

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Projeto Integrador II

Pulverização de defensivos agrícolas através de Veículo Aéreo Não Tripulado V-STOL

Autor: Grupo 3

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis, Prof. Dr. José Felício da Silva,
Prof. Dr. Rhander Viana, Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e
Prof. Dr. Paolo Gessini

Brasília, DF

2021



Grupo 3

**Pulverização de defensivos agrícolas através de Veículo
Aéreo Não Tripulado V-STOL**

Trabalho submetido na disciplina de graduação Projeto Integrador II da Universidade de Brasília, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Alex Reis, Prof. Dr. José Felício da Silva, Prof. Dr. Rhander Viana, Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Brasília, DF
2021

Grupo 3

Pulverização de defensivos agrícolas através de Veículo Aéreo Não Tripulado
V-STOL/ Grupo 3. – Brasília, DF, 2021-
[237](#) p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr.Alex Reis,Prof. Dr. José Felício da Silva, Prof. Dr. Rhander Viana, Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini

Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2021.

1. . 2. . I. Prof. Dr.Alex Reis,Prof. Dr. José Felício da Silva, Prof. Dr. Rhander Viana, Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim e Prof. Dr. Paolo Gessini. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Pulverização de defensivos agrícolas através de Veículo Aéreo Não Tripulado V-STOL

CDU

Grupo 3

Pulverização de defensivos agrícolas através de Veículo Aéreo Não Tripulado V-STOL

Trabalho submetido na disciplina de graduação Projeto Integrador II da Universidade de Brasília, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Trabalho aprovado Brasília, DF, :

Prof. Dr. Alex Reis
Orientador

Prof. Dr. José Felício da Silva
Orientador

Prof. Rhander Viana
Orientador

Prof. Dr. Ricardo Matos Chaim
Orientador

Prof. Dr. Paolo Gessini
Orientador

Brasília, DF
2021

Integrantes do projeto

Coordenador Geral: Rodrigo Evangelista Aguiar de Souza

Diretora de Qualidade: Natália Paula Souza

Diretor Técnico de Estruturas: Vítor Lima Aguirra

Diretor Técnico de Elétrica: Francisco Barroso de Carvalho Neto

Diretor Técnico de Software: Lucas Gomes Silva

Demais integrantes:

Danielle Lima Bezerra

Thayná Cortês Pereira

Matheus de Cristo Doreia Estanislau

João Pedro Soares Cirqueira

Moacir Mascarenha Soares Junior

Lucas Regis

Douglas Alves de Castro

Marianna Amélia de S. B. Monteiro

Elias Queiroga Vieira

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema básico de funcionamento do produto elaborado na plataforma Drawio	22
Figura 2 – Design do VANT de pulverização elaborado no pacote CAD SolidWorks	22
Figura 3 – Parâmetro KV indicado na carcaça de um motor de VANT	30
Figura 4 – Configuração para controle de voo de um VANT	38
Figura 5 – Plug XT90 utilizado para ligar a bateria e o Módulo de Tensão SmartAPP PDB e soldagem entre Bateria e Módulo de Tensão	42
Figura 6 – Esquemático simplificado	43
Figura 7 – Diagrama de Blocos do Carregador	44
Figura 8 – Carregador de Bateria LiPo Turnigy	44
Figura 9 – Diagrama básico de blocos de operação da bomba diafragma	47
Figura 10 – Bomba de Diafragma do Fabricante CNCEST	50
Figura 11 – Condutos utilizados para conectar o tanque de defensivos aos bicos nebulizadores	52
Figura 12 – Válvula Solenoide do Fabricante SHAKO	52
Figura 13 – Sistema atuador solenoide-válvula	53
Figura 14 – Diagrama lógico de funcionamento do Pulver VANT desenvolvido na plataforma Drawio	64
Figura 15 – Diagrama lógico de eletrônica desenvolvido na plataforma Drawio	65
Figura 16 – Arquitetura de integração entre os núcleos de eletrônica e software	67
Figura 17 – Integração geral de todos os subsistemas	69
Figura 18 – Estabelecimento do sistema de coordenadas global do VANT	70
Figura 19 – Calibração da bússola via software QGroundControl	71
Figura 20 – Configuração inicial do controle remoto	72
Figura 21 – Configuração inicial dos motores	73
Figura 22 – Fluxograma de funcionamento dos códigos utilizados em integração com o QGroundControl	75
Figura 23 – Tela de inicialização	76
Figura 24 – Simulação de voo elaborada no QGroundControl	77
Figura 25 – Resultado da simulação do sensor de fluxo	78
Figura 26 – Resultado da simulação do sensor de umidade e temperatura	80
Figura 27 – Diagrama dos processos a serem executados pelo núcleo de estruturas elaborado na plataforma Drawio	82
Figura 28 – Dados técnicos de desempenho do conjunto hélice e motor fornecidos pelo fabricante do motor.	87

Figura 29 – Esquemático utilizado para cálculo do comprimento dos suportes acopladores	89
Figura 30 – Diagrama de Corpo Livre para os suportes acopladores considerando a condição de decolagem do VANT	90
Figura 31 – Malha utilizada nas simulações computacionais realizadas no Ansys	91
Figura 32 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S1	92
Figura 33 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S2	93
Figura 34 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S3	94
Figura 35 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S4	95
Figura 36 – Diagrama de momento fletor para o suporte acoplador em hover	97
Figura 37 – Resultados da análise estática efetuada no Ansys para o suporte acoplador	98
Figura 38 – Inserto utilizado para fixação do tanque de defensivos.	99
Figura 39 – Tanque de defensivos e trem de pouso dimensionados para o projeto	100
Figura 40 – Curva polar de arrasto elaborada na plataforma Excel 2019.	103
Figura 41 – Curva de eficiência aerodinâmica elaborada na plataforma Excel 2019	104
Figura 42 – Resultado de escoamento em torno da hélice do VANT	106
Figura 43 – Resultado de escoamento em torno da hélice do VANT	106
Figura 44 – Esquematização da máquina de enrolamento filamentar	108
Figura 45 – Esquematização da máquina molde por injeção	109
Figura 46 – Ciclo da máquina de molde por injeção	109
Figura 47 – Diagrama de Arquitetura	120
Figura 48 – Diagrama de Classes	122
Figura 49 – Diagrama de Casos de uso	123
Figura 50 – Diagrama de Atividades	124
Figura 52 – Diagrama da arquitetura hexagonal no sistema do VANT	127
Figura 51 – Diagrama de Atividades	129
Figura 53 – Vantagens e desvantagens do projeto	141
Figura 54 – Análise de mercado com os principais VANTs já existentes	141
Figura 55 – Organograma dos integrantes do projeto elaborado na plataforma Drawio	144
Figura 56 – Ferramentas utilizadas ao longo do desenvolvimento do projeto.	151
Figura 57 – Estrutura Analítica do ponto de controle 1	152
Figura 58 – Estrutura Analítica do ponto de controle 2.	153
Figura 59 – Estrutura Analítica de estruturas do ponto de controle 2.	154
Figura 60 – Estrutura Analítica de Eletrônica do ponto de controle 2.	155
Figura 61 – Estrutura Analítica de energia do ponto de controle 2.	156
Figura 62 – Estrutura Analítica do ponto de controle 3.	157
Figura 63 – Sistema de ligação entre a placa controladora e o módulo GPS	167
Figura 64 – Esquemático de funcionamento do RPLIDAR	168
Figura 65 – Estrutura mecânica e estrutura dos pinos disponíveis no radar RPLIDAR	169

Figura 66 – Esquemático de ligação de controle de fluxo UART	170
Figura 67 – Interface do módulo receptor	172
Figura 68 – Esquemático de ligação	173
Figura 69 – Diagrama de pinos da Raspberry Pi Model 3 B	174
Figura 70 – Interface da porta UART4 da controladora de voo	175
Figura 71 – Ligação entre a controladora de voo e a Raspberry Pi	175
Figura 72 – Sistema de sensoriamento da velocidade do ar	177
Figura 73 – Porta I2C responsável pela alimentação e comunicação do sensor de velocidade do ar	178
Figura 74 – Sensor de fluxo e seu esquemático de funcionamento	178
Figura 75 – Diagrama de portas do módulo de tensão SmartAP PDB	181
Figura 76 – Porta POWER1 da controladora de voo	182
Figura 77 – Saídas PWM para controlar a velocidade dos motores	183
Figura 78 – Paleta de cores desenvolvida para representar o produto	185
Figura 79 – Logomarca desenvolvida para o produto	185
Figura 80 – Interface para registro do VANT	186
Figura 81 – Tela Meus drones	187
Figura 82 – Tela de monitoramento de dados coletados	187
Figura 83 – Tela "meus voos" da interface	188
Figura 84 – Tela de detalhamento de voos realizados. Fonte: Autores	189
Figura 85 – Diagrama da arquitetura hexagonal	190
Figura 86 – Vista em perspectiva do Pulver VANT	192
Figura 87 – Vista explodida do conjunto	192
Figura 88 – Bicos nebulizadores	193
Figura 89 – Câmera e mangueiras	193
Figura 90 – Válvula solenóide e bomba	193
Figura 91 – Encaixe da mangueira no tanque de defensivos	194
Figura 92 – Tanque de defensivos	194
Figura 93 – Acoplamento do trem de pouso no tanque de defensivos	194
Figura 94 – Acoplamento das hélices	195

Lista de tabelas

Tabela 1 – Análise de possíveis riscos gerais do projeto. Fonte: Autores	26
Tabela 2 – Requisitos funcionais e não funcionais para o núcleo de estruturas Fonte: Autores.	26
Tabela 3 – Requisitos funcionais e não funcionais do núcleo de elétrica (Energia e Eletrônica) Fonte: Autores.	27
Tabela 4 – Requisitos funcionais e não funcionais do núcleo de software	27
Tabela 5 – Especificações técnicas do motor escolhido	32
Tabela 6 – Relação entre Capacidade de Carga e tempo de duração	36
Tabela 7 – Levantamento de Carga do VANT	37
Tabela 8 – Performance Data motor Titan T8120 e Hélice PJP-TL 30x10	39
Tabela 9 – Rendimento de acordo com o impulso	40
Tabela 10 – Especificações da Bateria	41
Tabela 11 – Dados da sucção	50
Tabela 12 – Dados de recalque	51
Tabela 13 – Componentes mecânicos mais utilizados em VANTs.	83
Tabela 14 – Propriedades mecânicas e térmicas dos materiais escolhidos para o projeto	86
Tabela 15 – Seções transversais consideradas para o suporte acoplador	89
Tabela 16 – Resultados das simulações computacionais realizadas no Ansys	96
Tabela 17 – Estimativa de peso do veículo.	100
Tabela 18 – Valores de C_D em função de C_L	102
Tabela 19 – Valores de C_D em função de C_L	103
Tabela 20 – Plano de fabricação	110
Tabela 21 – Plano de fabricação	111
Tabela 22 – Custo inicial estimado para a área de estrutura	130
Tabela 23 – Custo inicial estimado para a parte elétrica	131
Tabela 24 – Custo inicial estimado para software	132
Tabela 25 – Análise do retorno de investimento do projeto	132
Tabela 26 – Equipe do projeto	143
Tabela 27 – Docentes da disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 2	143
Tabela 28 – Tabela de riscos gerais do projeto	145
Tabela 29 – Riscos de estrutura relacionados ao projeto	145
Tabela 30 – Riscos e ações de estruturas do projeto	146
Tabela 31 – Riscos dos subsistemas eletrônicos relacionados ao projeto	146
Tabela 32 – Riscos e ações de eletrônica do projeto	147
Tabela 33 – Riscos dos subsistemas de energia relacionados ao projeto	147
Tabela 34 – Riscos e ações de energia do projeto	148

Tabela 35 – Riscos dos subsistemas de software relacionados ao projeto	149
Tabela 36 – Riscos e ações de software do projeto	150
Tabela 37 – Cronograma de atividades para o núcleo de estrutura	157
Tabela 38 – Cronograma de atividades para o núcleo de elétrica	158
Tabela 39 – Cronograma de atividades para o núcleo de software	159
Tabela 40 – Cronograma de reuniões realizadas para grupo geral	160
Tabela 41 – Cronograma de reuniões realizadas pelo núcleo de estrutura	160
Tabela 42 – Cronograma de reuniões realizadas para o núcleo de elétrica	161
Tabela 43 – Cronograma de reuniões realizadas para o núcleo de software	162
Tabela 44 – Portas de entrada e saída da placa controladora	165

Lista de abreviaturas e siglas

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrila Butadieno Estireno)
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	Application Programming Interface - interface de programação de aplicações
BI	Business Inteligence
CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CAN	Controller Area Network
CTS	Clear To Send
CAVE	Certificado de Autorização de Vôo Experimental
DCL	Diagrama de Corpo Livre
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ECDSA	Elliptic Curve Digital Signature Algorithm
ESC	Eletronic Speed Controller (Controlador Eletrônico de Velocidade)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GUT	Gravidade, Urgência, Tendência
HMAC	Hash-based Message Authentication Code
IS	Instituição Suplementar
JSON	JavaScript Object Notation
JWT	JSON Web Token
LIPO	Lithium Polymer Battery
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
ORM	Object-Relational Mapping

PDB	Power Distribution Board
PDCA	Plan, Do, Check, Act (Planejar, Executar,Checar e Agir)
PMBOK	Project Management Body Of Knowledge
Psi	Pound force per square inch
PVC	Policloreto de Vinila
PWM	Pulse Width Modulation
RBA	Receita Bruta Agropecuária Anual
RPA	Aeronaves remotamente Pilotadas
rpm	Rotações por minuto
RTS	Ready To Send
RSA	Rivest-Shamir-Adleman
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock
SISANT	Sistema de Aeronaves não Tripuladas
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UML	Unified Modeling Language
UAVCAN	Uncomplicated Application-level Vehicular Computing and Networking
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
V-STOL	Vertical/Short Take-Off and Landing (decolagem e aterragem vertical ou em espaço reduzido)

Lista de símbolos

\times	Multiplicação
\vec{G}	Campo gravitacional
σ_{max}	Tensão normal máxima
σ_{min}	tensão normal mínima
FS	Fator de segurança
ρ	Densidade
a	Aceleração
\vec{g}	vetor aceleração da gravidade
A	Área de seção transversal
v	Símbolo para velocidade
V	Símbolo para volume
g	Módulo da aceleração gravitacional
C_d	Coeficiente de arrasto total
C_{D0}	Coeficiente de arrasto parasita
C_{DW}	Coeficiente de arrasto de onda
C_{Di}	Coeficiente de arrasto induzido
C_L	Coeficiente de sustentação
AR	Razão de aspecto (Aspect Ratio)
ε_0	Fator de eficiência de Oswald
Q	Vazão volumétrica
S_{wet}	Área molhada da aeronave
C_f	Coeficiente de atrito equivalente
$E_{máx}$	Máxima eficiência aerodinâmica

Sumário

1	APRESENTAÇÃO	19
1.1	Introdução	19
1.2	Justificativa do projeto	20
1.3	Diferença entre o VANT e o drone: nomenclatura adotada para o projeto	21
1.4	Descrição do produto	21
1.4.1	Configuração do VANT escolhida para o projeto	21
1.4.2	Objetivos do projeto	22
1.4.2.1	Objetivo geral	22
1.4.2.2	Objetivos específicos	22
2	REQUISITOS	24
2.1	Requisitos Legais	24
2.2	Requisitos Gerais	25
2.3	Requisitos Estrutura	26
2.4	Requisitos Eletrônica-Energia	27
2.5	Requisitos Software	27
3	SOLUÇÃO DE ENERGIA	29
3.1	Considerações sobre a escolha do motor	29
3.1.1	Dimensionamento do motor	30
3.1.2	Passagem dos cabos do ESC e motor	32
3.2	Sistema de alimentação	35
3.2.1	Bateria	35
3.2.1.1	Dimensionamento da bateria	37
3.2.2	Sistema de carregamento	42
3.3	Sistema de bombas	45
3.3.1	Formulação matemática	45
3.3.2	Escolha da bomba de diafragma	49
4	SOLUÇÃO DE ELETRÔNICA	54
4.1	Esquemáticos de funcionamento CUAV V5+	54
4.2	Protocolos de comunicação interna	61
4.2.1	PWM	61
4.2.2	I2C	61
4.2.3	UART	61

4.2.4	CAN Bus	61
4.2.5	UAVCAN	62
4.2.6	SBUS	62
4.2.7	MAVLINK	62
4.3	Diagramas lógicos de funcionamento	62
4.3.1	Diagrama lógico do VANT	62
4.3.2	Diagrama lógico eletrônico	63
4.4	Arquitetura de integração	66
4.5	Diagrama de integração geral do projeto	68
4.6	Configurações de inicialização	70
4.6.1	Orientação de instalação	70
4.6.2	Calibração da bússola	70
4.6.3	Calibração do giroscópio	71
4.6.4	Calibração do acelerômetro	71
4.6.5	Calibração do sensor de velocidade do ar	71
4.6.6	Calibração de nível	72
4.6.7	Configuração do controle remoto	72
4.6.8	Configurações da bateria	72
4.6.9	Configuração inicial dos motores	73
4.6.10	Calibração dos ESCs	73
4.7	Simulações	74
4.7.1	Simulação de voo	74
4.7.2	Simulações referentes a Raspberry Pi	77
5	SOLUÇÃO DO NÚCLEO ESTRUTURAL	82
5.1	Escolha dos materiais	83
5.1.1	Ponderações sobre a necessidade de cada componente	83
5.1.2	Materiais escolhidos: Epóxi/fibra de carbono e Polipropileno	84
5.1.2.1	Resina epóxi	85
5.1.2.2	Fibra de carbono	85
5.2	Projeto e dimensionamento dos componentes mecânicos	86
5.2.1	Dimensionamento das hélices	86
5.2.2	Projeto e dimensionamento dos suportes acopladores do conjunto hélice e motor brushless	88
5.2.2.1	Comprimento dos suportes acopladores	88
5.2.2.2	Análise dinâmica no Ansys: cálculo de tensões atuantes	88
5.2.2.3	Análise estática do suporte acoplador do conjunto hélice e motor	96
5.3	Projeto e dimensionamento do tanque de defensivos e trem de pouso	98
5.4	Estimativa de peso	100
5.5	Desempenho Aerodinâmico	101

5.5.1	Polar de arrasto	101
5.5.1.1	Máxima eficiência aerodinâmica	103
5.5.2	Potência Máxima	104
5.6	Análise CFD	105
5.7	Plano de fabricação	107
5.7.1	Enrolamento filamentar	107
5.7.2	Molde de injeção	108
5.7.3	Fabricação dos componentes	110
5.7.3.1	Fabricação das barras verticais do trem de pouso e barras anti torção	112
5.7.3.2	Fabricação do braço de acoplamento dos motores BLDC	112
5.7.3.3	Fabricação da central eletrônica e tanque de defensivos	112
5.7.3.4	Fabricação das barras inferiores do trem de pouso	113
5.7.3.5	Fabricação da bancada de bico	113
5.8	Plano de testes de execução	113
5.8.1	Rotina de testes para o cliente	113
5.8.1.1	Rotina de testes para verificar o funcionamento dos motores e hélices	114
5.8.1.2	Desempenho em voo	114
5.8.2	Rotina de testes para o fabricante	115
5.8.2.1	Inspeções pré-voo	115
5.8.2.2	Operando o VANT	116
6	SOLUÇÃO DE SOFTWARE	118
6.1	Tecnologias	118
6.1.1	React JS	118
6.1.2	Node.js	118
6.1.3	NestJs	118
6.1.4	JSON Web Token (JWT)	118
6.1.5	Cypress	118
6.1.6	Object-Relational Mapping (ORM)	119
6.1.7	Jest	119
6.1.8	RabbitMQ	119
6.1.9	MongoDB	119
6.1.10	Material-UI	119
6.2	Componentes da Arquitetura	119
6.2.1	Frontend	120
6.2.2	Microsserviços	120
6.2.2.1	Gateway de API	120
6.2.2.2	Monitoramento	120
6.2.2.3	VANT	121
6.2.2.4	Usuário	121

6.2.3	Software Embarcado	121
6.3	Diagramas	121
6.3.1	Diagrama de Classes	121
6.3.2	Diagrama de Casos de Uso	122
6.3.3	Diagrama de Pacotes	123
6.3.3.1	Frontend	124
6.3.3.2	Gateway	124
6.3.3.3	Microsserviços	124
6.3.4	Diagrama de Atividades	125
6.4	Decisões	125
6.4.1	Microsserviços	125
6.4.2	Arquitetura Hexagonal	125
6.4.3	RabbitMQ	125
6.4.4	Nest.js	126
6.4.5	ReactJS	126
6.4.6	MongoDB	126
6.5	Código	126
6.6	Manual de Instalação	127
6.7	Testes	128
6.8	Manual do Usuário	128
7	ANÁLISE DE CUSTO	130
7.1	Custo de Estrutura	130
7.2	Custo de Eletrônica-Energia	131
7.3	Custo de Software	131
7.4	Análise de Viabilidade	132
	REFERÊNCIAS	134
	APÊNDICES	139
	APÊNDICE A – TERMO DE ABERTURA DO PROJETO (TAP)	140
A.1	Lista É/Não é	140
A.1.1	É	140
A.1.2	Não é	140
A.2	Vantagens e desvantagens do projeto	140
A.2.1	Produtos concorrentes	140
A.3	Restrições do produto	141
A.4	Papéis e responsabilidades	142

A.4.1	Equipe	142
A.4.2	Professores	143
A.4.3	Público Alvo	143
APÊNDICE B – RISCOS DO PROJETO		145
B.1	Riscos Gerais	145
B.2	Riscos Estruturais	145
B.2.1	Análise dos Riscos e Ações de Estruturas	146
B.3	Riscos Eletrônicos	146
B.3.1	Análise dos Riscos e Ações de eletrônica	147
B.4	Riscos de energia	147
B.4.1	Análise dos Riscos e Ações de energia	148
B.5	Riscos de Software	149
B.5.1	Análise de Riscos e ações para software	149
APÊNDICE C – GERENCIAMENTO		151
C.1	Metodologia	151
C.2	Ferramentas de Gerenciamento	151
C.3	Estrutura Analítica do Projeto (EAP)	152
C.3.1	EAP PC1	152
C.3.2	EAP PC2	152
C.3.3	EAP Estrutura	154
C.3.4	EAP Elétrica (Eletrônica e Energia)	155
C.3.5	EAP PC3	156
C.4	Gestão de tempo	157
C.4.1	Cronograma de Estrutura	157
C.4.2	Cronograma elétrica	158
C.4.3	Cronograma de Software	159
C.4.4	Cronograma de reuniões	160
C.4.4.1	Reuniões Gerais	160
C.4.4.2	Reuniões Estrutura	160
C.4.4.3	Reuniões do núcleo elétrico	161
C.4.4.4	Reuniões do núcleo de software	162
APÊNDICE D – SOLUÇÃO DE ELETRÔNICA PARA O PROJETO		164
D.1	Módulo controlador de voo	164
D.1.1	Placa controladora de voo CUAV V5+	164
D.1.2	Módulo GPS NEO 3 pro	166
D.2	Módulo anti colisão	167
D.3	Módulo de operação do usuário e transmissão de vídeo	170

D.4	Raspberry	172
D.4.0.1	Módulo 4G para Raspberry 3B	175
D.5	Módulo de sensores	176
D.5.1	Sensor de velocidade do ar	176
D.5.2	Sensor de fluxo	178
D.5.3	Sensor de temperatura e umidade	179
D.6	Módulo de tensão	180
D.7	Controladores de velocidade	182
APÊNDICE E – DEFINIÇÕES E SOLUÇÕES DE SOFTWARE		184
E.1	Identidade visual do produto	184
E.1.1	Logomarca do produto	185
E.2	Protótipos de alta fidelidade	186
E.2.1	Telas principais	186
E.3	Inovação	189
E.3.1	Arquitetura de microsserviços	189
E.3.2	Arquitetura hexagonal	189
E.3.3	Integração Contínua (Continuous Integration) e Entrega Contínua (Continuous Delivery)	191
APÊNDICE F – DESENHOS TÉCNICOS E MODELAGEM CAD		192
APÊNDICE G – MANUAL DE MONTAGEM ESTRUTURAL DO PULVER VANT		213
APÊNDICE H – MANUAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA		227
APÊNDICE I – MANUAL DO USUÁRIO E OUTRAS INFORMAÇÕES		229
I.1	Navegação no repositório do projeto	229
ANEXOS		231
ANEXO A – ROTINA COMPUTACIONAL EM MATLAB UTILIZADA PARA A ESCOLHA DO MODELO DE HÉLICE		232
ANEXO B – CÓDIGO UTILIZADO PARA SIMULAÇÃO DO FLUXO DA BOMBA		236
ANEXO C – CÓDIGO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO DO SENSOR DE UMIDADE E TEMPERATURA		237

1 Apresentação

1.1 Introdução

O aumento da população mundial acarreta na necessidade de aumentar a produção de insumos agrícolas nas próximas décadas. Nesse contexto, o Brasil destaca-se como um dos principais países capazes de prover essa grande demanda agrícola, e, entretanto, com a ressalva de que há ainda alguns desafios a serem enfrentados no que tange tecnologias capazes de implementar um aumento de produção agrícola sustentável e em quantidade suficiente ([VALVERDE, 2020](#)).

Os avanços recentes em áreas da tecnologia da computação, associados ao desenvolvimento de sistemas globais de navegação e geoprocessamento, propiciaram a ampliação das perspectivas de uso dos veículos aéreos não tripulados (VANT) na agricultura. Relativamente baratas e fáceis de usar, essas aeronaves, equipadas com sensores e recursos de imagem cada vez mais eficientes e precisos podem auxiliar agricultores a aumentar a produtividade e reduzir danos em lavouras por meio de levantamentos de dados que permitem detectar pragas e estimar o índice de crescimento das plantas, apenas para citar alguns exemplos.

De acordo com o autor ([AGRICULTURA, 2020](#)), a produção de defensivos no Brasil cresceu cerca de 70% no último ano e movimentou 464,5 milhões de reais, ressaltando a importância da correta aplicação destes produtos dada sua potencial ação danosa que pode causar ao ambiente. A aplicação desses defensivos podem ser realizadas através dos VANTS, tal que a aplicação deve obedecer as diretrizes estabelecidas na lei n° 7.802/1989 ([GOV.FEDERAL, 2013](#)), destacando as normas de classificação, inspeção e aplicação desses pulverizantes. Já a utilização dos VANTS para transporte de cargas perigosas como defensivos agrícolas deve obedecer algumas normas de homologação e licenciamento, onde a homologação é regida pelas diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil ([ANAC, 2017](#)) e pela Agência Nacional de Telecomunicações ([ANATEL, 2017](#)), enquanto que o licenciamento do veículo deve obedecer as normas do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) ([AEREO, 2017](#)).

Os autores ([ARAGAKI, 2019](#)) e ([FERREIRA, 2014](#)) destacam em suas obras vários os problemas ambientais gerados pela má aplicação de defensivos, que vão desde o espalhamento para o ambiente e contaminação do solo até a contaminação de pessoas e animais. Para solucionar tais problemas, é necessário primeiramente caracterizar os métodos de pulverização de acordo com seu alcance e precisão, para então propor as devidas soluções. O método de pulverização por área total é baseado em tratar os problemas pon-

tuais da lavoura como um todo, gerando assim aspectos positivos e negativos. No que tange o uso dos defensivos agrícolas por se tratar de um processo no qual a lavoura inteira é pulverizada sem levar em consideração áreas focais, onde há a necessidade de maior atenção e controle de pragas, o modelo de área total acaba por generalizar muitos dos processos envolvidos na solução da praga e cura da planta, gerando maior gasto de defensivos agrícolas, de combustível utilizado pelas máquinas, danos ambientais e um controle menos específico sobre cada parte da lavoura. Por sua vez, o modelo de precisão é um processo que vem sendo implementado aos poucos no mercado agronômico brasileiro, onde todavia, vem se tornando cada vez mais visado devido às suas características únicas no que tange o comando, controle e produtividade das lavouras. Por se tratar de um modelo no qual a maior ênfase gira em torno de ações focais/precisas e controladas em tempo real, o modelo requer maior empenho do agricultor com sua lavoura e alto nível tecnológico, sendo este o campo de aplicação dos VANTs.

Os dados levantados a respeito da crescente utilização de pulverizantes no Brasil e os problemas ocasionados por sua utilização mostram a necessidade de implementação dos VANTs como ferramentas auxiliadoras na melhora da eficiência do processo, garantindo ainda a saúde do trabalhador que aplica o produto. Tendo em vista o exposto, o projeto objetiva-se a construção de um VANT com configuração de voo denominada de Vertical/Short Take-Off and Landing (V-STOL), que seja capaz de tornar o processo de pulverização menos danoso ao ambiente e menos custoso ao produtor. A autonomia de voo do veículo foi estabelecida como 15 minutos, além de ter peso máximo de decolagem limitado a 23,6 kg, já contabilizando uma carga útil de 10 kg de defensivo agrícola.

1.2 Justificativa do projeto

As recompensas decorrentes do uso de VANTs para pulverização tem agradado o olhar de vários agropecuaristas, e o modelo é visado como o alicerce fundamental da agronomia do futuro, trazendo ótimo retorno financeiro a longo prazo ao mesmo tempo em que minimiza os prejuízos ambientais já mencionados. Sendo assim, a abordagem no que tange o uso desses veículos para aplicação mais eficiente de defensivos ganha destaque no cenário nacional, onde a aplicação de precisão dos defensivos agrícolas, o excelente custo benefício a médio/longo prazo, a preservação da saúde do trabalhador rural que aplicaria o produto diretamente e a diminuição dos danos ambientais são os principais fatores que justificam este projeto. Como pontos diferenciais do projeto em relação aos existentes no mercado cita-se ainda o sistema de decolagem que não necessita de pista de pouso e o armazenamento e monitoramento de variáveis como velocidade do ar, umidade e pressão em tempo real.

1.3 Diferença entre o VANT e o drone: nomenclatura adotada para o projeto

A legislação brasileira aponta as diferenças entre as classificações drone e VANT, mesmo ambos tendo tecnologias semelhantes. De acordo com ([FORCE, 2018](#)), além de o drone ser uma aeronave de uso recreativo, o mesmo não possui nenhuma restrição para compra e não é necessário que o usuário porte algum tipo de licença ou autorização. A diferença do drone para os VANTS, é que estes últimos diferem apenas na aplicação destinada, onde o VANT é utilizado para uso comercial e também experimentos e pesquisas.

Ainda de acordo com ([FORCE, 2018](#)), outro fator importante é que para ser considerado um VANT, a aeronave deve possuir alguma carga útil embarcada, podendo ser sensores, câmeras ou algum tipo de produto, onde atualmente, existem diversos tipos de drones e VANTS disponíveis no mercado. Portanto, o produto final almejado no projeto se enquadra na classificação de VANT, visto que é destinado a uso comercial, e possui diversos módulos de sensores para auxílio na sua operação.

1.4 Descrição do produto

O produto final almejado no projeto é um VANT agrícola destinado a pulverização de defensivos. O veículo terá massa estrutural total de 13,6 kg e suporta carga útil de 10 kg de pesticidas. Além do diferencial de decolagem e pouso, o veículo apresenta sistema com alta capacidade de monitoramento de variáveis climáticas e quantitativas, como temperatura, umidade e velocidade relativa do ar, além de custo reduzido em comparação com os preços de mercado, visto que sua produção será feita nacionalmente. O diagrama da figura 1 (Fonte: Autores) descreve de maneira geral básica o plano de funcionamento do projeto.

1.4.1 Configuração do VANT escolhida para o projeto

A configuração de VANT escolhida foi do tipo quadrirrotor, no qual é amplamente difundida na indústria e bastante utilizada. Na fase inicial, o projeto preliminar foi baseado em um design de drone existente no mercado denominado "Thea 130 agriculture drone" vendido pelo fornecedor [Foxtech](#). A vista isométrica do projeto desenvolvido pode ser observada abaixo na figura 2 (Fonte: Autores), onde o processo de design e construção será detalhado no capítulo de solução de estrutura. Ao longo do desenvolvimento do projeto, esse CAD será aprimorado e refinado na fase de detalhamento, de acordo com os componentes necessários para a elaboração do VANT e os requisitos funcionais.

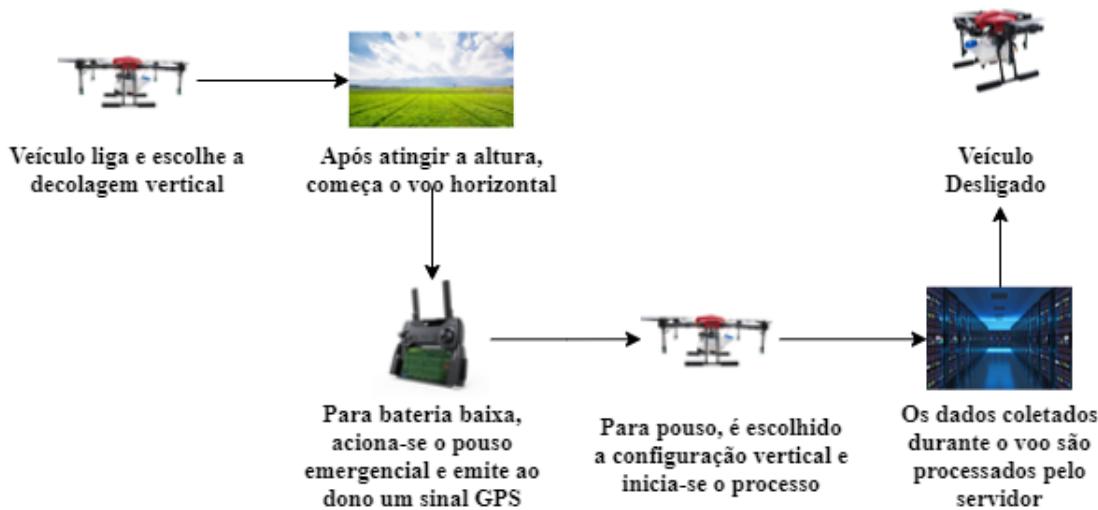


Figura 1 – Esquema básico de funcionamento do produto elaborado na plataforma Drawio



Figura 2 – Design do VANT de pulverização elaborado no pacote CAD SolidWorks

1.4.2 Objetivos do projeto

1.4.2.1 Objetivo geral

O objetivo do projeto é promover a aplicação de defensivos agrícolas de maneira menos danosa ao ambiente concomitantemente com a diminuição do custo desse processo. Para isso, é desenvolvido um VANT de pulverização com a configuração de voo V-STOL, que possui autonomia de operação de 15 minutos e capacidade de transportar 10 kg de carga útil de defensivos.

1.4.2.2 Objetivos específicos

O veículo construído terá como objetivos específicos:

- Tornar o processo de pulverização mais eficiente, evitando a deriva do dispersante.
- Coletar variáveis em tempo real para futuras análises de dados.
- Garantir que todo o volume de defensivo seja dispersado adequadamente nas regiões de difícil acesso.
- Orientar o operador a respeito do processo de pulverização.

2 Requisitos

2.1 Requisitos Legais

No Brasil, o uso recreativo de drones não requer nenhum tipo de autorização, ao contrário da utilização de VANTs. De acordo com ([ANAC, 2015](#)), o uso de VANTs não autônomos só é permitido mediante autorização expressa da ANAC ou pela emissão do Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) emitido segundo a Instituição Suplementar (IS) nº 21-002A.

O CAVE é uma autorização que permite o uso de aeronaves experimentais. Atualmente, o procedimento para que uma aeronave receba essa certificação segue o que dispõe a IS nº 21-002A intitulada “Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados”. Entretanto, tal certificado permite apenas operações experimentais sobre áreas não densamente povoadas, ou seja, não permite operações com fins lucrativos e nem operações em áreas urbanas, com exceção de operações com finalidade de pesquisas e desenvolvimento e de treinamento de pilotos. A autorização da ANAC é condição necessária, porém não suficiente, para a operação desses equipamentos, pois também há permissões a serem concedidas pela ([ANATEL, 2017](#)) e pelo DECEA ([ANAC, 2015](#)). Atualmente, 6 VANTs possuem o CAVE vigente: dois da Polícia Ambiental de São Paulo, dois da Polícia Federal; um do Departamento Nacional de Produção Mineral, e um do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Além do CAVE, as operações do Departamento de Polícia Federal foram permitidas pela ANAC em 2011 e outras 7 autorizações foram emitidas.

Ainda de acordo com o autor ([ANAC, 2015](#)), além da autorização da ANAC, é necessário levar em consideração as diretrizes do DECEA e da ANATEL. No que tange o uso indevido de VANTs não autônomos em áreas proibidas, na esfera penal, há previsão na Lei de Contravenções Penais, Decreto-lei nº 3.688/1941 ([REPUBLICA, 1941](#)), especificamente no art. 35, de tipificação para a conduta de prática da aviação fora da zona em que a lei a permite, sujeitando o autor da contravenção à pena de prisão simples ou de multa. Ainda no art. 33 do mesmo decreto, há previsão de apenas operadores licenciados podem operar. Além disso, há os limites estabelecidos pelo Código Penal, em seus artigos nº. 261 e 262.

Existem atualmente 3 classificações de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) (VANT destinado à operação remotamente pilotada). São eles:

- Classe 1 = RPA com Peso Máximo de Decolagem maior 150 quilos (kg).
- Classe 2 = RPA com Peso Máximo de Decolagem maior que 25kg e menor ou igual a

150kg.

- Classe 3 = RPA com Peso Máximo de Decolagem menor ou igual a 25kg.

2.2 Requisitos Gerais

Dados os requisitos legais apresentados, o VANT escolhido pertence a Classe 3, e de acordo com o autor ([VISUAL, 2018](#)), para operar um RPA dessa classificação o operador deve atender alguns requisitos gerais, nos quais citam-se os mais relevantes logo abaixo:

- Idade mínima de 18 anos para pilotar ou auxiliar a operação como observador.
- Somente os equipamentos com peso máximo de decolagem acima de 250g precisam ser cadastrados na ANAC por meio do Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT), disponível em: <<https://sistemas.anac.gov.br/sisant?AspxAutoDetectCookieSupport=1>> .
- O cadastro vai gerar uma identificação que deverá ser confeccionada em material não inflamável, ser legível e ficar acessível na aeronave.
- Pilotos não precisam de documento emitido pela ANAC e são considerados devidamente licenciados, caso não pretendam voar acima de 400 pés (120 metros).
- Só é permitido operar um único sistema de RPA por vez.
- É obrigatório possuir seguro com cobertura de danos a terceiros para pilotar aeronaves.
- Fazer uma avaliação de risco operacional para operações.
- É permitida a troca do piloto remoto em comando durante a operação.
- Não é necessário registrar os vôos.
- As operações só poderão ser iniciadas se houver autonomia suficiente da aeronave para realizar o voo e para pousar em segurança no local previsto, levando-se em conta as condições meteorológicas conhecidas.
- Para operar drones é necessário também seguir as regras da ANATEL e de utilização do espaço aéreo do DECEA.

Para que o VANT levante voo e consiga despejar os defensivos agrícolas de forma eficiente e segura, citam-se ainda alguns requisitos gerais de funcionamento, conforme a tabela 1, estabelecendo que algumas premissas devem ser cumpridas e seguidas rigorosamente para o correto manuseio do VANT.

Tabela 1 – Análise de possíveis riscos gerais do projeto.

Fonte: Autores

Requisito	Conceito	Análise de requisito
Condições climáticas	Condições adequadas para operação	A velocidade do vento não pode ultrapassar a de operação do VANT, pois afetará a aerodinâmica
Carregamento	Carga bateria/controle	A bateria do VANT e do controle devem estar com carga total para o correto funcionamento
Bicos nebulizadores	Higienização dos bicos por parte do operador	A limpeza garante o correto funcionamento da pulverização
Limpeza do tanque	Higienização do tanque	A limpeza impede a mistura de químicos reagentes, conservando o defensivo corretamente
Área de voo	Território de operação	A área de voo deve ser livre de edificações e pessoas

2.3 Requisitos Estrutura

Os requisitos para o Sistema estrutural do projeto podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Requisitos funcionais e não funcionais para o núcleo de estruturas Fonte: Autores.

ID	Categoría	Requisito	Prioridade
RF01	Desempenho estrutural	Projetar a estrutura para suportar os esforços solicitantes	Alta
RF02	Sistema geral	Dimensionar o tanque de defensivo	Alta
RF03	Sistema Geral	Disposição dos componentes internos	Alta
RF04	Desempenho estrutural	Dimensionamento do trem de pouso	Alta
RF05	Desempenho estrutural	Dimensionamento das hélices	Alta
RF06	Sistema geral	Isolamento de vibrações para os componentes	Alto
RF07	Sistema hidráulico	Correta armazenagem do defensivo no tanque	Média
RF08	Pós venda	Manutenção fácil e acessível	Média
RNF09	Pós venda	Manual de montagem intuitivo	Média
RF10	Desempenho estrutural	Desempenho aerodinâmico	Alto
RF11	Desempenho estrutural	Validação numérica dos cálculos	Alta

2.4 Requisitos Eletrônica-Energia

Os requisitos que englobam o núcleo de elétrica são a junção dos requisitos de Energia e Eletrônica. Esses requisitos são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 – Requisitos funcionais e não funcionais do núcleo de elétrica (Energia e Eletrônica) Fonte: Autores.

ID	Categoria	Requisito	Prioridade
RF01	Sist.de alimentação	Armazenar e liberar energia para os componentes internos adequadamente	Alta
RF02	Sist. de alimentação	Fornecer energia para sensores e motor	Alta
RF03	Sist. de alimentação	Tornar a distribuição de energia eficiente	Média
RF04	Sist. de alimentação	Fornecer energia para a missão proposta	Alta
RF05	Sist. de carregamento	Recarregar a bateria de forma rápida e eficiente	Alta
RF06	Pós venda	Detalhamento no manual de montagem a respeito do encaixe das baterias	Média
RF07	Sist. de dispersão	Acionamento da bomba para a dispersão do defensivo agrícola	Alta
RF08	Sist. do motor	Motor deve operar em diferentes faixas de rotação	Alta
RF09	Controle de voo	Garantir a estabilidade do voo	Alta
RF10	Monitoramento	Garantir o envio de sinais dos componentes	Alta

2.5 Requisitos Software

Os principais requisitos para o núcleo de software podem ser observados na tabela 4 (Fonte: Autores).

Tabela 4 – Requisitos funcionais e não funcionais do núcleo de software

ID	Categoria	Requisito	Prioridade
RF01	Monitoramento	Receber os níveis de bateria do VANT	Alta
RF02	Monitoramento	Receber dados de temperatura e umidade	Média
RF03	Monitoramento	Receber dados GPS do VANT	Alta
RF04	Monitoramento	Recepção de dados de velocidade e volume do tanque	Média
RF05	Monitoramento	O sistema de monitoramento deve notificar o operador	Alta
RF06	Registro	O sistema deve manter os dados de voo	Alta
RF07	Registro	O sistema deve disponibilizar os dados ao operador	Alta
RF08	Registro	O sistema deve gerar relatórios através de solicitações	Média
RF09	Monitoramento	Armazenar localmente os dados de cada voo	Média
RF10	Monitoramento	Envio de dados para o servidor	Alta

ID	Categoria	Requisito	Prioridade
RF11	Monitoramento	Verificar se há internet para envio de dados	Alta
RF12	Monitoramento	Manter dados para envio quando não houver disponibilidade de rede	Alta
RF13	Monitoramento	O sistema deve informar os dados a cada 10 s	Média
RF14	Monitoramento	Continuar operando mesmo sem internet	Alta
RF15	Desempenho	O sistema deve ter baixo tempo de resposta para requisições	Média

3 Solução de Energia

3.1 Considerações sobre a escolha do motor

O motor do VANT deve obedecer alguns parâmetros e critérios, tais quais a força de sustentação do VANT, força para manutenção do voo e também para as manobras. Sendo assim, uma das soluções mais difundidas comercialmente na indústria são os motores sem escovas, também chamados de “brushless”. Sua configuração pode ser exemplificada como sendo um ímã permanente rotativo, capaz de aumentar a vida útil e diminuir o custo de manutenção deste componente ([SANTOS, 2015](#)).

Um parâmetro muito importante a ser conhecido é o KV ([SILVA; MORAIS, 2014](#)), que denota a relação entre a velocidade angular dada em rotações por minuto (rpm) e a tensão fornecida para o motor, dada em volts - atenta-se que o parâmetro KV não tem relação com a unidade de medida kilovolts (kV) - e a fim de evitar ambiguidade quanto ao seu uso, vamos defini-lo através da equação [3.1](#), em que ω é a velocidade angular e T_{Bat} é a tensão fornecida ao motor pela bateria:

$$KV = \frac{\omega}{T_{Bat}} \quad (3.1)$$

Realizando a análise dimensional da equação [3.1](#), teremos:

$$KV = \frac{[rpm]}{[V]} \quad (3.2)$$

Isso significa que, o parâmetro KV utilizado no contexto do VANT, possui unidade de medida de rotações por minuto por volt (rpm/V); não obstante, o parâmetro KV nada se assemelha com a unidade de medida da grandeza elétrica kilovolts (kV).

Para exemplificar, na figura [3](#), temos a indicação de várias informações na carcaça de um motor utilizado em VANTs, como o modelo, fabricante e também o parâmetro KV.

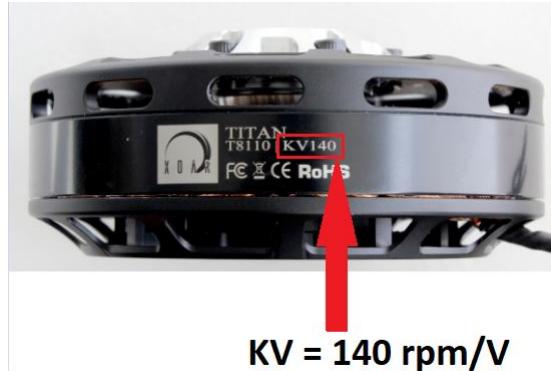


Figura 3 – Parâmetro KV indicado na carcaça de um motor de VANT

Sendo assim, ainda utilizando o motor da figura 3, a indicação grifada está como KV140, isto é, que o motor possui o parâmetro KV igual 140 rpm/V em sua especificação (SILVA, 2018a). A título de exemplo, se este motor fosse ligado a uma bateria que fornecesse 44,4 V, o motor poderia fornecer até 6.216 rpm, de acordo com o desenvolvimento da equação 3.1.

$$\omega = KV \cdot T_{Bat} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}\omega &= 140 \cdot 44,4 \\ \omega &= 6.216 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Portanto, o equacionamento apresentado mostra que o KV é diretamente proporcional à velocidade angular, e também influencia diretamente na escolha das hélices e consequentemente na autonomia de operação do veículo (SILVA, 2018a).

3.1.1 Dimensionamento do motor

Para que o VANT tenha capacidade de realizar a decolagem e aterrissagem vertical, sua configuração deve obedecer um critério mínimo de força de impulso necessária. Este cálculo é baseado na razão impulso/peso (JAVIR et al., 2015), ressaltando que a terminologia aqui utilizada “impulso” é relacionada à literatura com o termo em inglês “thrust”. O equacionamento da razão impulso/peso pode ser visto abaixo na equação 3.4, onde o termo a refere-se a aceleração vertical de decolagem do VANT; m é a massa do VANT; e g é a aceleração da gravidade.

$$\frac{\text{impulso}}{\text{peso}} = ma/mg = a/g \quad (3.4)$$

Pela equação apresentada acima, tem-se portanto que a razão a/g deve ser maior do que 1 para que o VANT possa decolar com segurança. Diversos autores da literatura

clássica, como (ANDERSON, 2015) e (ANDERSON, 2010), recomendam a utilização de uma razão impulso/peso com valor mínimo de 2, onde isso significa que o impulso fornecido para decolagem deve ser de no mínimo duas vezes o valor da força peso do veículo.

Outros autores como (SILVA, 2018a), (PATEL et al., 2017) e (JAVIR et al., 2015) também abordam em sua obra a utilização dessa razão impulso/peso como tendo valor 2, já considerando efeitos de manobras realizadas pelo veículo como arfagem, guinada e rolagem. Tal consideração portanto visa estabelecer uma margem de segurança para a decolagem, onde para aeronaves que necessitam de mais acrobacias e aerodinâmica, recomenda-se até mesmo que essa razão impulso/peso seja de no mínimo 5.

Visto que o VANT aqui projetado destina-se a pulverização de defensivos, não são esperadas grandes manobras acrobáticas, com excessão de movimentos realizados para evitar possíveis colisões. Portanto, optou-se por trabalhar com a razão impulso/peso = 2, valor bastante adotado pelos autores aqui já mencionados, além de garantir boa segurança e estabilidade para o veículo projetado. Portanto, conslui-se que para dimensionamento do motor, os quatro motores brushless que serão utilizados devem fornecer para o VANT um impulso igual a no mínimo duas vezes o peso do veículo.

Dadas as considerações feitas a respeito da razão impulso/peso do VANT, vale ressaltar que o VANT possui a restrição de 23,6 kg, onde portanto impulso total do veículo aéreo deve ser pelo menos de 463,032 N, e, portanto, o impulso por motor pode ser calculado conforme equação 3.5.

$$Impulso = 2 \cdot Peso_{VANT} = 2mg \quad (3.5)$$

$$Impulso = 2 \cdot (23,6kg) \cdot (9,81m/s^2) = 463,032N$$

$$Impulso_{motor} = 463,032/4 = 115,758N/motor$$

Como o VANT projetado possui quatro motores brushless, o impulso é distribuído entre os motores (SANTOS, 2015), e portanto, cada motor necessita dispor de capacidade 115,758 N de impulso, isto é, capaz de levantar voo vertical de 11,8 kg em cada motor.

De posse desses dados, foi feita uma pesquisa de mercado, a fim de encontrar o motor que atenda aos parâmetros mencionados, onde o motor selecionado foi o do fabricante Xoar modelo Titan T8120 100 KV. Abaixo é apresentado suas principais informações técnicas na tabela 5.

