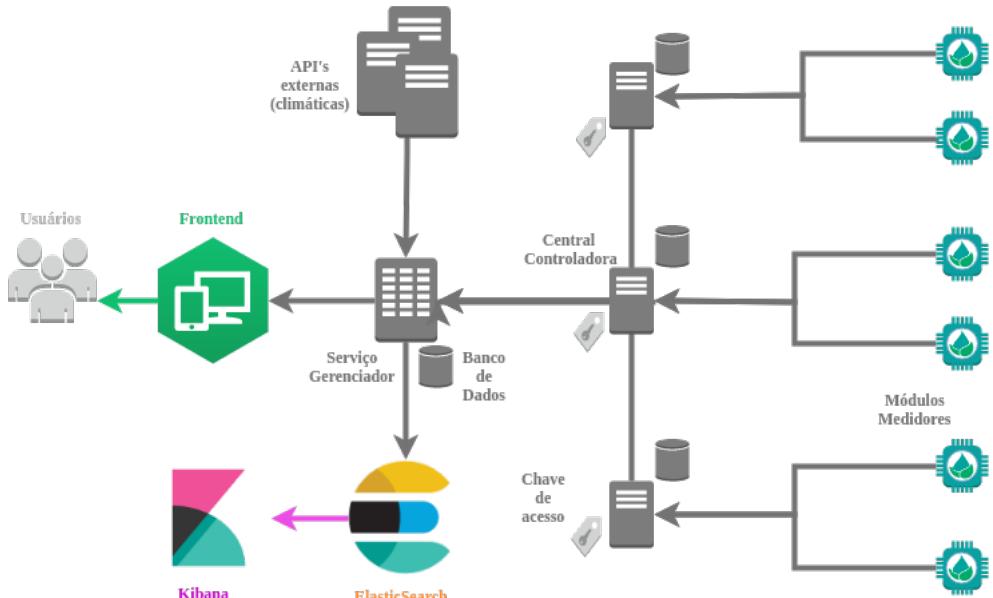


Figura 71 – Arquitetura geral do sistema

O projeto foi modelado para uma arquitetura híbrida, envolvendo a arquitetura distribuída vulgarmente denominada de arquitetura mestre/escravo e a arquitetura de microsserviços, a fim de dar dinamicidade e sendo mais apropriada pela estrutura exigida pelo produto geral.

O módulo que representa a arquitetura distribuída trabalha com pequenos serviços que possuem tarefas específicas, normalmente únicas, concentrando uma rede de informações e permitindo que o servidor supervisor consiga coletar, de forma precisa e já tratada, as informações necessárias solicitadas pelo serviço.

No caso do projeto, a arquitetura vem cobrir a necessidade de haver um serviço central que gerencie todos os centrais de controle que estão acopladas a cada sistema de

irrigação, realizando o gerenciamento dos dados, centralizando no serviço ao qual deve ser feito a análise dos dados coletados.

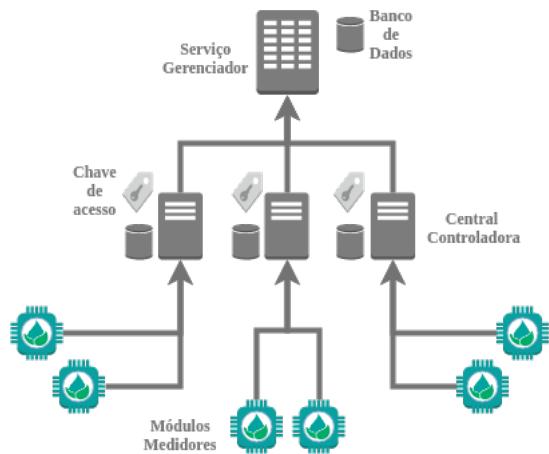


Figura 72 – Arquitetura Distribuída do sistema

Como informado imagem acima, o sistema é composto pelas centrais de controle realizando a coleta dos dados obtidos pelos sensores inclusos nos módulos medidores, onde o serviço central faz o controle de todos as centrais controladoras, centralizando todos os dados coletados.

Já, relacionado ao módulo arquitetural de microsserviços, foram definidos três principais: o serviço para a obtenção de dados climáticos, o de gerenciador das centrais controladoras (servidor mestre da arquitetura distribuída) e de disponibilização de visualizadores para a análise estatística dos dados coletados pelos módulos medidores e pelos atuadores.