Tabela 5 – Especificações técnicas do motor escolhido

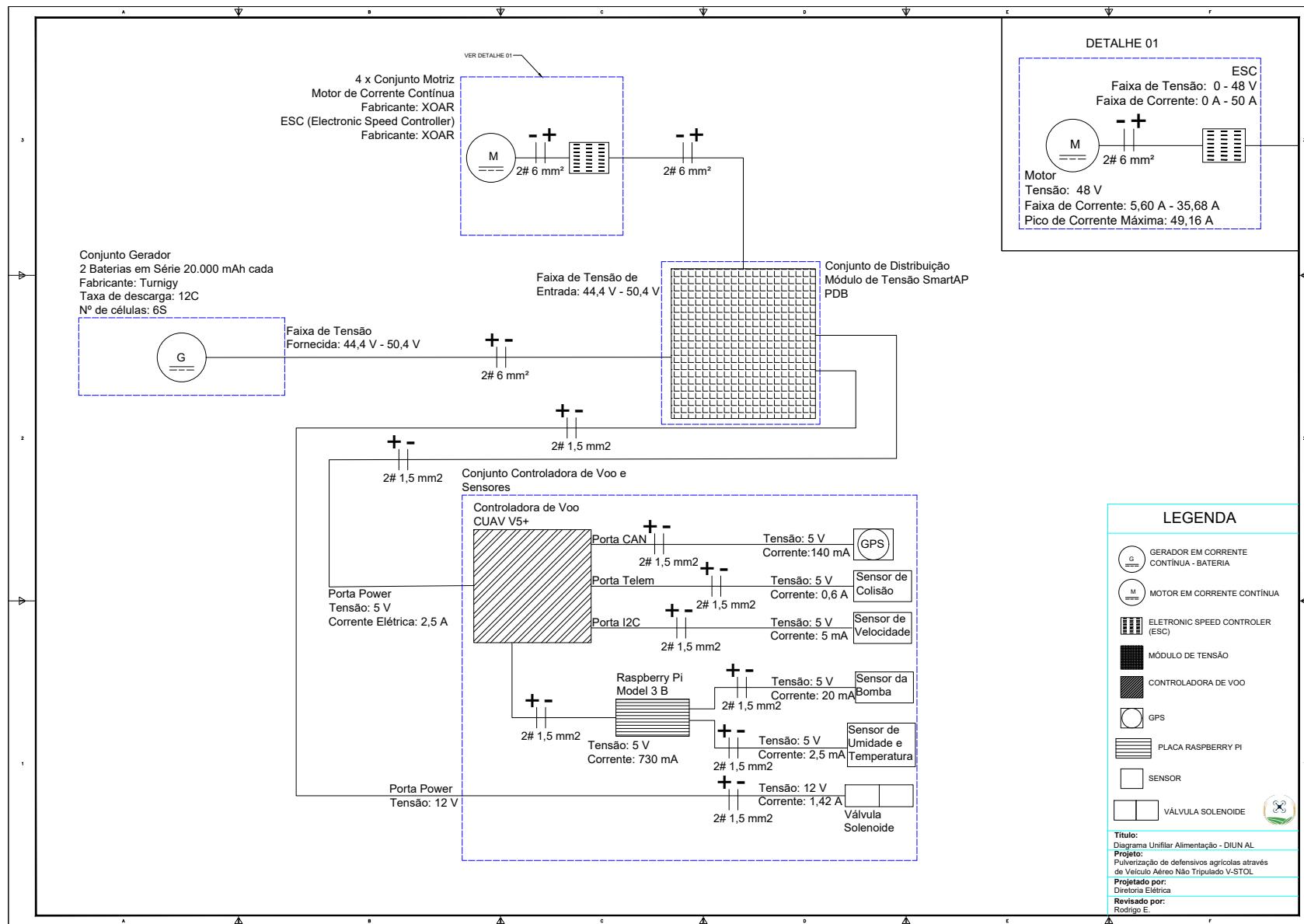
Xoar Titan T8000	
Modelo	T8120
KV	100
Dimensões	88,6x47,9 mm
Massa	556 g
Bateria Recomendada	12S
Máxima Corrente Contínua	49,16 A
Potência Máxima Contínua	2266,9 W

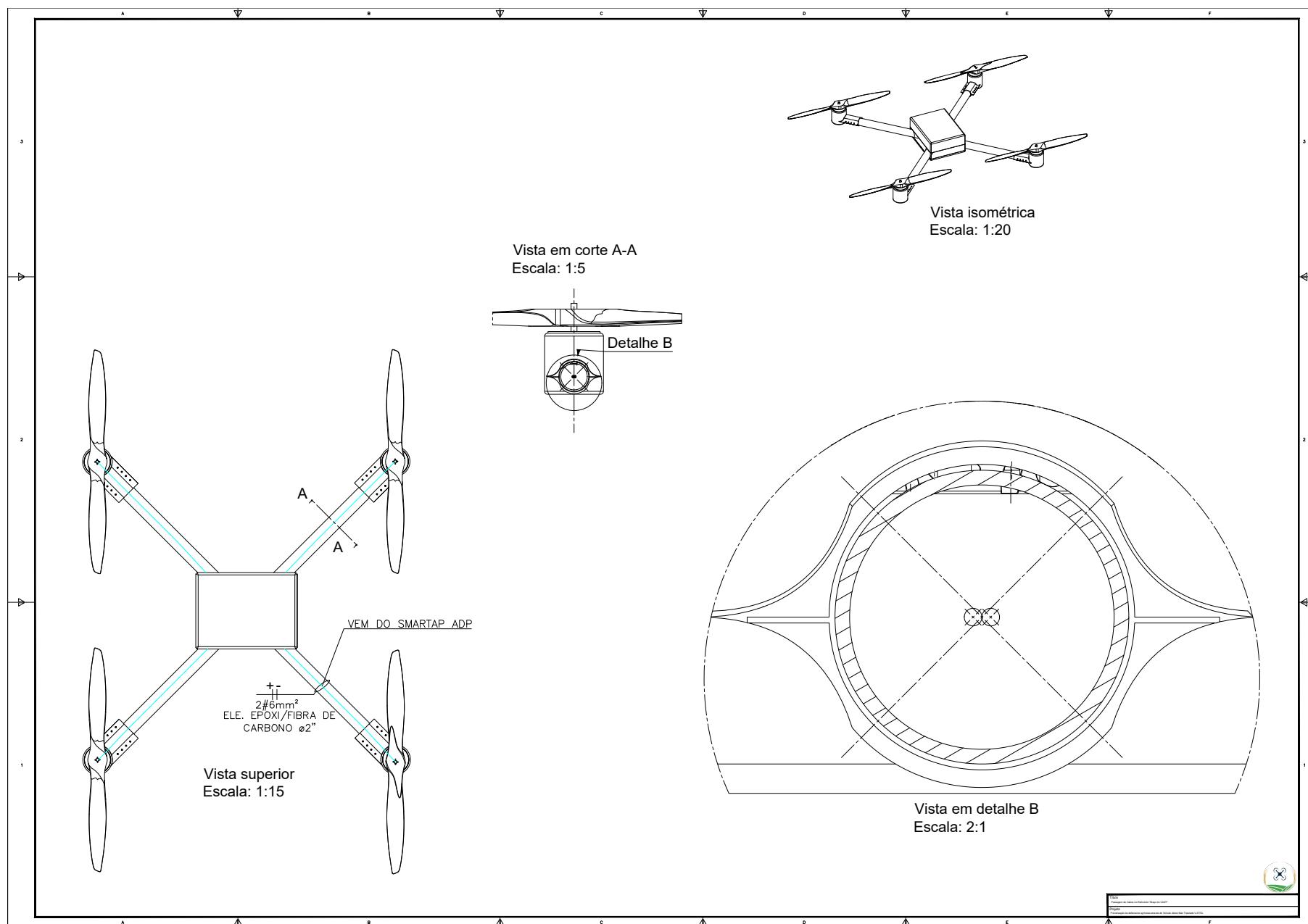
É deveras importante notar que haverá variação da massa total do VANT ao longo do tempo - pois este dispersará defensivo agrícola alocado em seu tanque - implicando menor potência consumida pelo motor durante o tempo.

Na seção posterior que aborda o dimensionamento da bateria, há o estudo da corrente necessária em função da massa total do VANT, onde observa-se nas especificações técnicas do motor que a corrente máxima suportada é de 49,16 A, mas que para o VANT projetado, a corrente requerida máxima do motor será de 35,68 A durante o impulso de decolagem vertical.

3.1.2 Passagem dos cabos do ESC e motor

O VANT projetado tem em sua integração, 4 estruturas feitas de epóxi reforçado com fibras de carbono, chamadas de suportes acopladores, que serão melhor especificados na solução de estrutura. Essas peças são semelhantes aos eletrodutos, feitos especificamente para passagem de cabos, não obstante, aproveitando desta condição, os cabos que conectam o módulo de tensão SMARTAP PDB às ESCs que estão conectadas em série com o motor (verifica-se no Diagrama Unifilar); e para melhor visualização, no esquemático de passagem de cabos, foi representado o trajeto percorrido pelas duas vias de 6 mm² do SmartAP PDB até o conjunto ESC/motor.





3.2 Sistema de alimentação

3.2.1 Bateria

A fonte de alimentação é um mecanismo que converte a energia elétrica em tensão, corrente e frequência necessárias para o equipamento funcionar. Para atender a demanda energética do projeto, determinou-se que o Sistema de Alimentação do motor e dos componentes eletrônicos do VANT seria composto por baterias do tipo Lítio Polímero (Lithium Polymer Battery). Os fatores que motivaram essa escolha foram que este tipo de bateria já é normalmente utilizada em quase todos os VANTS pesquisados, além de serem uma boa fonte de energia com excelente aproveitamento de peso em comparação com as baterias de chumbo e níquel-hidreto metálico (NiMH) ([SILVA, 2018b](#)).

As baterias do tipo LIPO são bastante utilizadas em drones e VANTS por terem algumas vantagens específicas como:

- Espessura reduzida;
- Formatos flexíveis;
- Os fabricantes não são limitados por formatos padrão de célula;
- Peso leve;
- Alta segurança;
- Mais resistente à sobrecarga;
- Não tem válvula de pressão;
- No caso de aumento de pressão, a célula começa a inchar. Quando usada corretamente e carregada adequadamente, nenhum problema deve ocorrer.

Nas baterias do tipo LIPO existe a necessidade de se atentar a algumas especificações. A primeira delas é a tensão que é dada pela letra maiúscula “S” que é acompanhada por um número à frente que está diretamente relacionado a quantidade de células da bateria ligadas em série. Cada uma das células possui aproximadamente 3,7 V nominal e 4,2 V quando carregada em seu máximo potencial. Isso significa que são quantidades diretamente proporcionais, ou seja, que uma bateria 2S possui 7,4 V, uma 6S possui 22,2 V e assim sucessivamente.

A capacidade deste tipo de bateria é outra especificação extremamente importante. A capacidade é a quantidade de carga elétrica que a bateria consegue armazenar e fornecer. Algumas vezes essa capacidade é confundida com a corrente e isso não pode acontecer

pois são coisas completamente diferentes. Lembrando que a corrente é medida em A ou mA, e a capacidade em mAh.

Para calcular o tempo que uma bateria irá conseguir fornecer carga basta saber o quanto seu sistema necessita de corrente. Por exemplo, se tivermos uma bateria de 4000 mAh, podemos alimentar um sistema que drene 4 A, durante 1 hora, ou um sistema que drene 8A, durante 30 minutos ou um sistema que drene 16 A, durante 15 minutos e assim por aí em diante. Neste caso, pode-se observar que é importante saber o quanto seu sistema drena de corrente para poder escolher qual bateria irá cumprir com os requisitos de tempo do projeto. Na tabela 6 pode-se observar a diferenciação de tempo de duração de descarga da bateria para uma mesma corrente, variando apenas a capacidade de carga da bateria. Pode-se concluir que, para uma mesma corrente, o tempo de duração é diretamente proporcional à capacidade de carga, ou seja, quanto menor a capacidade menor o tempo de duração. A Equação 3.6 expressa como estes cálculos são realizados.

Tabela 6 – Relação entre Capacidade de Carga e tempo de duração

Propriedades	Epoxy/Carbon fiber	Polipropileno
4000 mAh	4000 mA	1 hora
2000 mAh	4000 mA	30 minutos
10000 mAh	4000 mA	15 minutos

$$Autonomia = \frac{Capacidade_{carga}[mAh]}{Corrente_{sistema}[mA]} \quad (3.6)$$

Outro fator importante de especificação é o parâmetro com um valor numérico seguido da letra C. Junto com a capacidade de carga da bateria, esse parâmetro indica quanto de corrente pode ser drenada da bateria. Para uma bateria que possui uma taxa de descarga de 30 C e uma capacidade de carga de 2000 mAh , poderá fornecer uma corrente máxima de 60 A, de acordo com a equação 3.7.

$$Corrente_{max} = Tempo_{descarga} \cdot Capacidade_{carga} \quad (3.7)$$

Portanto, para o VANT é indispensável fazer o levantamento de carga do sistema para que a demanda de corrente não ultrapasse os valores máximos de corrente já preestabelecidos pelas especificações da bateria. No caso do VANT os picos de corrente do motor e seu funcionamento deverá ser estudado de forma mais aprofundada visto que o peso do VANT varia com o despejo de defensivos agrícolas, e consequentemente, exigindo menos dos motores.

3.2.1.1 Dimensionamento da bateria

O dimensionamento da bateria de LIPO teve como base a tabela w, onde foi feito o levantamento de todos os componentes eletrônicos que serão utilizados na criação do VANT. Tendo em vista esse levantamento, realizou-se o quantitativo de carga de cada componente juntamente com os dados de tensão, corrente e potência consumida. Esses dados irão nortear o embasamento numérico necessário para a definição da bateria utilizada como fonte de alimentação ao VANT.

Tabela 7 – Levantamento de Carga do VANT

Descrição	Qt.	Tensão Total (V)	Corrente Total (A)	Pot. Total (W)
Motor Titan Air TA110-20 80KV	4	50	134,4	26880
Water Pump	1	12	2	24
Sensor de Colisão RPLIDAR A2	1	5	0,6	3
Placa Raspberry Pi 3 Model B	1	5	2,5	12,5
Placa controladora de voo CUAV V5+ PX4	1	5	2,5	12,5
CUAV NEO V2 GPS	1	5	0,14	12
Válvula Solenoide SHAKO	1	12	1,46	17,52
CUAV H16 Sistema de transmissão de vídeo Controlador remoto 5-10km com suporte HDMI	1	12	0,14	2,4
Medidor de fluxo de água com sensor YF-S201 Hall Effector	1	5	0,02	0,1
Sensor CUAV Airspeed com tubo piloto	1	5	0,005	0,025
Módulo plug 3g/4g/lte para raspberry pi	1	5	2,5	12,5
Sensor de umidade e temperatura DHT22/Am2302	2	5	0,0025	0,025
TOTAL			147,0675	26976,57

O levantamento de carga, exibido na tabela 7, foi a primeira etapa conduzida para o dimensionamento de qualquer bateria. Nesta tabela, tem-se as grandezas elétricas totais, onde por exemplo, como serão 04 motores, a corrente levantada por motor é **33,6 A**. Tendo ao todo que a bateria forneça carga suficiente para os 04 motores, totaliza-se então **134,4 A**. Dentre todos os componentes do VANT, os motores são os que consomem mais energia para funcionar e, com isso, merecem uma atenção especial. Para o levantamento de consumo dos quatro motores, é importante lembrar que o peso inicial do VANT será de aproximadamente 23,6 kg no total, já incluindo o peso aproximado de 10kg do defensivo agrícola que será despejado por uma vazão total de 1L/min. Isso significa que, no

decorrer do voo, o VANT irá diminuir o peso total a ser suportado pelos motores fazendo com que haja uma diminuição no consumo de energia dos mesmos. Outra consideração importante com relação aos motores é a ocorrência de picos de tensões em duas ocasiões específicas: decolagem e manobras (virar para direita e virar para esquerda, por exemplo). No caso da decolagem, é considerado que o tanque estará com sua capacidade máxima de pulverizante, e, com isso, estaria com seu peso total de 23,6 kg, fazendo com que o motor tenha que consumir uma alta corrente para poder levantar tal carga de acordo com o que foi discutido na seção dimensionamento do motor. Portanto, para o equacionamento, considera-se que os motores tenham que levantar 2 vezes o peso do VANT. Já para as manobras aerodinâmicas, como virar para a direita ou esquerda, mover para frente ou para trás e desviar-se da colisão com outro corpo, a demanda de corrente é menor do que na decolagem, mas exige uma sequência de acionamento das hélices específica, onde onde tal sequência de acionamento pode ser observada na figura 4 mostrada abaixo, juntamente com a descrição dos termos ilustrados.

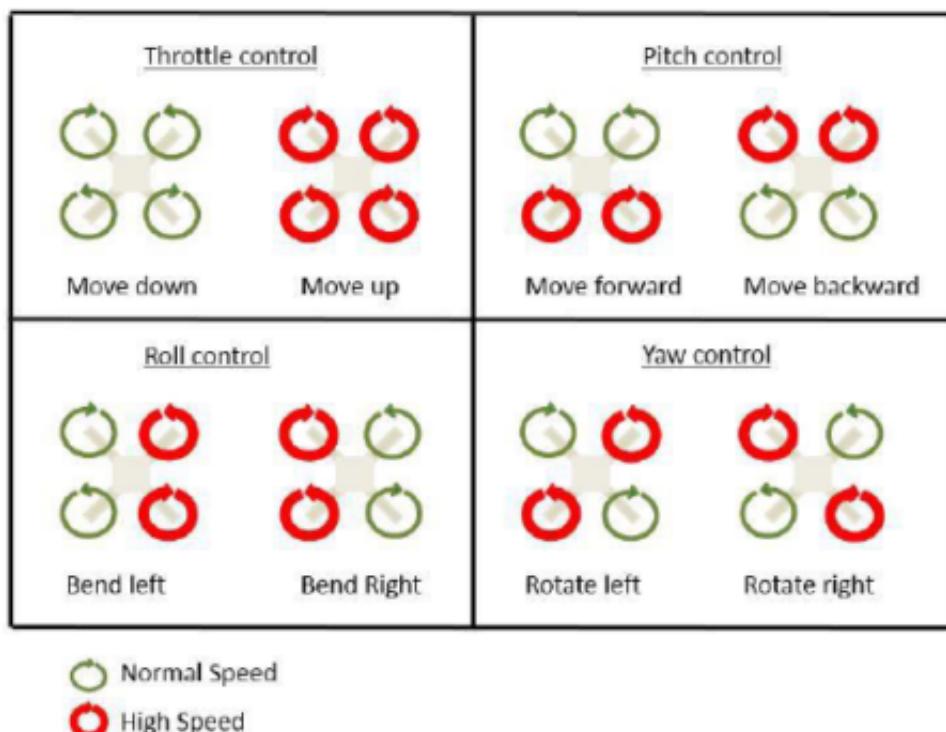


Figura 4 – Configuração para controle de voo de um VANT

- Throttle Control : Movimento no Plano vertical

Move Up: Movimento de subida. Aumentando o empuxo (velocidade) dos quatro rotores do quadricóptero de modo que a força para cima seja maior que o peso e a tração da gravidade.

Move Down: Movimento de descida. Este movimento exige fazer exatamente o

oposto da subida. Diminua o empuxo do rotor (velocidade) para que a força resultante seja para baixo.

- Pitch Control: Este é o movimento do quadricóptero para frente (move forward) e para trás (move backward). A inclinação para frente é geralmente obtida empurrando o manche do acelerador para frente, o que faz o quadricóptero se inclinar e se mover para frente, para longe de você. O passo para trás é obtido movendo o stick do acelerador para trás.
- Roll: Este é o movimento de voar para os lados, tanto para a esquerda (left) quanto para a direita (right). O roll é controlado pelo manche do acelerador direito, fazendo-o voar da esquerda para a direita.
- Yaw : É a rotação ou giro da cabeça do quadricóptero para a direita (right) ou para a esquerda (left). É o movimento básico para girar o quadricóptero. Na maioria dos drones, é conseguido usando o manche do acelerador esquerdo para a esquerda ou para a direita.

Observando a figura 4, percebe-se que o acionamento mais rápido das hélices depende do tipo de manobra que está sendo executada, e com isso, percebe-se também que apenas para o movimento de subida todas as quatro hélices estão em seu funcionamento máximo e mais rápido e que para as outras manobras pelo menos duas hélices estão em uma rotação maior, consumindo mais energia.

O levantamento de consumo dos motores foi realizado levando em consideração a junção deste componente com a hélice, visto que a atuação do par motor+hélice é que determina o consumo de corrente do motor. A tabela 8 (Fonte: Autores) apresenta os dados de consumo para o conjunto hélice+motor já fornecidos pelo fabricante.

Tabela 8 – Performance Data motor Titan T8120 e Hélice PJP-TL 30x10

Empuxo	Corrente do motor	Eficiência
1941g	3,00 A	0,76
2568g	4,30 A	0,72
3145g	5,60 A	0,77
3878g	7,50 A	0,78
4632g	9,50 A	0,81
5461g	11,80 A	0,83
6495g	15,10 A	0,85
7341g	17,90 A	0,86
8476g	22,30 A	0,84

8995g	24,10 A	0,84
9485g	26,20 A	0,84
10239g	29,30 A	0,85
10918g	31,90 A	0,84
11583g	34,70 A	0,83
12332g	38,10 A	0,83

A tabela 9 apresenta os cálculos de demanda de corrente do motor considerando a diminuição do peso do VANT devido a pulverização do defensivo.

Tabela 9 – Rendimento de acordo com o impulso

Tempo de voo decorrido	Massa total do Vant	Impulso por motor	Corrente
0 minutos	23,60	11800g	35,68 A
2 minutos	21,60	5400g	11,80 A
4 minutos	19,60	4900g	10,25 A
6 minutos	17,60	4400g	8,88 A
8 minutos	15,60	3900g	7,50 A
10 minutos	13,60	3400g	6,28 A
12 minutos	13,60	3145g	5,60 A
		média	12,28 A

Salientando que a vazão estabelecida foi de 1 kg/min, considerou-se ainda uma variação no tempo a cada 2 minutos para facilitar o equacionamento e identificar qual corrente necessária para o motor nesses intervalos, ou seja, 2 kg pulverizados a cada 2 minutos. No tempo $t = 0$, considerou-se a corrente necessária para levantar todo o peso do VANT e, o que resultou em um impulso de 11.8kg para cada motor. Para $t = 12$ minutos, todo o defensivo foi pulverizado, e a partir daí, o equilíbrio das forças aerodinâmicas estabelece que o impulso para o pouso do VANT seja menor do que o peso do veículo, ocasionando a descida. Com uma corrente média de 12,28 A por motor, conclui-se que para os quatro motores será necessário uma corrente média de 49,12 A. É de extrema importância ressaltar nestes cálculos não foram considerados manobras, visto que para incluir tal condição de voo neste equacionamento, seria necessário um plano de voo e testes de campo para validar os cálculos, o que sairia do escopo da disciplina EaD de Projeto Integrador 2. Pela tabela [w] e de acordo com o levantamento de componentes do VANT, foi obtido uma corrente de 70,8 A.

A bateria escolhida para o VANT foi a Turnigy High Capacity suas especificações se encontram na tabela 10.

Tabela 10 – Especificações da Bateria

Tensão mínima/máxima	22,2 V / 25,2 V
Número de células	6 S
Capacidade	20000 mAh
Taxa máxima de carga	12 C
Descarga	24 C
Dimensões	203 x 93 x 70mm

Visto que o projeto demanda uma tensão maior que a fornecida , apenas uma bateria deste tipo não será o suficiente. Quando a tensão de uma célula não é suficientemente alta para alimentar determinada carga, ligam-se duas ou mais células em série, para obter tensões mais elevadas; onde o terminal positivo de uma bateria é conectado ao polo negativo de outra bateria e assim sucessivamente.

Numa ligação em série, a capacidade resultante é igual à capacidade individual de cada célula. Neste caso, utilizou-se 2 baterias Turnigy High Capacity em série que irá totalizar uma faixa de voltagem de 44,4 V a 50,4 V.

Com o auxílio das equações 3.6 e 3.7, conclui-se que a bateria escolhida teria uma autonomia de quase 17 minutos para a corrente que o sistema drena. Porém considerando uma eficiência de 85% chegou-se a uma autonomia de 14,4 minutos, o que se aproxima do que já havia sido estipulado para o funcionamento do VANT. É importante lembrar, que o consumidor terá que adquirir mais de uma bateria para estar trabalhando de forma contínua em sua plantação devido a autonomia de cada voo.

Um esquemático simplificado é mostrado na figura figura 6 (Fonte: Autores) com o intuito de mostrar a ligação dos componentes do VANT na bateria. Pode-se observar a ligação direta entre a bateria e o Módulo de Tensão SmartAPP PDB, onde tal ligação é realizada conforme a figura 5 ([A.MICHELINI, 2017](#)), conectando primeiramente um cabo com plug XT90 macho na conexão fêmea da bateria, e o final deste cabo é soldado no Módulo de tensão, conforme pode ser visto.

Na Figura 5, vemos que o módulo de tensão SmartAp PDB recebe duas vias de 06 mm² das baterias, um polo positivo e outro polo negativo; e assim este módulo de tensão além distribuir energia para o controlador de voo, também direciona para as ESCs.

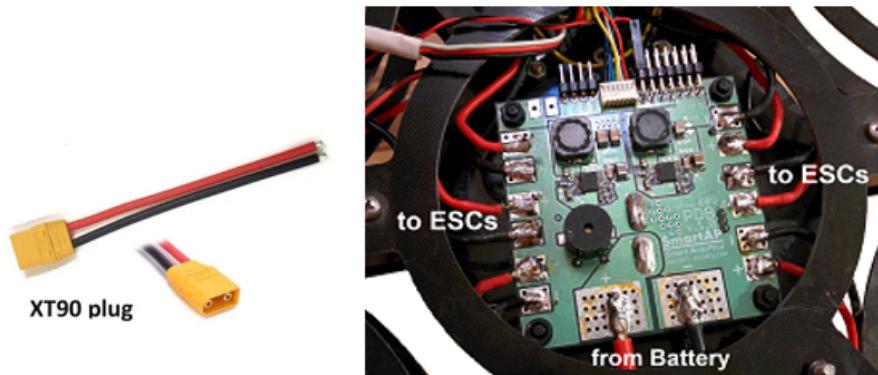


Figura 5 – Plug XT90 utilizado para ligar a bateria e o Módulo de Tensão SmartAPP PDB e soldagem entre Bateria e Módulo de Tensão

3.2.2 Sistema de carregamento

As baterias de Polímero de Lítio oferecem simplificações quando são analisados fatores como fabricação e segurança. Por isso, foi feito um levantamento do método de carga mais utilizado em tais baterias, e com isso, foi possível determinar o método mais correto para o tipo de bateria estudada, bem como o método de carga por controle de tensão e por corrente constante. Este método de carga consiste na aplicação de uma corrente constante nesta bateria até que a mesma esteja totalmente carregada, ou seja, quando ela atinge o nível de tensão máxima. Isso ocorre porque ao atingir o nível máximo de tensão, a tensão permanece constante e em contrapartida a corrente decai até chegar em um nível, que a bateria indica está com a carga completa ([BUCHMANN, 2001](#)). Assim, como base nessas informações, será construído o carregador para a bateria do VANT.

A fonte de alimentação do VANT foi dimensionada para fornecer energia para o conjunto de componentes eletrônicos e os quatro motores. Essa fonte é uma bateria LIPO da marca Turnigy, com uma tensão de 6S - 22 V/ 25,2 V, com uma capacidade de 20000 mAh, tendo 12 C de taxa máxima de carga e suas dimensões são de 203 x 93 x 70 mm.

Para realizar o desenvolvimento do carregador da bateria de Lipo, foi elaborado o diagrama de blocos mostrado na figura 7 (Fonte: Autores), onde este será utilizado como base para o desenvolvimento. Ele será criado tendo como fonte de alimentação a rede elétrica de distribuição, sendo abastecido por uma tensão de 220V e frequência 60Hz. Sendo composto por um transformador, uma ponte retificadora, um conversor buck e um módulo controlador de carga.

Cada componente desempenha uma função de suma importância dentro do funcionamento do carregador e que assim nos garante a maior confiabilidade para que não ocasione danos à bateria. Com isso, o carregador será alimentado pela rede elétrica que fornece uma tensão de 220 V, onde essa tensão passa pelo transformador que será responsável por baixar essa tensão para 22 V, valor suficiente para a alimentação da bateria de

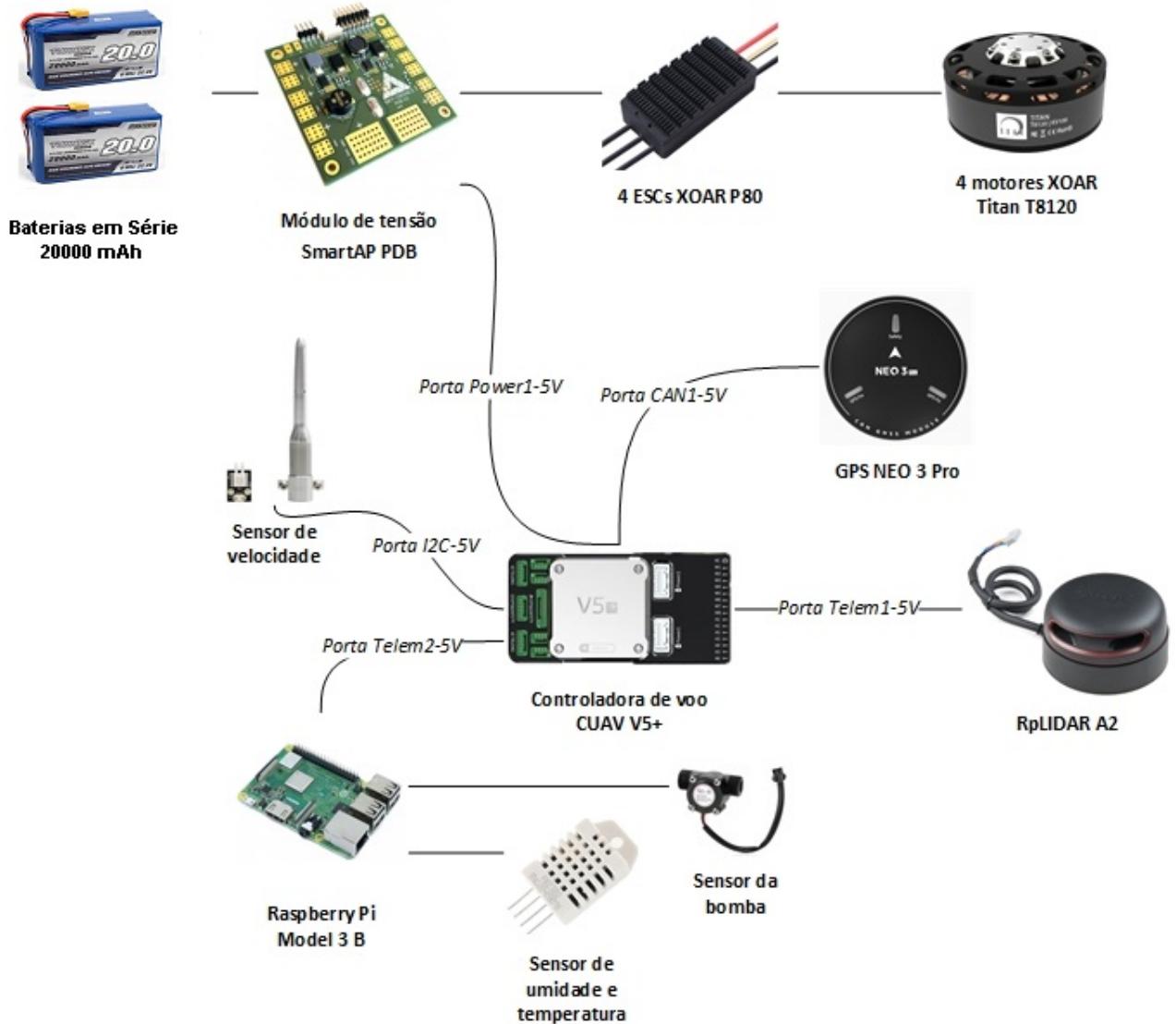


Figura 6 – Esquemático simplificado

Lipo escolhida. Depois, a energia será encaminhada para uma ponte retificadora que irá modificar a tensão que vem da rede elétrica de corrente alternada (CA) para a corrente contínua (CC). A próxima etapa é o conversor Buck que irá garantir que a tensão que vem do retificar foi rebaixada, já que o retificador possui alguns picos de tensão, enquanto aumenta a corrente que vem da alimentação para a sua saída em direção ao módulo.

O módulo controlador de carga inteligente para bateria de lítio TP4056, é o componente responsável por manter toda essa recarga com o maior nível de segurança, tendo dentro dele circuitos que se validarem qualquer irregularidade interrompe a recarga para manter a saúde da bateria, ele também possui dois sinais luminosos divididos em LED 1 vermelho, que informam ao usuário se a bateria está sendo carregada ou LED 2 verde, se a bateria já conclui a recarga.

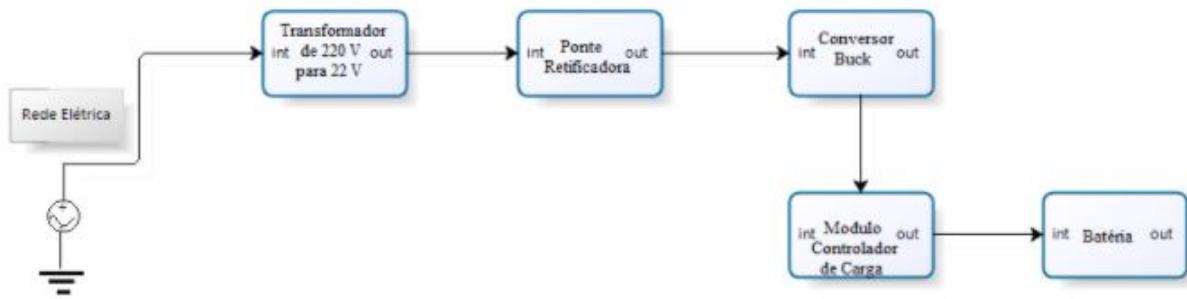


Figura 7 – Diagrama de Blocos do Carregador

Para trabalhos futuros, sugere-se maior nível de detalhamento do circuito de recarregamento; contudo, apresentaremos aqui, uma solução comercial para o carregador de bateria.

O carregador apresentado na Figura 8, possui 4 entradas para carregar baterias Lipo, ou seja, pode carregar até 04 baterias Lipo 6S simultaneamente.

O carregador possui 02 entradas em cada lado; na Figura 8 abaixo, pode-se visualizar uma lateral com as 02 entradas de carregamento; que operam em uma faixa de tensão entre 10 e 18 V; além de possuir fonte de energia através da rede elétrica em corrente alternada, pode ser usada baterias de carro como fonte de energia para o carregador (TURNIGY, 2021).



Figura 8 – Carregador de Bateria LiPo Turnigy

O mesmo é composto por um sistema de resfriamento que garante uma recarga eficiente durante todo seu ciclo de carga, sem que cause danos as baterias. Sendo válido destacar, que as portas do carregador funcionando individualmente, que fornece versatilidade e segurança durante a recarga e que dispõem de um sistema intuitivo que facilita o manuseio da mesma.

3.3 Sistema de bombas

O defensivo agrícola estará contido em um reservatório, e necessitará que a pulverização se dê através do bombeamento entre o reservatório e os bicos dispersores do defensivo. Portanto, a montante (antes da bomba), é definida como tubulação de admissão, localizado o reservatório, e a jusante (depois da bomba), situa-se os bicos, definido como a linha de recalque (FILHO, 2015).

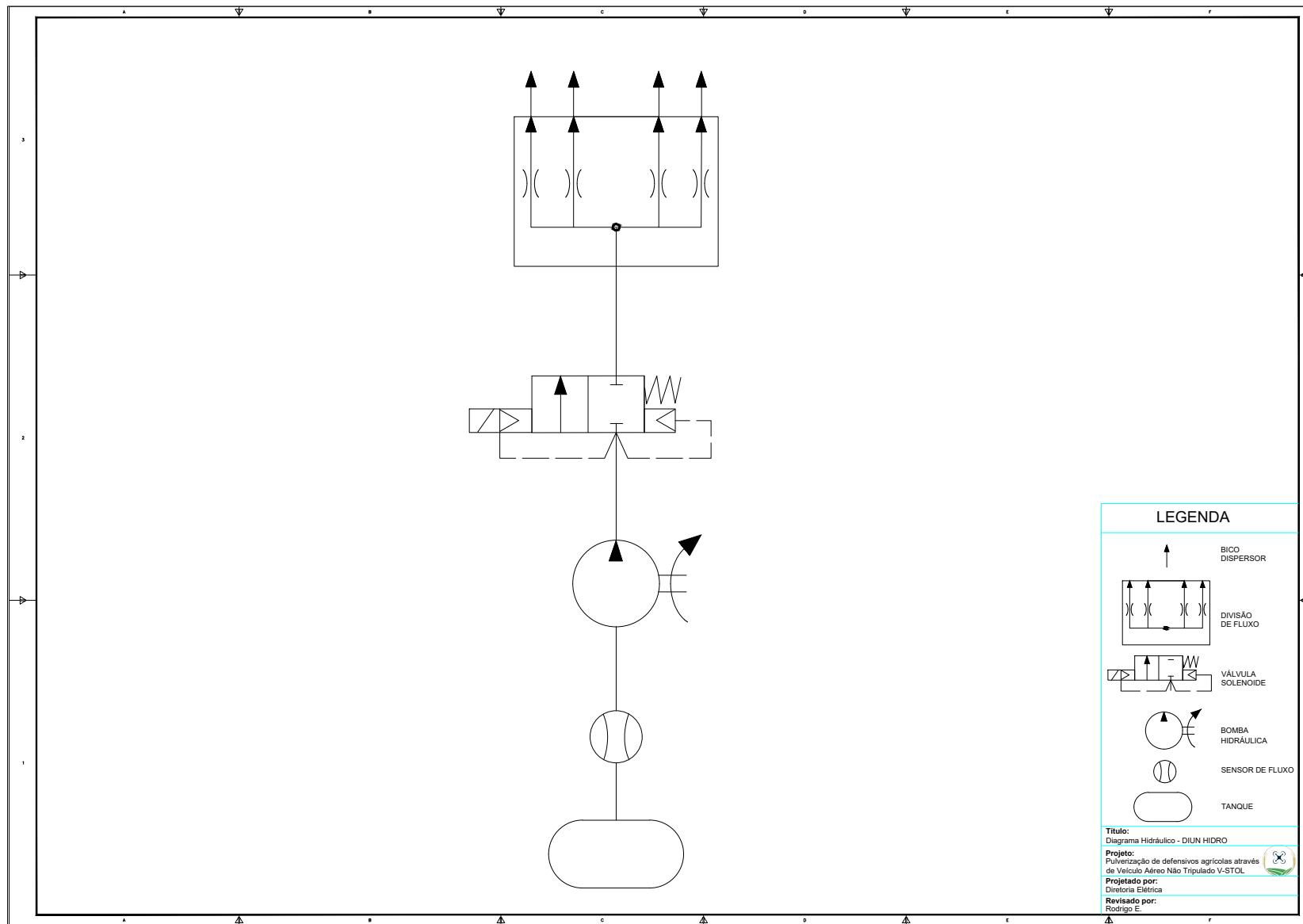
Para este projeto, pode-se utilizar a bomba diafragma, em que o aumento de pressão se deve pela variação do volume provocado por uma membrana elástica.

3.3.1 Formulação matemática

Para entender melhor a operação das bombas no mercado e validá-las, foi realizada uma formulação matemática para o bombeamento, para isso foram feitas algumas considerações.

- Sistema em regime permanente;
- Processo adiabático

A princípio, foi feito um esboço para facilitar a compreensão do sistema de bombeamento, conforme o diagrama básico na figura 9 (Fonte: Autores) e no esquemático (Fonte: Autores) segundo a NBR 8896/85. Vale ressaltar que o recalque é dividido em quatro bicos dispersores.



Na figura 9, temos os seguintes pontos, que serão importantes nas definições das fórmulas:

- Ponto 1: ponto de sucção no tanque;
- Ponto 2: linha de admissão da bomba;
- Ponto 3: linha de recalque da bomba;
- Ponto 4: ponto de dispersão dos defensivos.

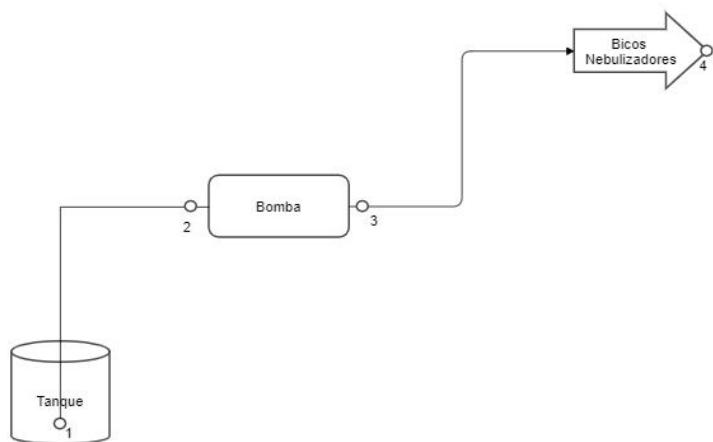


Figura 9 – Diagrama básico de blocos de operação da bomba diafragma

Antes, deve-se explicitar algumas constantes e variáveis, lembrando que durante o desenvolvimento de equações estarão presentes os subscritos "S" significando sucção, e "R" de recalque:

- g : aceleração da gravidade;
- ρ : massa específica do fluido;
- h : altura geométrica;
- $\frac{\Delta p}{\rho g}$: perda de carga;
- f : fator de atrito dos condutos;
- Q : vazão volumétrica;
- A : Área de seção transversal do conduto
- μ : coeficiente de viscosidade.

Iniciando a análise no trecho da sucção, em que p_1 e p_2 são as pressões manométricas nos pontos 1 e 2, respectivamente, assim como v_1 e v_2 são as **velocidades de escoamento do fluido** na seção transversal do conduto nos pontos 1 e 2, analogamente para as alturas h ; tem-se que pela **equação de Bernoulli** mostrada em 3.8

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + \frac{\Delta p}{\rho g} \Big|_S \quad (3.8)$$

Considerando que $h_2 - h_1 = h_s$ (subscrito “s” significa sucção), g é a constante de aceleração da gravidade em m/s^2 , ρ é a massa específica do fluido em kg/m^3 e que a velocidade no ponto 1 (v_1) é desprezível, pois $v_2 \gg v_1$, obtem-se o desenvolvimento da equação 3.9.

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + h_s + \frac{\Delta p}{\rho g} \Big|_S \quad (3.9)$$

Para tubulações circulares, a altura manométrica da seção é dada pela equação 3.10.

$$H_{man,s} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} \quad (3.10)$$

Portanto, pode-se igualar as equações 3.9 e 3.10, e a expressão para a altura manométrica de succão é então escrita conforme a equação 3.11.

$$H_{man,s} = \frac{v_2^2}{2g} + h_s + \frac{\Delta p}{\rho g} \Big|_S \quad (3.11)$$

Pode-se ainda tornar a análise dependente da vazão, tendo em vista que a escolha das bombas é feita com base nas variáveis de altura manométrica e vazão Q , conforme a equação 3.12.

$$Q = v \cdot A \quad (3.12)$$

Antes de se prosseguir com a análise a jusante, isto é, no recalque, é necessário analisar a perda de carga na sucção, conforme mostra a equação 3.13.

$$\frac{\Delta p}{\rho g} \Big|_S = f \frac{L + L_{eq}}{D_s} \frac{v_2^2}{2g} = f \frac{L + L_{eq}}{D_s} \frac{Q^2}{2gA_s^2} \quad (3.13)$$

A perda de carga é dependente de um fator de atrito (f), do comprimento (L) e do comprimento equivalente das singularidades existentes (L_{eq}); e das dimensões de área de seção transversal do conduto.

Para se determinar o fator de atrito, há o Diagrama de Moody, assim como pela equação de Haaland (FILHO, 2015), que é função da rugosidade relativa ε/D - ε é a rugosidade absoluta, característica intríseca de cada material, e D é o diâmetro do conduto - e do número de Reynolds Re . A equação para f é mostrada abaixo em 3.15.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (3.14)$$

$$f = 0,3086 \left\{ \log \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} \quad (3.15)$$

A análise no trecho de recalque, entre os pontos 3 e 4, inicia-se pela equação de continuidade, onde assumindo que as áreas das seções transversais não se alteram entre os pontos 3 e 4, tem-se que a vazão é constante conforme o desenvolvimento mostrado em 3.16.

$$\sum_1^n (vA) \Big|_{\text{entrada}} = \sum_1^n (vA) \Big|_{\text{saída}} \quad (3.16)$$

Analogamente, o desenvolvimento mostrado da equação 3.8 até a equação 3.16 pode ser aplicado para os pontos 3 e 4, obtendo assim a altura manométrica do recalque mostrado na equação 3.17.

$$H_{man,R} = h_R + \frac{\Delta p}{\rho g} \Big|_R = h_R + f \frac{(L + L_{eq})}{D_R} \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (3.17)$$

A altura manométrica total, ou altura de elevação H_e , que é a soma das alturas manométricas de sucção e recalque, conforme a equação 3.18.

$$H_e = h_g + Q^2 \left[\frac{1}{2gA_s^2} + \frac{f(L + L_{eq})}{2gA_s^2 D_s} + \frac{f(L + L_{eq})}{2gA_R^2 D_R} \right] \quad (3.18)$$

Com a altura de elevação H_e definida, pode-se estabelecer se a bomba comercial escolhida adequa-se ao VANT.

3.3.2 Escolha da bomba de diafragma

A estratégia adotada para a escolha da bomba se baseou em pesquisa de mercado, a fim de perceber quais as bombas trabalhadas em VANTS. Em seguida, escolheu-se uma bomba que tivesse a capacidade requerida para a dispersão do defensivo, e, por último e mais importante, a validação da bomba através da formulação matemática proposta na seção anterior.

A bomba levantada (Figura 10) possui as seguintes especificações técnicas:

- fabricante: CNCEST

- Pressão máxima: 0,48MPa
- Vazão máxima: 3,5L/min
- Tensão: 12V
- Corrente: 2A
- Dimensões: 203 x 93 x 70mm



Figura 10 – Bomba de Diafragma do Fabricante CNCEST

Tem-se que o modelo adotado possui dois cabos, cabo vermelho de polaridade positiva, e preto de polaridade negativa, que são ligados ao relé. Esta ligação está especificada nas soluções de eletrônica, juntamente com a placa de distribuição de energia Smart AP PDB.

Foram realizados cálculos do sistema de bombeamento, de acordo com a formulação matemática e com o auxílio do Microsoft Excel (2021), onde as tabelas utilizadas no programa Excel se encontram a seguir nas tabelas 11 e 12

Tabela 11 – Dados da sucção

Sucção		
Altura de Sucção hs	0,05	m
Diâmetro Comercial	1/2"	pol
Diâmetro Externo	12,7000	mm
Diâmetro	12,7	mm
	0,0127	m
Área	0,000126677	m ²
Velocidade do fluido	0,131568349	m/s
Rugosidade Relativa do PVC	0,00011811	
Comprimento Distribuído	0,1	m
Comprimento Equivalente	1,1	m

Comprimento Total	1,2	m
Reynolds	1668	
Fator de Atrito f	0,054381552	
Perdas de carga hf	0,004533493	m
Altura manométrica de Sucção	0,05	m

Tabela 12 – Dados de recalque

Recalque		
Altura de Recalque hr	0,20	m
Diâmetro Comercial	1/2"	pol
Diâmetro Externo	12,7000	mm
Diâmetro	12,7	mm
	0,0127	m
Área	0,000126677	m ²
Velocidade do fluido	0,526273398	m/s
Rugosidade Relativa do PVC	0,00011811	
Comprimento Distribuído	0,3	m
Comprimento Equivalente	0,8	m
Comprimento Total	1,1	m
Reynolds	6670	
Fator de Atrito f	0,034726728	
Perdas de carga hf	0,042459675	m
Altura manométrica de Recalque	0,24	m

No Ponto de Controle 02, foi proposto que os bicos dispersores seriam dispostos em cada extremidade dos suportes acopladores, e consequentemente, a vazão de recalque seria dividida por 04, apresentando uma altura manométrica de 0,61 mca, equivalente à 6,02 kPa. Contudo, para este Ponto de Controle 03, a proposta é que os bicos dispersores se encontrem em uma mesma linha de recalque, reduzindo a altura manométrica para 0,30 mca, isto é, 2920 kPa, trabalhando em uma vazão de 1L/min, e com diâmetros comerciais de $\frac{1}{2}$ " para recalque e sucção. Portanto, isso valida a bomba escolhida, pois esta trabalha nesta faixa de operação.

Houve um problema para obter informação junto ao fabricante da bomba de diafragma no que diz respeito do diâmetro, por isso, determinou-se na análise que o diâmetro seja o comercial de $\frac{1}{2}$ ", visto que existem no mercado conectores de mangueiras e tubos adequados, caso seja necessário redução, luva ou adaptadores, pode se adequar ao projeto atual.

Para ligação da bomba aos bicos nebulizadores, será utilizado as mangueiras - também chamadas de condutos - de Policloreto de Vinila (PVC). Como é visto na figura 11 (Fonte: [Fornecedor](#)), são condutos transparentes, flexíveis e se adequam ao trajeto desde o tanque, conectando à bomba e por fim aos bicos.



Figura 11 – Condutos utilizados para conectar o tanque de defensivos aos bicos nebulizadores

No Ponto de Controle 01, foi levantado a possibilidade de se inserir uma válvula solenoide para o controle do fluido. Entretanto, durante o andamento do projeto, as pesquisas realizadas mostraram que a operação mínima de uma válvula é de 7 L/min, o que se contrapõe aos 1 L/min determinado no projeto, e, portanto, foi decidido que não se utilizaria a válvula solenoide. Entretanto, a fim de tornar o VANT mais preciso possível em sua dispersão dos defensivos agrícolas, foi feita uma pesquisa em lojas e fabricantes estrangeiras de válvulas solenoides, que pode se adequar a vazão de 1 L/min, e foi selecionada a seguinte válvula, que será alimentada pelo módulo de tensão SmartAP PDB, e será operado pelo Raspberry Pi, tendo em vista que ainda há portas vagas no componente.



Figura 12 – Válvula Solenoide do Fabricante SHAKO

A válvula solenoide mostrada na figura 12, do fabricante ([SHAKO, 2021](#)), possui entrada e saída para o fluido de 1/2"; possui massa de 740g, o que é permitido para o projeto em questão, pois não ultrapassa a restrição de massa de 25 kg para o VANT.

Além disso, opera com 12 V, por isso será alimentada pelo módulo de tensão SmartAP e corrente de trabalho de 1,42 A, sendo que seu acionamento será via Raspberry Pi.

Um atuador solenoide conforme representado na figura 13, consiste em uma bobina de fio com um núcleo de ferro, que se move em uma direção, quando recebe um fluxo de corrente, que então estabelece um campo magnético; consequentemente, a bobina age como um imã empurrando ou puxando a carga, isto é, a válvula.(KLUEVER, 2018)

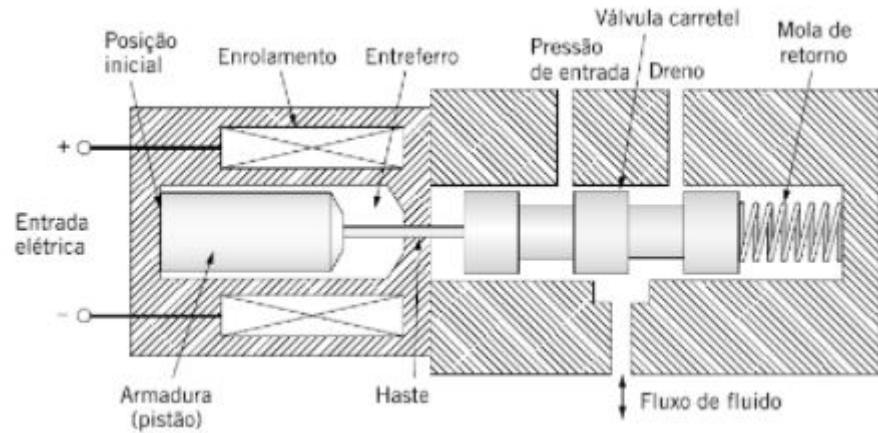
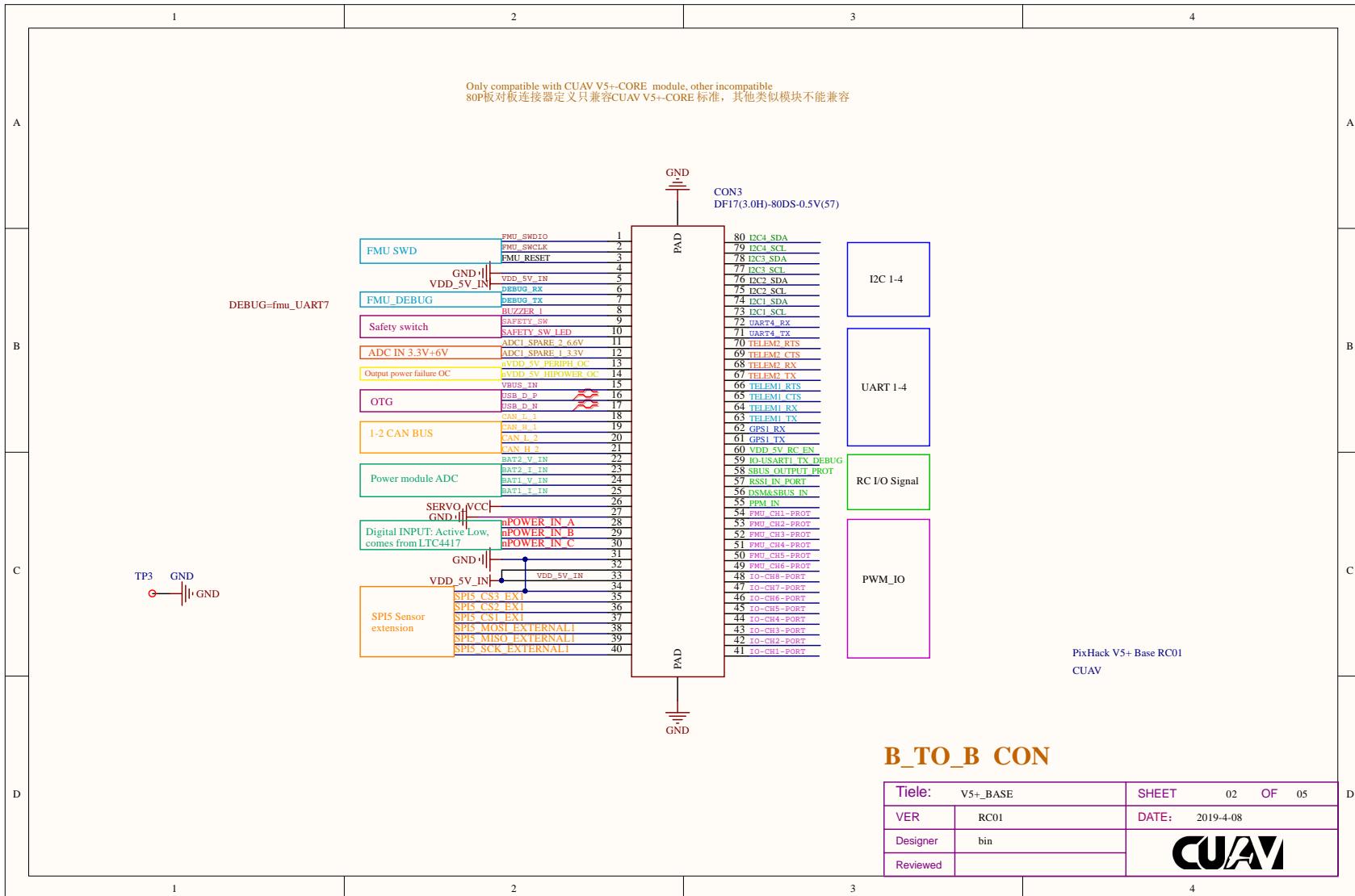


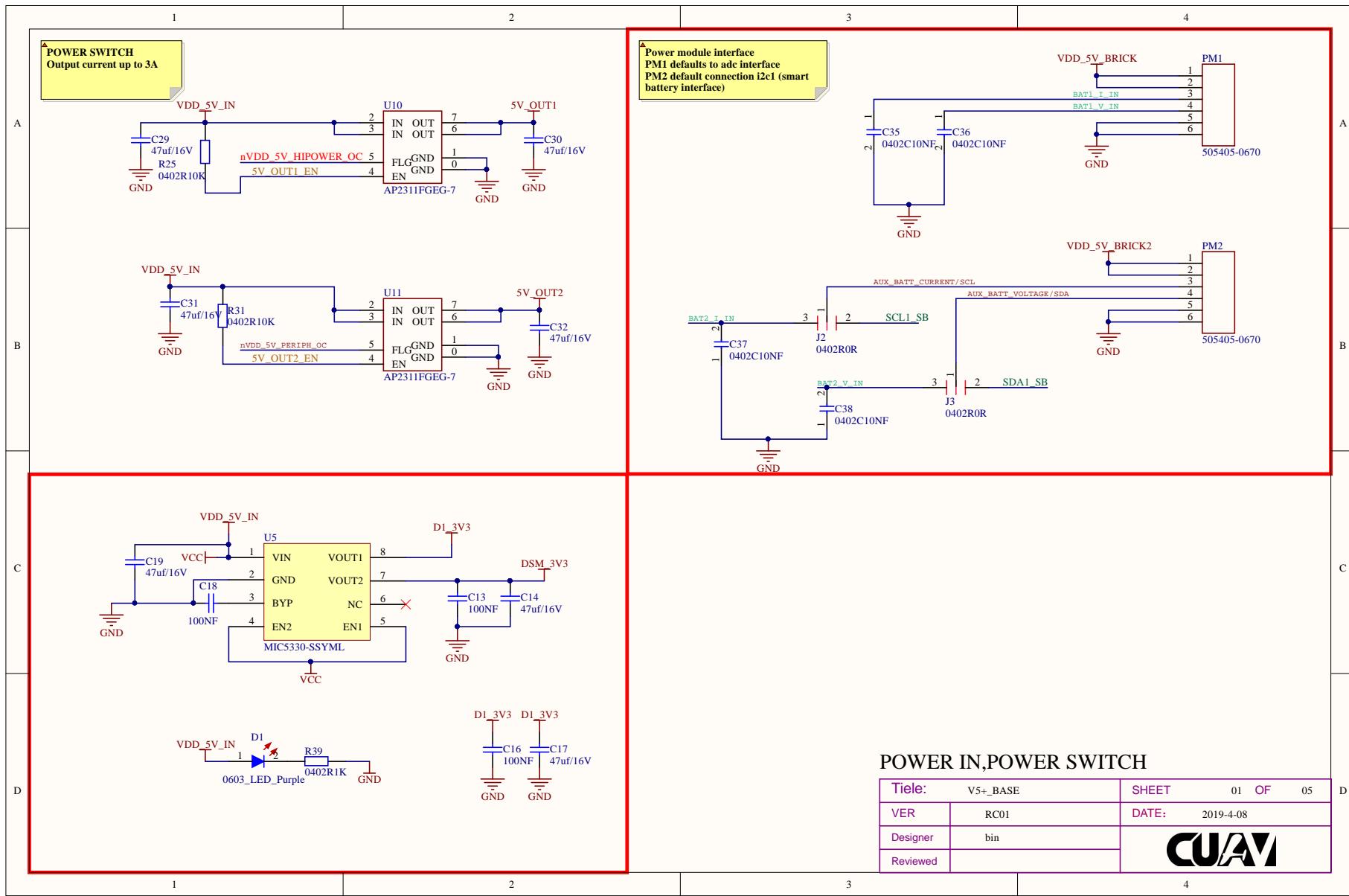
Figura 13 – Sistema atuador solenoide-válvula

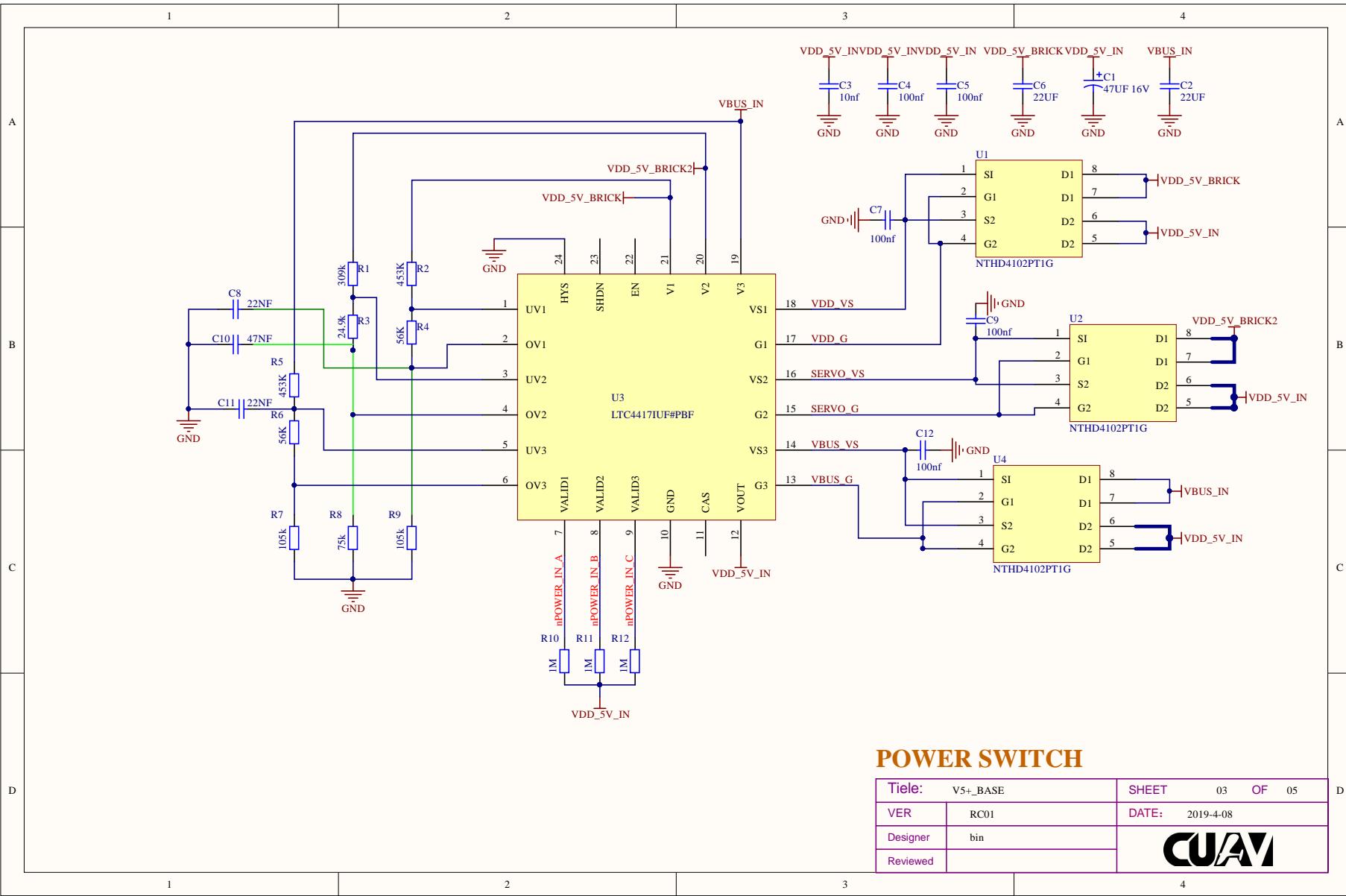
4 Solução de Eletrônica

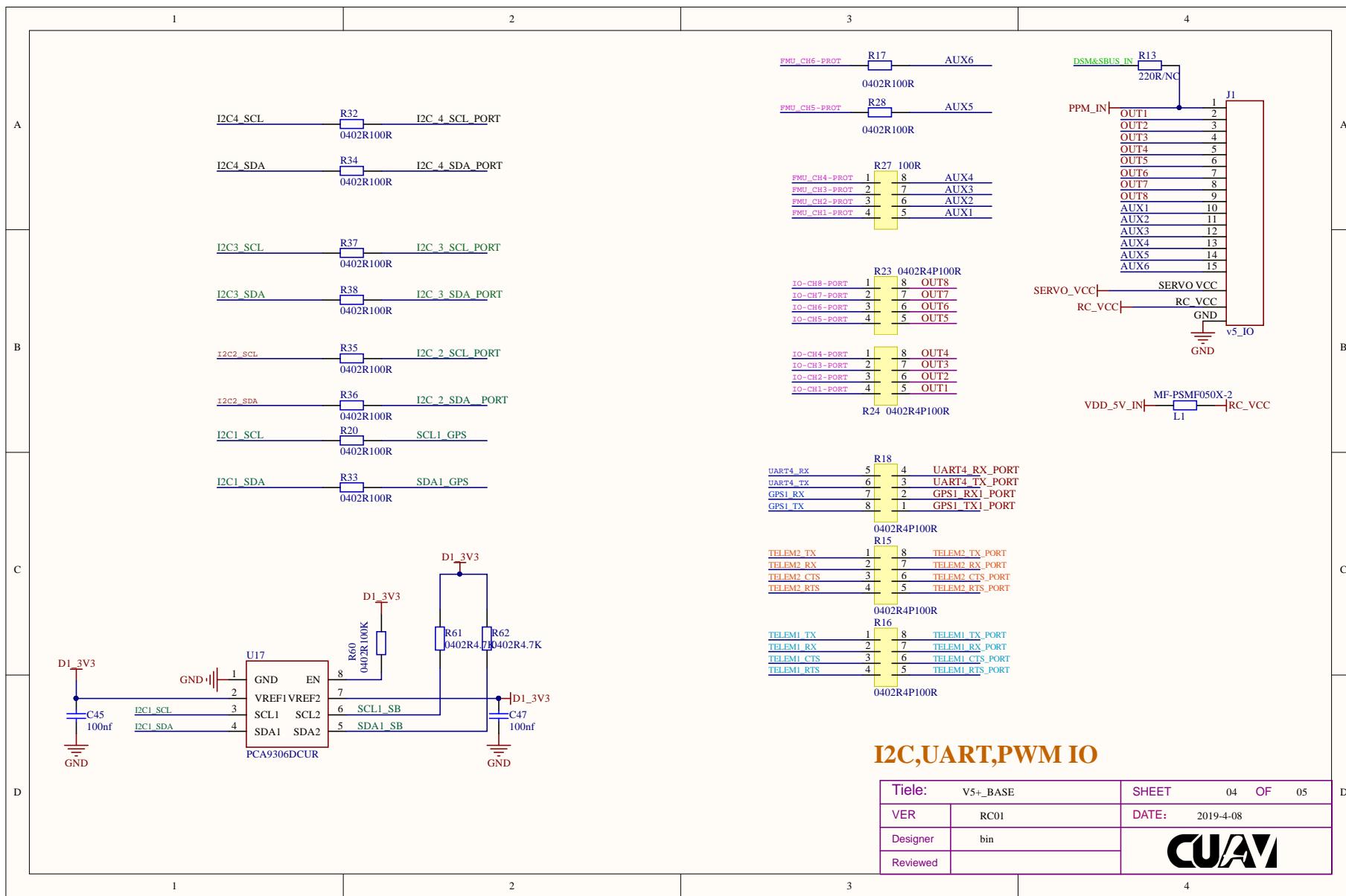
4.1 Esquemáticos de funcionamento CUAV V5+

A placa controladora de voo adotada no projeto é uma solução Open Source, e por conta disso, todos os esquemáricos de funcionamento e desenhos da placa são disponibilizados pelo fabricante, conforme pode ser observado abaixo nas figuras a seguir. É importante ressaltar que a equipe ficou impossibilitada de executar simulações com a placa controladora, visto que a mesma possui um firmware bem específico que só funciona com a placa física. Por conta disso, apenas os circuitos menores dos sensores e da raspberry serão simulados na seção seguinte.





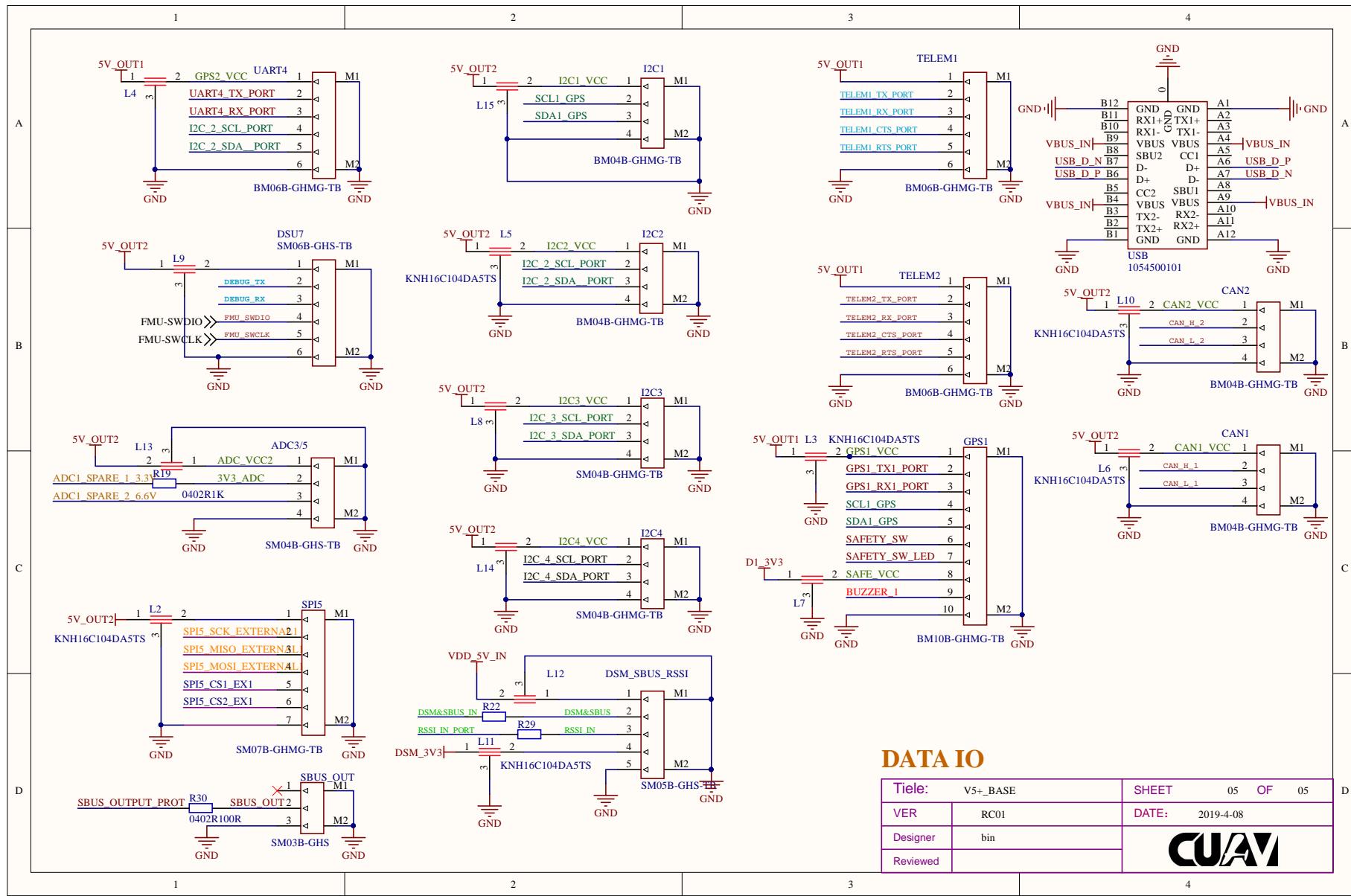




I₂C,UART,PWM IO

Tiele: V5+_BASE		SHEET	04	OF	05
VER	RC01	DATE:	2019-4-08		
Designer	bin				
Reviewed					

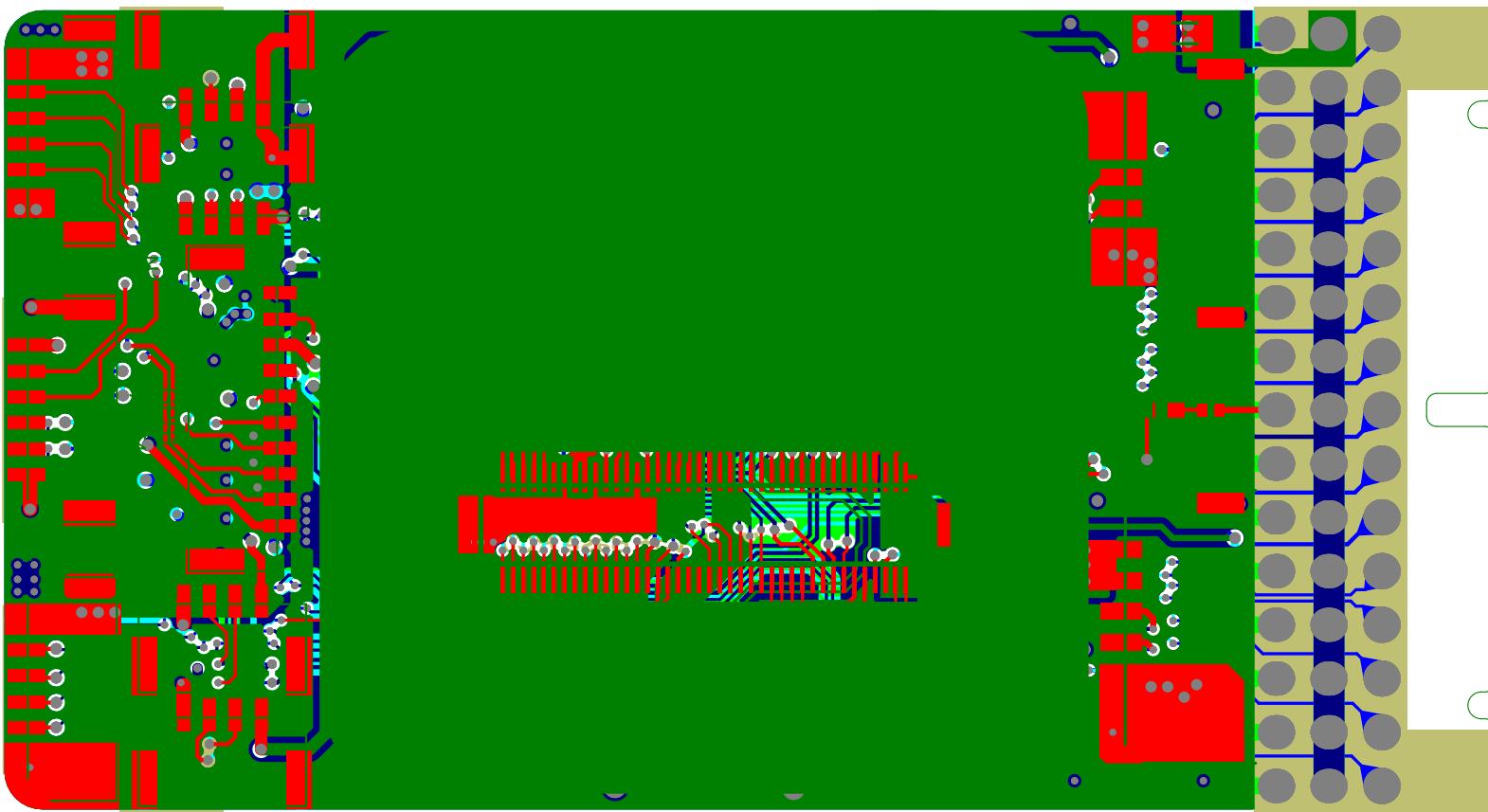
CUAV



DATA IO

Tiele:	V5+_BASE	SHEET	05	OF	05
VER	RC01	DATE:	2019-4-08		
Designer	bin				
Reviewed					





4.2 Protocolos de comunicação interna

4.2.1 PWM

A modulação por largura de pulso conhecida como PWM (Pulse Width Modulation) é uma forma de comunicação utilizada em algumas áreas da eletrônica como em telecomunicações, regulação de tensão, transferência de potência e acionamento de motores. Neste último caso, um sinal de tensão baixo e outro alto formam um sinal alternando com frequência e largura de pulso que determinam a variação de velocidade do motor através do controle de tensão de saída. Essa comunicação vai ser utilizada entre os ESCs e os motores para controlar suas velocidades.

4.2.2 I2C

O protocolo I2C é implementado através da lógica mestre/escravo. De acordo com ([BASICS, 2016](#)), sua comunicação é estruturada através dos fios SDA (Serial Data) responsável pelo envio de dados, e SCL (Serial Clock) encarregado do sincronismo do sistema. Todos os elementos (mestre e escravos) estão conectados em cada um deles. O mestre é a unidade que coordena todos os periféricos e é capaz de ler ou escrever nos registradores do escravo. A controladora de voo CUAV V5+ possui 4 I2C ports.

4.2.3 UART

O protocolo UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter ou transmissor/receptor assíncrono universal) realiza uma conversão paralela/serial e envia esta informação um bit por vez. De acordo com ([PENA; LEGASPI, 2020](#)), é um dos protocolos mais utilizados na comunicação entre dispositivos, e geralmente é implementado em quatro blocos: transmissão, recepção, taxa de transmissão (baudrate) e lógica de interface. Este protocolo utiliza dois canais para comunicação, os blocos de transmissão (TX) e recepção (RX) são responsáveis pela troca de dados entre os equipamentos. A comunicação do protocolo é assíncrona uma vez que não exige o sincronismo dos relógios entre o receptor e o transmissor e cada caractere possui seu próprio sincronismo. Porém, é necessário que os canais RX e TX estejam numa mesma taxa de transmissão, ressaltando ainda que a controladora de voo CUAV V5+ possui 5 UARTs.

4.2.4 CAN Bus

O CAN (Controller Area Network) é um protocolo de comunicação serial síncrono. Ele utiliza o conceito multimestre, cujo princípio é a alternância do módulo entre ser mestre e escravo de outro módulo que era escravo e se tornou mestre, repetindo o processo sucessivamente. De acordo com o autor ([KVASER, 2020](#)), ele aplica ainda o conceito de

multicast, o que significa que todos os módulos enviam e recebem mensagens. No protocolo CAN Bus existe uma proporcionalidade entre a taxa de transmissão e o comprimento do barramento. A controladora de voo CUAV V5+ possui 2 Can Buses.

4.2.5 UAVCAN

UAVCAN (Uncomplicated Application-level Vehicular Computing and Networking) equilibra abstrações com determinismo para dar suporte a sistemas de veículos complexos definidos por software. De acordo com ([KVASER, 2020](#)), esse protocolo utiliza um DSDL (Data Structure Description Language) para especificação de design e possui um sistema de nós descentralizado que simplifica a análise do modo de falha, onde os nós compartilham o bus, não possuem sequência de inicialização e podem entrar e sair a qualquer momento. Essa característica permite que os periféricos possam ser conectados e desconectados de um bus sem ter que desligar ou reiniciar o processo de software.

4.2.6 SBUS

SBUS é um protocolo de comunicação digital usado em receptores R/C. Diferentemente do PWM , o SBUS usa uma arquitetura de barramento onde uma única linha serial pode ser conectada com até 16 servos, cada um recebendo comandos exclusivos, Outra vantagem é a sua velocidade de execução, que possui um atraso na faixa 10ms - 20ms, enquanto outros protocolos como o PWM possuem faixa de atraso de 60ms - 80ms.

4.2.7 MAVLINK

MAVLINK é um protocolo de mensagem leve usado para comunicação com drones e VANTs e entre seus componentes. Segue um padrão de design híbrido de publicação-assinatura e ponto a ponto, onde os fluxos de dados são enviados/publicados como tópicos, enquanto subprotocolos de configuração são ponto a ponto com retransmissão.

4.3 Diagramas lógicos de funcionamento

4.3.1 Diagrama lógico do VANT

O diagrama lógico apresentado na figura 14 (Fonte: Autores) apresenta a operação conjunta dos componentes elétricos durante a operação do VANT. Uma imagem do diagrama com maior resolução pode ser vista [Clicando aqui!](#). O diagrama apresenta o passo a passo dos processos que se desenrolam desde a decolagem do VANT, até a relaização da pulverização e pouso seguro do veículo após o término.

Ao iniciar a decolagem, a placa controladora de voo determina a potência e corrente necessárias para realizar o procedimento, e essa informação é transmitida em forma de pulso PWM para os controladores de velocidade. Logo em seguida, o módulo de tensão transfere a energia da bateria para os controladores de velocidade, onde os mesmos fazem o chaveamento da corrente necessária para cada motor, dando início a decolagem vertical.

Uma vez que o voo é estabilizado, o processo de dispersão dos defensivos é iniciado. A raspberry manda um sinal via protocolo UART/MAVLINK para o relé, possibilitando o acionamento da bomba, que por sua vez bombeia o líquido do tanque diretamente para os bicos pulverizadores. Quando o operador do veículo acionar o botão de stop, o sensor de fluxo encaminha um pulso PWM para a raspberry para sinalizar que o bombeamento deve ser interrompido, e então o sinal da raspberry para o relé é interrompido.

Durante o voo, o sistema GPS e a coleta dos dados via sensores permanecem operando em tempo real. Caso o VANT identifique um objeto passível de colisão através do sensor de colisão, o mesmo realiza a manobra evasiva para evitar o contato, e seu voo continua sem problemas.

Uma vez que o tanque de defensivos está vazio, é necessário realizar o pouso do veículo. Novamente, a placa controladora de voo determina a potência e corrente necessárias para realizar o procedimento, e essa informação é transmitida em forma de pulso PWM para os controladores de velocidade. Logo em seguida, o módulo de tensão transfere a energia da bateria para os controladores de velocidade, onde os mesmos fazem o chaveamento da corrente necessária para cada motor, dando início ao pouso.

4.3.2 Diagrama lógico eletrônico

O diagrama ilustrado na [15](#) apresenta a conexão entre os módulos da solução de eletrônica e os protocolos de comunicação utilizados entre os módulos e componentes. O diagrama também exibe a fonte de alimentação de cada dispositivo.

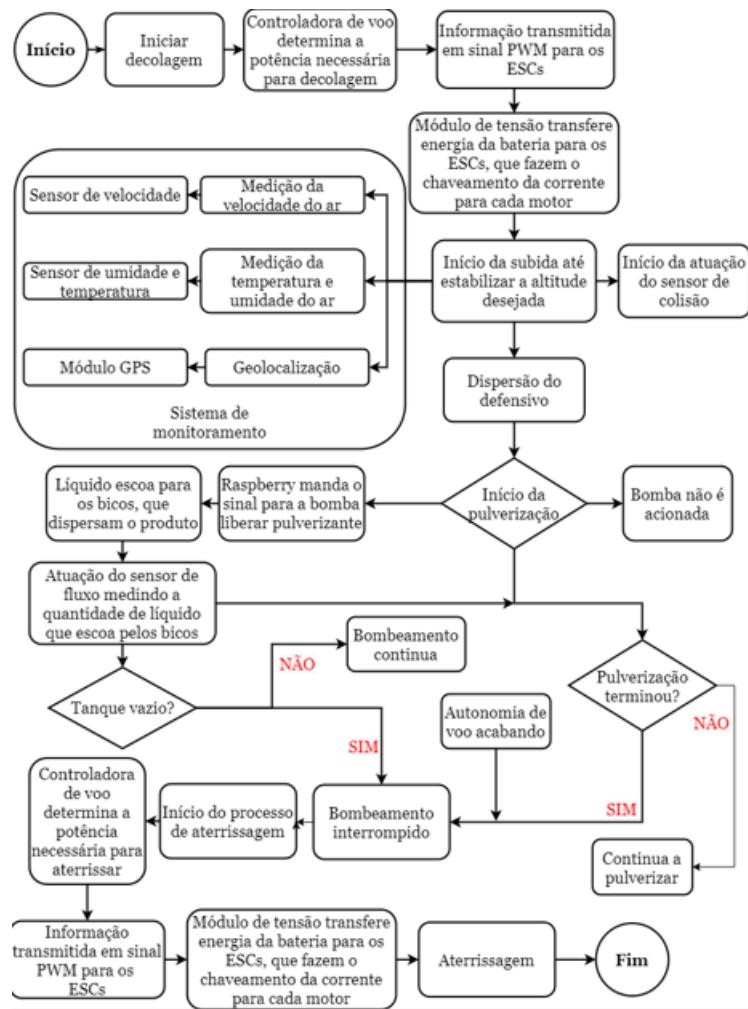


Figura 14 – Diagrama lógico de funcionamento do Pulver VANT desenvolvido na plataforma Drawio

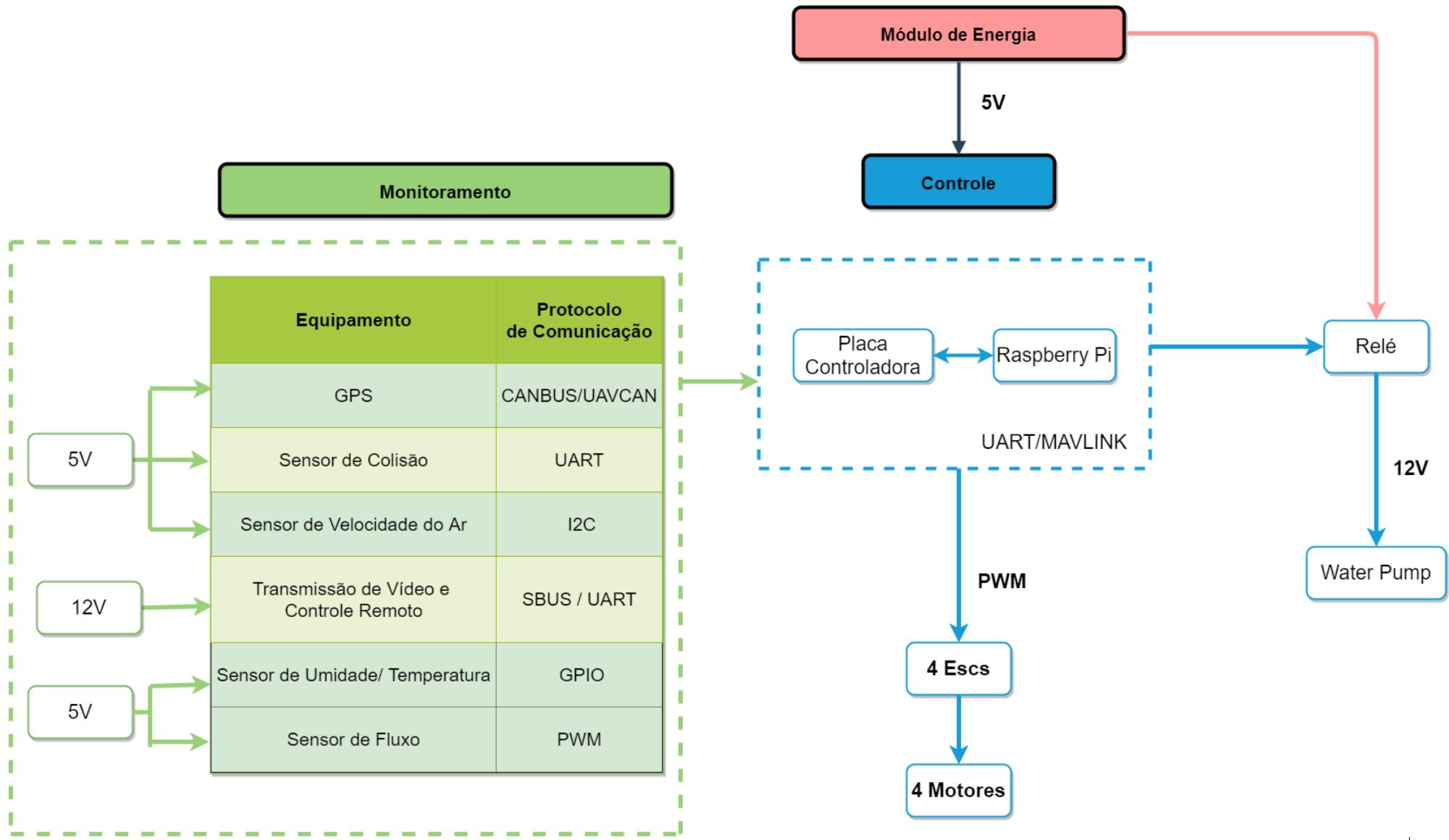


Figura 15 – Diagrama lógico de eletrônica desenvolvido na plataforma Drawio

Através da observação do diagrama é possível visualizar as especificações citadas na soluções de eletrônica, como a comunicação entre o controle, tanto da placa controladora CUAV V5+ quanto da Raspberry Pi, e monitoramento. O acionamento da bomba será controlado pela Raspberry Pi através de relé alimentado pela Módulo de Tensão SmartAP PDB. Em sua maioria os componentes são ligados diretamente a CUAV V5+ e Raspberry Pi. O Módulo de Tensão fornece 5V e 12V necessários para alimentação dos componentes não alimentados diretamente pela CUAV V5+ e Raspberry Pi.

4.4 Arquitetura de integração

A arquitetura de integração abrange o diagrama lógico eletrônico e parte da solução de software. A comunicação entre esses subsistemas do projeto será realizada entre a Raspberry Pi e Rabbitmq. O protocolo de comunicação utilizado é AMPQ . A arquitetura pode ser visualizada na [16](#), onde uma imagem com melhor resolução pode ser vista no repositório do projeto, ou [Clicando aqui](#).

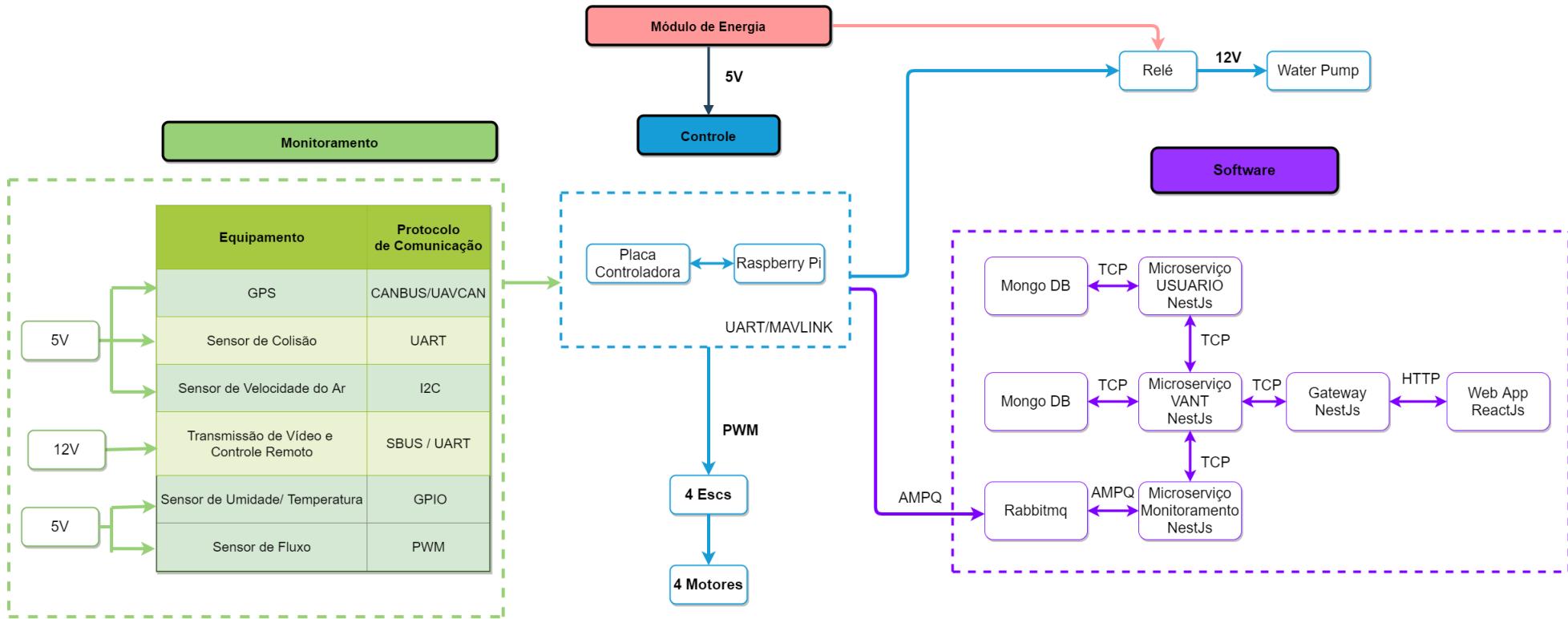


Figura 16 – Arquitetura de integração entre os núcleos de eletrônica e software

4.5 Diagrama de integração geral do projeto

O diagrama mostrado na figura 17 busca mostrar a integração entre todos os subsistemas envolvidos no projeto, de tal maneira que o desenvolvimento proposto pelas cinco engenharias do projeto possa ser observado.

A fuselagem do VANT e o compartimento para componentes elétricos mantém os componentes protegidos, enquanto que na parte externa são localizados as hélices, baterias, bombas e bicos nebulizadores. O módulo de tensão empregado distribui a energia oriunda da bateria diretamente para os motores e demais componentes que necessitem. A integração do software com o sistema eletrônico ocorrerá através da raspberry com protocolo AMPQ, conforme a figura 16, onde serão lidos os dados dos sensores em tempo real, realizando a coleta e envio de informações através dos algoritmos desenvolvidos. No que tange a integração entre eletrônica e estrutura, as dimensões dos componentes e seu encaixe na central eletrônica foram configurados em conjuntos entre os membros dos núcleos. A integração entre eletrônica e energia ocorreu de maneira natural desde o início do projeto, visto que várias definições de componentes eletrônicos estavam condicionadas a estudos, pesquisas e equacionamentos relacionados ao contexto de Engenharia de Energia.

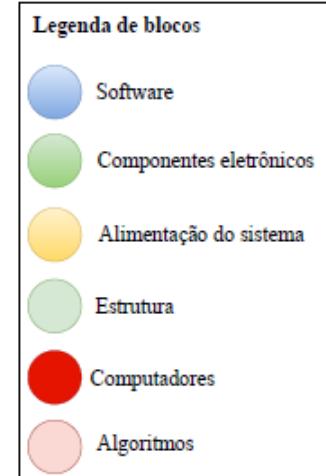
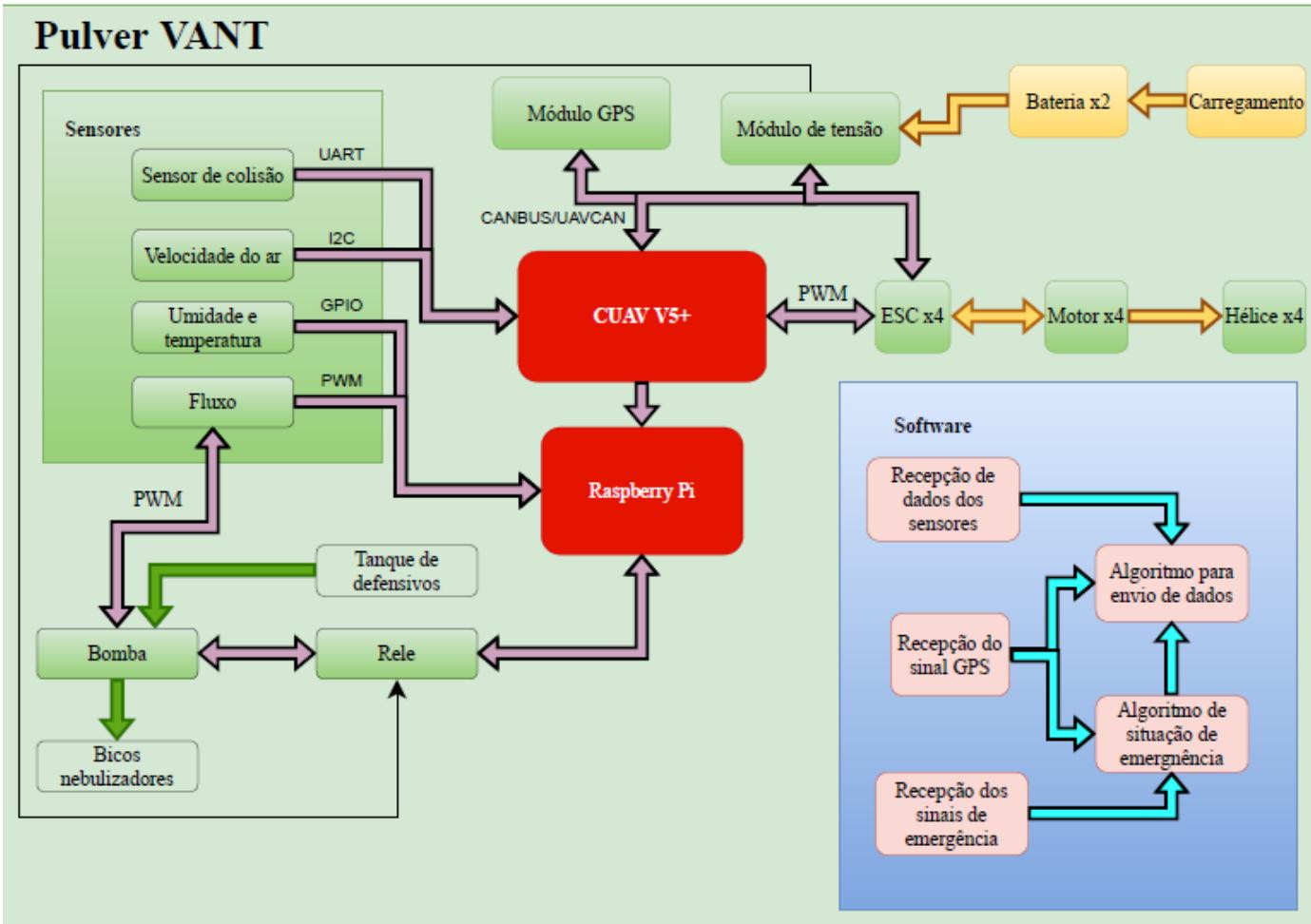


Figura 17 – Integração geral de todos os subsistemas

4.6 Configurações de inicialização

Para a placa controladora ser configurada e operar sem intercorrências, é necessário a instalação de um firmware, destacando que a CUAV V5+ é compatível com dois firmware open source, sendo eles o ArduPilot e PX4. Para o projeto, foi escolhido utilizar o PX4 por ser o firmware nativo da CUAV V5+, onde a seguir, são explicadas algumas configurações básicas de inicialização do VANT após a montagem, onde foi utilizado software QGroundControl para simular a instalação do PX4 na placa controladora e a calibração dos componentes eletrônicos.

4.6.1 Orientação de instalação

A placa controladora deve ser instalada no centro de massa do VANT e na direção correta para uma configuração bem sucedida. Os multicopteros mesmo sendo simétricos, possuem direções como mostrado nas figura 18 (Fonte: https://docs.px4.io/master/en/getting_started_and_directions), ressaltando a importância de saber a direção do VANT para alinhar a CUAV V5+ com o vetor de movimento.

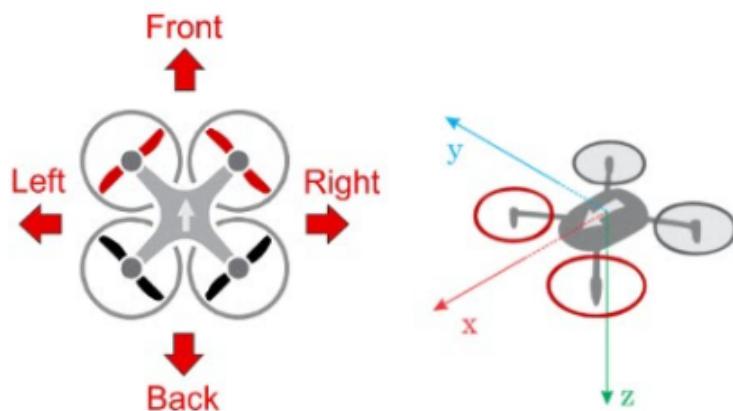


Figura 18 – Estabelecimento do sistema de coordenadas global do VANT

4.6.2 Calibração da bússola

A calibração da bússola deve ser feita antes do primeiro uso e precisa de recalibragem se o VANT for exposto a um campo magnético muito forte. A falta de calibração da bússola faz com que o veículo circule quando deveria pairar e fique desviando do caminho ao invés de voar em linha reta. O processo de calibragem é feito através do QGroundControl de forma intuitiva, conforme a figura 19 (Fonte: Autores), e em seguida é necessário posicionar o VANT nas várias posições (totalmente inclinado a direita, a esquerda, frente, trás e rotacionando).

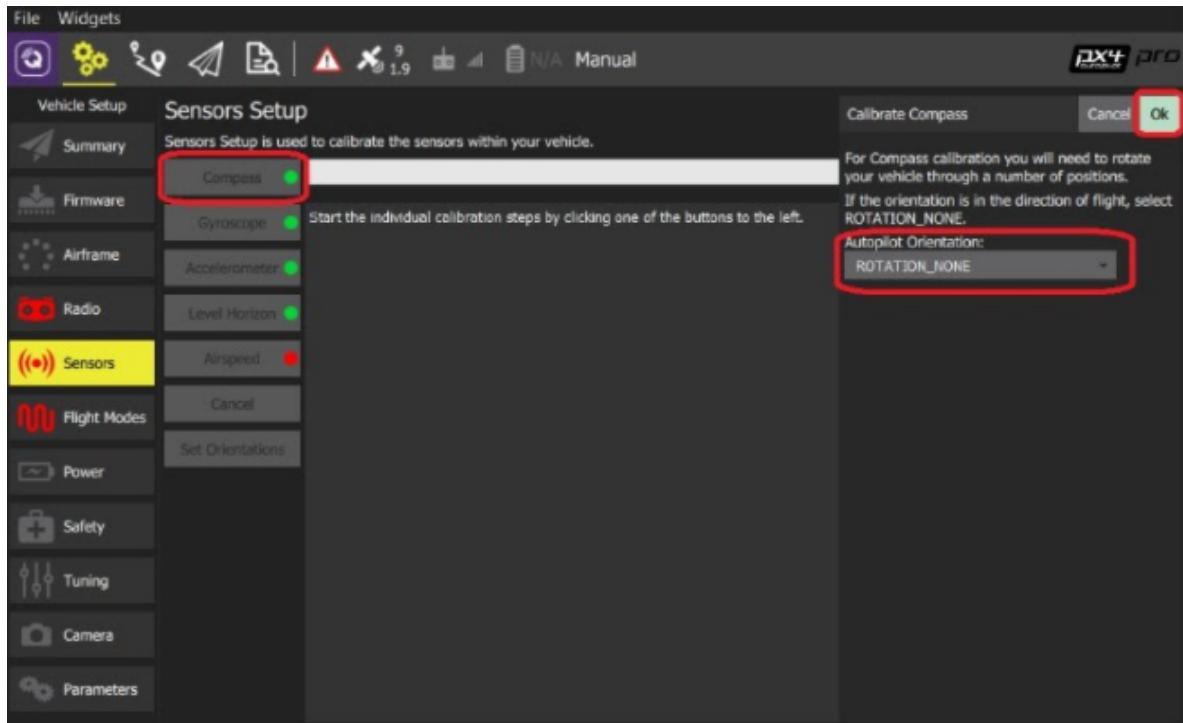


Figura 19 – Calibração da bússola via software QGroundControl

4.6.3 Calibração do giroscópio

A calibração do giroscópio é com ele em posição de pouso, onde o QGroundControl vai orientar que VANT seja colocado em uma superfície plana e que permaneça imóvel. Para qualquer movimento involuntário, o processo é reiniciado, até que se obtenha a completa calibração do sensor.

4.6.4 Calibração do acelerômetro

Para o acelerômetro, é preciso calibrar para o primeiro uso ou em alguma mudança de orientação da placa controladora. A falta de calibragem do acelerômetro é detectada nas verificações pré-voo, e deve ser imediatamente corrigida. A calibragem é semelhante a da bússola mostrada na figura 19, onde se coloca o veículo nas posições solicitadas. Entretanto, não é necessário rotacionar o VANT em diferentes posições.