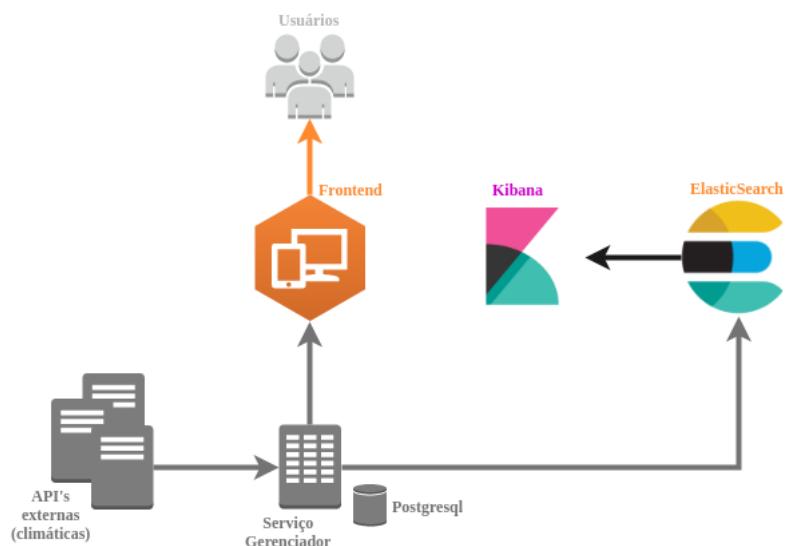


Figura 73 – Arquitetura de microsserviços

## G.2.2 Tecnologias

### G.2.2.1 Django

A tecnologia Django é um framework para desenvolvimento <i>web</i>, escrito em Python, que utiliza o padrão arquitetural model-template-view (MTV). Ele terá a finalidade de ajudar na construção das API's de coleta climática como também no sistema gerenciador das centrais controladoras, pois a dinamicidade, praticidade e robustez que ele pode oferecer é de alto valor para o sistema.



Figura 74 – Logo Django

Com o fluxo representado pela Figura 5, o processo de construção das API's se torna mais simples e intuitiva, delegando para cada módulo a responsabilidade de cada atividade, realizando a criação de endpoints de forma mais simples e prática.

Django Architecture

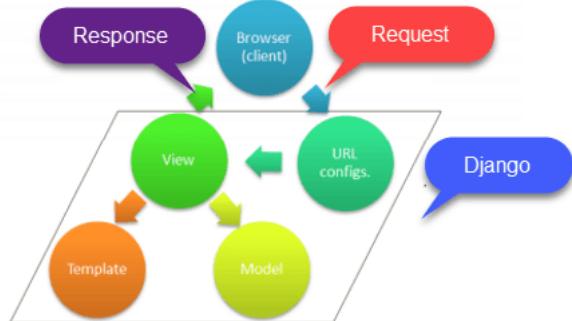


Figura 75 – Fluxo arquitetural do Django

### G.2.2.2 VueJS

O *Vue.js* é um *framework* progressivo do JavaScript, de código aberto, para a construção da parte de interface para o usuário, popularmente descrita como FrontEnd. Com a facilidade de integração de novas bibliotecas e uma boa organização arquitetural dos componentes dispostos, ele será de fundamental importância para a criação da interface da aplicação, tornando mais prático o desenvolvimento.

Com várias ferramentas a serem integradas para deixar mais dinâmico o processo de construção da aplicação, a ferramenta de formatação de códigos HTML, denominada *pug* e a ferramenta de auxílio para criação de códigos CSS, *stylus*, tornará o processo de desenvolvimento da interface da aplicação mais prático e fácil.

#### G.2.2.3 Quasar

O Quasar é um framework que trabalha em conjunto com o VueJS, sendo ideal para a criação de componentes e estruturas comuns em aplicações *web*, permitindo uma boa flexibilidade, garantindo um ambiente responsivo, fornecendo uma boa experiência de usuário tanto em dispositivos *mobile* quanto em *Desktops*.

### G.3 Metas e Restrições de Arquitetura

As restrições de arquitetura do projeto são:

- Utilização de um Banco de Dados *PostgreSQL* para os serviços de gerenciamento das centrais controladoras e de coleta de dados climáticos. Já, para o serviço de disponibilização de visualizadores, será associado o banco de dados *ElasticSearch*, que tem uma boa dinamicidade para trabalhar com o serviço do Kibana para realizar a disponibilidade dos visualizadores.
- Utilização da ferramenta Docker para a virtualização dos ambientes de forma prática e adequada.
- Conexão com a internet necessária.

As metas do projeto são:

- Disponibilizar uma aplicação com uma boa usabilidade a fim de tornar prático e ágil o processo de agendamento de irrigação, como também o gerenciamento das centrais pertencentes ao cliente.
- Cobrir os problemas relacionados à irrigação automática, como a necessidade do controle de regagem pela análise dos dados de tempo e do solo.