4.6.5 Calibração do sensor de velocidade do ar

Os drivers do sensor não são iniciados automaticamente, precisando ser habilitados antes de iniciar a calibragem, que por sua vez é feita colocando a mão em formato de concha sobre o bico do sensor e assoprando. Isso é útil para verificar se as conexões foram feitas corretamente, visto que caso haja uma grande pressão diferencial negativa, o QGroundControl interrompe a calibragem.

4.6.6 Calibração de nível

Seguindo as orientações do QGroundControl, o VANT é posicionado na posição de pairar. Essa calibração vai compensar pequenos desalinhamentos na orientação do veículo, assim como determinar a posição horizontal. Depois de concluída a calibragem, o bússola deve apresentar o valor 0 quando apontada para o norte e a orientação horizontal como azul no topo.

4.6.7 Configuração do controle remoto

A configuração do controle serve para mapear os sticks do controle. No Brasil, o modo mais usado é o modo 2, em que o acelerador fica no stick esquerdo. Para calibrar o sistema de rádio, o transmissor e receptores devem ser conectados, onde então o PX4 é capaz de detectar a perda do sinal do controle para tomar medidas de segurança. A calibragem é feita mexendo os sticks como solicitado pelo QGroundControl, conforme observado na figura 20 (Fonte: Autores).

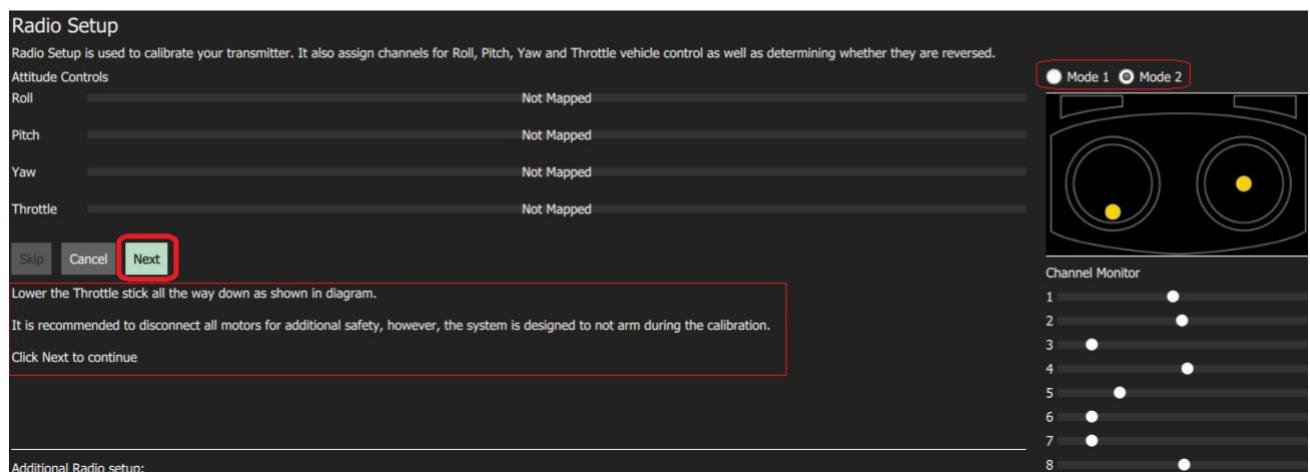


Figura 20 – Configuração inicial do controle remoto

4.6.8 Configurações da bateria

Essa configuração tem o objetivo de dar ao piloto uma estimativa percentual de quanto resta de bateria para completar a missão com segurança, fazendo com que o veículo não seja usado ao ponto de acabar a bateria e resultar em queda. As configurações básicas da bateria utilizam o método padrão de estimativa medindo a tensão e comparando com a faixa entre “vazia” e “cheia”. Visto que o projeto demanda uma corrente muito maior do que a demanda usual de veículos mais leves, é necessário alterar algumas variáveis no código do PX4 para que a superte alta corrente. Os parâmetros alterados são listados abaixo.

- BATT_MONITOR para 4
- BATT_AMP_PERVLT para 37.2300
- BATT_VOLT_MULT para 18.4615
- BATT_AMP_OFFSET para 0.63

Como configurações de segurança, destaca-se a perda do sinal do controle remoto e configuração de retorno e pouso, que devem ser configuradas no software utilizado.

4.6.9 Configuração inicial dos motores

Após a instalação dos componentes anteriores, é preciso indicar para a controladora alguns dados específicos, como a configuração dos motores e direção do giro. Isso é feito em um módulo específico no QGroundControl, que possui um modo no qual é possível testar individualmente os motores (sem as hélices), onde a figura 21 (Fonte: Autores) ilustra esse processo.

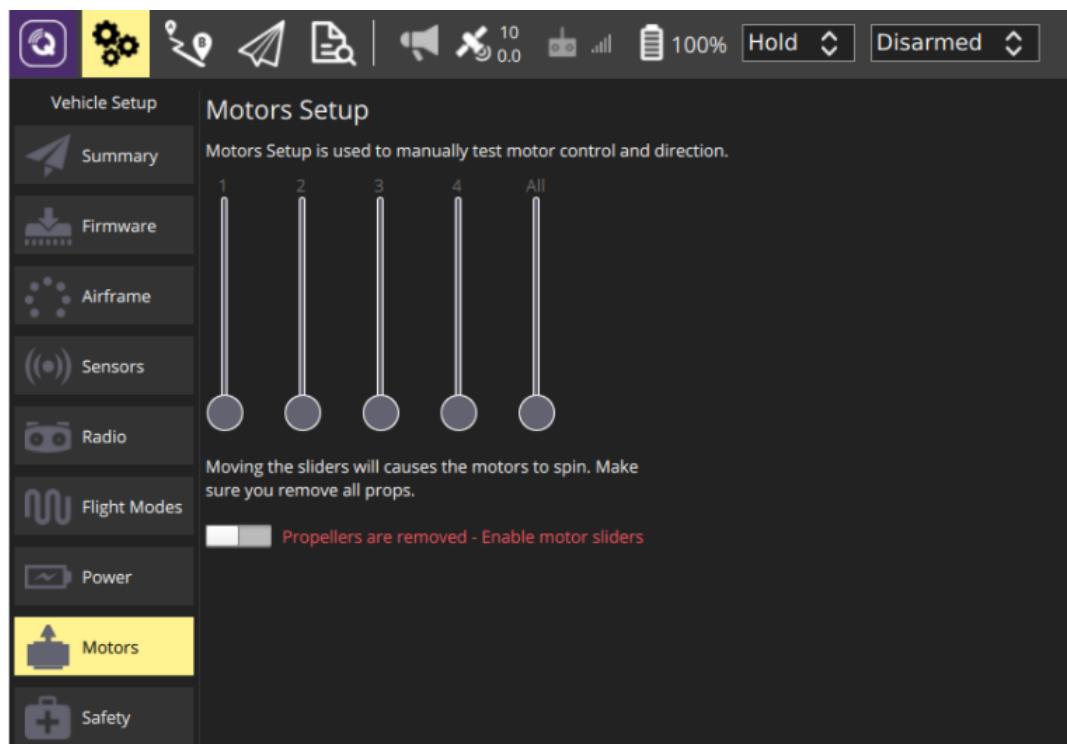


Figura 21 – Configuração inicial dos motores

4.6.10 Calibração dos ESCs

A faixa de entrada do sinal PWM as quais as ESCs responderão são configuráveis e podem ser diferentes mesmo em um mesmo modelo de ESC. Sendo assim, sua calibração

é necessária para indicar quais serão os valores PWM máximos e mínimos fornecidos pela controladora de voo e consequentemente fazer com que todos os ESCs tenham a mesma faixa de resposta em todas as faixas de frequência.

4.7 Simulações

4.7.1 Simulação de voo

O método escolhido para efetuar a simulação do voo foi o SITL (Software in the Loop), visto que para efetuar simulações HITL (Hardware in the Loop) seria necessário possuir os equipamentos físicos. Os softwares utilizados no processo são listados abaixo.

- PX4 Toolchain - Software principal contendo o firmware modelo PX4 que é o firmware utilizado pela controladora de voo CUAV V5+.
- jMAVSim - Software MAVLink que realiza a simulação de ambiente de voo para realizarmos o SITL.
- QGroundControl - Software responsável pelo GPS spoofing e controle de voo para controlar o drone em uma latitude e longitude determinada e também realizar a rota de voo, assim como decolagem e pouso.
- C, Java e Python - A plataforma CYGWIN (emulador C de linux para Windows) efetua o processo de simulação de firmware, já o jMAVSim roda em Java para fornecer a interface gráfica para o voo. Python é utilizado para dar comandos para PX4 tanto pelo console quanto pelo QGroundControl.

O protocolo de comunicação utilizado foi o protocolo UDP, o PX4 (através do `mavlink_main.cpp`) se comunica com a API pela porta 14540 e com o QGroundControl pela porta 14550. Já o simulador (`simulator_mavlink.cpp`) se comunica com o QGroundControl através da porta 4560. Pode-se ver detalhes do funcionamento no fluxograma abaixo da figura 22 (Fonte: Autores).

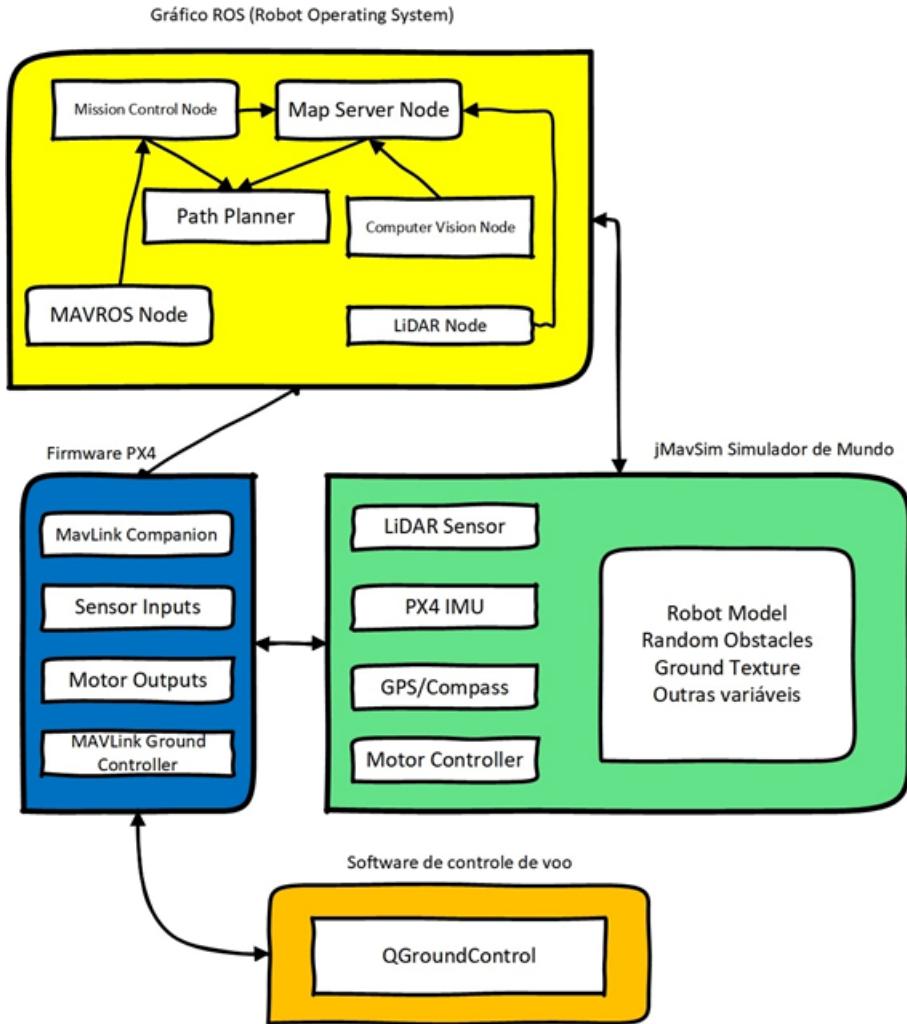


Figura 22 – Fluxograma de funcionamento dos códigos utilizados em integração com o QGroundControl

O jMavSim servirá como substituto para o VANT físico para efeito de simulação. A plataforma tem suporte para sensores de colisão, firmware PX4, GPS e controladores de motores (ESCs). O jMavSim também fornece o ambiente gráfico, como chão, árvores, obstáculos, etc. O firmware PX4 irá fornecer as variáveis de saída para motor, entrada de sensores através da ligação com o QGroundControl que receberá as entradas do teclado e fornecerá para o drone simulado assim como aconteceria num cenário real, visto que o QGroundControl também é utilizado para planejamento e execução de voo de drones físicos. O gráfico ROS será formado a partir dos dados recebidos pelo QGroundControl como plano de voo, coordenadas de altitude e latitude, velocidade do drone, etc.

O primeiro passo para efetuar a simulação é instalar o PX4 Toolchain, após essa tarefa será necessário abrir o prompt de comando encontrado na pasta do software e executar o comando abaixo.

```
git clone https://github.com/PX4/PX4-Autopilot.git --recursive
```

Esse comando permitirá criar um diretório com o firmware do PX4 clonando sua pasta do github, já que se trata de um firmware open source. Após executar esse comando e clonar a pasta, tem-se a instalação do jMavSim. Por padrão ele vem configurado para

```
make px4_sitl jmavsim
```

realizar voo com a placa controladora HolyBro Pixhawk 4, porém, o VANT irá utilizar a CUAV V5+, que utiliza o FMUv5 como núcleo de controle. Sendo assim, é preciso efetuar essa mudança via console usando o comando abaixo.

```
cd PX4-Autopilot
make px4_fmu-v5_default
```

Após rodar todos os processos, é apresentada a janela do simulador juntamente com a mensagem da PX4, conforme mostrado na figura 23 (Fonte: Autores).

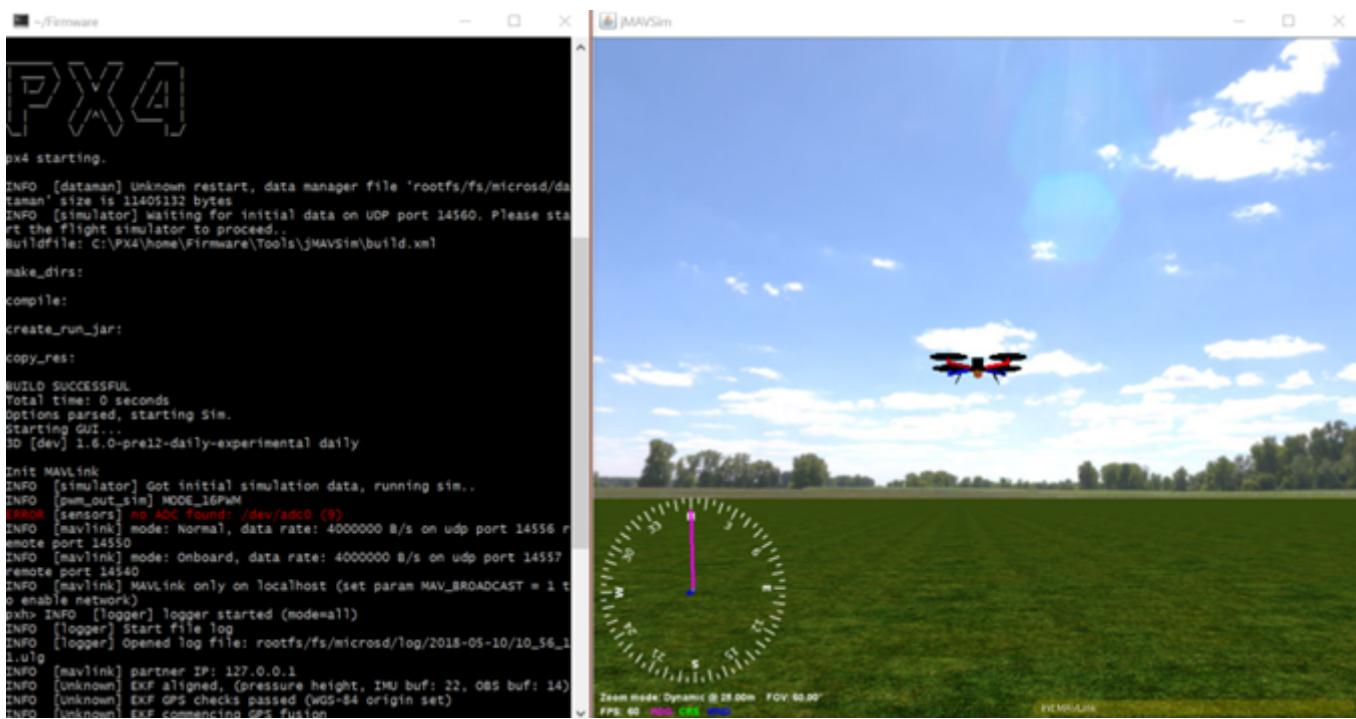


Figura 23 – Tela de inicialização

Nessa etapa já é possível efetuar simulações de voo a partir de comandos no prompt, conforme abaixo.

pxh>commander takeoff

Porém, é mais prático utilizar o QGroundControl, pois além de efetuar o voo, ele também permite fazer todas as configurações do nosso VANT, como mudanças na bateria, calibração de ESC e motores, etc. Após instalar o QGroundControl, é possível então simular um local de voo através do mapa fornecido pelo software e também determinar planos de voo, trajetórias, gerar situações de turbulência, testar nível de bateria durante o voo através de um consumo médio estimado. A figura 24 (Fonte: Autores) ilustra a tela de simulação de voo do Pulver VANT no QGroundControl.

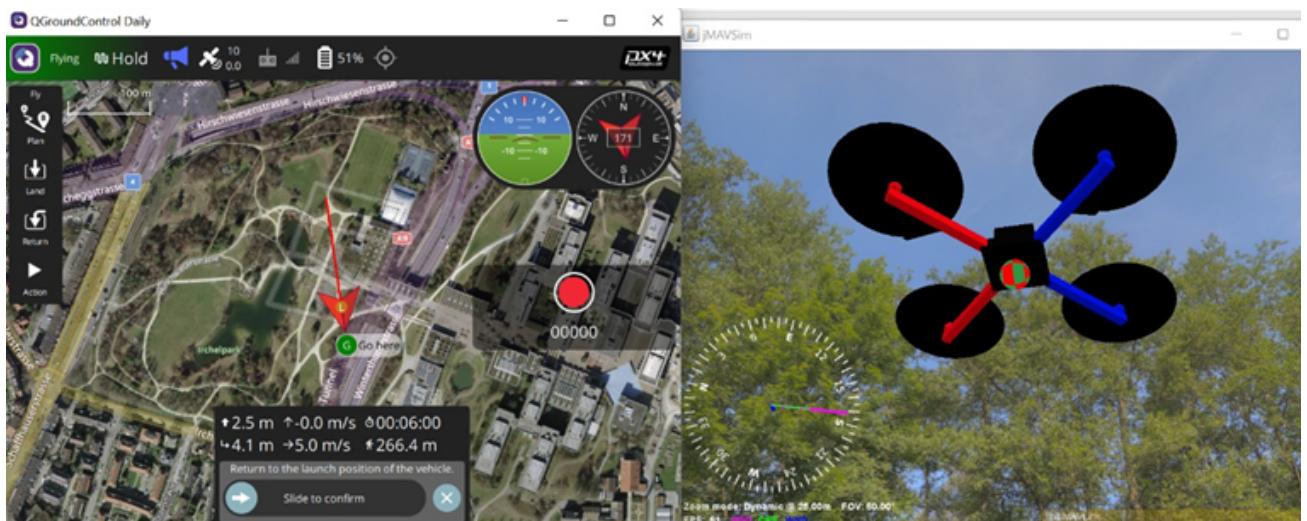


Figura 24 – Simulação de voo elaborada no QGroundControl

Pela figura, é possível observar que o QGroundControl oferece muitas informações de telemetria, como nível de bateria, altitude, longitude, altura que o drone está voando, visualização do magnetômetro e do giroscópio aliado com o barômetro, velocidade em metros por segundo e distância percorrida. O software também fornece opções para pouso, decolagem, se movimentar para algum lugar ou ficar em modo de rover.

4.7.2 Simulações referentes a Raspberry Pi

A primeira simulação a ser efetuada nesta parte é referente ao sensor de fluxo da bomba que irá controlar o fluxo do defensivo agrícola. Para efetuar a simulação foi utilizado o software da Labcenter Electronics chamado Proteus, que fornece um ambiente onde é possível inserir os códigos em Python, montar o circuito e fazer o teste do mesmo. Vale a ressalva que no projeto do VANT não irá ter os displays de 7 segmentos que se utilizou nas simulações, porém, os mesmos foram utilizados para poder facilitar na visualização da saída do circuito, já que a Raspberry armazena esses valores ou printa em prompt de comando e os mesmos não estão presentes no ambiente do Proteus, apenas possuindo um terminal para saída serial, que não é o caso a ser utilizado no projeto.

O código em Python utilizado (`fluxoagua.py`) está disponível no anexo B. A variável que armazena o fluxo de água é a variável ‘flow’. No código, é dividido o número de pulsos por 7.5, de acordo com o datasheet do sensor YF-S201, que gera pulsos através do efeito Hall. Para efeito de simulação foi utilizado um sensor de fluxo no Proteus que trabalha com sinal de pulso e por lá foi possível variar a frequência e comparar com a medição esperada. Para 2L/min temos 15Hz e assim por diante. Como o pulso do Proteus tem o duty cycle de 50% (gerando um atraso de pulso) então só obtemos 2L/min no visor de 7 segmentos quando colocamos 16 Hz de frequência na entrada do sensor.

A figura 4.7.2 (Fonte: Autores) representa o esquemático simulado no Proteus do sensor de fluxo de líquido, destacando que a terminologia água utilizada refere-se ao defensivo já dissolvido para pulverização. Por sua vez, a figura 26 (Fonte: Autores) mostra a leitura do display Proteus após o término da simulação, onde destaca-se que a simulação rodou por diversas horas para testar a estabilidade do circuito, por isso a contagem de 192 litros.

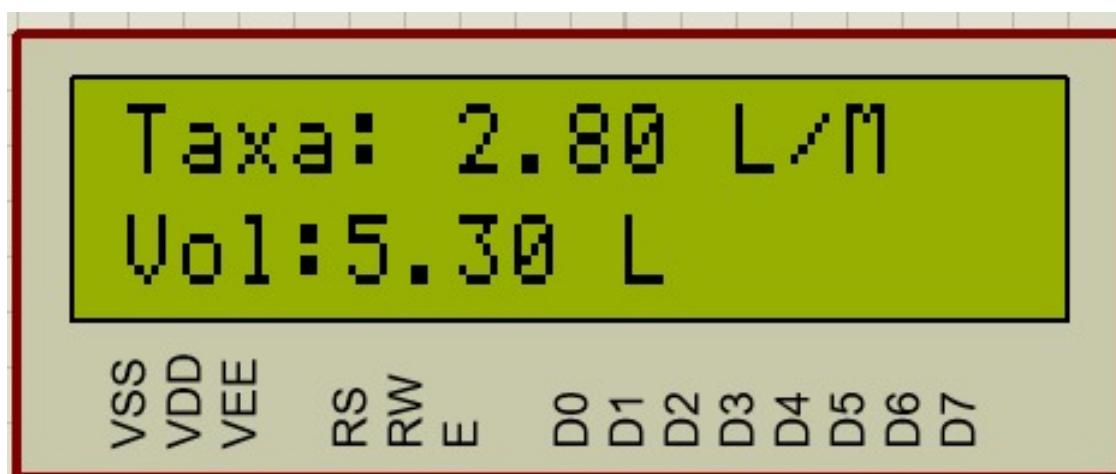
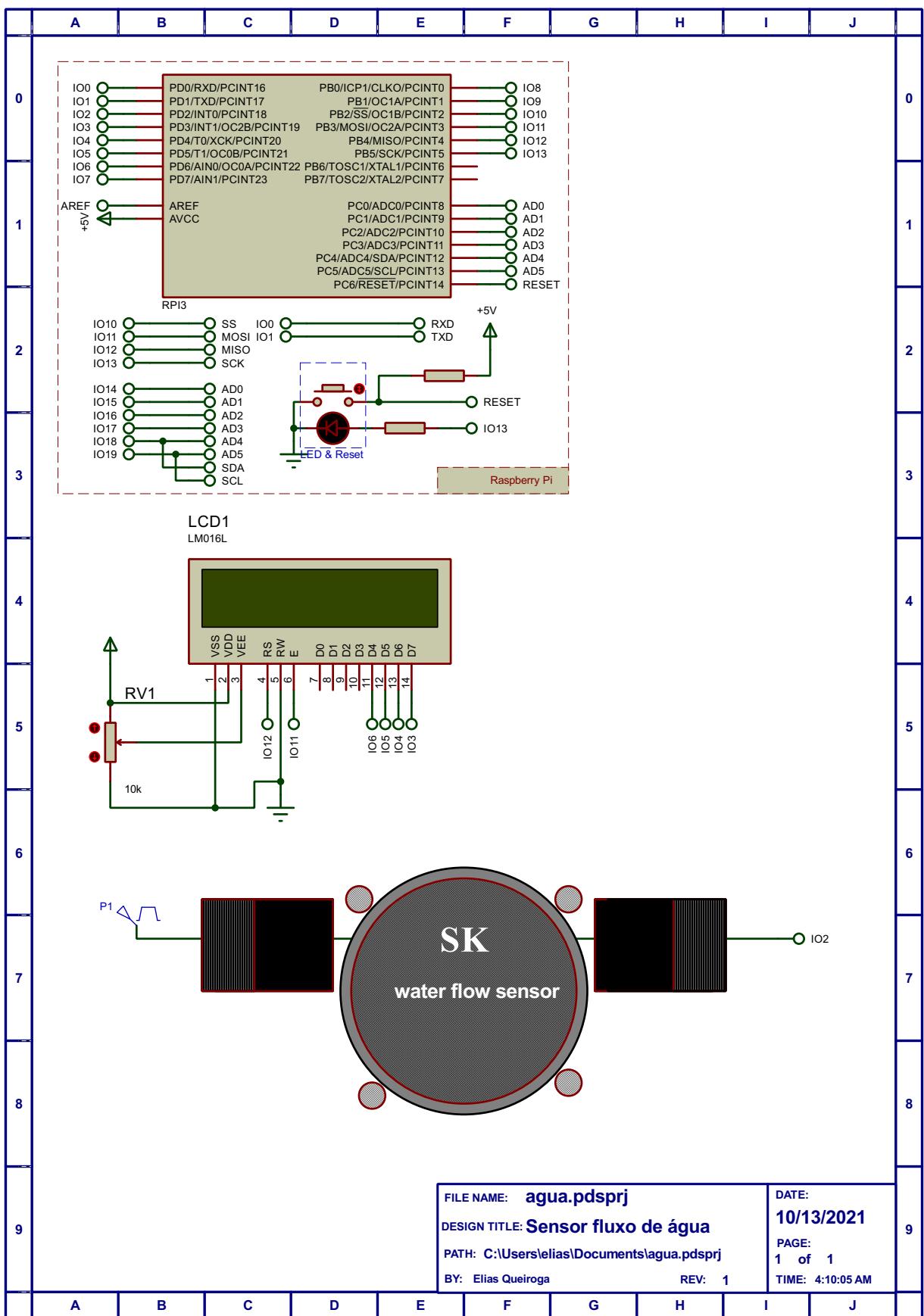


Figura 25 – Resultado da simulação do sensor de fluxo



A segunda simulação é referente ao sensor de umidade e temperatura que vai ser utilizado no projeto, o DHT22, onde o código (umidade.py) é disponibilizado no anexo C. Foi utilizado o Proteus novamente, que já possui o DHT22 na sua biblioteca nativa, que facilitou bastante no processo da simulação. O DHT22 tem 4 pinos: VCC (+ 5V), pino de dados, NC (pino não conectado) e GND (da esquerda para a direita). Um resistor pull-up deve ser adicionado ao pino de dados com um valor entre 4,7K e 10K. O resistor variável de 10K é usado para controlar o contraste da tela LCD e o resistor de 330 ohms fornece o LED de luz de fundo do LCD.

Nessa interface, foi utilizada a biblioteca de sensores DHT (DHT11, DHT21 e DHT22) da Adafruit. Esta biblioteca inicia o sensor DHT22 e lê os valores de umidade e temperatura. A biblioteca Adafruit DHT retorna um número flutuante da umidade e também da temperatura e, como a resolução do sensor DHT22 é 0,1, precisa de apenas 1 número após o ponto. Para isso, foi utilizado duas variáveis com tipo int (com sinal de 16 bits) que são humidity e temperature, multiplicando os números flutuantes por 10 nos dá o que precisamos como números inteiros sem nenhum ponto. Abaixo é mostrado o esquemático do sensor simulado no Proteus e o display após término da simulação.

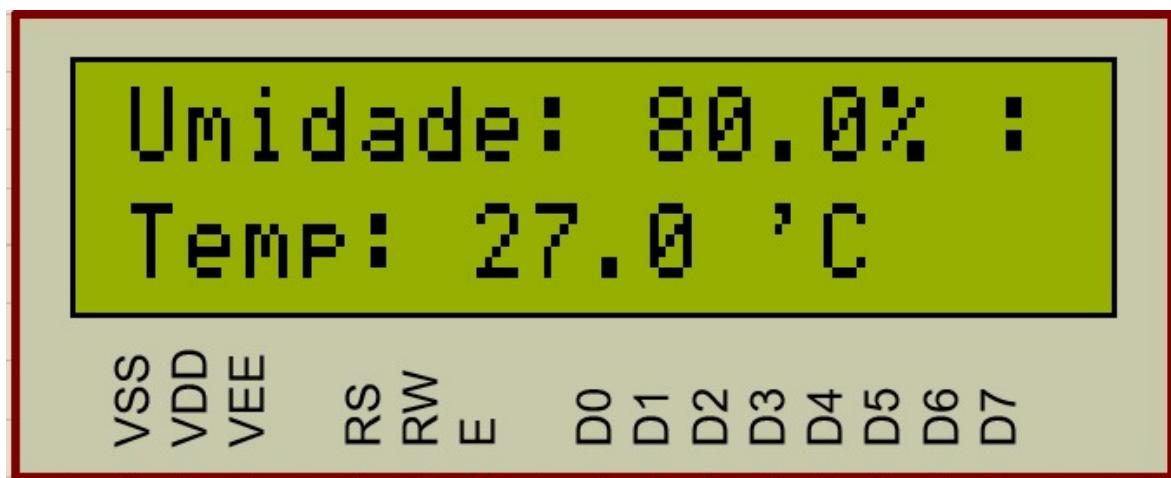
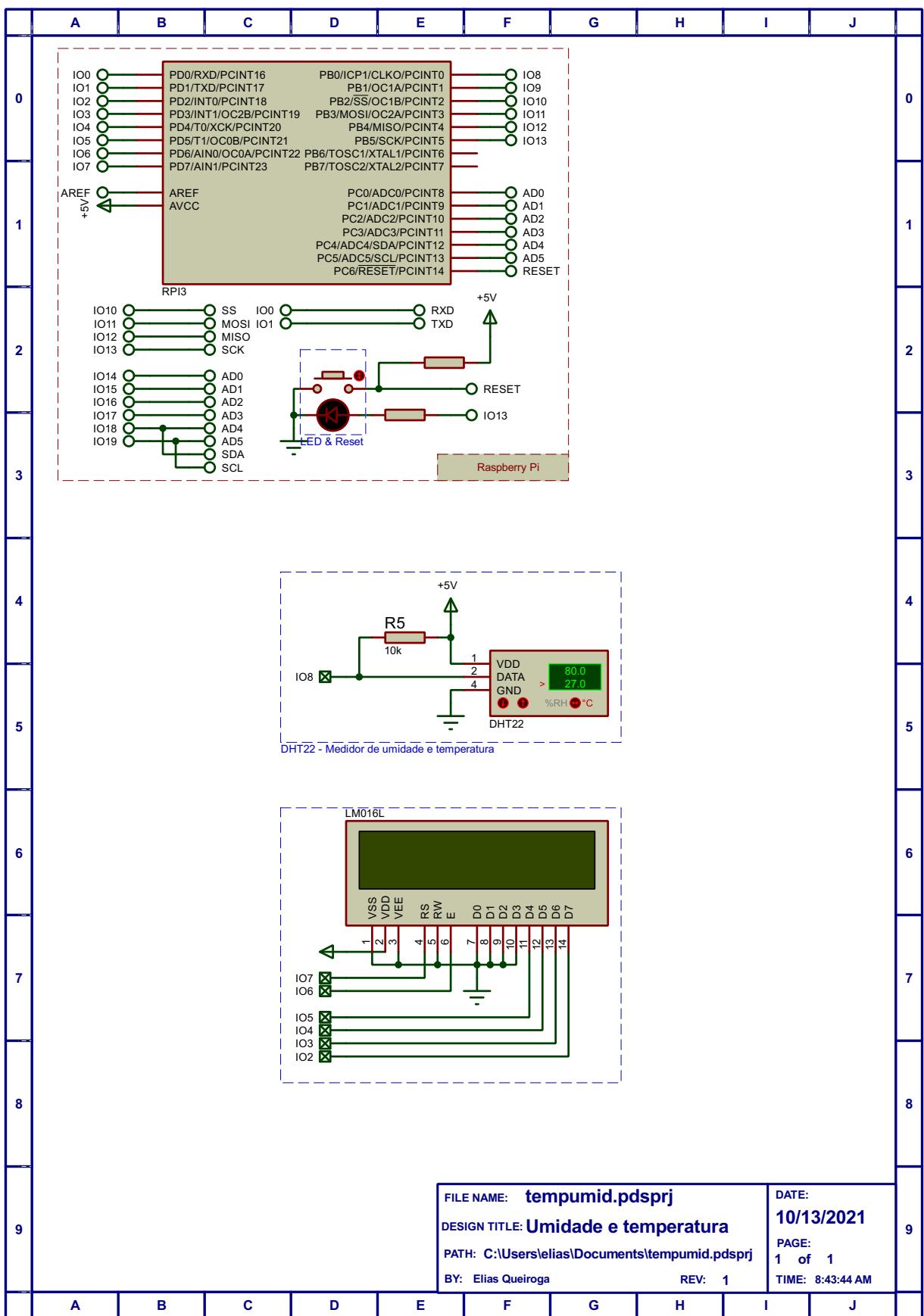


Figura 26 – Resultado da simulação do sendor de umidade e temperatura



5 Solução do núcleo estrutural

O núcleo de estruturas tem como principal objetivo projetar uma estrutura que seja capaz de comportar todos os componentes elétricos e mecânicos necessários para funcionamento do VANT, respeitando os limites de peso estabelecidos e ao mesmo tempo que seja capaz de suportar todas as tensões que surgirem em decorrência das condições de operação do veículo. Para isso, a concepção da solução engloba a escolha dos materiais, o projeto e dimensionamento dos componentes mecânicos, acoplamento dos componentes elétricos de acordo com suas restrições de encaixe e operação e modelagem CAD dos sistemas. Além disso, cálculos e simulações computacionais serão conduzidos nos componentes mecânicos, com o intuito de validar os procedimentos analíticos e assegurar a resistência e estabilidade dos componentes e da estrutura como um todo. O diagrama dos processos a serem executados nesta etapa do projeto pode ser observado abaixo na figura 27 (Fonte: Autores).

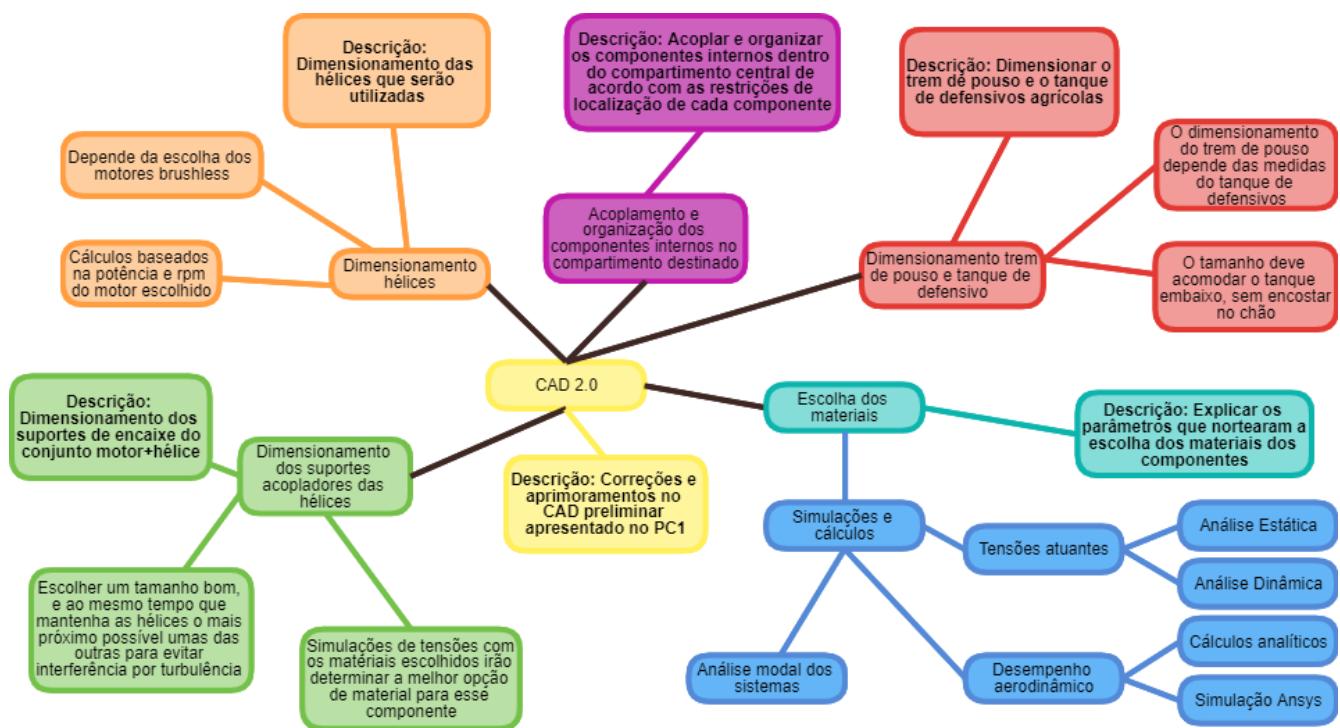


Figura 27 – Diagrama dos processos a serem executados pelo núcleo de estruturas elaborado na plataforma Drawio

5.1 Escolha dos materiais

A escolha dos materiais para os componentes mecânicos da estrutura é de fundamental importância, visto que o peso estrutural é uma das restrições de projeto para o núcleo de estruturas, e irá influenciar diretamente na análise de tensões que atuarão no veículo durante sua operação. Vale aqui ressaltar que a estrutura como um todo possui um critério de restrição de peso máximo de 23,6 kg, já contabilizando todos os componentes elétricos e a carga útil de 10 kg de defensivos. Antes de se iniciar o processo de escolha dos materiais em si, é necessário primeiramente listar os principais componentes que serão dimensionados neste projeto, com o intuito de orientar o leitor a respeito do caminho trilhado para chegar às conclusões obtidas. Portanto, a lista de componentes mecânicos a ser dimensionada é mostrada abaixo na tabela 13 (Fonte: Autores).

Tabela 13 – Componentes mecânicos mais utilizados em VANTs.

ID	Componente	Funcionalidade
01	Trem de pouso	Sistema de pouso do veículo
02	Suporte acoplador das hélices	Encaixe e manobrabilidade das hélices
03	Hélices	Sistema de decolagem e pouso
04	Tanque de defensivo	armazenamento do defensivo agrícola
05	Central eletrônica	Armazenamento
06	Suporte para motor	Armazenamento
07	Bancada de bico	Pulverização
08	Suporte de bancada	Pulverização

A escolha dos materiais para cada componente leva em conta uma matriz de decisão baseada em 4 fatores principais, sendo eles o peso, custo de implementação, tensão suportada pelo material e facilidade de manutenção para o cliente. Através destes fatores, foram realizadas ponderações a respeito dos requisitos do veículo e uma pesquisa a respeito dos materiais existentes que possam suprir tais demandas. Antes de apresentar os materiais escolhidos para o projeto, é necessário primeiramente levantar as ponderações realizadas que levaram a escolha dos materiais.

5.1.1 Ponderações sobre a necessidade de cada componente

- **Trem de pouso:** é uma das estruturas mais solicitadas do veículo. Por estar relacionada ao sistema de pouso e decolagem, sofre ações de cargas dinâmicas de impacto, e seu mal funcionamento pode causar falha catastrófica no pouso do VANT. Sendo assim, ela deve suportar os impactos mecânicos decorrentes do pouso do veículo, que podem ser bastante intensos por conta da inexperiência do operador do veículo. Essas tensões devem ser absorvidas e distribuídas ao longo de todo o VANT. A estrutura deve ainda ser leve, dado

a restrição de peso máxima estabelecida para o projeto e visto ela que ocupa boa parte externa do veículo.

- **Suporte acoplador das hélices:** o suporte acoplador de hélices é onde o conjunto hélice e motor brushless será acoplado. É a estrutura mais solicitada durante todo o processo de operação do VANT, visto que está ligada diretamente com o voo do veículo e ainda sofre a ação das vibrações ocasionadas pelas hélices. Por conta disso, deve possuir alta resistência contra vibrações e demais cargas dinâmicas, além de necessitar ser extremamente leve, visto que é a maior parte da estrutura externa do veículo.

- **Hélices:** as hélices atuarão e conjunto com os suportes acopladores, sendo responsáveis por suportar altas rotações dos motores brushless e transmitir toda a potência para a estrutura, ocasionando assim a decolagem. Estarão durante toda a operação do veículo em constante movimento, e portanto sofrerão ações de vibrações e cargas dinâmicas, além dos carregamentos provenientes do escoamento do ar. Sendo assim, além do alto grau de resistência que esse componente deve possuir, também deve ser extremamente leve, visto que em aeronaves V-STOL, o diâmetro destes componentes é comumente de dimensões bem grandes para compensar a dificuldade de se conseguir uma baixa razão peso/potência.

- **Tanque de defensivos:** o tanque irá comportar todo o volume de defensivos, além de ser acoplado uma bomba em sua saída para facilitar o fluxo do pulverizante. Deve ser uma estrutura inodora e que não reaja com o líquido colocado em seu interior, além de possuir uma boa vida útil.

- **Compartimento de componentes elétricos:** Este componente representa a parte externa do veículo e irá armazenar todos os componentes e sistemas internos necessários para seu funcionamento. Por conta disso, deve possuir boa resistência contra a umidade do ar, ser um bom isolante térmico para não transmitir corrente elétrica para os componentes internos, e analogamente aos demais componentes, também ser leve e resistente.

5.1.2 Materiais escolhidos: Epóxi/fibra de carbono e Polipropileno

Feito todas ponderações a respeito dos componentes mecânicos, é necessário levar em consideração as necessidades de cada componente e também os critérios da matriz de decisão citados anteriormente, sendo eles o peso, custo, tensão suportada e facilidade de manutenção. Dentre estes critérios, peso e tensão suportada são os requisitos que garantem a funcionalidade do projeto, e portanto são os mais fundamentais. Tendo isso em mente, adotou-se como material o compósito Epóxi reforçado com Fibra de Carbono para todos os componentes externos, com exceção do tanque de defensivos que será confeccionado de polipropileno.

Esse material é composto de uma resina Epóxi, e seu reforço consiste na utilização de fibras longas de Carbono. Sua melhor capacidade de suportar altas cargas de impacto

e seu baixo peso, além de resistência à fadiga e tolerância ao desgaste são algumas das grandes vantagens deste tipo de material. As propriedades mecânicas dos compósitos são influenciadas pelas propriedades dos materiais constituintes, sua fração volumétrica e a interação entre eles. Para o projeto do VANT, optou-se por se utilizar fibras longas e contínuas como reforço do Epóxi, visto que de acordo com (KAW, 2006), as fibras longas e contínuas são fáceis de orientar e processar, mas fibras curtas não podem ser totalmente controladas para uma orientação adequada. Como pontos negativos de sua utilização, tem-se o custo maior na implementação das fibras longas, mas que é compensando pela matriz de resina epóxi baixo custo e fácil manuseio.

5.1.2.1 Resina epóxi

O autor (MALLICK, 2007) cita em sua obra algumas funções fundamentais relacionadas ao papel da matriz de resina epóxi, dentre eles manter as fibras no lugar, transferir tensões entre as fibras, proporcionar uma barreira contra um ambiente adverso, como produtos químicos e umidade, para proteger a superfície das fibras de degradação mecânica. A matriz desempenha um papel menor na capacidade de carga em uma estrutura compósita, porém a seleção de uma matriz tem uma grande influência no cisalhamento compressivo, interlaminar, bem como nas propriedades de cisalhamento no plano do material compósito. A interação entre fibras e matriz também é importante no desenvolvimento de estruturas tolerantes a danos.

5.1.2.2 Fibra de carbono

No que tange a orientação das fibras, tem-se que intercalar as fibras em diferentes orientações confere aumento da rigidez e força ao longo dessas direções. Na disposição da forma, a mais comum das fibras é a circular, pois é de fácil manuseio e fabricação. Hexágono e quadril são possíveis, mas suas vantagens de força e fatores de flambagem elevados não superam a dificuldade em manipulá-la e processá-la, pois o material influencia diretamente a mecânica do desempenho de um compósito, e por isso foram descartadas na fabricação dos tubos a serem usados no VANT.

As propriedades dos materiais escolhidos podem ser observadas abaixo na tabela 45 (PLASTECNO, 2020), (DATA, 2020)

Tabela 14 – Propriedades mecânicas e térmicas dos materiais escolhidos para o projeto

Propriedades	Epoxy/Carbon fiber	Polipropileno
Densidade (g/cm^3)	1,6	0,890
Tensão de resistência a tração (MPa)	1010	27
Tensão de resistência a compressão (MPa)	686	40
Coef. Poisson	0,2	—
Módulo de elasticidade (GPa)	100	0,9
Resistividade elétrica (Ohm-m)	1×10^{10}	—
Condutividade térmica (W/m K)	78,8	0,25
Preço médio ($$/kg$)	80 a 150	120

5.2 Projeto e dimensionamento dos componentes mecânicos

Esta seção destina-se a apresentação dos cálculos que levam ao dimensionamento dos componentes mecânicos listados na tabela 13.

5.2.1 Dimensionamento das hélices

O dimensionamento das hélices está diretamente condicionado com o dimensionamento dos motores brushless apresentado na solução do núcleo de elétrica. Hélices muito pequenas para motores muito potentes podem ocasionar falhas catastróficas durante a operação do veículo, e, da mesma forma, hélices muito grandes para motores com baixa potência podem ocasionar falhas bastante graves e até mesmo a não decolagem do veículo. Para evitar discordância entre os motores e as hélices, optou-se por utilizar um modelo de hélice sugerido pelo próprio fabricante dos motores brushless. Antes de apresentar o modelo, é necessário primeiramente discorrer sobre os fatores que levaram a escolha do modelo.

De acordo com (JAVIR et al., 2015) e (SILVA, 2018a), com exceção de impac-

tos violentos ou manobras muito aerodinâmicas, o esforço máximo exigido dos motores ocorre durante a decolagem vertical do veículo. Para uma decolagem minimamente dentro dos limites de segurança, a força de sustentação da aeronave deve ser equivalente a no mínimo duas vezes o peso do veículo. Sendo assim, para uma estrutura com massa total de 23,6 kg será necessário uma força de sustentação de 463,032 N durante a decolagem, ou seja, um empuxo de 11,8kg para cada par de hélice+motor. Diante desse requisito, foi analisado o desempenho de sustentação do conjunto hélice+motor para vários modelos de hélices sugeridos pelo fabricante do motor, onde tais modelos podem ser encontrados em <https://www.xoarintl.com/multicopter-propellers/precision-pair/PJP-T-L-Precision-Pair-Multicopter-Carbon-Fiber-Propeller-Low-Kv-Motor/des>. Para tal requisito de empuxo, foi configurada uma rotina computacional em linguagem matlab capaz de interpolar as informações dos modelos de hélices disponíveis e escolher o modelo mais adequado, adotando simultaneamente ao critério de empuxo, o critério de menor consumo de corrente. Tal rotina computacional é mostrada nos anexos deste trabalho. O resultado da rotina computacional apontou para o modelo de hélice com diâmetro de 30"(0,782 m), onde para esse modelo, os dados técnicos de desempenho do conjunto hélice+motor fornecidos pelo fabricante podem ser observadas abaixo na figura 28 (PJP-T-L, 2021). É importante ressaltar que serão utilizados 4 pares do modelo de hélice escolhido.

RPM	Net Thrust (g)	Thrust (g)	Torque (N.M)	Motor Voltage (V)	Motor Current (A)	Input(W)	Output (W)	Efficiency	Input (g/W)	Output (g/W)
1514	-19.02	1940.80	0.72	50	3	150	114.1	0.76	12.94	17
1733	-25.17	2568.40	0.85	50	4.3	215	154.2	0.72	11.95	16.65
1920	-30.82	3144.90	1.07	50	5.6	280	215.1	0.77	11.23	14.62
2133	-38	3877.60	1.31	50	7.5	375	292.6	0.78	10.34	13.25
2323	-45.39	4631.60	1.59	50	9.5	475	386.8	0.81	9.75	11.98
2518	-53.52	5461.20	1.85	50	11.8	590	487.8	0.83	9.26	11.2
2746	-63.65	6494.90	2.24	50	15.1	755	644.1	0.85	8.6	10.08
2907	-71.94	7340.80	2.53	50	17.9	895	770.1	0.86	8.2	9.53
3130	-83.06	8475.50	2.86	50	22.3	1115	937.4	0.84	7.6	9.04
3215	-88.15	8994.90	3	50	24.1	1205	1009.9	0.84	7.46	8.91
3302	-92.95	9484.70	3.19	50	26.2	1310	1103	0.84	7.24	8.6
3431	-100.34	10238.80	3.45	50	29.3	1465	1239.5	0.85	6.99	8.26
3515	-107	10918.40	3.65	50	31.9	1595	1343.4	0.84	6.85	8.13
3615	-113.51	11582.70	3.82	50	34.7	1735	1446	0.83	6.68	8.01
3720	-120.85	12331.60	4.06	50	38.1	1905	1581.5	0.83	6.47	7.8

Figura 28 – Dados técnicos de desempenho do conjunto hélice e motor fornecidos pelo fabricante do motor.

Portanto, como escolha de hélice, adotou-se o modelo Xoar PJP-T-L 30x10, com 30 polegadas de diâmetro (0,782 m) e 10 polegadas (0,254 m) de passo.

5.2.2 Projeto e dimensionamento dos suportes acopladores do conjunto hélice e motor brushless

O dimensionamento dos suportes acopladores do conjunto hélice e motor brushless foi efetuado tendo como base a realização de análises dinâmicas neste componente estrutural, visto que as estruturas aeronáuticas como os VANTs sofrem constantemente ação de cargas dinâmicas durante sua operação. Efetuar análises dinâmicas complexas e o mais fidedigno possível com modelos reais consome enorme custo computacional, dado o poder de processamento requisitado para a resolução destes problemas. Além disso, também é requisitado um forte embasamento teórico bem superior ao abordado na disciplina, fugindo portanto do escopo de projeto integrador 2. Sendo assim, tais análises dinâmicas foram conduzidas com o auxílio do pacote computacional Ansys para dimensionamento deste componente, adotando-se o critério de falha de Mohr-Coulomb para garantir a estabilidade e segurança da estrutura. Antes disso, é calculado o comprimento de cada suporte acoplador através de relações trigonométricas simples.

5.2.2.1 Comprimento dos suportes acopladores

Uma vez definido o diâmetro das hélices, pode-se determinar o comprimento dos suportes acopladores através de uma idealização estrutural e de relações trigonométricas. Na idealização, os quatro braços são acoplados em formato cruzado, se interligando em um único ponto, onde os quatro ângulos formados são de 45° . A distância mínima entre as extremidades das pás foi adotada como sendo 5 cm visando diminuir ao máximo o tamanho dos suportes acopladores. O desenho esquemático utilizado nos cálculos pode ser visto abaixo na figura 29 (Fonte: Autores).

Na figura, as linhas tracejadas indicam os eixos de simetria da estrutura, enquanto que o valor L é o comprimento dos suportes acopladores a ser estimado. O cálculo de L pode ser observado abaixo na equação (5.1)

$$\frac{0,406m}{L} = \sin 45^\circ \rightarrow L = \frac{0,406m}{\sin 45^\circ} \approx 0,5742m \quad (5.1)$$

Portanto, o comprimento de cada suporte acoplador de hélice e motor terá um comprimento de 0,5742 m, e, uma vez que a estrutura apresenta design simétrico, tem-se que os comprimentos AB, BD, CD e AC serão todos iguais.

5.2.2.2 Análise dinâmica no Ansys: cálculo de tensões atuantes

Na análise dinâmica de estruturas, as tensões variam não somente de acordo com o material e seção transversal escolhida, mas também variam de acordo com as condições de contorno e cargas atuantes na estrutura. Portanto, antes de se conduzir as análises computacionais, é necessário estabelecer todos os parâmetros que guiarão os resultados a

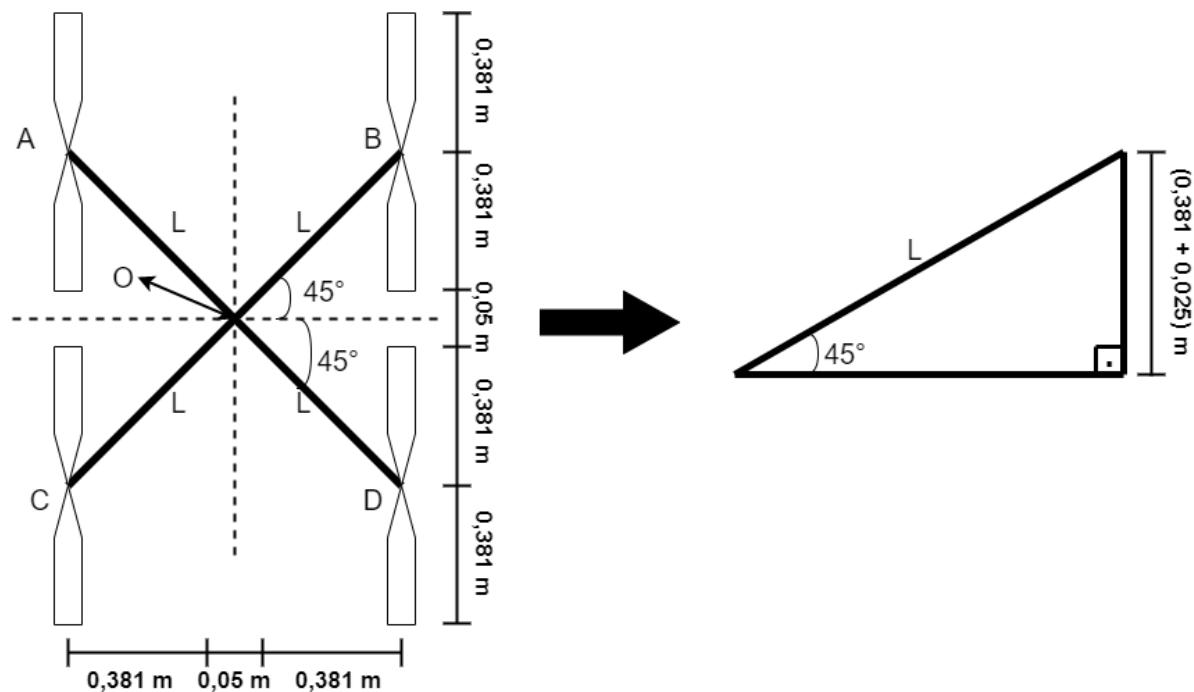


Figura 29 – Esquemático utilizado para cálculo do comprimento dos suportes acopladores

serem computados. Dado o comprimento do suporte como $L = 0,5742\text{ m}$, foram adotados 4 perfis de seção transversal para a análise de tensões atuantes. Como critério de escolha para o melhor perfil de seção, adotou-se os critérios de tensão e deformação suportada. A tabela 15 (Fonte: Autores) ilustra as seções transversais consideradas e que serão avaliadas no projeto, enquanto que a figura 30 (Fonte: Autores) ilustra o Diagrama de Corpo Livre desse componente estrutural, onde é importante ressaltar esse diagrama foi tomado com base na condição de carregamento mais crítica, sendo esta a decolagem do veículo conforme discutido na subseção 5.2.1.

Tabela 15 – Seções transversais consideradas para o suporte acoplador

Seção transversal	Diâmetro externo (m)	Diâmetro interno (m)
S1	0,050	0,045
S2	0,040	0,035
S3	0,035	0,030
S4	0,030	0,025

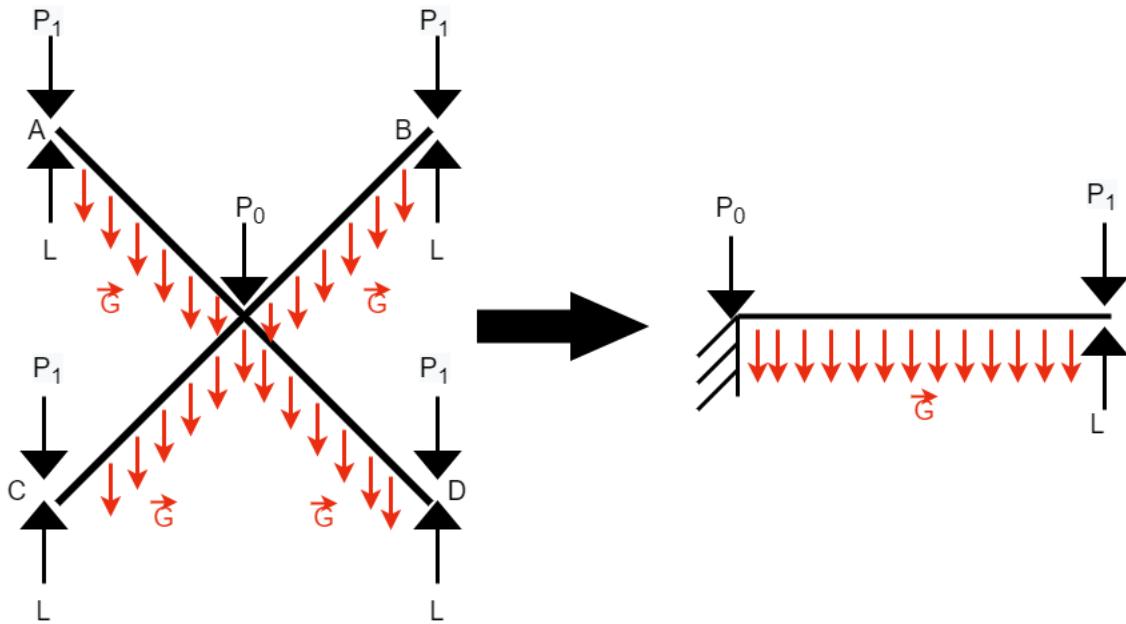


Figura 30 – Diagrama de Corpo Livre para os suportes acopladores considerando a condição de decolagem do VANT

Algumas considerações devem ser efetuadas em relação aos parâmetros mostrados na figura 30. A carga P_1 refere-se ao peso do conjunto motor e hélice, onde esse peso atua diretamente nos pontos A, B, C e D conforme mostrado na figura. Por sua vez, \vec{G} refere-se ao campo gravitacional responsável por fazer com que o peso dos suportes acopladores seja distribuído ao longo do seu comprimento. L é a contribuição de cada motor referente a força de sustentação necessária para decolagem do VANT e, por fim, tem-se que P_0 representa o peso total do VANT subtraído dos pesos já considerados, ou seja, $P_0 = PesoTotal - 4P1 - 4PesoSA$, onde PesoSA é o peso dos suportes acopladores.

Através do DCL mostrado na figura 30, foi possível realizar simulações transientes no ambiente Ls-Dyna do Ansys para verificação das tensões atuantes nos suportes acopladores, levando em consideração todas seções transversais da tabela 15. Visto que o material escolhido para modelagem deste componente apresenta um comportamento de material frágil, adotou-se como critério de segurança e estabilidade estrutural o critério de Mohr-Coulomb. Neste critério de falha, as tensões máxima (σ_{max}) e mínima (σ_{min}) são levadas em consideração para análise da resistência estrutural. O critério utiliza um fator de segurança FS para determinar se ocorrerá ou não falha na estrutura para o diagrama de carregamento em questão. O equacionamento de FS e o critério para segurança da estrutura pode ser observado abaixo na equação 5.2, onde $S_{tensilelimit}$ é o limite de resistência a tração do material e $S_{compressivelimit}$ é o limite de resistência a compressão, ambos mostrados na tabela 45.

$$FS = \frac{\sigma_{max}}{S_{tensilelimit}} + \frac{\sigma_{min}}{S_{compressivelimit}} \leq 1 \quad (5.2)$$

Para os dados apresentados na figura 30, tem-se que $P_0 = 191,73N$, $L - P_1 = F = (11,8kg - 0,671kg) \times 9,81m/s^2 = 109,18N$. As simulações foram então realizadas utilizando estes valores como cargas dinâmicas aplicadas. Para as simulações, adotou-se um tempo de atuação de carga de 0,1 s, considerando que na decolagem, a carga que atua nos suportes acopladores da hélice e motor agem nestes componentes em um curto intervalo de tempo, se assemelhando a uma carga de impacto. Na figura 31 (Fonte: Autores), é possível observar a malha utilizada nas simulações de elementos finitos, enquanto que as figuras 32, 33, 34 e 35 (Fonte: Autores) mostram os resultados de tensões e deslocamentos para os suportes acopladores considerando as seções S1, S2, S3 e S4 da tabela 15, onde as imagens podem ser vistas com melhor resolução [Clicando aqui](#).

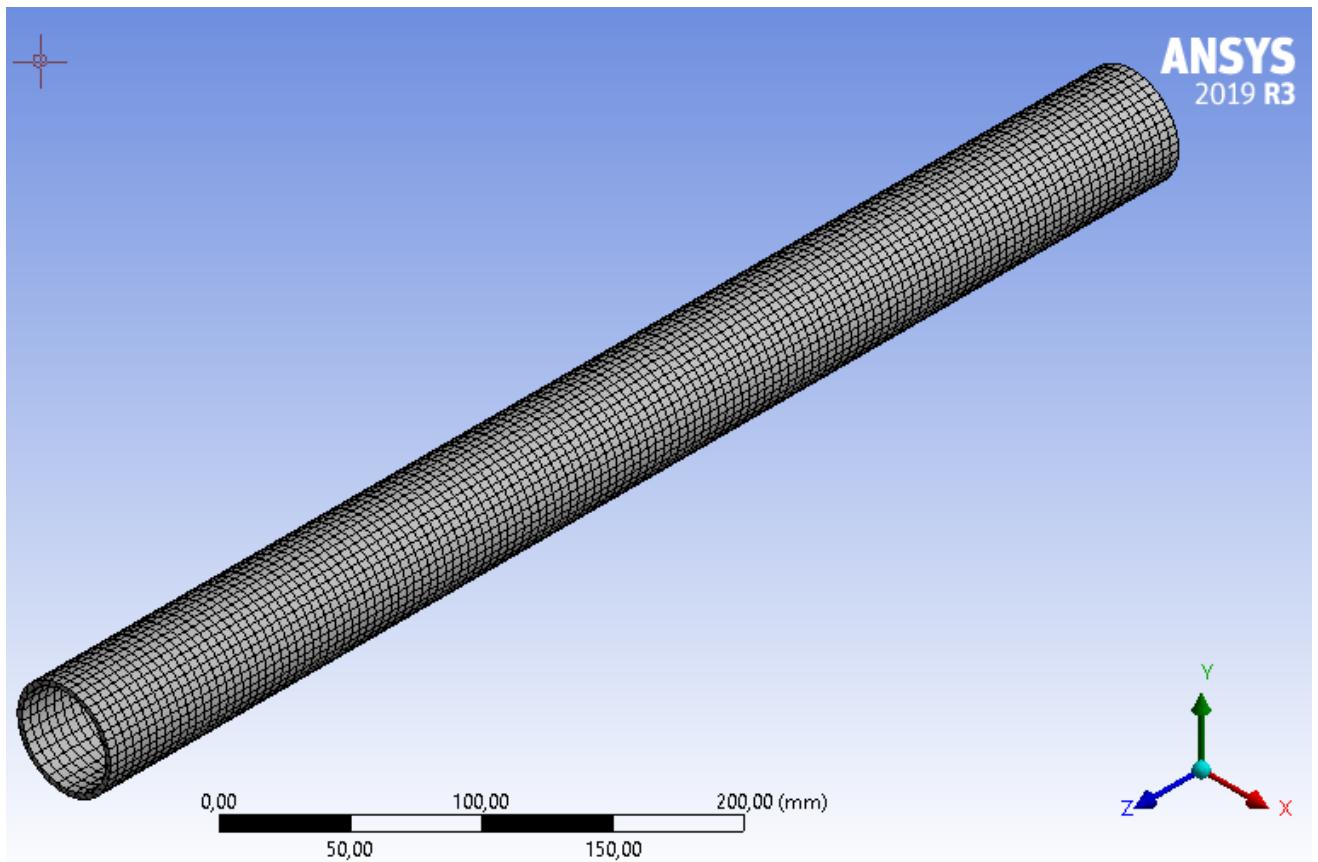


Figura 31 – Malha utilizada nas simulações computacionais realizadas no Ansys

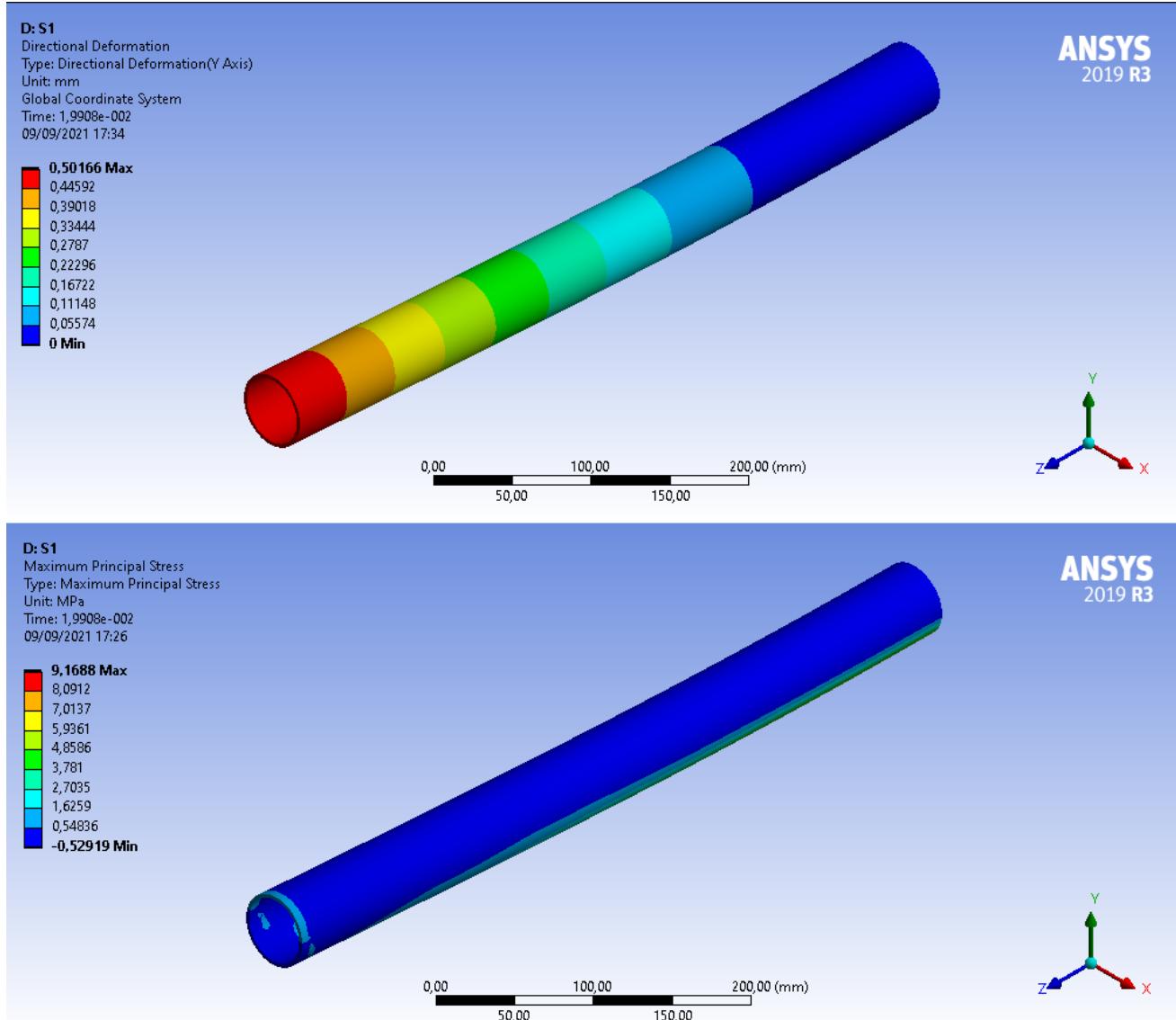


Figura 32 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S1

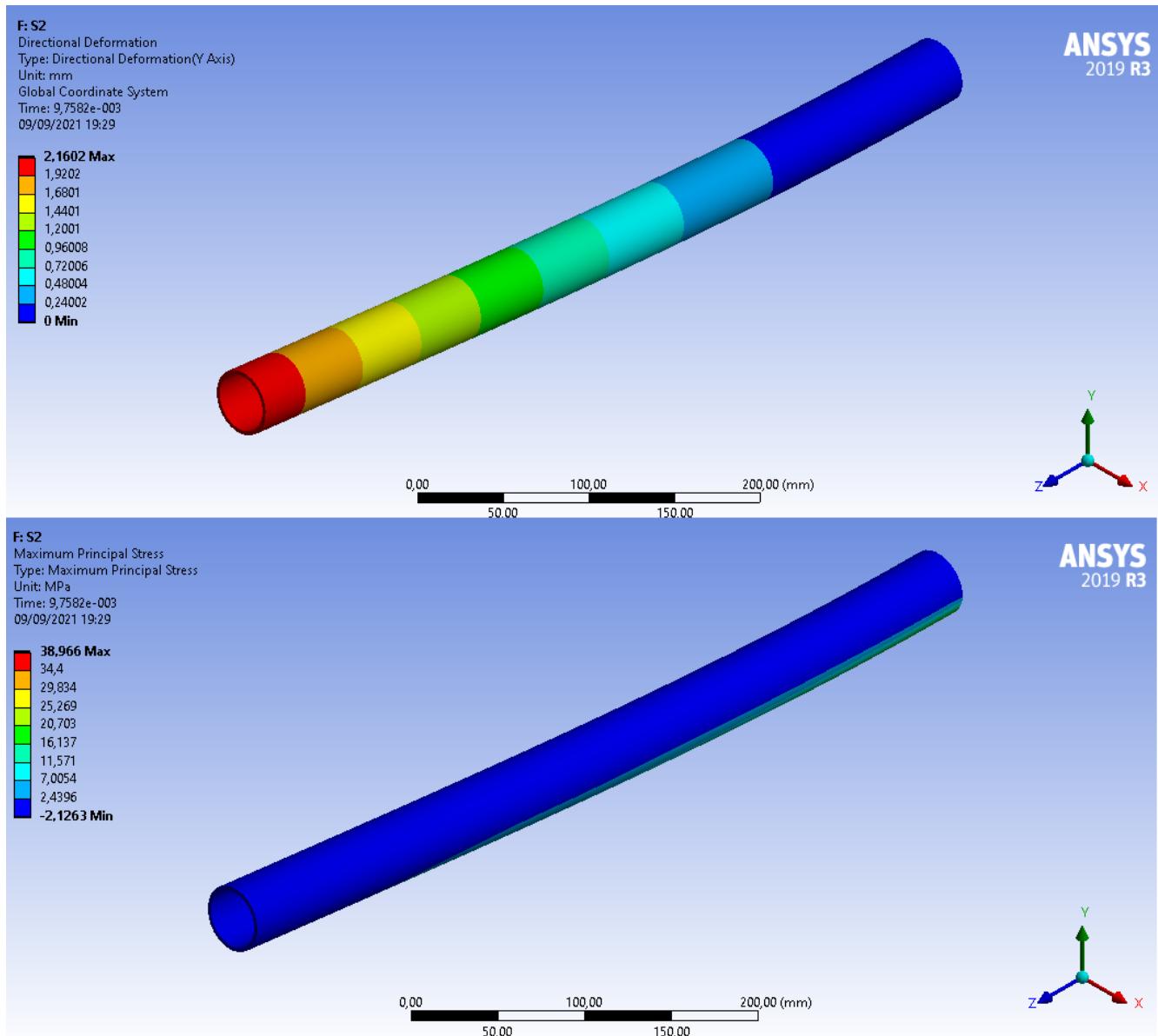


Figura 33 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S2

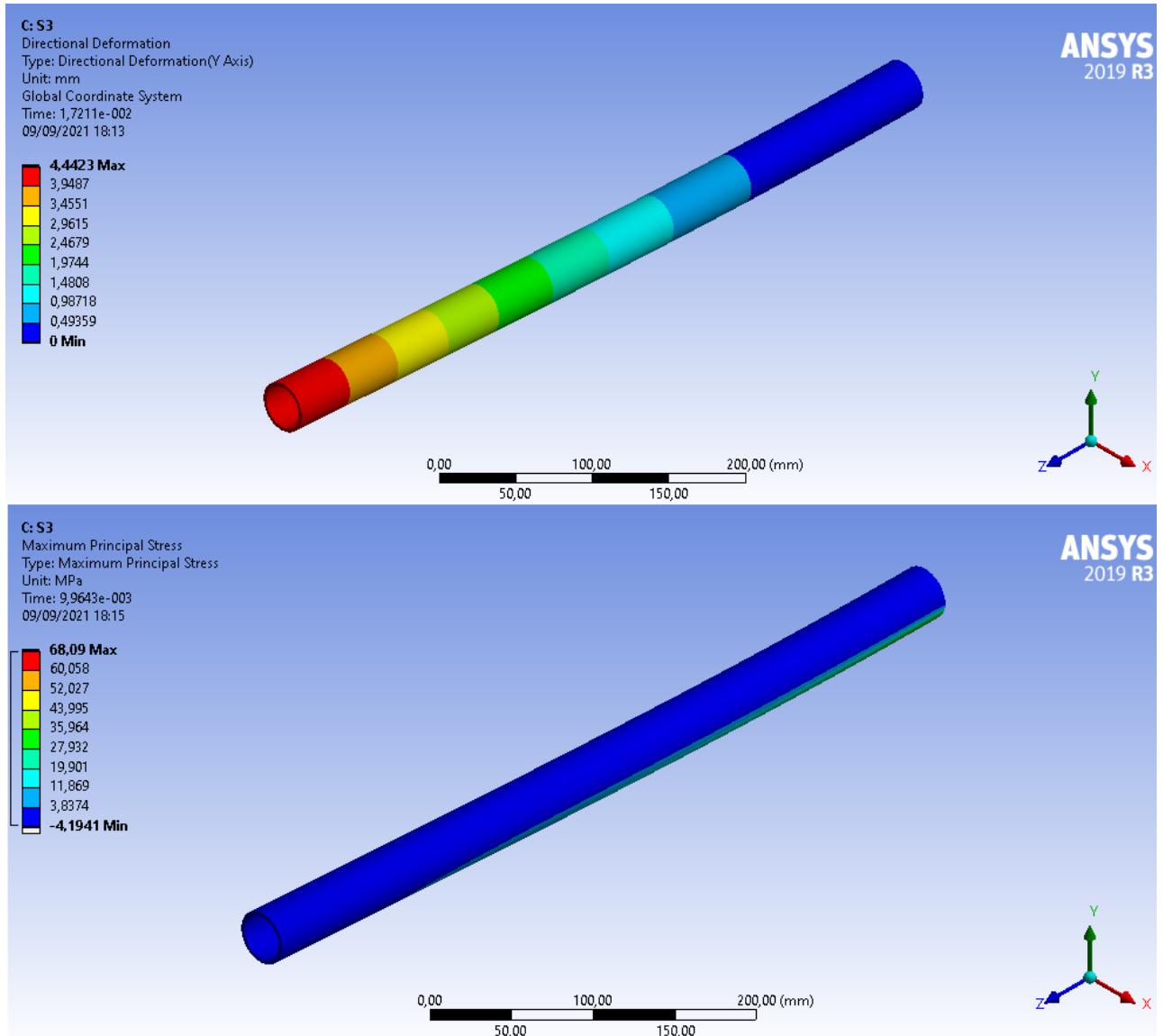


Figura 34 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S3

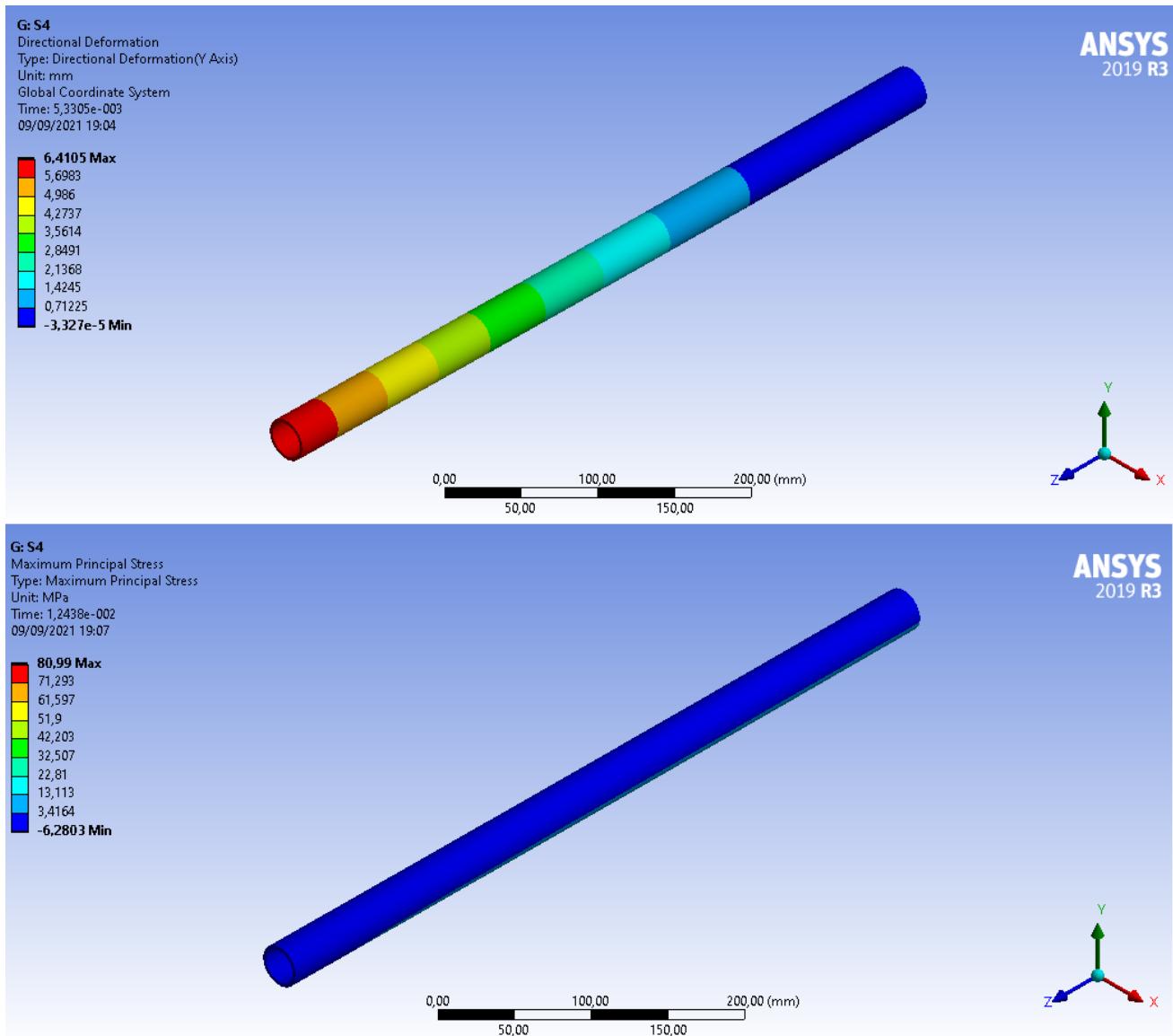


Figura 35 – Resultados de deslocamento e tensão para a seção S4

Observa-se que a diminuição das medida da seção transversal faz com que as tensões atuantes no suporte acoplador aumentem, onde o mesmo ocorre com os valores de deslocamento. Os resultados das simulações podem ser contemplados na tabela 16 (Fonte: Autores), onde também se encontram os valores dos fatores de segurança de acordo com o critério de Mohr-Coulomb.

Tabela 16 – Resultados das simulações computacionais realizadas no Ansys

Seção	Deslocamento transversal (m)	Tensão máxima (MPa)	Tensão mínima (MPa)	FS
S1	5,0166E-4	9,1688	-0,5292	0,0083
S2	2,1602E-3	38,9660	-2,1262	0,3548
S3	4,4423E-3	68,0900	-4,1941	0,0613
S4	6,4105E-3	80,9900	-6,2803	0,0710

Pela análise da tabela 16 observou-se que a seção transversal S1 foi a que resultou nos menores valores de deslocamento e tensões atuantes no suporte acoplador. Sendo assim, optou-se por projetar a estrutura com esta seção transversal. O cálculo da massa desse componente é feito pelo produto da sua densidade pelo seu volume, onde a densidade pode ser encontrada na tabela 45. Abaixo, a equação 5.3 apresenta o cálculo da massa para um único suporte acoplador.

$$m = (A \times L) \times \rho = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \times L \times \rho \quad (5.3)$$

$$= \frac{\pi}{4}(0,05^2 - 0,045^2) \times 0,5742m \times 1600kg/m^3 \approx 0,343kg$$

5.2.2.3 Análise estática do suporte acoplador do conjunto hélice e motor

Durante a operação de pulverização do VANT, o veículo estará sujeito a condição de "hover", onde a estrutura irá pairar no ar. Nessa condição, forças estáticas atuam na estrutura conforme o DCL mostrado na figura 30, onde os suportes estão sujeitos a um estado de flexão simétrica devido a força de sustentação (ANDERSON, 2015). Diante disso, a análise estática dos suportes acopladores é de extrema importância, visando prevenir que os suportes acopladores sofram deformação e falhem em pleno voo. Portanto, nesta seção, será feita a análise estática para determinação de tensões que atuam nos suportes acopladores.

Para simplificar a análise, apenas um único suporte acoplador será analisado, aproximando tal estrutura como sendo uma viga engastada com extremidade livre. A análise estática será conduzida considerando que o VANT realize a decolagem e logo em seguida já realize o hover, estando portanto com seu peso máximo, onde atuam os maiores valores de tensões. A seção transversal da viga será a S1 da tabela 15, e os valores das cargas mostradas na figura 30 serão $P_0 = 191,73N$ e $L - P_1 = 109,18N$.

Para a análise de tensões normais, o suporte acoplador é cortado em uma seção arbitrária, e a partir das equações de equilíbrio mostradas em 5.4, é traçado o gráfico de momento fletor, conforme a figura 36 (Fonte: Autores).

$$\sum F_x = 0 \quad (5.4)$$

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_z = 0$$

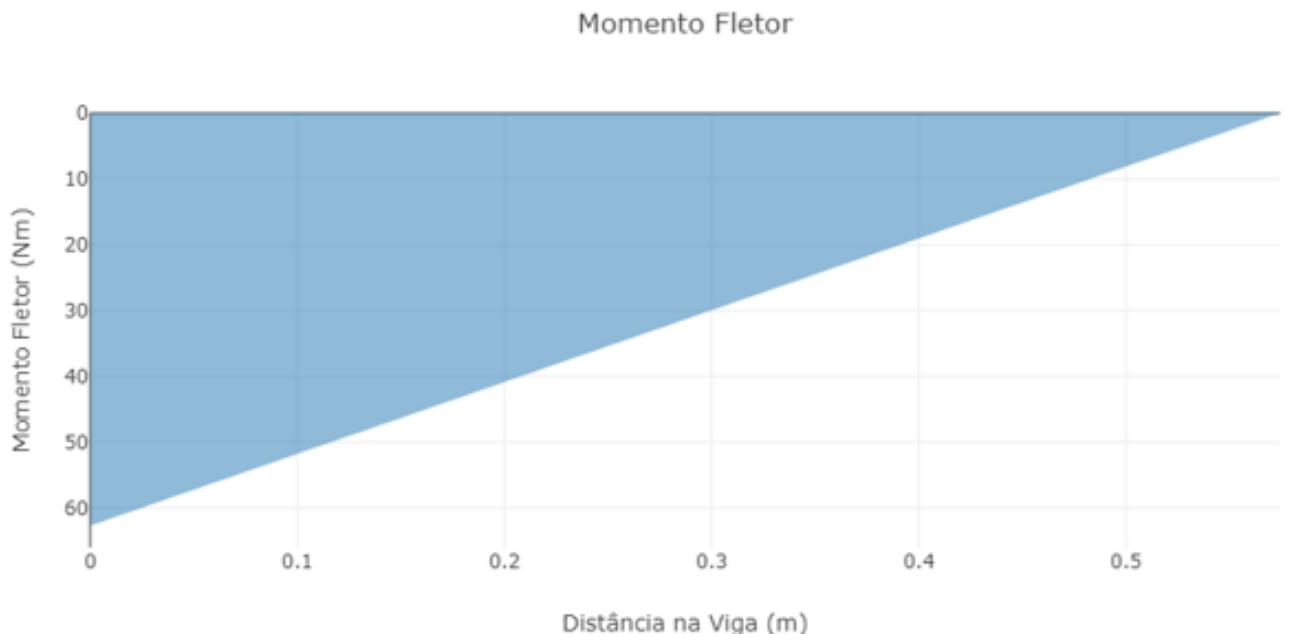


Figura 36 – Diagrama de momento fletor para o suporte acoplador em hover

Conhecendo o máximo momento que atua no suporte acoplador, pode-se calcular a tensão de flexão ocasionada neste componente através da equação 5.5 abaixo, onde $y = 0,025$ m (raio externo da seção S1), $M = 62,6886\text{Nm}$ e $I = \frac{\pi(0,05^4 - 0,045^4)}{64}$.

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{64My}{\pi(0,05^4 - 0,045^4)} = 14,854\text{MPa} \quad (5.5)$$

Para confirmar os resultados analíticos, uma análise estática foi realizada no pacote Ansys, obtendo 16,462 MPa como valor de tensão normal. Os resultados desta análise podem ser observados abaixo na figura 37 (Fonte: Autores).

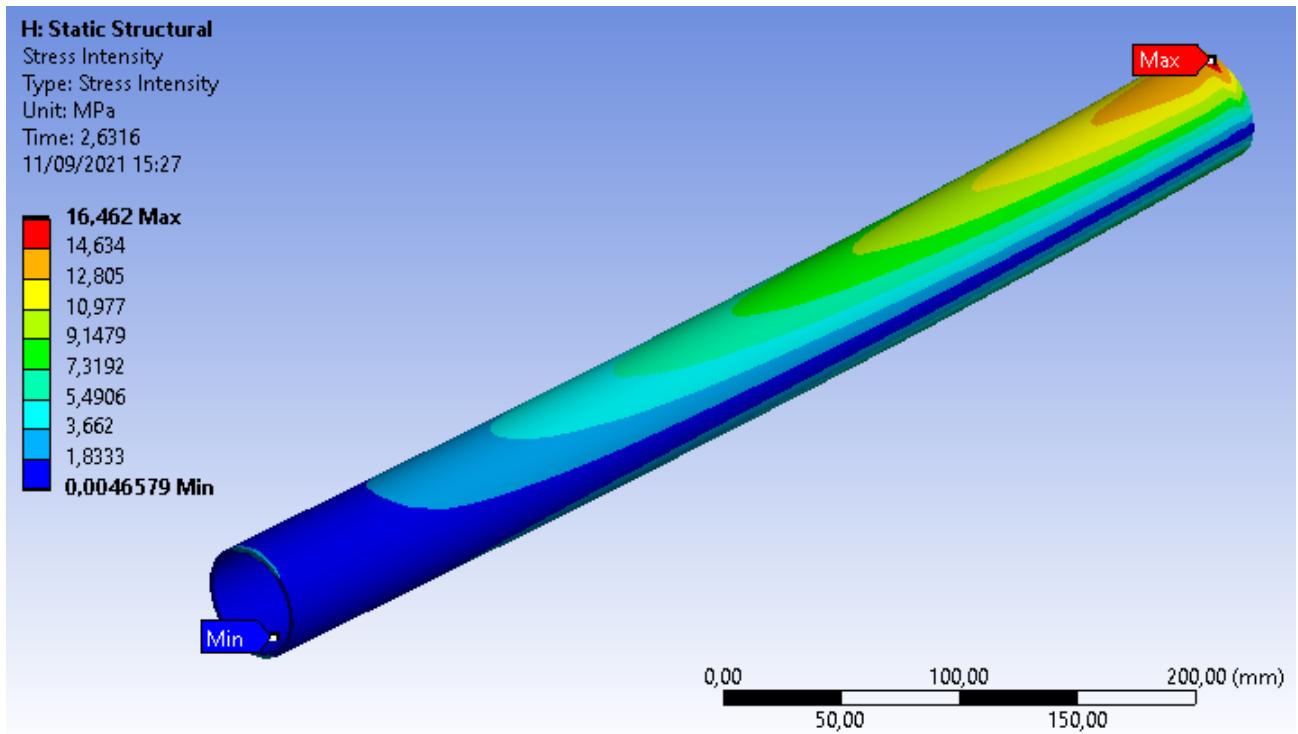


Figura 37 – Resultados da análise estática efetuada no Ansys para o suporte acoplador

Comparando os resultados analíticos e numéricos desta análise, tem-se que a simulação do Ansys apresentou um erro próximo de 10,83% em comparação com o analítico, e isso já era esperado, dado que a análise não pode ser efetuada em um computador muito potente. Apesar disso, Conclui-se que os resultados foram bem concordantes com o que se esperava, dando um bom direcionamento a respeito do valor da tensão normal. Análises para tensões de cisalhamento foram desconsideradas, visto que para a condição de voo estipulada, tais tensões podem ser desprezadas (ANDERSON, 2010).

5.3 Projeto e dimensionamento do tanque de defensivos e trem de pouso

Para dimensionamento do trem de pouso, é necessário primeiramente dimensionar o tanque de defensivos, visto que serão suas dimensões que irão guiar a modelagem do trem de pouso. Sendo assim, estes componentes foram modelados em conjunto, onde agora, será apresentado a proposta de tal dimensionamento.

Para o tanque de defensivos, a proposta é dimensionar um tanque de polipropileno com capacidade próxima a 10L e formato complexo, onde esse formato vai atuar na concentração do defensivo agrícola em uma área menor, e assim auxiliando na melhor eficiência de captação do mesmo pela bomba, além de tornar o tanque mecanicamente mais resistente. O bocal do tanque tem um diâmetro amplo, assim facilitando ao usuário

ao introduzir o defensivo ao tanque e contará com tampa rosqueada para vedar e impedir que o defensivo derrame durante operação.

O tanque dispõe de seis pontos de fixação em sua parte superior através de inserto com rosca próprio para termoplásticos, conforme observado na figura 38 (Fonte: Autores). Esse inserto será responsável por fixar o tanque à central de controle e mais 1 em cada extremidade que auxiliará para fixar a cada “braço” do trem de pouso.



Figura 38 – Inserto utilizado para fixação do tanque de defensivos.

Como proposta de dimensionamento para o trem de pouso, as dimensões foram tomadas com o intuito de estabelecer uma altura segura para o tanque de defensivos em relação ao solo para o caso de ocorrer poucos desestabilizados que chocariam o tanque contra o solo. Assim, dimensionou-se duas bases para fixar o trem de pouso ao tanque, sendo uma delas fixa ao tanque. Assim, essas bases “abraçam” o “braço” do trem de pouso, fixando - o com parafuso passante e arruelas.

A figura 39 (Fonte: Autores) ilustra o trem de pouso dimensionado com os bicos nebulizadores e tanque de defensivos também dimensionado, onde os desenhos técnicos e cotagens serão apresentados em detalhes no Apêndice F.

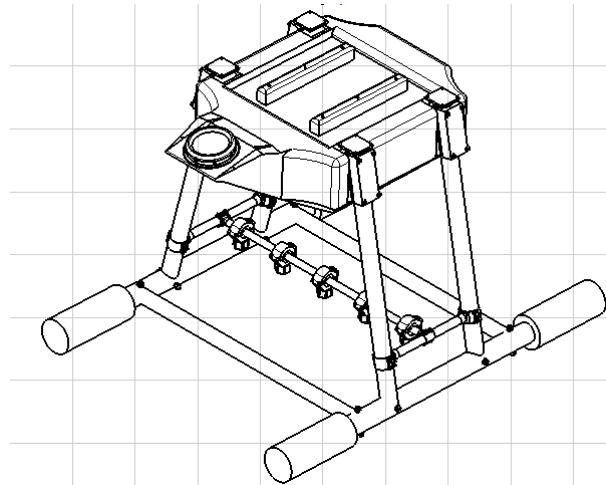


Figura 39 – Tanque de defensivos e trem de pouso dimensionados para o projeto

5.4 Estimativa de peso

Após a definição dos materiais e dimensionamento dos principais componentes, é necessário realizar um levantamento mais completo acerca do peso da estrutura, já considerando os componentes elétricos inseridos. Esse levantamento detalhado é primordial para as análises posteriores, visto que as tensões atuantes na estrutura e o desempenho aerodinâmico estão atrelados a este parâmetro. O detalhamento do peso pode ser visto abaixo na tabela 17 (Fonte: Autores)

Tabela 17 – Estimativa de peso do veículo.

ID	Componente	Peso unitário (g)	Qt.	Peso total (g)
1	Sensor de colisão	190	1	190
2	Raspberry	45	1	45
3	Placa Controladora de voo	91	1	91
4	Módulo de tensão	16	1	16
5	ESC	90	4	360
6	Módulo de voo	90	1	90
7	Câmera	55	1	55
8	Compartimento de componentes elétricos	3061	1	3061
9	Sensor de fluxo	50	1	50

ID	Componente	Peso unitário (g)	Qt.	Peso total (g)
10	Bomba	50	1	50
11	Bicos nebulizadores	2,5	4	10
12	Sensor de velocidade	17	1	17
13	Sensor temperatura e umidade	25	1	25
14	Bateria	2630	2	5260
15	Trem de pouso	43	1	43
16	Suporte acoplador hélice+motor	343	4	1372
17	Motor brushless	556	4	2224
18	Tanque de defensivos	895	1	895
19	Hélice	115	4	460
Peso (vazio)	—	—	—	14313
Peso (cheio):	—	—	—	23600

5.5 Desempenho Aerodinâmico

Para entender o funcionamento de vôo de um VANT, é necessário realizar e entender uma série de cálculos acerca da sua aerodinâmica. Atrelado a esses cálculos, Simulações realizadas no pacote computacional Ansys dão maior credibilidade ao desenvolvimento analítico que será aqui apresentado. Dentre as importantes características de vôo horizontal que devem ser analisadas, destacam-se a curva polar de arrasto, além as curvas de tração e potência requerida, velocidades de máximo alcance, máxima autonomia, e características de velocidade, dentre entre outras. Visando dar maior credibilidade aos cálculos aqui realizados, é importante ressaltar que todas as equações aqui utilizadas foram retiradas das obras dos autores ([ANDERSON, 2015](#)) e ([ANDERSON, 2010](#)).

5.5.1 Polar de arrasto

A polar de arrasto é uma relação entre a força de sustentação e a força de arrasto da aeronave, onde a mesma permite obter informações para o cálculo de outros parâmetros. A equação da polar de arrasto pode ser obtida por meio da força de arrasto total gerada na aeronave. Na forma de coeficientes aerodinâmicos, o arrasto total (C_d) é calculado pela soma dos coeficientes de arrasto parasita (C_{D0}), arrasto de onda (C_{DW}) e o arrasto

devido a geração de sustentação (C_{D_i}), conforme mostrado na equação 5.6 abaixo.

$$C_d = C_{D0} + C_{DW} + C_{Di} \quad (5.6)$$

Tendo em mente que a velocidade de operação do VANT é próxima de 10 m/s, o voo é subsônico, e consequentemente $C_{DW} = 0$. Para determinação dos coeficientes C_{D_i} e C_{D0} , tem-se as equações 5.7 e 5.8 mostradas abaixo, onde ε_0 é o fator de eficiência de Oswald ($0,6 < \varepsilon_0 > 0,9$), S_{wet} é a área molhada da aeronave e C_f é o coeficiente de atrito equivalente.

$$C_{Di} = \frac{(C_L)^2}{\pi \varepsilon_0 AR} \quad (5.7)$$

$$C_{D0} = \frac{S_{wet}}{S} C_f \quad (5.8)$$

Para a equação 5.7 adotou-se os valores $\varepsilon_0 = 0,75$ e $AR \approx 7,5$, enquanto que para a equação 5.8, os valores adotados foram $\frac{S_{wet}}{S} = 3,0$ e $C_f = 0,0055$. Calcula-se então os valores de C_{D0} e C_{Di} , e substituindo estes valores na equação 5.6 tem-se como resultado a equação 5.9.

$$C_d = 0,0165 + 0,0566 * (C_L)^2 \quad (5.9)$$

Utilizando a equação 5.9, pode-se traçar o gráfico da curva polar de arrasto. Os valores de C_d e C_L são mostrados na tabela 18 (Fonte: Autores), enquanto que o gráfico correspondente é mostrado na figura 40 (Fonte: Autores).

Tabela 18 – Valores de C_D em função de C_L

C_d	C_L
0,0165	0
0,018764	0,2
0,025556	0,4
0,036876	0,6
0,052724	0,8
0,0731	1,0
0,098004	1,2
0,127436	1,4
0,161396	1,6
0,199884	1,8

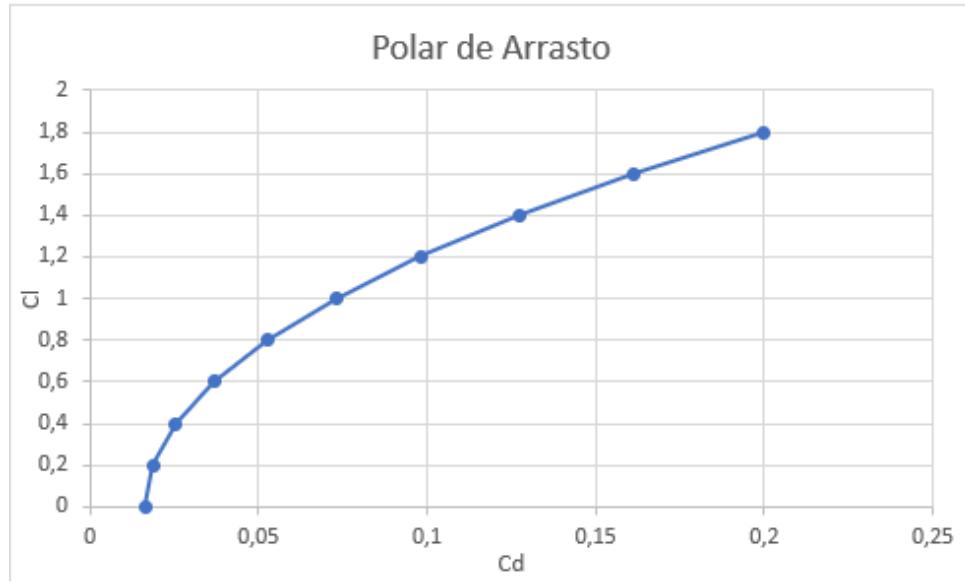


Figura 40 – Curva polar de arrasto elaborada na plataforma Excel 2019.

5.5.1.1 Máxima eficiência aerodinâmica

Na polar de arrasto existe um ponto no qual a relação entre C_L e C_D assume um valor máximo chamado de máxima eficiência aerodinâmica $E_{máx}$. O equacionamento para determinação deste ponto pode ser observado abaixo nas equações 5.10, 5.11, e 5.12.

$$C_L = \sqrt{\frac{C_{D0}}{K}} \quad (5.10)$$

$$K = \frac{1}{\pi \varepsilon_0 A R} \quad (5.11)$$

$$C_D = C_{D0} + K(C_L)^2 \quad (5.12)$$

Manipulando as equações acima, encontra-se a expressão dada pela equação 5.13.

$$E_{máx} = \frac{C_L}{C_D} \quad (5.13)$$

Os valores obtidos com a equação de $E_{máx}$ podem ser visualizados na tabela 19 (Fonte: Autores), enquanto que o gráfico correspondente pode ser contemplado na figura 41 (Fonte: Autores).

Tabela 19 – Valores de C_D em função de C_L

C_L	$\frac{C_L}{C_D}$
0	0

C_L	$\frac{C_L}{C_D}$
0,2	10,6587
0,4	15,6519
0,6	16,2707
0,8	15,17335
1,0	13,6798
1,2	12,2443
1,4	10,9859

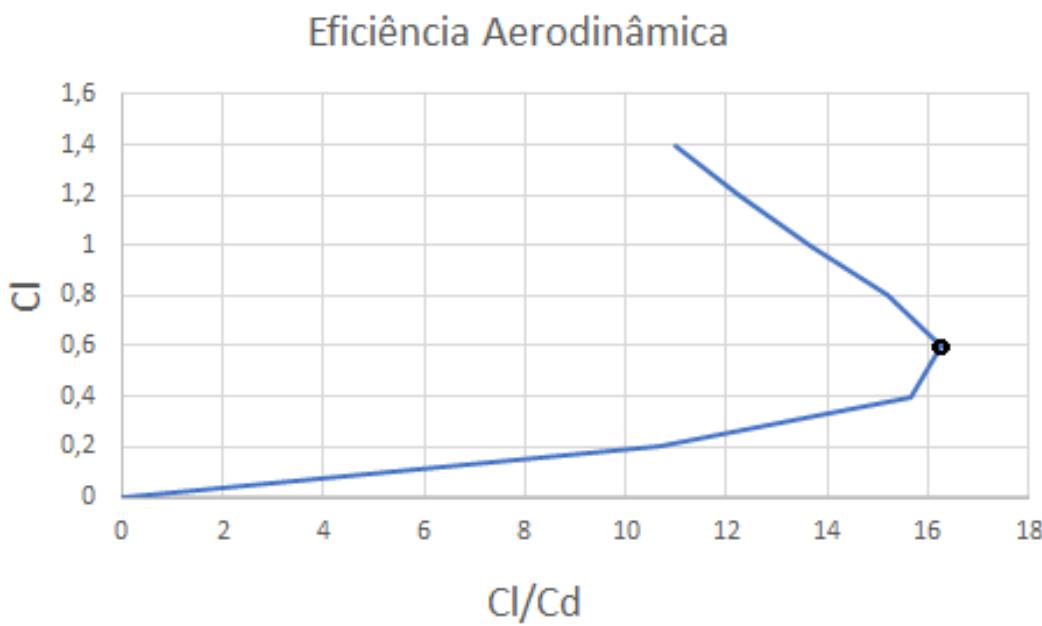


Figura 41 – Curva de eficiência aerodinâmica elaborada na plataforma Excel 2019

Analizando os dados da 19 e da figura 41 é possível obter informações importantes em relação ao desempenho da aeronave. A título de exemplo, para uma condição de vôo com velocidade a 15 m/s e $C_L = 0,6$, o VANT está na sua condição de máxima eficiência aerodinâmica $\dot{E}_{máx} = 16,1$. Ou seja, o VANT é capaz de gerar 16,1 vezes mais sustentação do que arrasto.

5.5.2 Potência Máxima

Determinar a potência máxima dos motores é de fundamental importância para o estudo aerodinâmico do VANT, pois estando a estrutura estável para tal condição de voo, ela então suportará as outras condições de operação do veículo. A potência máxima é a potência na qual será usada para levantar a decolagem vertical. Seu equacionamento é dado pela equação 5.14.

$$P(kW) = \frac{Torque(Nm) \times 2\pi \times VelocidadeAngular(rpm)}{60000} \quad (5.14)$$

Uma vez que as informações referentes aos valores de torque e velocidade angular são conhecidas e mostradas na figura 28, e já conhecendo o dimensionamento das hélices, tem-se as informações $Velocidade_{angular} = 3720rpm$ e $Torque = 4,06Nm$. Então, substitui-se estes valores na equação 5.14, obtendo o desenvolvimento mostrado em 5.15.

$$P(kW) = \frac{(4,06Nm) \times 2\pi \times 3720rpm}{60000} = 1,581603 \quad (5.15)$$

5.6 Análise CFD

Para que o voo do VANT seja estável e livre de turbulências, deve-se realizar uma análise de escoamento nas hélices como forma de complementar o seu dimensionamento já realizado e confirmar que o modelo escolhido irá prover boa aerodinâmica para o veículo. Para tal análise de escoamento, utilizou-se a análise CFD (Computational Fluid Dynamics) através do pacote Ansys.

Antes de apresentar os resultados obtidos, é necessário estabelecer e explicar as condições em que as análises foram efetuadas. Primeiramente, é importante ressaltar que as análises CFD aqui performadas foram executadas em uma licença estudantil do pacote Ansys, o que impede a construção de uma malha bem refinada devido a essa versão não permitir malhas contendo mais do que 100000 elementos. Isso afeta diretamente os resultados das análises performadas, visto que a malha é um dos principais fatores que condicionam a precisão destas simulações. Portanto, os resultados que serão apresentados não terão precisão tão alta, e para o ponto de controle 3, será debatido entre os membros do núcleo a realização de tais análises em um computador mais potente.

A análise foi performada tomando novamente como base a condição de decolagem do VANT, visto que é a que mais solicita esforços e ocasiona mais fenômenos de turbulência. Para tanto, utilizou-se o CAD da hélice, fazendo seu eixo de giro para simular a sua ligação no motor brushless. Como condição de contorno, foi imposta a ela 3720 rpm, condição de máxima operação de acordo com a figura 28. As figuras 42 e 43 permitem observar o fluxo que escoa pela hélice no decorrer do tempo da decolagem.

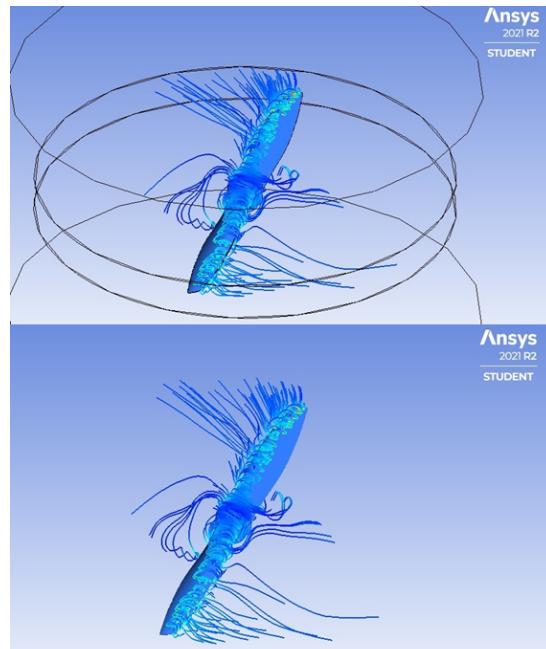


Figura 42 – Resultado de escoamento em torno da hélice do VANT

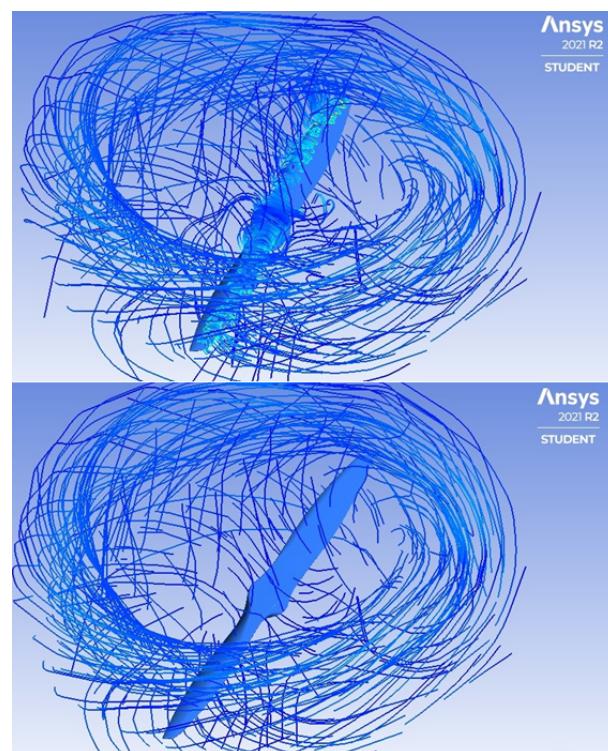


Figura 43 – Resultado de escoamento em torno da hélice do VANT

A análise das figuras mostra que o escoamento apresenta-se na iminência da turbulência durante o processo de decolagem, o que pode ocasionar uma certa instabilidade do voo durante esse processo de subida. Seria então necessário uma análise de trajetória de voo em conjunto com a análise CFD para analisar o voo do VANT com 100% de detalhes, mas isso fugiria do escopo desta disciplina.

5.7 Plano de fabricação

Para fabricação dos componentes, é importante salientar que todos os componentes da estrutura serão confeccionados com material Epóxi reforçado com fibra de carbono, com exceção da central eletrônica e do tanque pulverizador, que serão feitos em polipropileno.

Para fabricação bem sucedida de um material compósito, deve-se levar em conta a forma da estrutura a ser projetada, para então escolher o melhor processo de fabricação. Para o projeto do Pulver VANT, todas as estruturas de material compósito serão em formato tubular, diferindo apenas quanto às medidas dos diâmetros dos tubos. Para fabricação de tubos de material compósito, destacam-se dois processos específicos, sendo eles a pultrusão e o enrolamento filamentar ([JUSTULIN, 2008](#)), sendo, portanto, discorrer sobre as vantagens e desvantagens de cada processo antes de escolher o mais adequado para fabricação dos tubos do VANT. O processo de pultrusão é semelhante ao enrolamento filamentar. Porém, nos trabalhos de ([JUSTULIN, 2008](#)) e ([LEITE, 2009](#)), verificou-se que este processo exige uma máquina mais complexa e elaborada em comparação com o processo de enrolamento filamentar, e por esse motivo, o núcleo estrutural descartou tal solução.

5.7.1 Enrolamento filamentar

O processo de enrolamento filamentar foi projetado para a fabricação de estruturas cilíndricas, porém, com o passar do tempo, verificou-se que esse processo se obtinha bons parâmetros de controle de execução, que são de extrema importância para o desenvolvimento de peças que necessitam de um alto desempenho ([SRIKANTH, 2011](#)).

Esse processo envolve o enrolamento de filamentos sob tensão sobre um mandril rotativo. O mandril gira em torno de um eixo enquanto um olhal de entrega em um atravessa horizontalmente em linha com o eixo do mandril em rotação, estabelecendo fibras no padrão ou ângulo desejado. Os filamentos de fibra de carbono são impregnados em um banho com resina epóxi à medida que são enrolados no mandril. Uma vez que o mandril esteja completamente coberto até a espessura desejada, a resina é então curada. Algoritmos de trajetória geodésica são implementados para traçar o melhor posicionamento e angulação das fibras, que por sua vez são colocadas em velocidades sincronizadas com o mandril.

A construção de tubos de material compósito através do enrolamento filamentar segue uma sequência de passos mostrada abaixo, e a figura 44 (JUSTULIN, 2008) ilustra um esquema simplificado da máquina utilizada no processo.

- Escolha do projeto, dentro do qual incluem a seleção de materiais, a geometria do compósito e as orientações da fibra
- São inseridos os dados de entrada no algoritmo geodésico, sendo eles o ângulo de orientação das fibras, espessura total do tubo e volume de fibras. O algoritmo então calcula a velocidade angular do mandril e a velocidade de colocação das fibras.
- As fibras de carbono são colocadas na máquina através de rolos de fibra, e a medida que forem sendo colocadas no mandril, um componente tensionador estica as fibras para facilitar a fixação na resina
- Uma vez que a espessura do tubo é atingida, a máquina interrompe a bobinagem das fibras, e o pode-se iniciar o processo de cura da resina epóxi, agora reforçada com fibra de carbono.

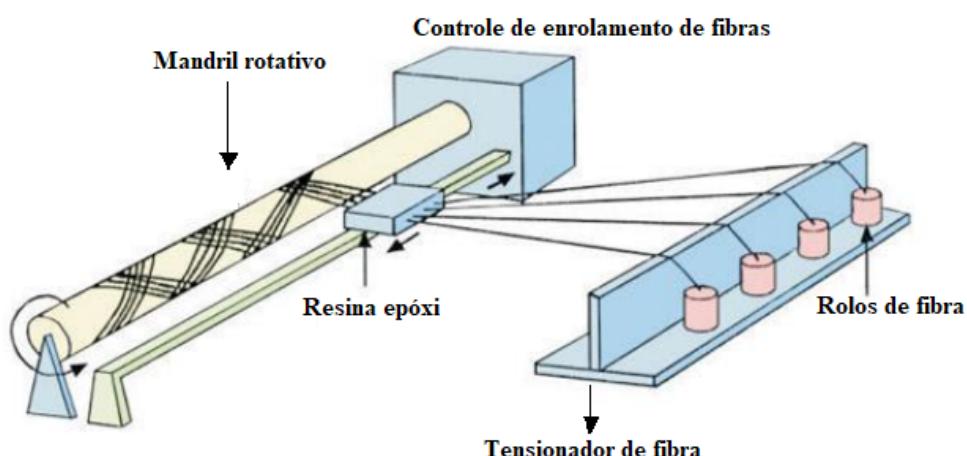


Figura 44 – Esquematização da máquina de enrolamento filamentar

5.7.2 Molde de injeção

O processo de injeção é o mais versátil dentre os processos de moldagem de termoplásticos, onde seu mecanismo de funcionamento consiste em plastificar e homogeneizar o polímero em uma câmara utilizando uma rosca, em seguida, injetar o material fundido na cavidade de um molde, onde é resfriado até que atinja a temperatura adequada para ser extraído mantendo a forma desejada. Um esquemático da máquina de molde por injeção é mostrado abaixo na figura 45 (Fonte: (SANTOS, 2016)), onde todo o detalhamento das

peças e explicação dos componentes pode ser visto com maior detalhe na obra do autor ([SANTOS, 2016](#)).

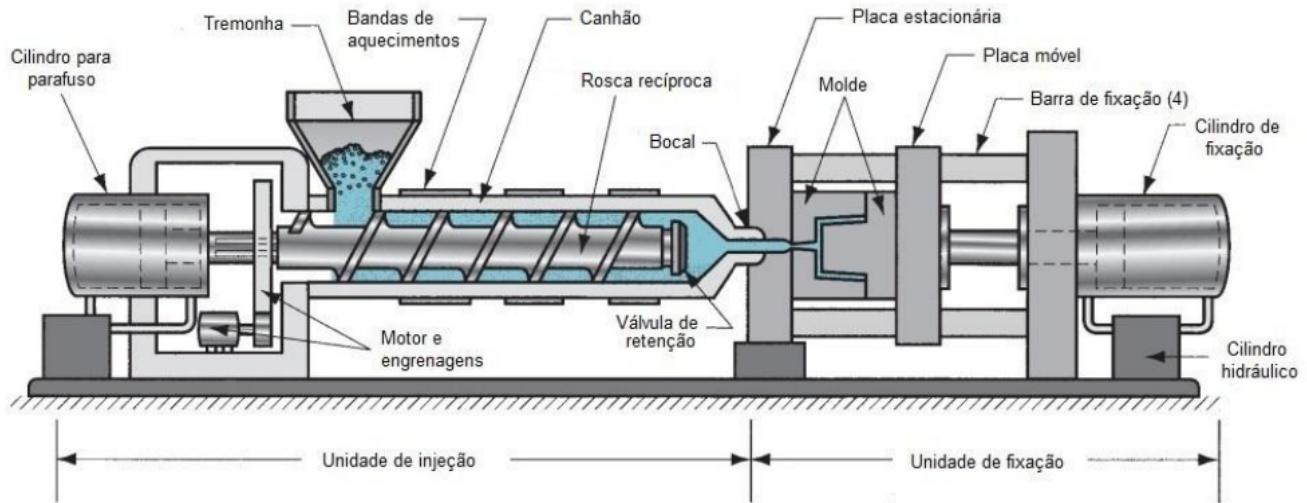


Figura 45 – Esquematização da máquina molde por injeção

O processo de injeção segue um ciclo de produção industrial na máquina apresentada. Esse ciclo pode ser observado abaixo na figura 46 (Fonte: ([SANTOS, 2016](#))), e ilustra os processos cronológicos executados na máquina da figura 45.

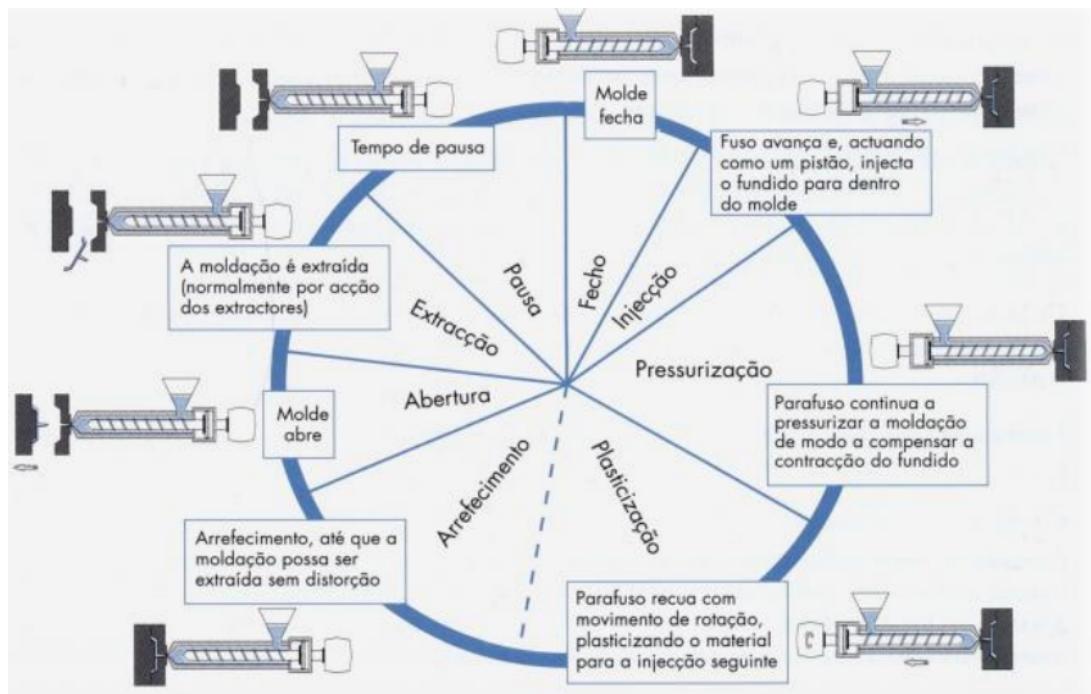


Figura 46 – Ciclo da máquina de molde por injeção

5.7.3 Fabricação dos componentes

Para fabricação dos componentes de material compósito, o núcleo de estruturas entrou em contato com o professor Artem da Faculdade do Gama e apresentou os desenhos técnicos do projeto, pedindo orientação quanto a fabricação das peças. Em resposta, o professor relatou que por conta dos tubos serem longos e finos, haverá dificuldade em encontrar um mandril com as medidas adotadas, mas que fora esse aspecto negativo, o projeto é plenamente fabricável na máquina do laboratório de estruturas da FGA. Para utilização de mandril, o professor orientou o grupo a utilizar um mandril de PVC, visto que é leve, de fácil acesso e de baixo custo. Depois de prontos, os tubos precisam ser furados para formar as regiões de acoplamento e fixação de parafusos. Para isso, o professor relatou que existem brocas específicas para materiais compósitos, mas que é plenamente possível realizar furos nestes materiais com brocas normais, sendo que ele mesmo já realizou trabalhos dessa maneira. Portanto, para realização dos furos, o núcleo de estruturas optou por utilizar uma furadeira de bancada, devido ao seu baixo custo, grande precisão e facilidade de uso.

Na tabela 20 (Fonte: Autores) são listados todos os componentes e seus respectivos materiais utilizados na produção.

Tabela 20 – Plano de fabricação

Peça	Material
Barras verticais do trem de pouso	Tubos de Epóxi/fibra de carbono
Barras anti torção	Tubos de Epóxi/fibra de carbono
Braço de acoplamento dos motores	Tubos de Epóxi/fibra de carbono
Central eletrônica • Placa inferior para fixação no tanque • Tampa superior	Polipropileno
Barras inferiores do trem de pouso	Tubos de Epóxi/fibra de carbono
Tanque de defensivos	Polipropileno
Bancada de bico • Suportes para fixação • Suporte para acoplamento dos bicos nebulizadores	Tubos de Epóxi/fibra de carbono

Os processos de fabricação que serão utilizados são listados abaixo.

- Enrolamento filamentar (EFL): Utilizado na fabricação dos tubos de material compósito
- Furadeira de bancada (FB): Utilizada para fazer os furos dos parafusos nos tubos. Escolhida pelo seu baixo custo e facilidade de uso
- Serra copo (SC): Utilizada para fazer os furos de encaixe dos tubos
- Machado laminador (ML): Utilizado para fazer roscas
- Molde de injeção (MI): Utilizado para fazer recipientes termoplásticos
- Corte a laser (CL): Utilizada para cortes precisos

A tabela 21 retrata a visão geral dos processos de fabricação para cada peça que será fabricada pelo núcleo.

Tabela 21 – Plano de fabricação

Peça	EFL	FB	SC	ML	MI	CL
Barras verticais do trem de pouso	•	•				•
Barras anti torção	•	•				
Braço de acoplamento dos motores	•	•		•		•
Central eletrônica						
• Placa inferior para fixação no tanque		•			•	
• Tampa superior						
Barras inferiores do trem de pouso	•	•	•			
Tanque de defensivos		•			•	
Bancada de bico						
• Suportes para fixação	•					
• Suporte para acoplamento dos bicos nebulizadores			•			

5.7.3.1 Fabricação das barras verticais do trem de pouso e barras anti torção

Os processos de fabricação são descritos abaixo.

Barra vertical do trem de pouso

- Utilizar um mandril de PVC de diâmetro 28 mm e comprimento 442 mm na máquina de EFL para fabricação dos tubos
- Depois de pronto, utilizar o CL para realizar um corte diagonal na parte superior do tubo, deixando um lado com comprimento 436 mm
- Utilizar a FB de bancada para fazer os furos dos parafusos M3x0,8x40 e M5x0,8x40

Barra anti torção

- Utilizar um mandril de PVC de diâmetro 23 mm e comprimento 510 mm na máquina de EFL para fabricação dos tubos
- Utilizar a FB para fazer os furos dos parafusos M5x0,8x80

5.7.3.2 Fabricação do braço de acoplamento dos motores BLDC

- Utilizar um mandril de PVC de diâmetro 45 mm e comprimento 560 mm na máquina de EFL para fabricação dos tubos
- Utilizar o CL para cortar parte do tubo gerado, deixando-o com comprimento de 57,42 mm
- Utilizar o ML para fazer a rosca interna em um dos lados do tubo. A rosca possui passo 0,5 e comprimento de 7 cm

5.7.3.3 Fabricação da central eletrônica e tanque de defensivos

Para fabricação via molde de injeção, é necessário a utilização do maquinário mostrado na figura 45. Pr conta disso, o núcleo optou por contratar uma empresa especializada para realização da fabricação desse componente, visto que a aquisição da máquina de injeção elevaria os custos do projeto. Cogitou-se utilizar o molde por sopro, onde o núcleo produziria um molde via software SOLIDWORKS. Porém, as pesquisas de mercado relataram que tal tipo de molde possui uma certa complexidade para produzir peças com espessura constante, podendo prejudicar o andamento do projeto.

5.7.3.4 Fabricação das barras inferiores do trem de pouso

- Projetar um algoritmo especial para esta peça, visto que o tubo possui diâmetros variáveis ao longo do seu comprimento. Logo em seguida, utilizar o EFL para fabricação do tubo, com comprimento total de 720 mm
- Utilizar a SC para realizar os furos de encaixe dos tubos verticais e barras anti torção
- Utilizar a FB para realizar os furos dos parafusos M5x0,8,80

5.7.3.5 Fabricação da bancada de bico

- Utilizar um mandril de 11mm de diâmetro e 442mm de comprimento no processo de EFL para elaborar a bancada de bico
- Utilizar a SC para realizar os furos de diâmetro 10 mm

5.8 Plano de testes de execução

A montagem do VANT é detalhada a parte no apêndice G. Após esse processo de montagem, deve-se atentar ao funcionamento correto de todos os componentes antes de colocar o veículo em operação, e por conta disso, foi desenvolvida uma rotina de testes. Essa rotina foi dividida em duas partes, sendo elas uma parte voltada aos clientes do produto e a outra parte voltada para os fabricantes.

A rotina voltada aos clientes tem como intuito sugerir a execução de uma série de testes de verificação e prevenção, garantindo assim que a montagem foi conduzida de maneira correta e que todos os componentes funcionem sem falhas mecânicas graves. Já a rotina de testes voltada aos fabricantes do produto, foi desenvolvida tendo em mente a impossibilidade da construção do protótipo do VANT devido ao contexto da pandemia vivenciada. Sendo assim, a rotina tem como intuito dar instruções de testes a serem realizados no VANT para que seja averiguado o funcionamento completo de todos os subsistemas do veículo.

5.8.1 Rotina de testes para o cliente

A rotina de teste para o usuário tem como objetivo garantir que a montagem do produto seja conduzida de maneira 100% correta, garantindo a operação do VANT em sua total eficiência e preservando a segurança dos operadores. Portanto, foi desenvolvida uma rotina de passos a serem seguidos à risca, visando a inspeção das peças e componentes e seu correto encaixe. Antes de testar o sistema em si, é de extrema importância

averiguar se todas as peças estão em boas condições. Em primeiro lugar, verifica-se cada componente quanto a danos visuais. Se a peça estiver danificada, isso fará com que o veículo se comporte incorretamente.

A sub-lista de verificação mostrada abaixo visa estabelecer uma rotina de verificação de cada parte do VANT após a montagem. É fundamental desligar totalmente o VANT antes de manuseá-lo.

- Verificar algum possível dano nos componentes referentes a carcaça externa, sendo estes componentes os suportes de encaixe dos motores brushless, central eletrônica, trem de pouso, hélices, bancada de bico e tanque de defensivos.
- Verificação das hélices
- Verificação dos motores
- Verificação dos parafusos
- Verificar se as baterias estão carregadas e corretamente encaixadas
- Verificar os ESCs
- Verificar a fiação interna
- Testar o software de monitoramento

5.8.1.1 Rotina de testes para verificar o funcionamento dos motores e hélices

Antes de verificar o desempenho em voo, é primordial averiguar o funcionamento dos motores e hélices.

- Retirar as hélices do VANT
- Inserir as baterias
- Ligar o VANT e o controle
- Verificar se os motores estão girando conforme a orientação correta
- Encaixar as hélices e verificar se elas estão se movendo livremente (com a mão)

5.8.1.2 Desempenho em voo

Para testar o desempenho do veículo em voo, recomenda-se inicialmente utilizar o veículo a uma altura entre 1,5 m e 3 m, visando amenizar o risco de possíveis quedas caso a montagem tenha sido realizada inadequadamente. Para o teste, recomenda-se ligar o veículo e realizar a decolagem, e logo após atingir a altura estabelecida, permanecer

em hover por aproximadamente 1 minuto. Esse tempo parado é suficiente para averiguar se os componentes foram encaixados corretamente, se a bateria está fornecendo a devida energia para os sistemas e também se os motores estão operando normalmente. Depois desse tempo, recomenda-se manobrar o veículo na seguinte ordem: para frente, para trás, para a esquerda e para a direita. Essa sequência de manobras garantirá que a estrutura como um todo foi montada corretamente, sendo capaz de suportar todos os esforços projetados. Tendo terminado todos os procedimentos com sucesso, a montagem do VANT está validada, e o veículo está pronto para executar o processo de pulverização.

5.8.2 Rotina de testes para o fabricante

A rotina de testes do fabricante tem como intuito instruir aos fabricantes a realização de testes de verificação de subsistemas, como os módulos de voo, módulos de sensores, sistema de bombeamento e funcionamento da bateria. Sendo assim, é uma rotina de fundamental importância, visto que não foi possível a construção do protótipo físico conforme justificado no início desta seção. Antes de iniciar os testes, é importante listar algumas recomendações de segurança, conforme listado abaixo.

- Caso a colisão do veículo seja iminente, reduzir o acelerador para zero, visando evitar potenciais danos catastróficos e danos físicos
- Com o VANT no chão, é recomendável sempre retirar a bateria, eliminando a possibilidade do veículo ligar repentinamente e causar acidentes graves
- Sempre manter os dedos longe das hélices durante seu funcionamento
- Recomenda-se testar o veículo em ambientes abertos. Porém, caso não seja possível, acorrentar o veículo em algum lugar, ou colocá-lo dentro de uma gaiola nos casos de testes em ambientes fechados.

5.8.2.1 Inspeções pré-voo

O primeiro passo é verificar as condições climáticas do ambiente ao qual o VANT será submetido a voo. A listagem das verificações fundamentais pode ser observada abaixo.

- Velocidade do vento abaixo de 15 nós (menos de 20 mph) (Fonte: <https://uavcoach.com/how-to-fly-a-quadcopter-guide/Checklist>)
- Avaliar se é possível ter uma boa visibilidade do veículo quando em voo
- Estabelecimento de zonas de decolagem, pouso e zona de pairagem de emergência
- Verificar se há prédios, edifícios ou outras estruturas que atrapalhem o percurso de voo

- Verificar se há pessoas na zona de voo, e em caso afirmativo, estabelecer um perímetro de segurança

Após tais verificações, é necessário realizar uma verificação visual de possíveis danos estruturais que podem ocorrer devido a montagem inadequada, destacando parafusos mal rosqueados, peças com alguma trinca devido a excesso de força e componentes mal encaixados ou fora do lugar. Uma vez verificado e indo adiante, pode-se então dar início ao processo de decolagem. Primeiramente, apenas a funcionalidade de voo do VANT será testada, visando garantir que o mesmo é capaz de voar com 100% de segurança. Somente após essa etapa será verificado a funcionalidade de bombeamento de líquido e sensoramento de colisão.

5.8.2.2 Operando o VANT

Ligando o veículo

- Ligar o controle remoto
- Verificar a conexão entre o transmissor e o VANT
- Calibrar todos os sensores conforme as orientações dadas na seção 4.6
- Posicionar a frente do veículo o mais distante possível do operador

Teste de decolagem e pouso

- Decolar até a altitude dos olhos e permanecer pairando entre 10 e 15 segundos. Isso vai confirmar que os sistemas de hover estão em pleno funcionamento, assim como as hélices e baterias
- Durante o hover, procurar quaisquer anomalias ou irregularidades
- Verificar a conexão com os softwares e se há algum aviso
- Ao término do hover, manobrar o VANT para frente, para atrás, esquerda e direita, nesta ordem. Isso irá confirmar o correto funcionamento dos sistemas de manobra, assim como o correto funcionamento dos motores e ESCs, que fazem a distribuição de potência para cada motor
- Pousar o veículo e carregar as baterias. Isso irá confirmar que as baterias transferiram sua carga para os sistemas com sucesso, além de testar o sistema de carregamento.

Recomenda-se repetir a rotina acima entre 5 a 10 vezes para familiarização com os controles do VANT.

Verificação dos sensores

Depois de realizar os testes de pouso e decolagem do VANT, inicia-se os testes dos sensores. Para isso, inicia-se um novo processo de decolagem em uma trajetória pré determinada. Com o veículo em operação, acionar todos os sensores de medição. O software de monitoramento deve ser capaz de acessar as informações de todos os sensores, e a incapacidade disso pode indicar a possibilidade de falha de algum componente ou falha na montagem, além de possíveis falhas no sistema de software. Uma vez que verifica-se o pleno funcionamento de todos os componentes, a montagem dos mesmos encontra-se validada. Por último, testar o sensor de colisão, onde sugere-se aproximar o veículo perto de um corpo estático e com baixa velocidade. Caso o sistema esteja funcionando, o mesmo irá acionar os procedimentos para esquiva.

Teste do sistema de bombeamento

Para este teste, inicia-se um novo voo em uma trajetória pré determinada e com 2 pontos de bombeamento, no qual para cada ponto, o VANT irá necessitar de se locomover até o local, pairar, iniciar o bombeamento, interromper o bombeamento e seguir o trajeto. A execução de todos estes passos para todos os dois pontos de bombeamento indica que todos os respectivos componentes foram instalados com sucesso. A falha em algum ponto pode indicar falha de comunicação da raspberry com os sistemas, falha de montagem ou até falha do componente.

Teste final

Para o teste final, todos os subsistemas do VANT serão testados simultaneamente. Para isso, inicia-se um novo voo do veículo em uma trajetória pré determinada, e todos os subsistemas são testados ao mesmo tempo para testar a integração geral dos componentes. Recomenda-se repetir esse teste geral por cerca de 20 a 50 vezes, com o intuito de assegurar a qualidade do produto e seu pleno funcionamento. Além disso, tal volume de testes irá permitir a elaboração de uma série de dados estatísticos, como tempo médio da bateria, altura média atingida, tempo de esvaziamento do tanque e tempo de descarga da bateria. Tais dados serão úteis para confirmar o que se calculou analiticamente.

6 Solução de software

A arquitetura de software do projeto foi pensada de forma a entregar ao usuário as informações esperadas de maneira segura. Os componentes da arquitetura, como ferramentas, tecnologias, serviços foram especificados nos tópicos abaixo.

6.1 Tecnologias

6.1.1 React JS

É uma biblioteca JavaScript para construir interfaces de usuário. Saiba o que é reagir em nossa página inicial ou no tutorial. Levando o modelo de evento mais longe, onde é apresentado um modelo de eventos como uma construção de runtime.

6.1.2 Node.js

O node.js é um JavaScript runtime orientado a eventos, projetado para a criação de aplicativos de rede escaláveis.

6.1.3 NestJs

É um framework para a construção de aplicativos Node.js do lado do servidor, eficientes e escaláveis. Ele usa JavaScript progressivo, e também suporta typescript, combina elementos de Programação Orientada a Objetos, Programação Funcional e FRP Programação Reativa Funcional ([MYSЛИWIEC, 2017](#)).

6.1.4 JSON Web Token (JWT)

É um padrão aberto web utilizado para transmitir informações com segurança entre as partes como um objeto JSON. Essas informações podem ser verificadas e confiáveis porque são assinadas digitalmente. Os JWTs podem ser assinados usando um segredo (com o algoritmo HMAC) ou um par de chaves pública / privada usando RSA ou ECDSA, será utilizada na aplicação para autenticação do usuário para possibilitar o uso seguro dos serviços disponibilizados ([JWT, 2021](#)).

6.1.5 Cypress

É um framework de testes automatizados end-to-end, testes automáticos de ponta a ponta, usando JavaScript. Este framework apresenta o próprio painel exibindo exatamente

o que esta acontecendo durante a execucao teste ([CYPRESS, 2021](#)).

6.1.6 Object-Relational Mapping (ORM)

É uma técnica de mapeamento objeto-relacional que tem o intuito de criar uma camada de mapeamento entre o modelo de objetos, aplicação, e o modelo relacional, banco de dados, de maneira a abstrair o acesso([DEVMEDIA, 2013](#)).

6.1.7 Jest

É um framework de teste em JavaScript projetado para garantir a correção de qualquer código JavaScript. Ele permite que você escreva testes para uma API. Permite uma fácil configuração e agilidade para a criação de testes ([JEST, 2021](#)).

6.1.8 RabbitMQ

É um sistema de mensageria com o objetivo de facilitar o tráfego de mensagens de forma rápida e confiável, além de garantir uma comunicação de forma assíncrona e com uma maior desacoplação entre aplicações. É um utilizado o protocolo de comunicação denominado Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) ([RABBITMQ, 2021](#)).

6.1.9 MongoDB

É um banco de dados de propósito geral, baseado em documentos, distribuído para desenvolvedores de aplicativos modernos e para a nuvem desta era ([MONGOBD, 2008](#)).

6.1.10 Material-UI

É uma biblioteca construída para Reactjs, que fornece componentes para a interface de usuário de acordo com o sistema de design da google, Material Design, será utilizada para compor as telas do frontend.

6.2 Componentes da Arquitetura

O diagrama presente na figura [47](#) (Fonte:Autores) tem por objetivo ilustrar como as ferramentas e serviços estão dispostas na arquitetura do projeto. Nela é possível visualizar como ocorre a interação entre cada serviço, bem como ocorre a comunicação entre si.

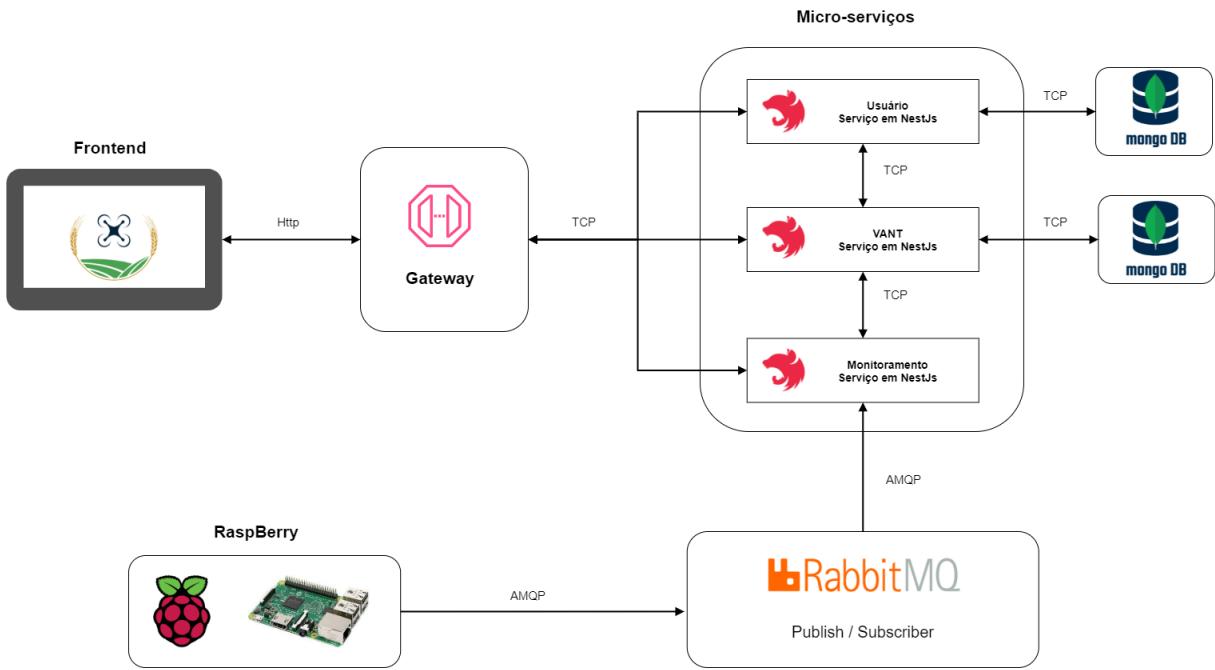


Figura 47 – Diagrama de Arquitetura

6.2.1 Frontend

É a camada de interface entre usuário e o sistema. Para a construção da interface será utilizada a biblioteca em React JS, com o intuito do desenvolvimento da interface de acordo com o protótipo idealizado.

Para o projeto do VANT foi optado pela biblioteca Material-UI por ter um design bastante conhecido e utilizado em grandes aplicações da Google, por exemplo no Gmail. Com o Material-UI tem-se a capacidade de desenvolver aplicações com componentes responsivos de forma fácil.

6.2.2 Microsserviços

6.2.2.1 Gateway de API

Este micro serviço auxilia no gerenciamento de APIs e se encontra entre o serviço de front-end e os demais microsserviços presentes no projeto. O Gateway de API recebe todas as chamadas da API, repassa para o micro serviço responsável por aquela chamada e depois retorna o resultado apropriado, utilizará tokens com o padrão JWT para realizar a autenticação do usuário para rotas protegidas (REDHAT, 2021).

6.2.2.2 Monitoramento

O serviço de Monitoramento(monitoring) é responsável pela comunicação com o RabbitMQ, implementando um consumidor que assinará um tópico exclusivo para cada

drone que tiver seu monitoramento solicitado. O padrão de mensagem publisher-subscriber permitirá o desacoplamento entre o publisher (publicador), aplicação presente na raspberry, e o subscriber (assinante), serviço de monitoramento. Os dados recebidos serão repassados para o usuário que realizou a solicitação de monitoramento e para o serviço VANT para que os dados possam ser armazenados.

6.2.2.3 VANT

O serviço de VANT é responsável por coletar e armazenar os dados cadastrados pelo usuário, assim como os dados coletados pelo VANT durante cada voo. Os dados referentes ao cadastro do VANT advém da comunicação com o frontend através da gateway, enquanto os dados referentes aos voos, serão coletados através da comunicação com o serviço de monitoramento.

6.2.2.4 Usuário

O serviço de usuário (User) será responsável por armazenar e gerenciar dados referentes aos usuários da aplicação, fornecendo serviços de cadastro, edição, autenticação e deleção. Para os microsserviços de Gateway, VANT, Usuário e Monitoramento, foram definidos o framework Nest. Justificada a utilização deste framework no tópico [6.4](#).

6.2.3 Software Embarcado

A aplicação presente na raspberry é responsável pela coleta das variáveis, geradas pelo VANT, e o envio das mesmas para o micro serviço de monitoramento. A aplicação terá o papel de um publisher(publicador), publicando os dados em um canal específico no RabbitMQ. Após o envio dos dados o micro serviço de monitoramento fica responsável por assinar o canal no RabbitMQ e consumir os dados.

6.3 Diagramas

6.3.1 Diagrama de Classes

O diagrama de classes é um diagrama de estrutura que visa representar a estrutura do sistema em nível de classes e interfaces apresentando suas características, restrições e relacionamentos ([UML-DIAGRAMS, 2007](#)). O diagrama representado na figura [48](#) (Fonte:Autores) representa a estrutura do sistema, total da aplicação de monitoramento, por meio das classes Flight, FlightVariables, Monitoring e User e seus relacionamentos.

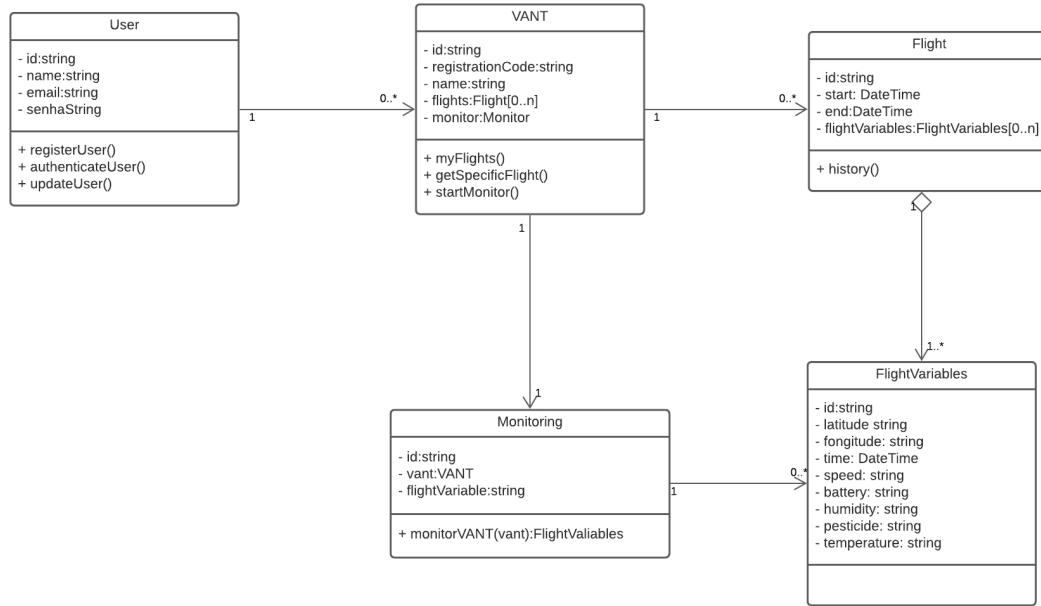


Figura 48 – Diagrama de Classes

6.3.2 Diagrama de Casos de Uso

Os diagramas de Caso de Uso são diagramas que visam ilustrar o comportamento do usuário com o sistema, descrevendo um conjunto de ações(casos de uso) que o sistema possui e podem ser realizadas com a colaboração do usuário. O diagrama de uso elaborado para a aplicação de monitoramento está ilustrado na figura 49 (Fonte: Autores). Os atores destacados no diagrama possuem comportamentos diferentes, o ator “Novo usuário” possui um conjunto reduzido de ações onde pode apenas realizar o seu cadastro no sistema. O ator “Usuário cadastrado” representa o usuário do sistema após passar a etapa de registro (caso de uso “Cadastrar Usuário”) possuindo um conjunto de ações amplo no sistema.

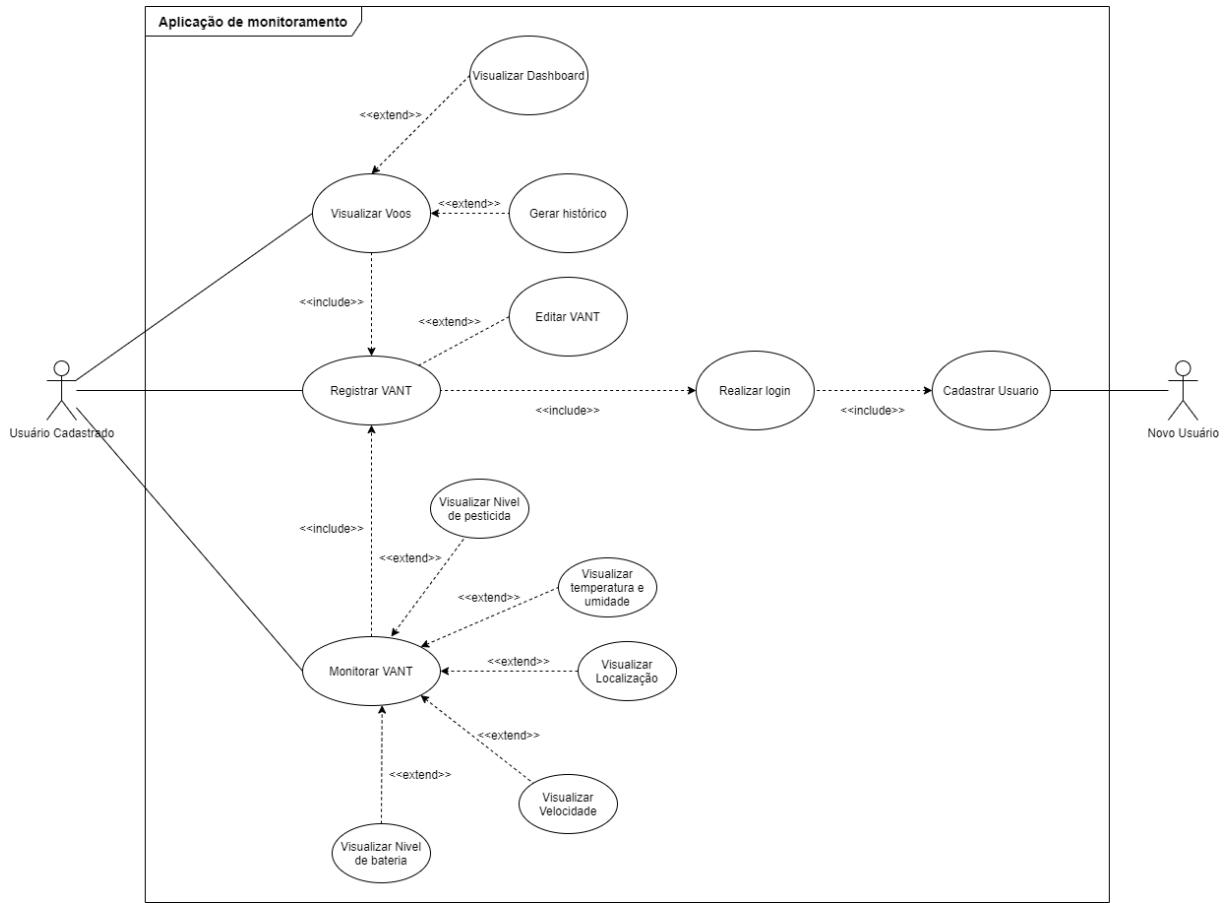


Figura 49 – Diagrama de Casos de uso

6.3.3 Diagrama de Pacotes

Diagramas de pacotes são diagramas estruturais usados para mostrar, em uma forma de pacotes, a organização e disposição de vários elementos de modelos. Um pacote é um agrupamento de elementos importantes para uma ilustração da arquitetura, assim facilitando o entendimento dos frameworks (LUCIDCHART, 2021). O diagrama de pacote do projeto está representado na figura 50 (Fonte: Autores), onde cada pacote foi dividido de acordo com a funcionalidade do elemento dentro da aplicação e os pacotes foram baseados nas tecnologias escolhidas como ReactJs e NestJs.

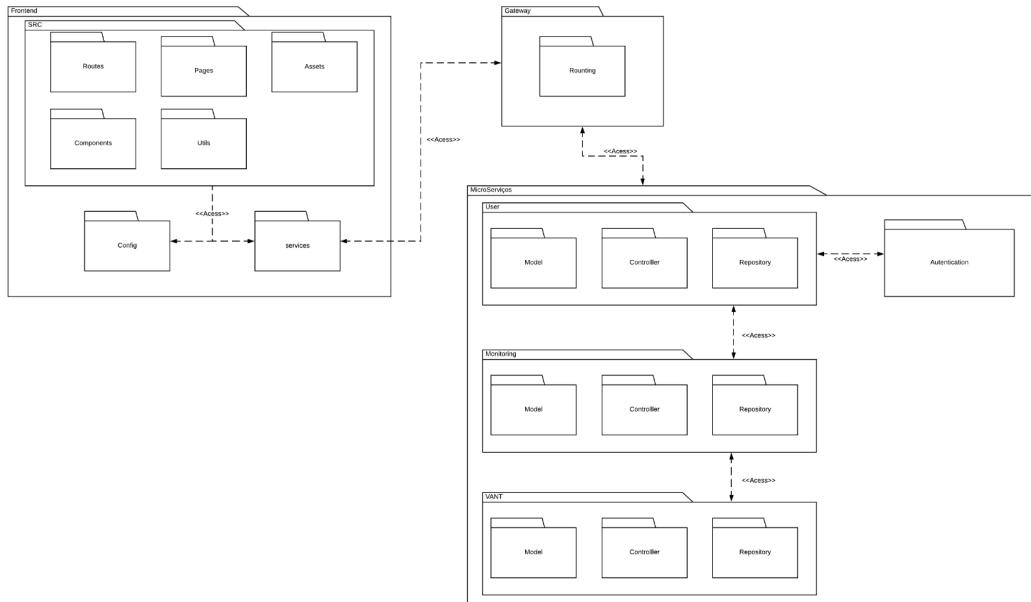


Figura 50 – Diagrama de Atividades

6.3.3.1 Frontend

Possui o papel de criação da interface com o usuário na aplicação, esse pacote foi baseado na arquitetura de pastas aceitas pela comunidade do react. Tendo um sub pacote SRC com a função de armazenar a parte de desenvolvimento da interface, os subpacotes são os de config e service com o objetivo principal na comunicação com a gateway.

6.3.3.2 Gateway

Funciona como ponto único de acesso entre os usuários e a aplicação sendo responsável pelo roteamento das requisições vindas dos usuários e encaminhar as requisições aos devidos micro serviços e retornar resposta aos usuários.

6.3.3.3 Microsserviços

O pacote nomeado como micro serviço, presente no diagrama, visa a representar a interação entre outros subpacotes utilizando a arquitetura de pastas de acordo o padrão do framework Nestjs.

6.3.4 Diagrama de Atividades

O diagrama de atividades é um fluxo de controle, atividades e objetos que tem como objetivo explicitar as sequências e condições no fluxo geral. Uma atividade é definida como um comportamento parametrizado representado pelo fluxo coordenado de ações. Para a representação do fluxograma das atividades a serem realizadas pelo usuário no aplicativo, foi elaborado o diagrama de atividades representado na figura 51 (Fonte: Autores), onde a imagem com melhor resolução pode ser vista [Clicando aqui](#).

6.4 Decisões

As principais decisões, tomadas pela equipe, visam construir de maneira correta o projeto elaborado pela equipe de software e agilizar este processo. Abaixo as decisões destacadas pela equipe.

6.4.1 Microsserviços

Microsserviços por possuírem serviços independentes e especialistas permitem um desenvolvimento rápido e escalável, além de permitirem maior flexibilidade da escolha de linguagens e frameworks, também fornecem maior segurança visto que cada serviço atua de forma independente e caso ocorra alguma falha em um micro serviço não irá acarretar falhas nos demais.

6.4.2 Arquitetura Hexagonal

A Arquitetura Hexagonal foi escolhida por fornecer aplicações fracamente acopladas, evitando que o código da aplicação fique dependente de ferramentas ou bibliotecas externas, este isolamento do mundo externo é obtido através da utilização de Portas e Adapters, Isso significa que o código deve ser agnóstico à forma de acesso.

6.4.3 RabbitMQ

O RabbitMQ é um message broker amplamente utilizado, podendo ser utilizado para a comunicação com dispositivos IOT. Inicialmente planejado com suporte ao protocolo AMQP. Posteriormente foi adicionado suporte a diversos protocolos de comunicação, entre eles o MQTT, sendo assim uma ferramenta bem flexível. Outra motivação é que alguns membros da equipe de software tiveram contato com a ferramenta.

6.4.4 Nest.js

Nest, por ser um framework frequentemente utilizado para a construção de aplicativos do lado do servidor, que proporcionam agilidade e simplicidade ao desenvolvimento. A ferramenta também proporciona a comunicação com outros serviços de forma facilitada.

6.4.5 ReactJS

A escolha da biblioteca ReactJs para o projeto deve-se ao seguintes fatores, conhecimento prévio da biblioteca por parte dos desenvolvedores, fácil e rápida configuração para o desenvolvimento, possibilidade de componentização dos elementos contidos nas páginas, possibilitando a construção por blocos, componentes possuem ciclos de vida de fácil manipulação, possibilita fácil gerenciamento de estados, entre outras.

6.4.6 MongoDB

Por ser um banco de dados não relacional baseado em documentos não exigindo um esquema definido, permitindo maior flexibilidade com os dados.

6.5 Código

Conforme o diagrama de arquitetura 47 e devido à escolha do microsserviço como uma das arquiteturas escolhidas para a implementação do sistema do VANT, foi criado diferentes repositórios para seu determinado microsserviço, assim como também um repositório específico para o *Gateway* de API.

Os repositórios podem ser encontrados na organização [PI2-VANT](#). Cada repositório pode ser acessado pelos seguintes links:

- [Frontend](#)
- [Backend-User](#)
- [Backend-Monitoring](#)
- [Backend-VANT](#)
- [Backend-Gateway](#)

Como foi optado como uma das inovações a utilização da Integração e Entrega Contínua, cada repositório tem a sua própria lógica para isto. Foi escolhido o GitHub Actions para a realização da integração e entrega. O código pode ser acessado nos seguintes links para cada repositório:

- Frontend
- Backend-User
- Backend-Monitoring
- Backend-VANT
- Backend-Gateway

A arquitetura hexagonal, uma outra inovação escolhida para a aplicação, pode ser visualizada no repositório de [Backend-User](#). Esta arquitetura é exemplificada na figura 52.

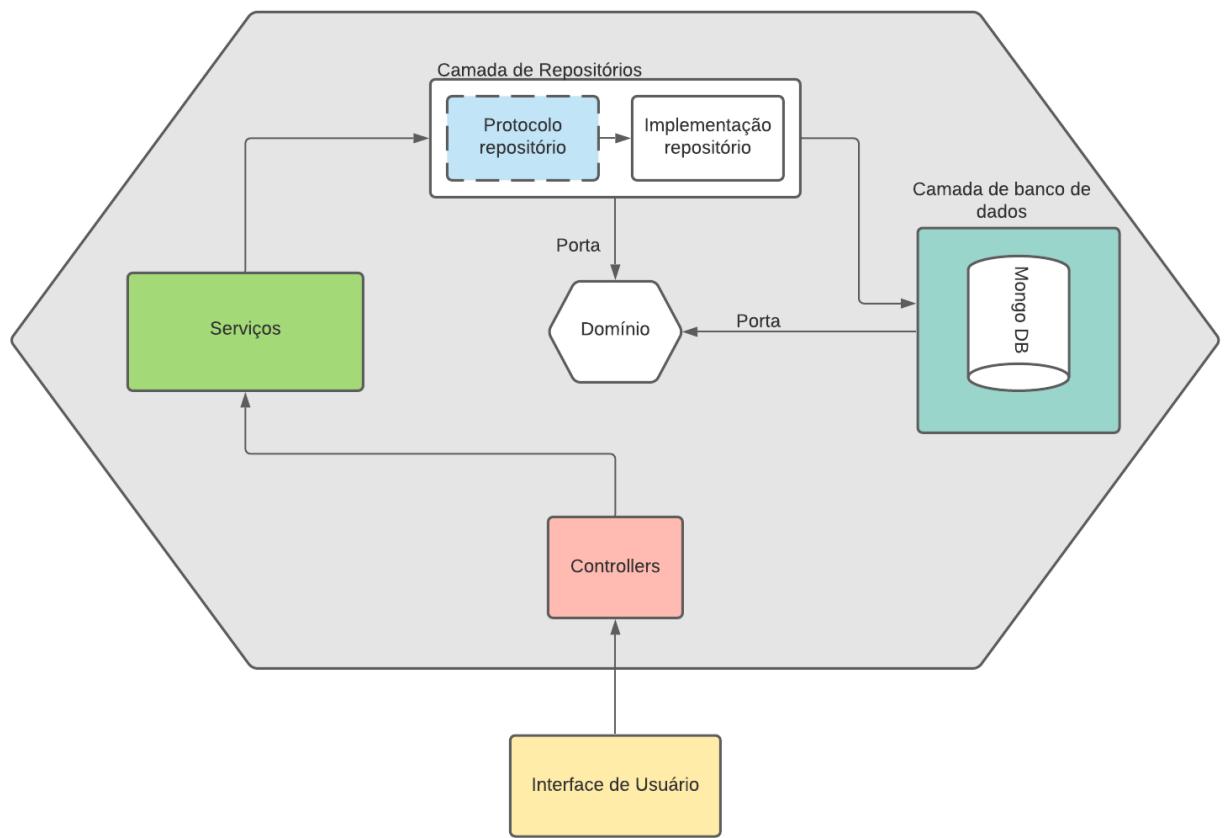


Figura 52 – Diagrama da arquitetura hexagonal no sistema do VANT

6.6 Manual de Instalação

O manual de instalação pode ser encontrado no repositório [principal](#).

6.7 Testes

Um dos testes possíveis de ser realizado é o teste de usabilidade. Com o protótipo criado no Figma é possível estar testando os fluxos presentes na aplicação. O protótipo está disponível para testes [aqui](#).

O outro teste possível para estar realizando é teste da aplicação localmente. Assim, é necessário seguir o manual de instalação ([seção 6.6](#)) para estar realizando este teste.

6.8 Manual do Usuário

O manual do usuário está disponível em formato de vídeo neste [link](#), junto ao Manual de Instalação ([seção 6.6](#)). Este vídeo é apresentado o sistema em funcionamento e as funcionalidades presentes no sistema do VANT.

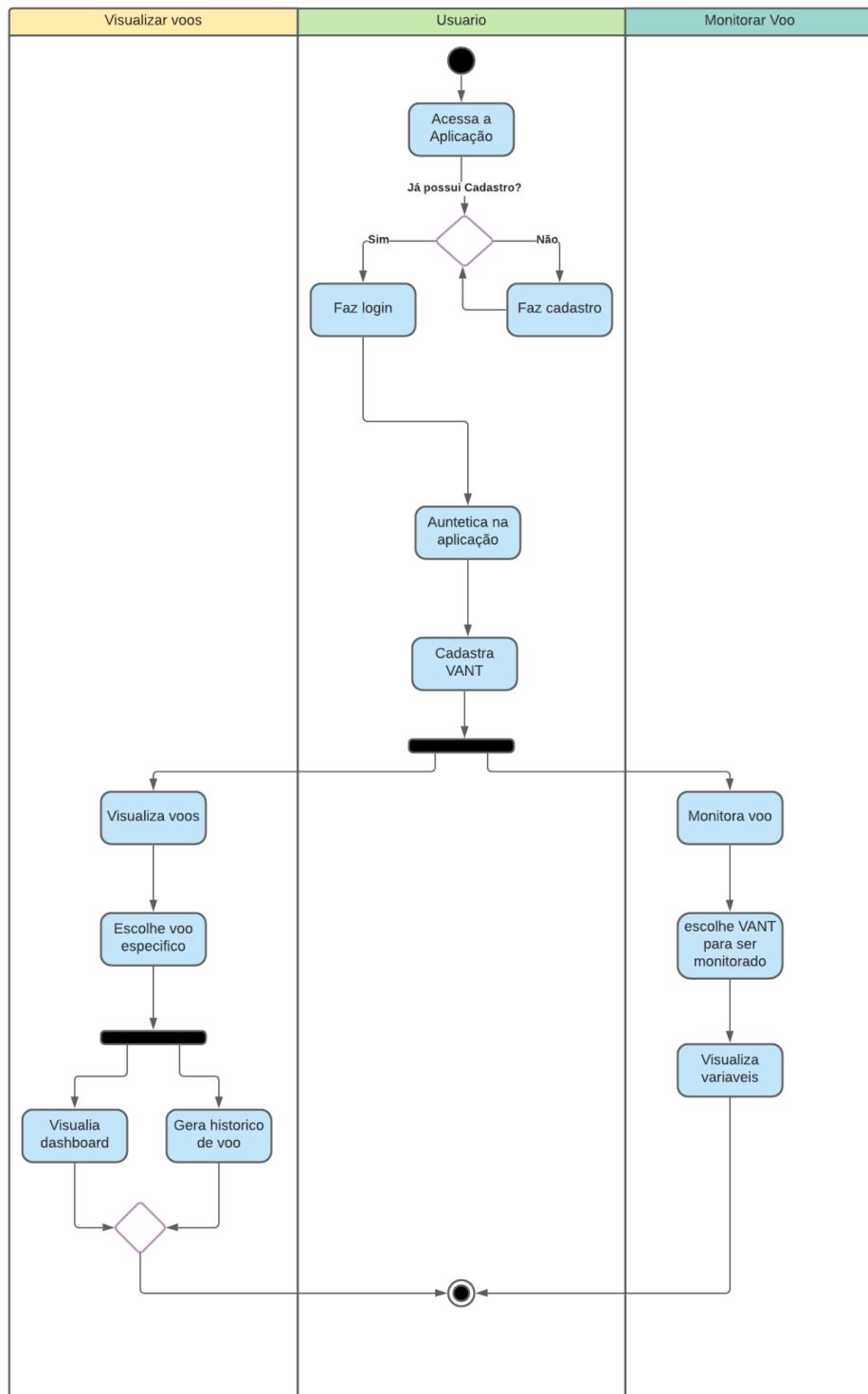


Figura 51 – Diagrama de Atividades

7 Análise de Custo

7.1 Custo de Estrutura

Na fase preliminar do projeto, os custos relacionados a estrutura são relacionados a escolha dos materiais. Essa escolha foi discutida na seção anterior ([seção 17](#)) e mostrada na tabela [45](#). Essa escolha foi baseada em uma matriz de tomada de decisão que levou em consideração o alinhamento entre as propriedades dos materiais disponíveis e as propriedades necessárias para os requisitos da missão, além do custo benefício na implementação de cada material. Análises numéricas aprofundadas que serão realizadas ao longo do aprofundamento do projeto irão guiar os projetistas a respeito da necessidade de mudar ou não os materiais escolhidos. É importante ressaltar que deseja-se comprar tubos e chapas dos materiais abordados, e que essas mudanças de geometria podem incrementar os valores da tabela [45](#) em cerca de 20%, isso ainda sem levar em conta o preço da mão de obra ou impostos incidentes na compra dos produtos. A tabela [22](#) (Fontes: Autores) ilustra uma estimativa de preço total para os itens iniciais planejados para compra. No momento da elaboração da tabela, a cotação do dólar americano em relação ao real é de 1US\$ = R\$ 5,25.

Tabela 22 – Custo inicial estimado para a área de estrutura

Item	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fornecedor
Tubo de Alumínio	7,20US\$	10 Un.	72,00US\$	Alibaba
Chapa de Alumínio (250 cm x 100 x 0,2 cm)	5US\$	20 Un.	100US\$	Chengming Steel
Chapa de fibra de vidro (17cm x30 cm)	7US\$	30 Un.	210US\$	Sou barato
Chapa fibra de Carbono (25cm x 20cm x 0,4cm)	60US\$	10 Un.	600US\$	Magazineluiza
Arruela autotratante	0,35US\$	100 Un.	35US\$	Pires Martins

7.2 Custo de Eletrônica-Energia

Tabela 23 – Custo inicial estimado para a parte elétrica

Item	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fornecedor
Tanque 10 L	46US\$	1 Un.	46US\$	AliExoress
Mangueira de borracha	8,2US\$	6 Un.	49US\$	Borrachas Londrina
Motor Brushless	18US\$	4 Un.	72US\$	Spitz Motores
Servo motor	3US\$	1 Un.	3US\$	Amazon
Bomba de Líquido	10,50US\$	1 Un.	10,50US\$	Mercado Livre
Bico Nebulizador	3,40US\$	4 Un.	14US\$	Mercado Livre
Bateria Lipo	196,95US\$	2 Un.	393,9US\$	Hobbyking
Placa Pixhawk 4	235US\$	1 Un.	235US\$	Bangood
ESC	98,99US\$	4 un.	395,96US\$	Pulse ESC P80
Módulo GPS Pixhwk	55US\$	1 Un.	55US\$	Holybro
Câmera 1200TVL Foxeer Micro Razer FPV	26US\$	1 Un.	26US\$	Foxeer
Transmissor FPV	47US\$	1 Un.	47US\$	Mercado Livre
Receptor e controle a rádio Radiolink T8S FHSS 8CH	58US\$	1US\$	58US\$	RadioLink
Sensor de velocidade do ar	49US\$	1 Un.	49US\$	Holybro
Sensor de fluxo YF-S201	6US\$	2 Un.	12US\$	Baú da Eletrônica
Raspberry Pi 3B	62US\$	1 Un.	62US\$	Mercado Livre

7.3 Custo de Software

Tabela 24 – Custo inicial estimado para software

Item	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fornecedor
Digital Ocean Doker Droplet	10US\$/Mês	—	—	Digital Ocean
Bando de dados postgres	35US\$/Mês	—	—	AWS
Sensor de distanciamento	Fornecido somente mediante confirmação de compra	2	—	SLAMTEC

7.4 Análise de Viabilidade

O retorno financeiro da implementação de VANTs agrícolas é observado logo na redução do tempo de trabalho de 16 horas para 4 horas de acordo com Johann Coelho, CEO da Bembras Agro ([ACRITICA.NET, 2019](#)), sendo esta uma diminuição de 75% do tempo. O autor ainda constata que a utilização desse tipo de veículo representa uma economia total 92,3 % em comparação com a metodologia tradicional que utiliza tratores, combustível e mão de obra, diminuindo o custo por hectare de R\$ 23,87 para R\$ 1,84.

O autor ([LAVOURA, 2018](#)) cita ainda o crescimento projetado para a agropecuária entre 2016 e 2022, e aponta que este setor já é responsável por 25% do faturamento global da indústria de drones. Pelas justificativas dos autores citados e também por estudos mais aprofundados encontrados na literatura, o projeto de um drone com a autonomia proposta e voltado para a aplicação de defensivos agrícolas é totalmente justificável. A tabela [25](#) mostra o custo total dos componentes das tabelas [22](#), [23](#) e [24](#), bem como o tempo necessário para o retorno financeiro na implementação do VANT. Assumindo que o gasto por hectare com as tecnologias tradicionais de pulverização são de R\$ 23,84 e vão cair para R\$ 1,84 de acordo com ([ACRITICA.NET, 2019](#)), isso representa uma economia de R\$ 22,03/hectare. Considerando considerando ainda o desempenho médio dos drones de mercado que pulverizam 15 hectares/hora, tem-se o valor de R\$ 330,45/hora (**US\$ 63/hora na cotação mencionada anteriormente**). Tomando como base este valor, o tempo de recuperação do investimento que é calculado usando o preço total estimado para o drone como base, conforme mostrado na tabela [25](#) (Fonte: Autores).

Tabela 25 – Análise do retorno de investimento do projeto

Descrição	—
Preço inicial do núcleo de estruturas	1017US\$
Preço inicial dos componentes do núcleo elétrico	1150,5US\$

Descrição	—
Preço anual para manter os componentes da área de software	540US\$
Custo total estimado para o VANT (sem mão de obra inclusa)	2707,5US\$
Mão de obra (50% do preço do VANT)	1353,75US\$
Preço com licenciamento e homologação	500US\$
Preço total estimado para o drone	4061,25US\$
Tempo de recuperação do investimento estimado	65 horas de operação contínua do VANT
Economia realizada no período	4095 US\$

Referências

ACRITICA.NET. *Uso de drones na agricultura aumenta rentabilidade e diminui o tempo de trabalho.* 2019. <<https://www.acritica.net/editorias/agropecuaria/uso-de-drones-na-agricultura-aumenta-rentabilidade-e-reduz-tempo-de/352076/>>. Acessado em 15/08/2021. Citado na página 132.

AEREO, D. de Controle do E. *Regulamentações gerais.* 2017. <<https://www.decea.mil.br/drone/>>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 19.

AGRICULTURA, P. e. A. Ministério da. *Mercado de biodefensivos cresce mais de 70% no Brasil em um ano.* 2020. <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/feffmercado-de-biodefensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 19.

A.MICHELINI. *Baterias recarregáveis para equipamentos portáteis.* 2017. <https://drive.google.com/file/d/1kRlE8714z5s_pysNZ1UqXqmyDUGXH-pb/view>. Acessado em 11/09/2021. Citado na página 41.

ANAC, G. *Perguntas e Respostas sobre VANT.* 2015. <https://www2.anac.gov.br/Arquivos/pdf/Perguntas_e_respostas_VANT_02092015.pdf>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 24.

ANAC, G. *Manual de orientação para usuários de drones: apostila geral.* 2017. <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 19.

ANATEL, G. *Apostila para homologação de drones.* 2017. <<https://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=347841&pub=original&filtro=1&documentoPath=347841.pdf>>. Acessado em 08/08/2021. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 24.

ANDERSON, J. D. *Fundamentals of Aerodynamics.* 5. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 2010. v. 1. Citado 3 vezes nas páginas 31, 98 e 101.

ANDERSON, J. D. *Fundamentos de engenharia aeronáutica: introdução ao voo.* 7. ed. [S.l.]: AMGH Editora Ltda, 2015. v. 1. Citado 3 vezes nas páginas 31, 96 e 101.

ARAGAKI, C. *Morte de meio bilhão de abelhas é consequência de agrotóxicos.* 2019. <<https://jornal.usp.br/atualidades/morte-de-meio-bilhao-de-abelhas-e-consequencia-de-agrotoxicos/>>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 19.

BASICS, C. *BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL.* 2016. <<https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>>. Acessado em 10/09/2021. Citado na página 61.

BUCHMANN, I. *Will Lithium-Ion batteries power the new millennium?* 2001. <http://members.optusnet.com.au/printing_with_chemistry/Articles/NA_Li-ion1.pdf>. Acessado em 12/09/2021. Citado na página 42.

- CIRCUIT, T. *Water Flow Sensor YF-S201 Arduino Interface*. 2018. <<https://theorycircuit.com/water-flow-sensor-yf-s201-arduino-interface/>>. Acessado em 10/09/2021. Citado na página 178.
- CUAV. *Manual do usuário do sistema CUAV H16*. 2021. <<http://manual.cuav.net/h16/H16-users-muanal-en.pdf>>. Acessado em 10/09/2021. Citado na página 171.
- CYPRESS. *What is Cypress*. 2021. <<https://www.cypress.io/>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 119.
- DATA, M. P. *Mechanical properties of Epoxy/Carbon Fiber*. 2020. <http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=39e40851fc164b6c9bda29d798bf3726>. Acessado em 05/09/2021. Citado na página 85.
- DEVMEDIA, R. E. N. M. . *ORM - Object Relational Mapping*. 2013. <<https://www.devmedia.com.br/orm-object-relational-mapping-revista-easy-net-magazine-28/27158/>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 119.
- DRONES, S. *Installation and datasheet of SmartAP PDB*. 2021. <<https://docs.sky-drones.com/smartap-pdb/installation>>. Acessado em 10/09/2021. Citado na página 180.
- FEDERAL, G. *Resolução CMN Nº 4.883, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2020*. 2020. <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-cmn-n-4-883-de-23-de-dezembro-de-2020-296178058>>. Acessado em 03/09/2021. Citado na página 143.
- FERREIRA, M. L. P. C. A pulverizacao aerea de agrotoxicos no brasil: Cenario atual e desafios. Santa Catarina, Brasil, p. 45, 2014. Citado na página 19.
- FILHO, G. F. Bombas, ventiladores e compressores : fundamentos. São Paulo, p. 320, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 49.
- FORCE, P. *Drones na Agricultura: tudo sobre a tecnologia que está mudando o setor*. 2018. <<https://pixforce.com.br/drones-na-agricultura/>>. Acessado em 07/08/2021. Citado na página 21.
- GOOGLE. *Material design language*. 2021. <<https://material.io/design>>. Acessado em 20/08/2021. Citado na página 186.
- GOV.FEDERAL. *Regulamentação e diretrizes diversas para produção, armazenamento, inspeção, aplicação e outros fins para agrotóxicos*. 2013. <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao/arquivos-de-legislacao/lei-7802-1989-lei-dos-agrotoxicos/view>>. Acessado em 02/09/2021. Citado na página 19.
- JAVIR, A. et al. Design, analysis and fabrication of quadcopter. *Journal of Advance Research in Mechanical & Civil Engineering (ISSN: 2208-2379)*, v. 2, n. 3, p. 16–27, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 86.
- JEST. *O que é Jest*. 2021. <<https://jestjs.io/pt-BR/>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 119.

- JUSTULIN, F. *Desenvolvimento de um sistema computacional para calculo de trajetorias no processo de Filament Winding.* 142 f. Monografia (Dissertaão de mestrado) — Universidade de São Paulo, São Carlos,SP, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 107 e 108.
- JWT. *Introduction to JSON Web Tokens.* 2021. <<https://jwt.io/introduction/>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 118.
- KAW, K. *Mechanics of Composite Materials.A CRC title, part of the Taylor Francis imprint, a member of the Taylor Francis Group, the academic division of TF Informa plc.* [S.l.]: , CRC Press Taylor Francis Group, 2006. v. 2. Citado na página 85.
- KLUEVER, C. A. Sistemas dinâmicos : modelagem, simulação e controle. São Paulo, p. 320, 2018. Citado na página 53.
- KVASER. *The CAN Bus Protocol Tutorial.* 2020. <<https://www.kvaser.com/can-protocol-tutorial/#>>. Acessado em 03/09/2021. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 62.
- LABS, S. *Manual de controle de fluxo UART.* 2021. <<https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/an0059.0-uart-flow-control.pdf>>. Acessado em 10/09/2021. Citado na página 169.
- LAVOURA, A. *Uso de drones decola no agronegócio.* 2018. <<https://alavoura.com.br/pesquisa-inovacao/tecnologia-agricola/uso-de-drones-decola-no-agro/>>. Acessado em 15/08/2021. Citado na página 132.
- LECHEVALIER, O. *BDD working together with Hexagonal architecture.* DEV Community, 2019. Disponível em: <<https://dev.to/ragezbla/bdd-working-together-with-hexagonal-architecture-2on9>>. Citado na página 190.
- LEITE, C. G. C. L. *Fabricação de risers rígidos de materiais compostos pelo metodo de enrolamento filamentar.* 73 f. Monografia (Monografia) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009. Citado na página 107.
- LUCIDCHART. *Tudo sobre diagramas de pacotes UML.* 2021. <<https://www.lucidchart.com>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 123.
- MALLICK, P. K. *Fiber reinforced composites, Materials, Manufacturing, and Design.* [S.l.]: y Taylor Francis Group, 2007. v. 1. Citado na página 85.
- MONGOBD. *MongoDB Wire Protocol.* 2008. <<https://docs.mongodb.com/manual/reference/>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 119.
- MYSLIWIEC, K. *What is Nest Js?* 2017. <<https://docs.nestjs.com/>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 118.
- PATEL, K. D. et al. Selection of bldc motor and propeller for autonomous amphibious unmanned aerial vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), India,* v. 4, n. 4, p. 3345–3350, 2017. Citado na página 31.
- PENA, E.; LEGASPI, M. G. *UART: A Hardware Communication Protocol Understanding Universal Asynchronous Receiver/Transmitter.* 2020. <<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html>>. Acessado em 03/09/2021. Citado na página 61.

- PJP-T-L, X. *Specifications for Quadcopter Multicopter Propellers made with Carbon Fiber - Precision Pair Propeller For Electric Low Kv Motors.* 2021. <<https://www.xoarintl.com/multicopter-propellers/precision-pair/>>. PJP-T-L-Precision-Pair-Multicopter-Carbon-Fiber-Propeller-Low-Kv-Motor/#des>. Acessado em 08/09/2021. Citado na página 87.
- PLASTECNO. *Tarugo de polipropileno.* 2020. <<https://www.plastecno.com.br/produtos/polipropilenopp.html>>. Acessado em 05/09/2021. Citado na página 85.
- RABBITMQ. *What can RabbitMQ do for you?* 2021. <<https://www.rabbitmq.com/features.html>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 119.
- REDHAT. *Qual é a função de um gateway de API?* 2021. <<https://www.redhat.com/pt-br/topics/api/what-does-an-api-gateway-do>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 120.
- REPUBLICA, P. da. *Lei das contravencoes penais.* 1941. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del3688.htm>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 24.
- SANTOS, C. D. dos. *PROJETO DE MOLDE PARA FABRICACÃO DE ENGENS GENS POR INJEÇÃO DE POLIMERO.* 80 f. Monografia (Monografia) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 108 e 109.
- SANTOS, T. R. S. D. *Integração de um VANT.* [S.l.]: Universidade do Vale do Paraíba Monografia, 2015. <<https://biblioteca.univap.br/dados/000015/00001534.pdf>>. Acessado em 13/08/2021. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- SHAKO. *Brass Solenoid Valve 0-8.5 Bar 2/2 Normally Closed.* 2021. <<https://www.solenoid-valve.world/product/241/shako-co-ltd/12-brass-solenoid-valve-0-85-bar-22-normally-closed>>. Acessado em 29/10/2021. Citado na página 52.
- SILVA, C. *Drone Stand-Alone.* [S.l.]: UNIVERSIDADE AUTÓNOMA DE LISBOA, 2018. <<https://repositorio.ual.pt/handle/11144/4356>>. Acessado em 12/08/2021. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 86.
- SILVA, C. *Drone Stand-Alone.* 2018. <<https://repositorio.ual.pt/bitstream/11144/4356/1/Relatorio%20Final%20-%20Drone%20UAL%20-%20Caio%20Silva%20-%202020160470.pdf>>. Acessado em 11/09/2021. Citado na página 35.
- SILVA, K. L. da; MORAIS, A. S. de. Hardware para controle avançado de veículo aéreo não tripulado do tipo quadricóptero. *Horizonte Científico*, 2014. Citado na página 29.
- SILVA, R. de Faveri Alexandre da. Metodologia gut aplicada à gestão de desastres: uma ferramenta de auxilio para a hierarquização de riscos. Brasil, p. v.9 n.1, 2016. Citado na página 145.
- SLAMTEC. *Manual de utilização e dados técnicos do radar modelo RPLIDAR A2.* 2021. <http://bucket.download.slamtec.com/20b2e974dd7c381e46c78db374772e31ea74370d/LD208_SLAMTEC_rplidar_datasheet_A2M8_v2.6_en.pdf>. Acessado em 10/09/2021. Citado 2 vezes nas páginas 168 e 169.

SRIKANTH, L. Concurrent studies on braided and filament wound carbon fiber composites, a comparative appraisal. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2011. Citado na página 107.

TOOL, U. D. *Figma*. 2021. <<https://www.figma.com>>. Acessado em 20/08/2021. Citado na página 186.

TURNIGY. *Turnigy Quad 4x6S Lithium Polymer Charger 400W DC Only*. 2021. <https://hobbyking.com/pt_pt/quad-4x6s-lithium-polymer-charger-400w-dc-only.html?queryID=d16ed980ba8c51a96161b5dce1bee4f9&objectID=72755&indexName=hbk_live_products_analytics>. Acessado em 26/10/2021. Citado na página 44.

UML-DIAGRAMS. *Class and Object Diagrams Overview*. 2007. <<https://www.uml-diagrams.org/class-diagrams-overview.html>>. Acessado em 07/09/2021. Citado na página 121.

VALVERDE, M. *País pode ser estratégico no abastecimento global*. 2020. <<https://diariodocomercio.com.br/agronegocio/pais-e-capaz-de-atender-alta-da-demanda-global-por-alimentos/>>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 19.

VISUAL, D. *CONHEÇA A LEGISLAÇÃO DE DRONES NO BRASIL*. 2018. <<https://www.dronevisual.com/post/2018/09/14/conheca-legislacao-de-drones-no-brasil-homologacao>>. Acessado em 08/08/2021. Citado na página 25.

Apêndices

APÊNDICE A – Termo de Abertura do Projeto (TAP)

A.1 Lista É/Não é

A.1.1 É

- É capaz de permanecer em voo por cerca de 30 minutos ininterruptos, onde o tempo de voo pode ser menor caso o veículo fique durante todo o tempo em stand by, parado no ar.
- É capaz de realizar a pulverização de precisão de defensivos agrícolas.
- É capaz de desviar de animais e outros obstáculos, evitando colisões.
- É capaz de realizar a coleta de variáveis quantitativas, como temperatura, umidade do ar e velocidade de operação.
- É capaz de emitir ao operador um sinal de aviso caso algum bico nebulizador esteja entupido.

A.1.2 Não é

- Não é capaz de realizar acrobacias aerodinâmicas durante sua operação.
- Não é capaz de dispersar outros produtos que não sejam defensivos agrícolas.
- Não é capaz de funcionar sem carga na bateria.
- Não é adequado para pessoas sem experiência em manuseio prévio de veículos parecidos.
- Não é um sistema autônomo, e precisa de cuidado durante o manuseio.

A.2 Vantagens e desvantagens do projeto

A partir dos parâmetros levantados e das análises de mercado efetuadas, algumas vantagens e desvantagens foram levantadas no que tange a proposta desenvolvida. Essas vantagens e desvantagens são listadas abaixo na figura 53 (Fonte: Autores).

A.2.1 Produtos concorrentes

Foi realizado uma pesquisa de mercado mostrada na figura 54 (Fonte: Autores) considerando os concorrentes que competem no mesmo nicho de mercado.

A análise de mercado mostra que a carga pretendida de 10 kg está dentro do mais difundido na indústria. Em relação a autonomia de voo, a meta inicial de 30 minutos é um diferencial, se mostrando quase 2 vezes maior do que a autonomia dos drones atuais. É

PROJETO: VANT DE PULVERIZAÇÃO	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Excelente viabilidade econômica	Investimento elevado a curto prazo
Monitoramento em tempo real de variáveis	Necessário pessoa especializada para operação
Diminuição de impactos ambientais	Autonomia de voo inversamente proporcional ao peso
Alcance geográfico ampliado e mais preciso	Operável somente em territórios despovoados
Longa vida útil	

Figura 53 – Vantagens e desvantagens do projeto

Serviços fornecidos	Modelos de drones consagrados			
	BRRB10L-6E	DJI Agras MG-1P	THEA 130S	DRACTOR 25A
Capacidade de carga	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Autonomia de voo (min)	10	20	12	60
Alcance do sinal e rádio	2 km	5 km NFC	1 km	5 km
Velocidade de voo (m/s)	10	15	10	10
Peso total (kg)	24,6	23	24	Não divulgado
Preço	R\$ 75.000,00	R\$ 83.000,00	R\$ 25.000,00	Não divulgado

Figura 54 – Análise de mercado com os principais VANTs já existentes

importante ressaltar também que o peso da aeronave a ser projetada não vai ultrapassar 25 kg, já incluindo os 10 kg de defensivos.

A.3 Restrições do produto

Uma análise de aspectos técnicos restritivos foi levantada com o intuito de se avaliar e implementar o produto da melhor maneira possível. Essa análise leva em conta os seguintes itens:

1. Local de operação: O drone deve ser utilizado em áreas agrícolas abertas, livres de

edificações altas e sem a presença de pessoas na região de voo.

2. Estabilidade do drone: A estabilidade do voo e o controle do processo de dispersão do drone são realizados remotamente pelo controle do operador, e indica-se possuir experiência antes de operar o produto.
3. Altitude de operação: Visto que o produto é destinado a operar em altitudes não muito elevadas, desobedecer essa restrição pode submeter os componentes a elevadas condições de temperatura e pressão, desbalanceando e até mesmo danificando o equipamento.
4. Acesso a ponto de energia: O local de operação deve possuir um ponto de energia para recarga da bateria do veículo, visto que sua autonomia de operação é de 15 minutos.

A.4 Papéis e responsabilidades

A.4.1 Equipe

A equipe responsável pelo projeto é formada por 14 alunos da FGA. A equipe foi alocada em 3 núcleos de desenvolvimento: estrutura, elétrica e software. A área de estrutura é formada por alunos das engenharias Automotiva e Aeroespacial é responsável por toda a parte estrutural do projeto. Por sua vez, o núcleo de elétrica é composto por alunos das engenharia de Energia e Eletrônica, e é responsável pela estruturação dos sensores, microcontroladores e baterias, bem como a comunicação com o software. Por fim, a área de software é formada pelos alunos do curso de Engenharia de Software, sendo responsáveis pela captação das variáveis coletadas pelo drone e o tratamento e disposição dos dados. Dentre os 14 alunos, alguns deles assumiram papéis de diretores e de coordenação, sendo: 1 coordenador geral, 1 diretora de qualidade e 3 diretores técnicos sendo cada um responsável por cada área. Os nomes dos alunos estão mostrados na tabela [26](#) (Fonte:Autores) enquanto que a disposição dos cargos é mostrada na figura [55](#) (Fonte: Autores).

Tabela 26 – Equipe do projeto

Número	Nome	Matrícula	Curso
1	Rodrigo Evangelista Aguiar de Souza	18/0130366	Engenharia Aeroespacial
2	Danielle Lima Bezerra	16/0151589	Engenharia Aeroespacial
3	Vitor Lima Aguirra	16/0047412	Engenharia Aeroespacial
4	Natalia Paula Souza	16/0015871	Engenharia de Energia
5	Francisco Barroso de Carvalho Neto	19/0106751	Engenharia de Energia
6	Thayná Côrtes Pereira	17/0063577	Engenharia de Energia
7	Lucas Gomes Silva	16/0133505	Engenharia de Software
8	Matheus de Cristo Doreia Estanislau	15/0141220	Engenharia de Software
9	João Pedro Soares Cirqueira	15/0132344	Engenharia de Software
10	Moacir Mascarenha Soares Junior	17/0080366	Engenharia de Software
11	Lucas Regis	15/0137443	Engenharia Automotiva
12	Douglas Alves de Castro	16/0005167	Engenharia Automotiva
13	Marianna Amélia de S. B. Monteiro	16/0160472	Engenharia Eletrônica
14	Elias Queiroga Vieira	16/0118719	Engenharia Eletrônica

A.4.2 Professores

Os professores são responsáveis por avaliar e auxiliar as equipes dos projetos ao longo da disciplina a medida que surgirem dificuldades técnicas. Os professores responsáveis pela disciplina se encontram na tabela 27 (Fonte: Autores).

Tabela 27 – Docentes da disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 2

Docente	Área de Atuação
Alex Reis	Engenharia de Energia
Ricardo Matos Chaim	Engenharia de Software
José Felício da Silva	Engenharia Eletrônica
Rhander Viana	Engenharia Automotiva
Paolo Gessini	Engenharia Aeroespacial

A.4.3 Público Alvo

Para a definição do público alvo do projeto, é necessário primeiramente entender a classificação de produtores rurais do Brasil. No Brasil, a classificação de produtores rurais não segue o critério de tamanho de hectares, mas sim a Receita Bruta Agropecuária Anual (RBA). Dessa forma, a classificação de pequeno, médio e grande produtor segue os critérios estabelecidos na resolução CMN N° 4.883, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2020 (FEDERAL, 2020), onde a divisão de produtores rurais é realizada conforme abaixo:

- Pequeno produtor: RBA até R\$ 415000,00

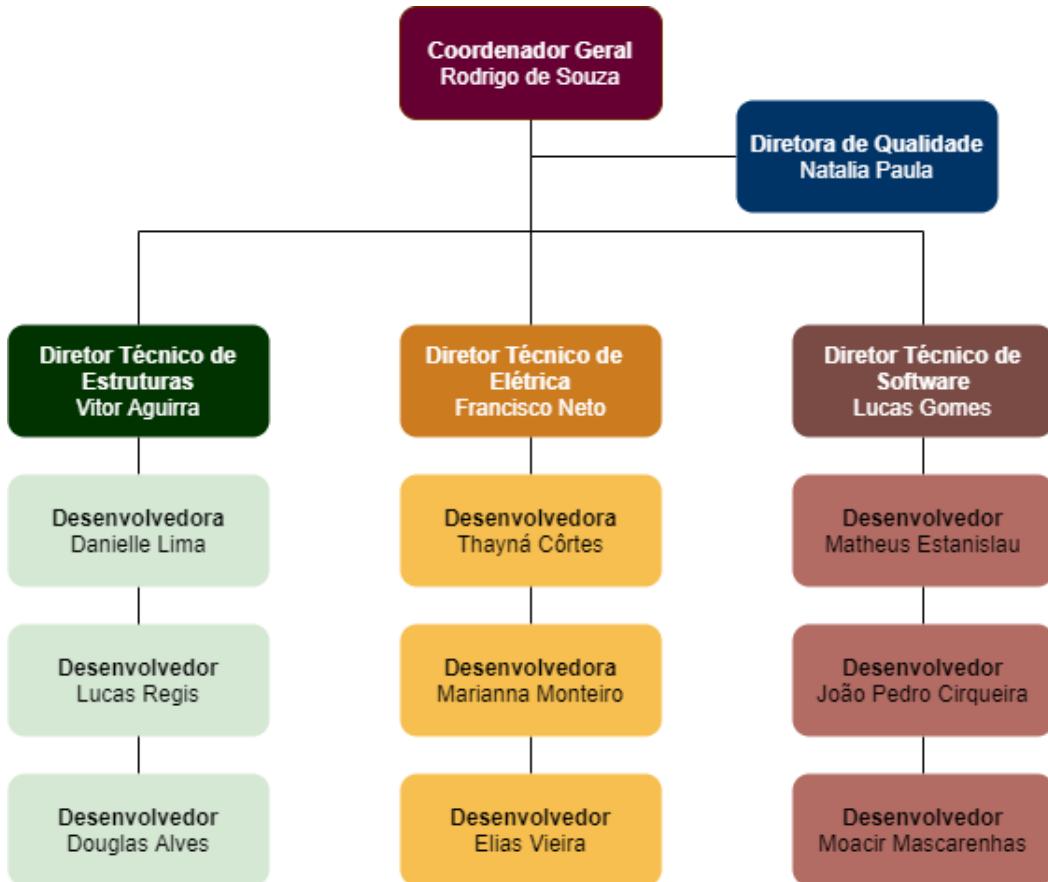


Figura 55 – Organograma dos integrantes do projeto elaborado na plataforma Drawio

- Médio produtor: RBA acima de R\$ 415000,00 e abaixo de R\$ 2000000,00
- Grande produtor: RBA acima de R\$ 2000000,00

Inicialmente, dados os altos custos iniciais de implementação do projeto, pensou-se em delimitar o público alvo como sendo os produtores de médio e grande porte. Entretanto, dado o grande potencial lucrativo do produto e a sua capacidade de prevenir o contato direto do trabalhador de pequeno porte com os defensivos agrícolas, entendeu-se que as três classificações de produtores se enquadram como sendo o público alvo do projeto, dado o grande potencial de retorno financeiro do produto.

APÊNDICE B – Riscos do projeto

A análise de riscos objetiva-se a mitigar os riscos que possam levar ao comprometimento do projeto. Para tal análise, foi implementada a metodologia de análise de Gravidade, Urgência e Tendência (GUT), que é uma ferramenta auxiliadora na priorização das decisões em um projeto (SILVA, 2016). Cada núcleo do projeto possui uma análise de risco específica, que por sua vez são mostradas nas tabelas 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36 (Fonte: Autores).

B.1 Riscos Gerais

Tabela 28 – Tabela de riscos gerais do projeto

ID	Risco	Consequência
1	Trancamento da disciplina	Sobrecarregar os demais membros
2	Equipe inexperiente	Atraso em implementar o projeto
3	Dificuldade na comunicação e alinhamento entre estrutura, eletrônica e software	Mal funcionamento do produto

B.2 Riscos Estruturais

Tabela 29 – Riscos de estrutura relacionados ao projeto

ID	Categoría	Risco	Consequência
1	Desempenho	Fratura da estrutura devido aos ciclos de trabalho	Quebras de componentes mecânicos durante a operação
2	Desempenho	Falha devido a erro de projeto mecânicos	Possíveis quebras durante operação
3	Desempenho	Mal dimensionamento das hélices	Dificuldade de operação e/ou queda durante voo
4	Operador	Impactos devido a condições climáticas ou fauna local	Danos físicos ao drone, contaminação excessiva do solo nas proximidades com agrotóxico, incêndios
5	Desempenho	Falha/entupimento dos bicos pulverizadores	Pulverização prejudicada
6	Operador	Impactos	Danos físicos às pessoas

ID	Categoria	Risco	Consequência
			próximas e ao drone
7	Desempenho	Falha da estrutura devido a grandes variações de cargas térmicas	Possíveis quebras durante operação
8	Desempenho	Vibrações induzidas nos componentes internos	Mal funcionamento e quebra do veículo

B.2.1 Análise dos Riscos e Ações de Estruturas

Tabela 30 – Riscos e ações de estruturas do projeto

ID	Ação	Ação Reativa	G	U	T	Grau
1	Operador	Substituição de componentes comprometidos	5	1	2	10
2	Desempenho	Validações analíticas e numéricas	5	5	5	125
3	Desempenho	Estudar novo dimensionamento dos motores e/ou hélices e substituição	5	5	5	125
4	Operador	Verificação do clima pelo operador e uso consciente do equipamento	5	2	1	10
5	Operador	Limpeza periódica dos pulverizadores	3	2	1	6
6	Operador	Ações de prevenção e treinamento do operador	5	4	4	80
7	Desempenho	Análises numéricas	5	5	5	125
8	Desempenho	Isolamento dos componentes internos	4	3	4	48

B.3 Riscos Eletrônicos

Tabela 31 – Riscos dos subsistemas eletrônicos relacionados ao projeto

ID	Categoria	Risco	Consequência
1	Desempenho	Curto circuito	Dano ao sistema
2	Desempenho	Falha dos sensores	Perda do monitoramento
3	Desempenho	Falha dos motores	Voo instável e com possibilidade de queda

ID	Categoria	Risco	Consequência
4	Desempenho	Falha na comunicação entre o controle e o VANT	Perda de controle sobre VANT
5	Desempenho	Falha na placa controladora de voo	Veículo passível de queda
6	Desempenho	Desencaixe de algum componente	Dano crítico interno que pode levar a queda

B.3.1 Análise dos Riscos e Ações de eletrônica

Tabela 32 – Riscos e ações de eletrônica do projeto

ID	Ação	Ação Reativa	G	U	T	Grau
1	Acompanhamento	Manutenção periódica	5	5	5	125
2	Acompanhamento	Manutenção periódica	4	4	3	64
3	Acompanhamento	Teste antes do voo e manutenção	5	5	5	125
4	Acompanhamento	Manutenção periódica	5	5	5	125
5	Acompanhamento	Manutenção periódica	5	5	4	100
6	Acompanhamento	Manutenção periódica	5	5	5	125

B.4 Riscos de energia

Tabela 33 – Riscos dos subsistemas de energia relacionados ao projeto

ID	Categoria	Risco	Consequência
1	Integração	Falha na integração entre eletrônica, energia e estrutura	Não funcionamento do VANT
2	Desempenho	Não funcionamento da fonte de alimentação	Não funcionamento do VANT
3	Desempenho	Falha na alimentação durante o voo	Queda e quebra do veículo

ID	Categoria	Risco	Consequência
4	Desempenho	Superaquecimento do motor	Queima do motor e incêndio interno
5	Desempenho	Falha no carregamento das baterias	Inoperância total ou parcial do veículo
6	Desempenho	Erro no dimensionamento do motor	Não cumpre a autonomia de voo estabelecida
7	Desempenho	Inoperância da bomba	Falha na dispersão do defensivo agrícola
8	Desempenho	Superaquecimento da bateria	Autonomia de voo comprometida e possibilidade de explosão e incêndio

B.4.1 Análise dos Riscos e Ações de energia

Tabela 34 – Riscos e ações de energia do projeto

ID	Ação	Ação Reativa	G	U	T	Grau
1	Integração	Ajuste do alinhamento e comunicação entre as três áreas	5	5	5	125
2	Mitigar	Estudo completo de carga e correto dimensionamento	5	5	5	125
3	Mitigar	Manutenção periódica do sistema de alimentação	5	5	5	125
4	Mitigar	Manutenção periódica do motor e controle de temperatura	5	5	5	125
5	Mitigar	Conferir o estado dos fios e bateria	4	4	4	64
6	Integração	Alinhamento entre a demanda e consumo	4	4	5	80
7	Desempenho	Garantir o correto dimensionamento da bomba	5	5	5	125

ID	Ação	Ação Reativa	G	U	T	Grau
8	Mitigar	manutenção periódica e troca dos componentes quando necessário	4	4	5	80

B.5 Riscos de Software

Tabela 35 – Riscos dos subsistemas de software relacionados ao projeto

ID	Categoria	Risco	Consequência
1	Planejamento	Dificuldade com as tecnologias escolhidas	Atraso na entrega do projeto
2	Planejamento	Possível redução de membros	Atraso na entrega do projeto
3	Planejamento	Falta de comunicação	Baixa qualidade do software
4	Planejamento	Entrega de relatórios com atrasos	Débitos técnicos para os próximos relatórios
5	Planejamento	Falta de priorização dos requisitos	Funcionalidades cruciais deixadas em segundo plano
6	Infraestrutura	Danos à base de dados	Perda de dados da aplicação
7	Infraestrutura	Ambiente de desenvolvimento mau configurado	Falhas durante a operação
8	Desempenho	Falha com a conexão de rede do VANT	Monitoramento em tempo real sem atualização
9	Desempenho	Bugs do software	Mal funcionamento do sistema

B.5.1 Análise de Riscos e ações para software

Tabela 36 – Riscos e ações de software do projeto

ID	Ação	Ação Reativa	G	U	T	Grau
1	Mitigar	Estudar a documentação da tecnologia utilizada	3	4	5	60
2	Prevenção	Ajuste do escopo e tarefas do projeto	4	4	5	80
3	Prevenção	Comunicação e interação mais eficiente entre o núcleo do projeto	4	3	3	36
4	Prevenção	Melhorar a organização dos integrantes	5	4	4	80
5	Prevenção	Reavaliar os requisitos e criar nova priorização	5	5	2	50
6	Prevenção	Realização de backups	5	5	4	100
7	Mitigação	Ajustes prévios e periódicos no ambiente de desenvolvimento	4	3	2	24
8	Mitigação	Salvar os dados localmente para depois exportá-los	4	2	3	24
9	Prevenção	Realizar testes de features	4	3	3	36

APÊNDICE C – Gerenciamento

C.1 Metodologia

As metodologia e ferramentas que foram analisadas e aplicadas como suporte para o desenvolvimento do projeto foram o PMBOK (Project Management Body of Knowledge), juntamente com o ciclo PDCA com a finalidade de promover um controle e melhoria contínua do processo e o Trello como ferramenta de gestão.

C.2 Ferramentas de Gerenciamento

As ferramentas que foram selecionadas pelos projetistas para auxiliar no desenvolvimento do projeto podem ser encontradas na figura 62.

Ferramenta	Função
 Microsoft Teams	Ferramenta utilizada para as reuniões gerais e as reuniões das subequipes.
 Google Drive	Ferramenta utilizada para o armazenamento de todos os processos e dos dados gerados para construção do projeto.
 WhatsApp	Ferramenta utilizada como plataforma principal de comunicação entre diretoria e desenvolvedores, para analisar o desenvolvimento do projeto, para suporte em dúvidas e para a marcação das reuniões.
 Overleaf	Ferramenta utilizada para a elaboração e formatação dos relatórios do projeto.
 GitHub	Ferramenta utilizada para o controle dos códigos gerados para o desenvolvimento do software aplicado no projeto.
 Trello	Ferramenta utilizada para o controle de prazos e entregas das subequipes.
 Pacote Computacional Ansys	Software utilizado para desenvolvimento das simulações estrutural do projeto.
 Catia	Software utilizado para desenvolvimento do CAD estrutural do projeto.
 Solidworks	Software utilizado para desenvolvimento do CAD estrutural do projeto.

Figura 56 – Ferramentas utilizadas ao longo do desenvolvimento do projeto.

C.3 Estrutura Analítica do Projeto (EAP)

C.3.1 EAP PC1

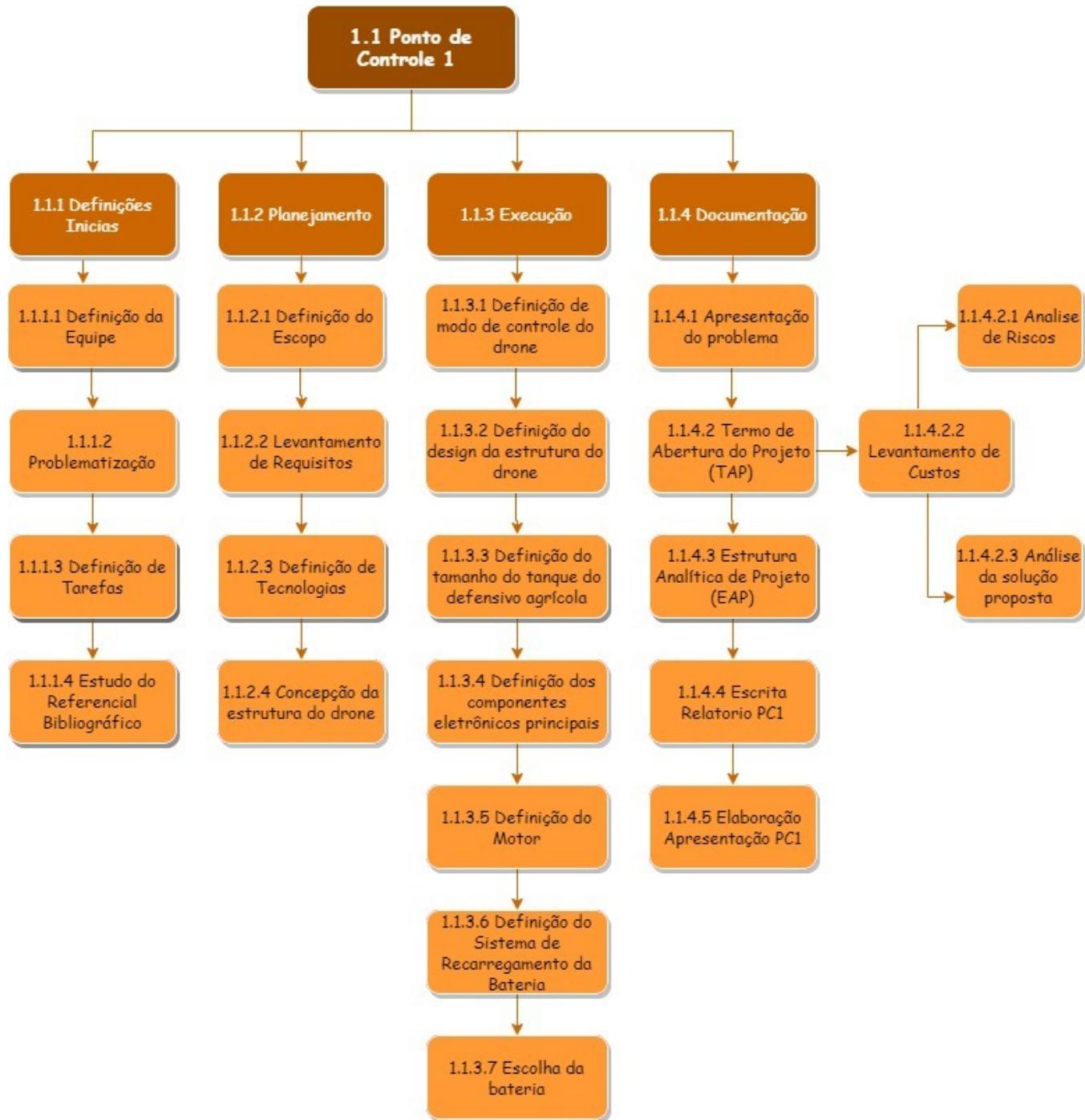


Figura 57 – Estrutura Analítica do ponto de controle 1

C.3.2 EAP PC2

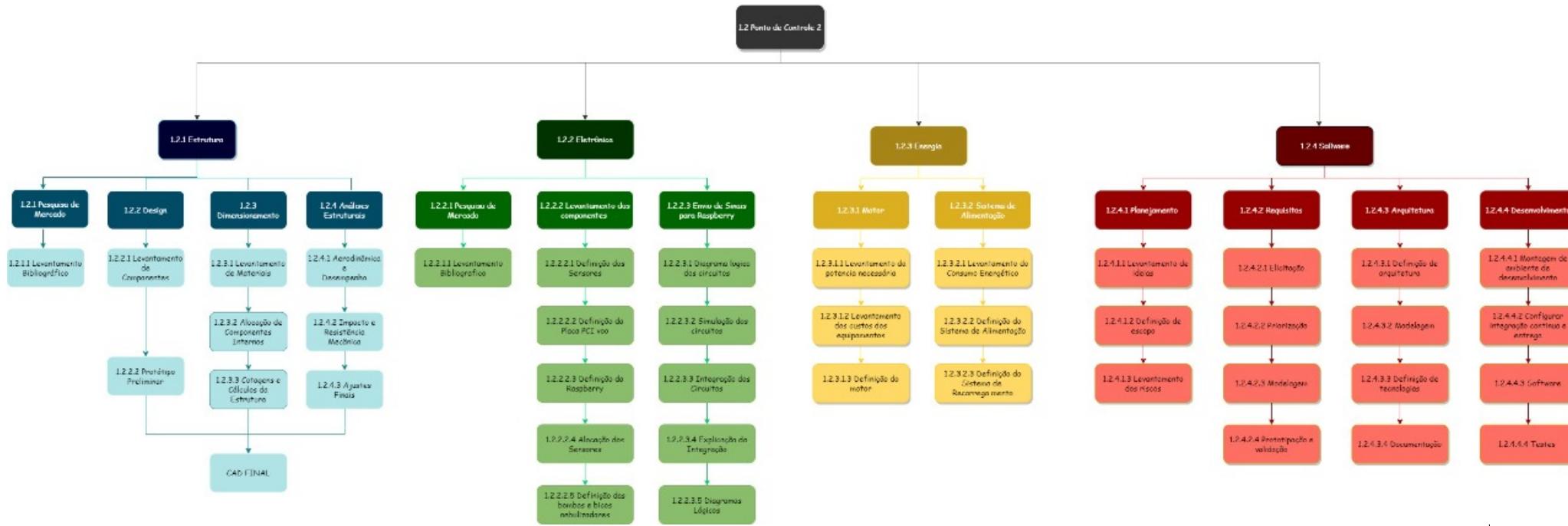


Figura 58 – Estrutura Analítica do ponto de controle 2.

C.3.3 EAP Estrutura

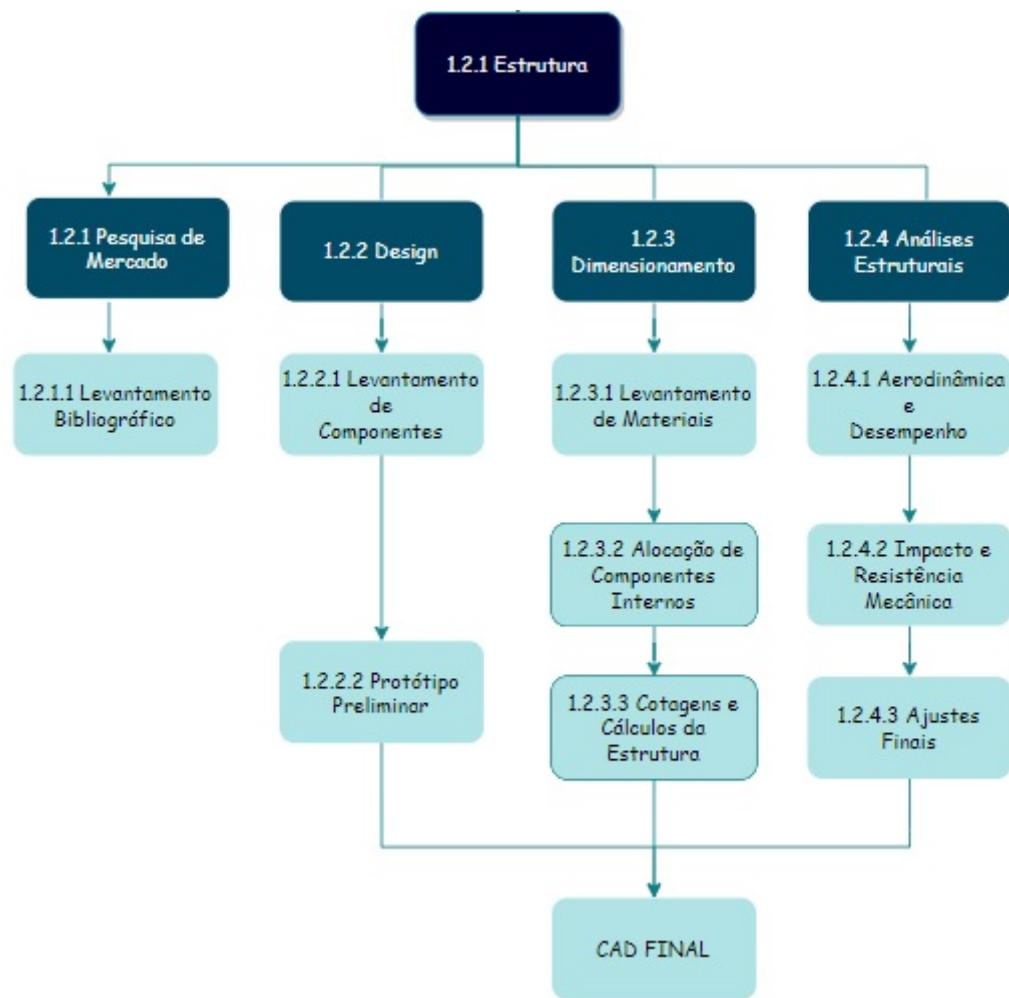


Figura 59 – Estrutura Analítica de estruturas do ponto de controle 2.

C.3.4 EAP Elétrica (Eletrônica e Energia)

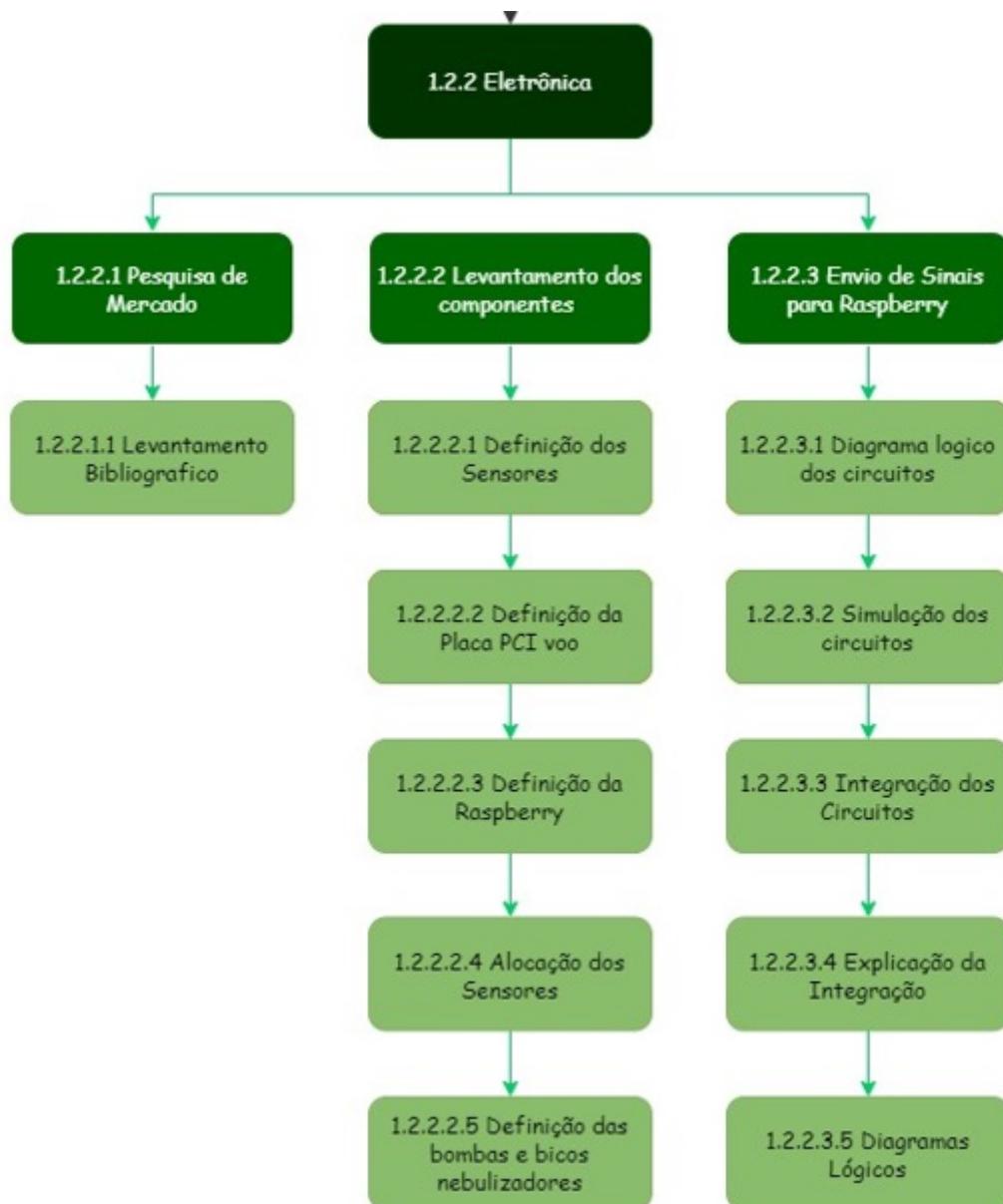


Figura 60 – Estrutura Analítica de Eletrônica do ponto de controle 2.

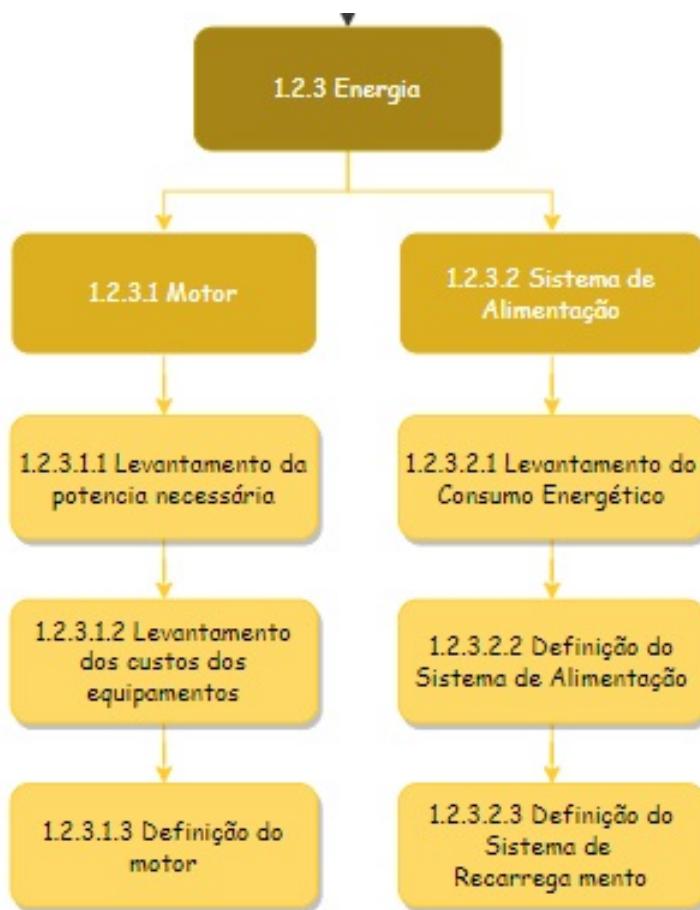


Figura 61 – Estrutura Analítica de energia do ponto de controle 2.

C.3.5 EAP PC3

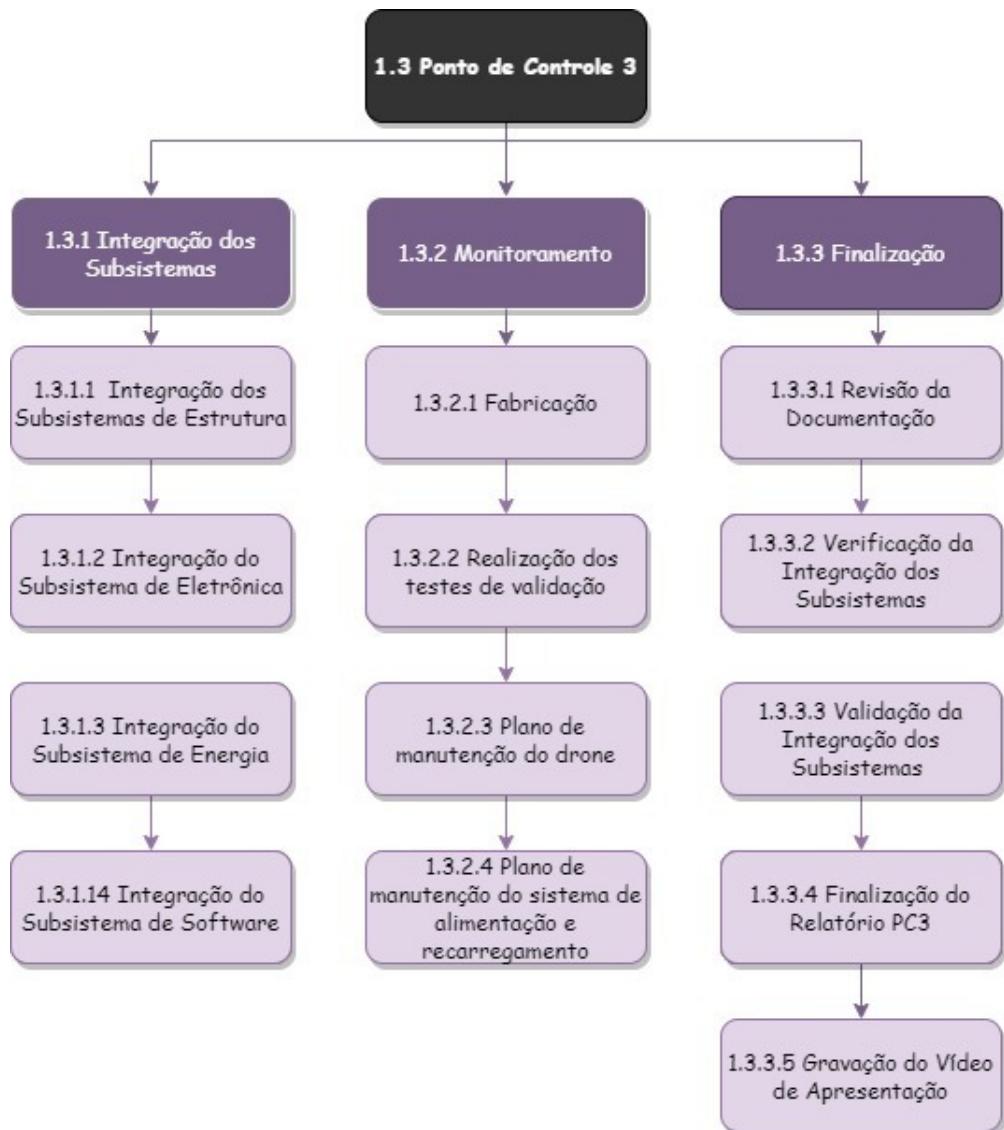


Figura 62 – Estrutura Analítica do ponto de controle 3.

C.4 Gestão de tempo

C.4.1 Cronograma de Estrutura

Tabela 37 – Cronograma de atividades para o núcleo de estrutura

Cronograma de atividades	Início	Fim
Levantamento bibliográfico sobre VANTs	04/08/2021	05/08/2021
Pesquisa sobre modelos de VANT no mercado	05/08/2021	06/08/2021
Levantamento de requisitos e componentes	07/08/2021	10/08/2021
Levantamento de custos e riscos	10/08/2021	11/08/2021
Alinhamento sobre o Ponto de Controle 1	10/08/2021	11/08/2021
Reunião com o professor Alex para esclarecimentos	11/08/2021	11/08/2021

Cronograma de atividades	Início	Fim
Modelagem CAD preliminar	11/08/2021	18/08/2021
Elaboração dos slides para apresentação do PC1	22/08/2021	25/08/2021
Correções a serem efetuadas no PC1	30/08/2021	01/09/2021
Pesquisa sobre dimensionamento de componentes	01/09/2021	03/09/2021
Projeto dos componentes mecânicos em CAD	03/09/2021	08/09/2021
Melhorar a parte escrita relacionada a escolha de materiais	08/09/2021	11/09/2021
Realização de simulações estruturais no ANSYS	11/09/2021	14/09/2021
Revisão do PC2 e elaboração da apresentação	14/09/2021	15/09/2021
Pesquisa sobre os processos de fabricação dos componentes mecânicos	18/09/2021	23/09/2021
Elaboração do plano de fabricação	23/09/2021	27/09/2021
Plano de encaixe dos componentes	27/09/2021	30/09/2021
Elaboração do plano de manutenção dos componentes	01/10/2021	03/10/2021
Modificações finais do CAD	03/10/2021	06/10/2021
Elaboração dos slides do PC3	06/10/2021	09/10/2021

C.4.2 Cronograma elétrica

Tabela 38 – Cronograma de atividades para o núcleo de elétrica

Cronograma de atividades	Início	Fim
Pesquisas gerais sobre o VANT	02/08/2021	12/08/2021
Levantamento de requisitos, riscos e soluções elétricas	05/08/2021	12/08/2021
Alinhamento entre as equipes de eletrônica e software	09/08/2021	19/08/2021
Concepção de soluções	12/08/2021	18/08/2021
Validação das soluções	18/08/2021	19/08/2021
Escrita do PC1	19/08/2021	21/08/2021
Elaboração da apresentação do PC1	19/08/2021	21/08/2021
Elaboração dos slides para apresentação do PC1	22/08/2021	25/08/2021

Cronograma de atividades	Início	Fim
Definição da quantidade de motores e tipo de motor utilizado	27/08/2021	30/08/2021
Estimativa de peso do VANT em conjunto com o núcleo de estruturas	30/08/2021	03/09/2021
Pesquisas relacionadas à baterias LiPo e levantamento de carga do sistema global do VANT	03/09/2021	11/09/2021
Dimensionamento da bateria a ser utilizada e distribuição de energia pelo sistema	11/09/2021	12/09/2021
Definição do sistema de carregamento e cálculo de autonomia de voo do VANT	12/09/2021	13/09/2021
Integração com o núcleo estrutural para projeto do sistema de bombeamento	13/09/2021	14/09/2021
Elaboração dos slides de apresentação do PC2	14/09/2021	15/09/2021
Ajustes na escrita para o PC3	18/09/2021	20/09/2021
Ajustes no diagrama unifilar	20/09/2021	21/09/2021
Diagrama de fiação dos componentes eletrônicos	21/09/2021	22/09/2021
Ajuste das equações no PC3	22/09/2021	23/09/2021

C.4.3 Cronograma de Software

Tabela 39 – Cronograma de atividades para o núcleo de software

Cronograma de atividades	Início	Fim
Elaboração do escopo do projeto	05/08/2021	07/08/2021
Elicitação de requisitos funcionais e não funcionais	07/08/2021	07/08/2021
Definição de custos	07/08/2021	08/08/2021
Definição de riscos	08/08/2021	10/08/2021
Definição da identidade visual	10/08/2021	17/08/2021
Elaboração de protótipos	10/08/2021	17/08/2021
Documentação da arquitetura da solução empregada	10/08/2021	17/08/2021
Esboço da representação da arquitetura de software	30/08/2021	04/09/2021

Cronograma de atividades	Início	Fim
Elaboração da arquitetura de software	30/08/2021	04/09/2021
Elaboração do diagrama de classes, pacotes, atividades e sequencia	04/09/2021	09/09/2021
Dockerização dos repositórios	20/09/2021	04/10/2021
Criação do Backend do Vant	04/10/2021	21/10/2021
Criação do Backend de Usuário	04/10/2021	21/10/2021
Criação do Backend de Monitoramento	04/10/2021	21/10/2021
Criação do Gateway de API	04/10/2021	21/10/2021
Implementação do Frontend	04/10/2021	21/10/2021

C.4.4 Cronograma de reuniões

C.4.4.1 Reuniões Gerais

Tabela 40 – Cronograma de reuniões realizadas para grupo geral

Nº da reunião	Objetivo	Data
1	Apresentação dos integrantes do grupo e discussão dos projetos propostos	26/07/2021
2	Definições relacionadas a estrutura organizacional, horários das reuniões, repositórios e escrita do PC1	30/07/2021
3	Resultados iniciais das pesquisas e dos levantamentos de requisitos	06/08/2021
4	Alinhamento de diretrizes para escrita do PC1 e definições relacionadas a apresentação do mesmo	13/08/2021

C.4.4.2 Reuniões Estrutura

Tabela 41 – Cronograma de reuniões realizadas pelo núcleo de estrutura

Nº da reunião	Objetivo	Data
1	Discussão sobre os modelos já existentes no mercado, além de brainstorm e debate geral sobre o design do VANT do projeto	05/08/2021

Nº da reunião	Objetivo	Data
2	Definição sobre o design base do projeto e divisão de tarefas para a escrita do PC1	06/08/2021
3	Resultados do projeto CAD preliminar do VANT e debate sobre modificações a serem efetuadas	13/08/2021
4	Alinhamento de pesquisas e nova divisão de tarefas já planejando o PC2	16/08/2021
5	Levantamento de requisitos para o PC2 e atribuição de tarefas	23/08/2021
6	Ajustes a serem feitos no CAD	28/08/2021
7	Ajustes nas análises estruturais feitas no Ansys	01/09/2021
8	Dúvidas sobre a análise aerodinâmica de desempenho	05/09/2021
9	Elaboração dos cálculos analíticos de tensão	08/09/2021
10	Ajustes finais no CAD do PC2	11/09/2021

C.4.4.3 Reuniões do núcleo elétrico

Tabela 42 – Cronograma de reuniões realizadas para o núcleo de elétrica

Nº da reunião	Objetivo	Data
1	Brainstorm e debate geral sobre energia e eletrônica necessária no VANT.	02/08/2021
2	Levantamento de requisitos e dúvidas acerca do projeto.	05/08/2021
3	Reunião com o professor Alex sobre dúvidas de alimentação do VANT.	06/08/2021
4	Reunião entre equipe de eletrônica e software.	09/08/2021
5	Planejamento e divisão das atividades para finalização do PC1.	12/08/2021
6	Reunião com o Professor Alex - Prevista	13/08/2021
7	Reunião entre equipe de eletrônica e software - Prevista.	a determinar
8	Reunião com o Professor Alex - Prevista.	18/08/2021
9	Reunião Ordinária DIREL - Prevista.	19/08/2021

Nº da reunião	Objetivo	Data
10	Discussão e decisão sobre alteração da autonomia do VANT	23/08/2021
11	Revisão do planejamento do núcleo e redefinição dos componentes eletrônicos	25/08/2021
12	Levantamento de dúvidas para reunião com os professores Alex e Felício	30/08/2021
13	Alinhamento das diretrizes de Eletrônica e definição da bateria	02/09/2021
14	Reunião de integração com o núcleo de estruturas para acertos da bateria	06/09/2021
15	Verificação de itens faltantes para o PC2	09/09/2021
16	Planejamento para o PC3	16/09/2021
17	Validação de correções para o PC3	23/09/2021
18	Reunião para correções do PC2	29/09/2021

C.4.4.4 Reuniões do núcleo de software

Tabela 43 – Cronograma de reuniões realizadas para o núcleo de software

Nº da reunião	Objetivo	Data
1	Reunião com o professor Chaim para apresentação da proposta inicial	06/08/2021
2	Brainstorm para elicitação de requisitos funcionais e não funcionais	07/08/2021
3	Interação com eletrônica para abordar questões de integração no VANT	09/08/2021
4	Definição da identidade visual e design de aplicação	10/08/2021
5	Elaboração dos protótipos	12/08/2021
6	Reunião com o professor Chaim para abordar ideias de inovação para o núcleo	13/08/2021
7	Finalização do documento e arquitetura de integração	17/08/2021

Nº da reunião	Objetivo	Data
8	Alinhamento das datas de entrega e levantamento de dúvidas	30/08/2021
9	Esclarecimento de dúvidas e tomada de decisões sobre o PC2	01/09/2021
10	Alinhamento da arquitetura e escolha de tecnologias	03/09/2021
11	Elaboração dos microsserviços	04/09/2021
12	Definição de tecnologias	07/09/2021
13	Finalização da escrita do PC2	08/09/2021
14	Reunião com o professor Chaim sobre correções	22/09/2021
15	Criação e atribuição de issues aos integrantes do grupo	22/09/2021
16	Correções nos repositórios	13/10/2021
17	Finalização da parte de Software do relatório do PC3	14/10/2021

APÊNDICE D – Solução de eletrônica para o projeto

D.1 Módulo controlador de voo

O módulo controlador de voo consiste na junção dos principais componentes responsáveis por controlar todo o processo de decolagem, voo e aterrissagem do VANT. Sendo assim, é de suma importância a tuação conjunta de vários componentes eletrônicos, que por sua vez, serão especificados e justificados nas próximas seções.

D.1.1 Placa controladora de voo CUAV V5+

A placa controladora CUAV V5+ utiliza o firmware PX4, que é de código aberto e permite fazer as modificações necessárias para adequar o produto a ser projetado. Este é o componente eletrônico principal do VANT, pois será responsável pelo controle de voo e comunicação com dispositivos como GPS, módulo de velocidade do ar, sensor de colisão, banco de baterias, controladores de velocidade dos drones, rádio para controle remoto, câmera e transmissão de vídeo. Além disso, fará o gerenciamento da telemetria para apresentar dados relevantes sobre o voo para o operador do veículo via controle remoto ou software.

A controladora possui dois processadores diferentes, o principal é o FMU (do inglês Flight Management Unit) e o processador IO, que seria um co-processador responsável pela comunicação com o rádio e motores auxiliares. O processador utilizado para FMU é o Arm Cortex-M7 de 32 bits, 216MHz de clock, 2MB de armazenamento e 512KB de RAM. Já o processador IO é o Arm Cortex-M3 de 32 bits, 24MHz de clock e 8KB de SRAM. Além dos processadores acima apresentados, a placa conta com sensores internos, dois acelerômetros/giroscópios de modelos ICM-20689 e BMI055. Também possui um magnetômetro de modelo IST8310 e um barômetro de modelo MS5611. Essa é a instrumentação que participa ativamente no controle de estabilidade do voo, além de fornecer dados telemétricos de velocidade e aceleração. Abaixo são listadas as principais características deste componente eletrônico.

- 8 saídas de PWM (do inglês Pulse Width Modulation) controladas pelo processador FMU e 6 saídas de PWM controladas pelo processador IO
- 3 entradas dedicadas de PWM/captura pela FMU

- Entrada R/C (controle via rádio) dedicada através do protocolo CPPM
- Entrada R/C dedicada com protocolo Spektrum/DSM ou SBus
- Entrada analógica/PWM com RSSI (do inglês Received Signal Strength Indication)
- Saída de servo motor com protocolo SBus
- 5 portas seriais para uso geral
- 4 portas de protocolo I2C
- 4 portas de interface SPI
- 2 portas CAN com extensão serial para ESC
- Duas entradas de alimentação, sendo que uma delas possui o sensor de corrente/-tensão.
- Tensão de entrada de 4.3 5.4V
- Tensão de alimentação via USB de 4.75 5.25V
- Temperatura de operação de -20º a 80ºC

Para melhor explicar as saídas da placa mostradas na figura ??, a tabela 44 (Fonte: [Manual da placa CUAV V5+](#)) mostra a nomeclatura e descrição de cada porta.

Tabela 44 – Portas de entrada e saída da placa controladora

Porta principal	Descrição
Power 1	Módulo de alimentação primário, possui monitoramento de tensão e corrente do banco de baterias
Power 2	Módulo de alimentação secundário, com capacidade de Smart Battery ligada por I2C
ADC	Não alimenta a placa, serve como um segundo monitoramento de tensão e corrente
TF Card	Entrada para cartão SD para arquivo de registro e armazenamento de dados do terreno
M1-M8	Saídas principais de servo/motor (Processador FMU)
A1-A6	Saídas adicionais de servo/motor/D-Shot (Processador IO)
DSU7	Serial 6 (UART7) para debug
I2C1-I2C4	I2C externo (bússola, telêmetro, sensores, etc)

Porta	Descrição
USB-C	Entrada USB para setup da placa via computador ou para atualização de firmware
SBUS Out	Saída SBUS para periféricos como câmera, gimbal, etc
CAN1 / CAN2	Portas CAN (Controller Area Network) compatíveis com UAVCAN, KDECAN, ToshibaCAN
GPS & SAFETY	CUAV NEO v2 GPS com bússola, interruptor de segurança, LED, campainha
TELEM1 / TELEM2 / UART4	Portas seriais (telemetria, periféricos, computador complementar)
DSM / SBUS / RSSI	Entrada RC (SBUS / DSM / ST24 / SRXL / PPM) ou entrada RSSI

D.1.2 Módulo GPS NEO 3 pro

Um módulo GPS será utilizado e em conjunto com a placa controladora para orientar e guiar o veículo ao longo de sua operação. O módulo escolhido foi o NEO 3 pro, que é um GPS padrão UAVCAN desenvolvido pela CUAV. Ele integra bússola de nível industrial, barômetro, luz de status do controlador de voo, campainha e interruptor de segurança, tudo em um pacote. Possui características de alta segurança e forte resistência a interferências. Integra o módulo ublox m9n e pode receber sinais de GPS, Galileo, GLONASS e Beidou ao mesmo tempo. Suas características são listadas abaixo.

- Processador: STM32F412
- Bússola: RM3100
- Barômetro: MS5611
- Receptor GNSS: UBLOX NEO M9N
- Unidade RGB: NCP5623C
- Buzzer passivo
- GNSS (Global navigation satellite system): Beidou, Galileo, GLONASS e GPS
- Precisão horizontal: 2m
- Precisão de velocidade: 0,05m/s
- Taxa de atualização de navegação: 25Hz (máx.)
- Número de satélites (MAX): 32+

- Sensibilidade de rastreamento: -160dBm
- Protocolo: UAVCAN
- Filtragem de ondas: SAW + LNA + SAW
- Anti-eletromagnético / interferência de radiofrequênci: EMI + RFI
- Tensão de entrada 5V
- Temperatura de operação $-10 \sim 70^{\circ}\text{C}$

A figura 63 (Fonte: <http://www.cuav.net/en/neo-3-pro-en/>) ilustra o sistema de ligação entre a placa controladora e o módulo GPS utilizado, onde a porta CAN1 será utilizada para alimentar (5V e GND) e receber dados de navegação providos do GPS através das portas CANL e CANH. Vale salientar, portanto, a necessidade de que esses dois componentes trabalhem em conjunto para o correto controle de voo.

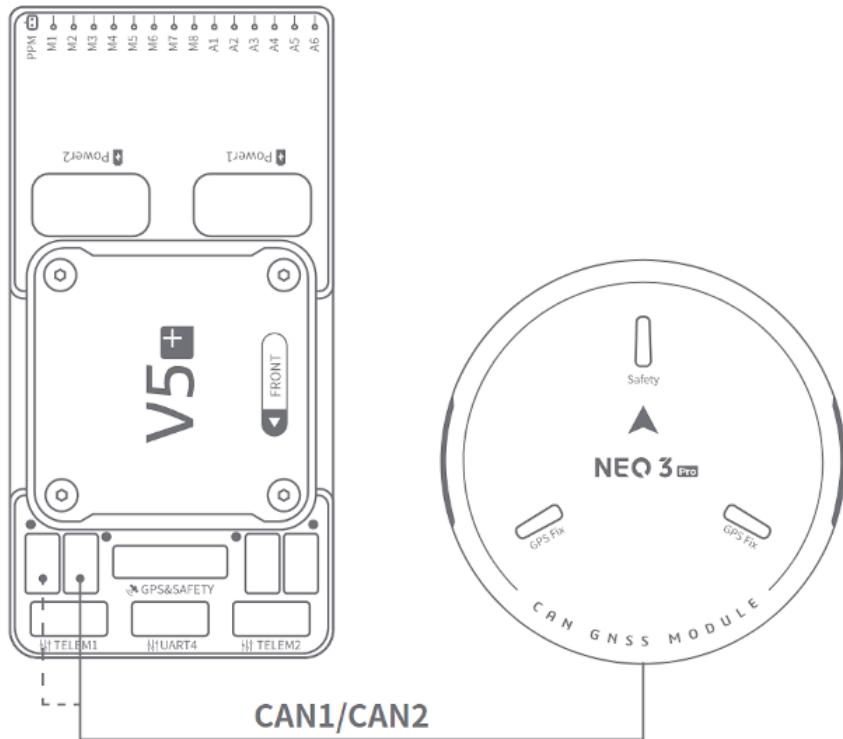


Figura 63 – Sistema de ligação entre a placa controladora e o módulo GPS

D.2 Módulo anti colisão

O módulo anti colisão tem como principal função prevenir e proteger o VANT de impactos contra animais, estruturas diversas e outros obstáculos que venham a surgir em sua rota de voo. Para tal finalidade, foi escolhido um radar de colisão, modelo

SLAMTEC RPLIDAR A2. Este modelo é a solução de scanner a laser 2D de 360 graus ([SLAMTEC, 2021](#)) de última geração de baixo custo desenvolvida pela SLAMTEC. Pode levar até 8.000 amostras de laser variando por segundo com alta velocidade de rotação. O RPLIDAR A2 é a versão aprimorada do scanner de alcance a laser 2D . O sistema pode realizar varredura 2D de 360 graus em um alcance de 12 metros. Os dados de nuvem de pontos 2D gerados podem ser usados em mapeamento, localização e modelagem de objeto/ambiente. As especificações técnicas do radar são listadas abaixo, e logo em seguida, é mostrado o seu esquemático de funcionamento na figura 64 (Fonte: ([SLAMTEC, 2021](#))).

- Alcance: 12m
- Frequência de amostragem: 8000 Hz
- Velocidade de rotação: 5-15Hz
- Tensão de entrada: 5V
- Corrente: 450-600mA
- Consumo: 2.25-3W
- Saída: UART Serial 3.3V
- Temperatura de operação: 0° a 40°C
- Raio angular: 360°
- Peso: 190g

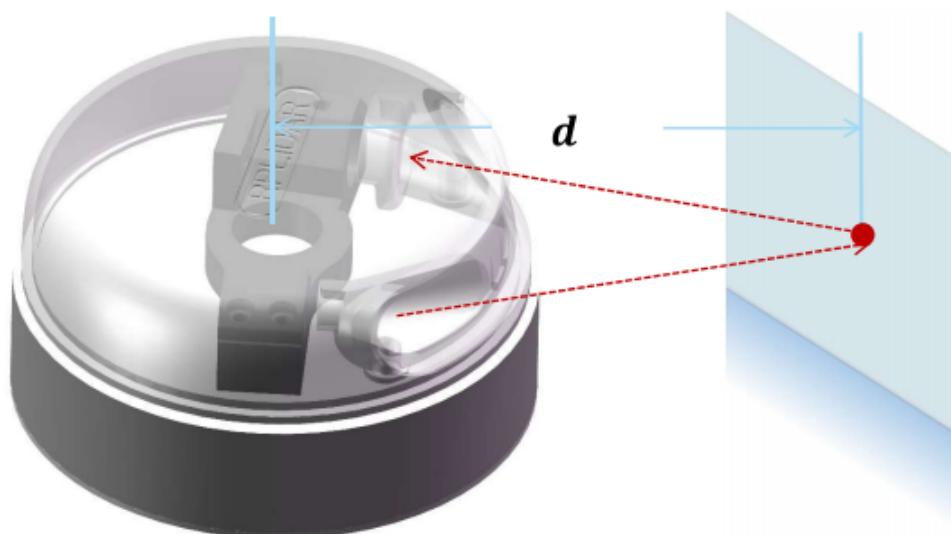


Figura 64 – Esquemático de funcionamento do RPLIDAR

A frequência de varredura típica do RPLIDAR A2 é de 10Hz (600 rpm). Nessa condição, a resolução será de 0,45°. A frequência real de varredura pode ser ajustada livremente na faixa de 5 a 15Hz de acordo com os requisitos dos usuários. O RPLIDAR A2 consiste em um núcleo de scanner de alcance e a parte de alimentação mecânica que faz o núcleo girar em alta velocidade. Quando funciona normalmente, o scanner gira e faz a varredura no sentido horário, e os usuários podem obter os dados de varredura de faixa por meio da interface de comunicação do RPLIDAR, além de controlar a partida, parada e velocidade de rotação do motor de rotação via sinal PWM. O radar ainda vem com detecção de velocidade de rotação e sistema adaptativo, onde o sistema ajustará a resolução angular automaticamente de acordo com a velocidade de rotação real, não havendo necessidade de uma alimentação complexa para esse componente. Dessa forma, a fonte de alimentação será a própria porta TELEM2 da controladora de voo, e, portanto, além de alimentar também pode obter os dados do radar por meio da interface de comunicação que a mesma possui. A figura 65 (Fonte: ([SLAMTEC, 2021](#))) ilustra a interface de comunicação e alimentação do radar, além da estrutura de pinos que irá alimentar este componente.

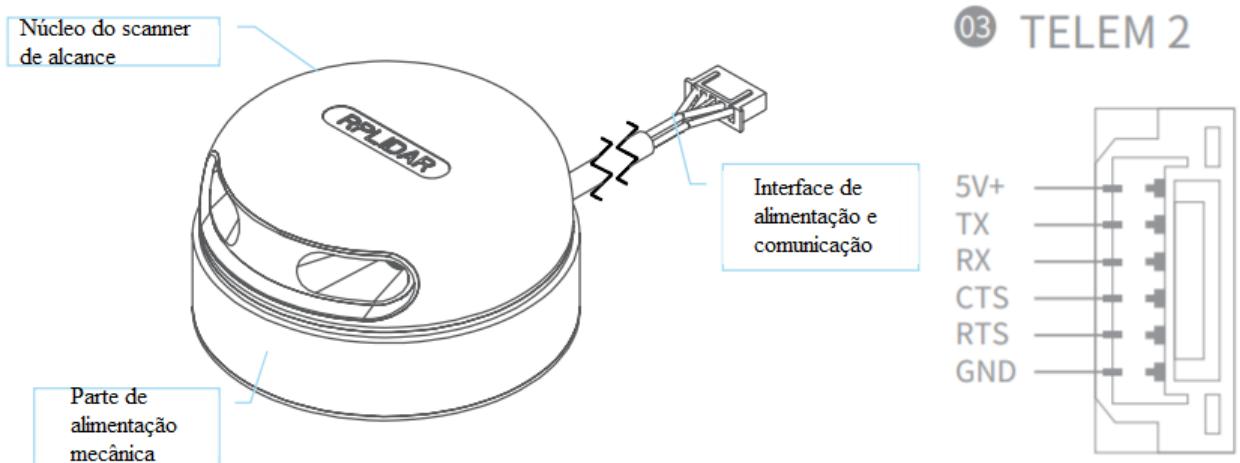


Figura 65 – Estrutura mecânica e estrutura dos pinos disponíveis no radar RPLIDAR

Pela análise da figura, nota-se que a ligação do dispositivo será realizada a partir de uma porta serial UART, onde a alimentação será centrada nos pinos 5V+ e GND. O protocolo de comunicação será feito através dos pinos TX (transmissão de dados), RX (recepção de dados), CTS que também é conhecido como livre para envio (Clear To Send) e RTS que significa pronto para envio (no inglês, Ready To Send). A ligação do dispositivo pela porta UART pode ser observada abaixo na figura 66 (Fonte: ([LABS, 2021](#))).

Vale ressaltar que o tipo de ligação apresentado na figura 66 será o mesmo com o módulo de transmissão de vídeo e também da Raspberry, pois ambos utilizarão portas UART para se comunicar com a controladora.

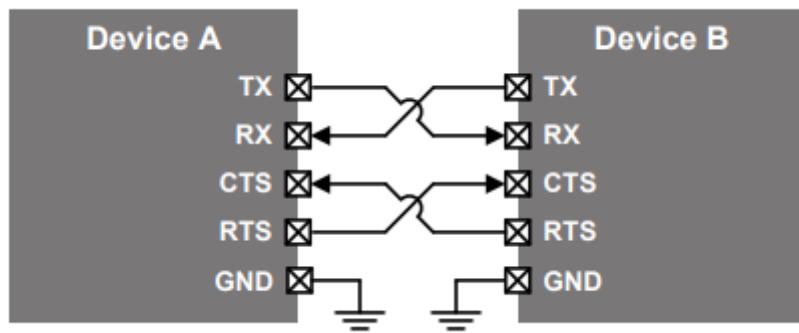


Figura 66 – Esquemático de ligação de controle de fluxo UART

D.3 Módulo de operação do usuário e transmissão de vídeo

Para que o operador do veículo possa operá-lo remotamente e monitorar as áreas a serem pulverizadas, é de extrema importância estabelecer uma conexão sem fio com o VANT e também implementar um sistema visual para acompanhamento da pulverização. Para tal solução, utilizou-se o sistema CUAV H16, que unifica o controle remoto, a câmera FPV (first person view) e o receptor de rádio e transmissor de vídeo em uma única solução. Abaixo constam as especificações técnicas dos componentes mencionados.

Controle remoto

- Processador Pinecone S1
- Distância de transmissão: 10km
- Frequência de operação: 2.4GHz
- Sensibilidade do receptor: 20dB
- Voltagem de operação: 4.2V
- Banda: 20M
- Duração da bateria: 6 20h
- Tamanho da tela: 7 polegadas
- Tipo de tela: LCD
- Resolução: 1920x1080
- Brilho: 2000nit
- Bateria: 20000mAh
- Peso: 1034g

- Dimensões: 272x183x94mm

Receptor

- Saída RC: 16 canais SBUS
- Sensibilidade do receptor: 20dB
- Voltagem de operação: 7.2-72V
- Consumo: 2.4W
- Dimensões: 76x59x11mm
- Tipo de antena: chicote

Câmera MIPI

- Sensor: OV4689
- Pixels: 400 mil
- Voltagem de operação: 14-72V
- Corrente com leds ligados: 140mA
- Corrente com leds desligados: 14mA
- Dimensões: 102.1x42.6x36.5mm

Primeiramente, é apresentado o módulo receptor e suas interfaces para esclarecer o funcionamento do equipamento e como ele se conecta com o todo. Seu esquemático de funcionamento é mostrado abaixo na figura 67 (Fonte: ([CUAV, 2021](#))) juntamente com a descrição de cada componente enumerado de 1 a 9.

A câmera MIPI irá se conectar ao módulo receptor através da entrada 8. A porta serial UART 0 será utilizada para se conectar à porta TELEM1 da controladora de voo CUAV V5+. Por sua vez, a porta POW+SBUS do receptor irá receber a conexão de energia, mas também irá se conectar com a porta DSM/SBUS/RSSI da controladora de voo. O esquemático de ligação de todo o sistema é mostrado abaixo na figura 68 (Fonte: ([CUAV, 2021](#))). na imagem, é possível observar a estrutura serial UART fazendo uso das portas RX e TX, assim como no módulo de radar 360º. O receptor irá coletar dados da controladora de voo como nível de bateria, dados de posição, velocidade, aceleração e irá enviar esses dados para o visor do controle remoto utilizando o SBUS através das antenas, assim como também captar comandos emitidos pelo controle remoto, como os comandos de movimento ou de mudança de posição da câmera.

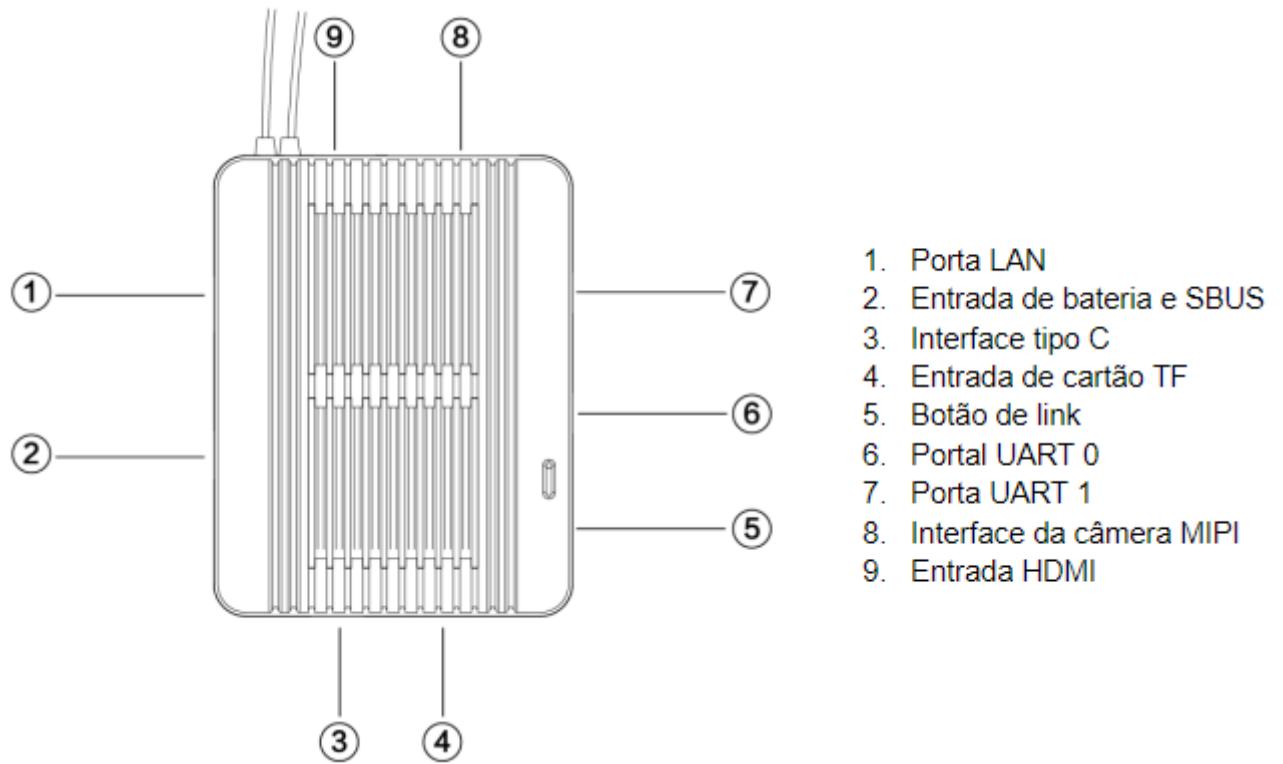


Figura 67 – Interface do módulo receptor

D.4 Raspberry

A Raspberry irá atuar na tomada de decisões relacionadas ao controle do sistema de bombeamento e dispersão dos defensivos. O modelo de Raspberry escolhido foi o 3B, que integrada com a controladora de voo CUAV V5+ permitirá que o piloto tenha acesso ao monitoramento tanto do voo quanto da pulverização. Uma vez integrada com a controladora de voo CUAV V5+ e com os sensores, permitirá que o piloto tenha acesso ao monitoramento tanto do voo quanto da pulverização e das variáveis atmosféricas e ambientais. Abaixo, é mostrado na figura 69 (Fonte: <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/circuitnotes/pi-circuit-note.html> o diagrama de pinos da placa), e logo abaixo suas especificações técnicas.

- Processador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
- 1GB LPDDR2 SDRAM
- 2.4GHz e 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless
- LAN, Bluetooth 4.2, BLE
- Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300 Mbps)

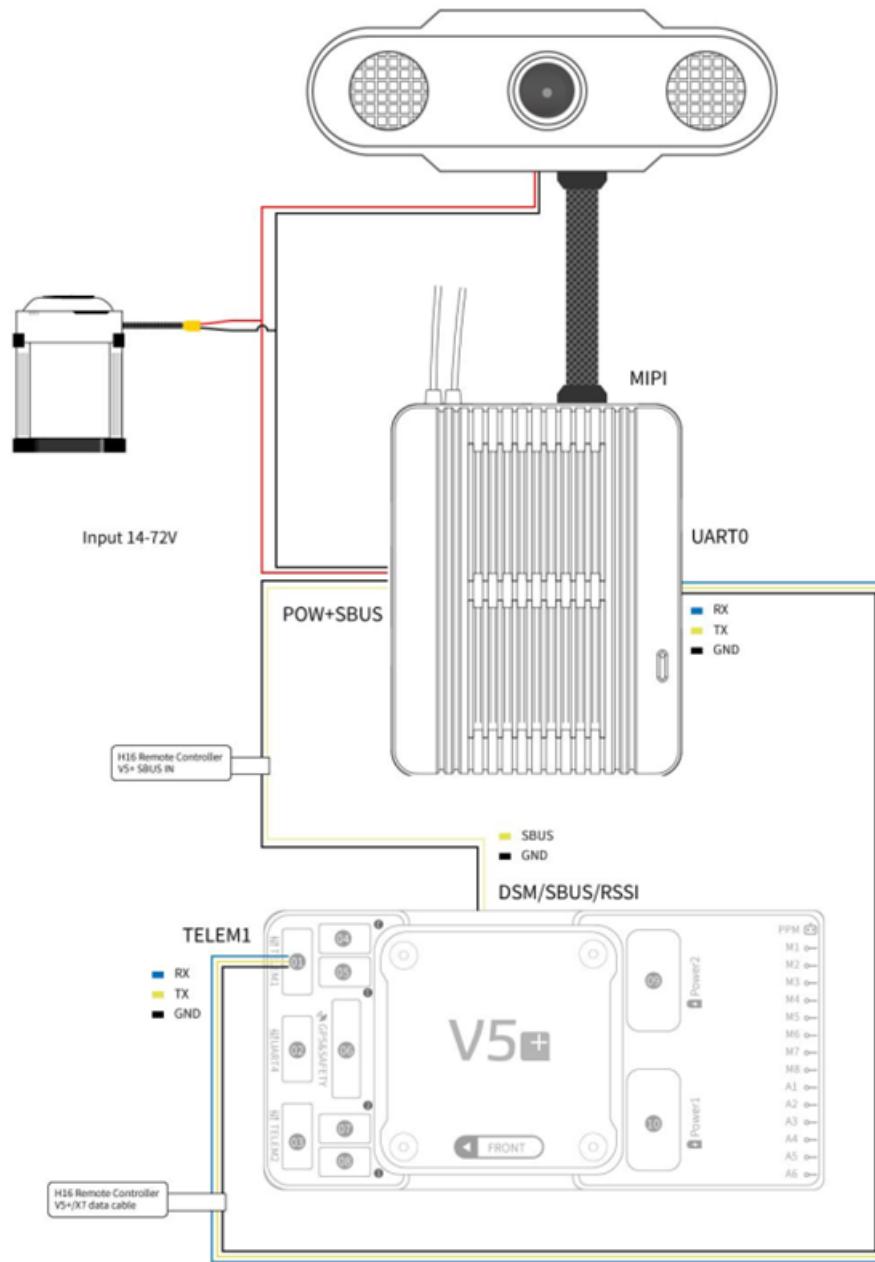


Figura 68 – Esquemático de ligação

- 40-pin GPIO header
- Conector de interface HDMI
- 4 portas USB 2.0
- Conector DSI para display capacitivo Raspberry Pi
- Slot cartão micro SD para carregamento do sistema operacional e armazenamento de arquivos
- Entrada de fonte DC micro USB 5V/2,5A

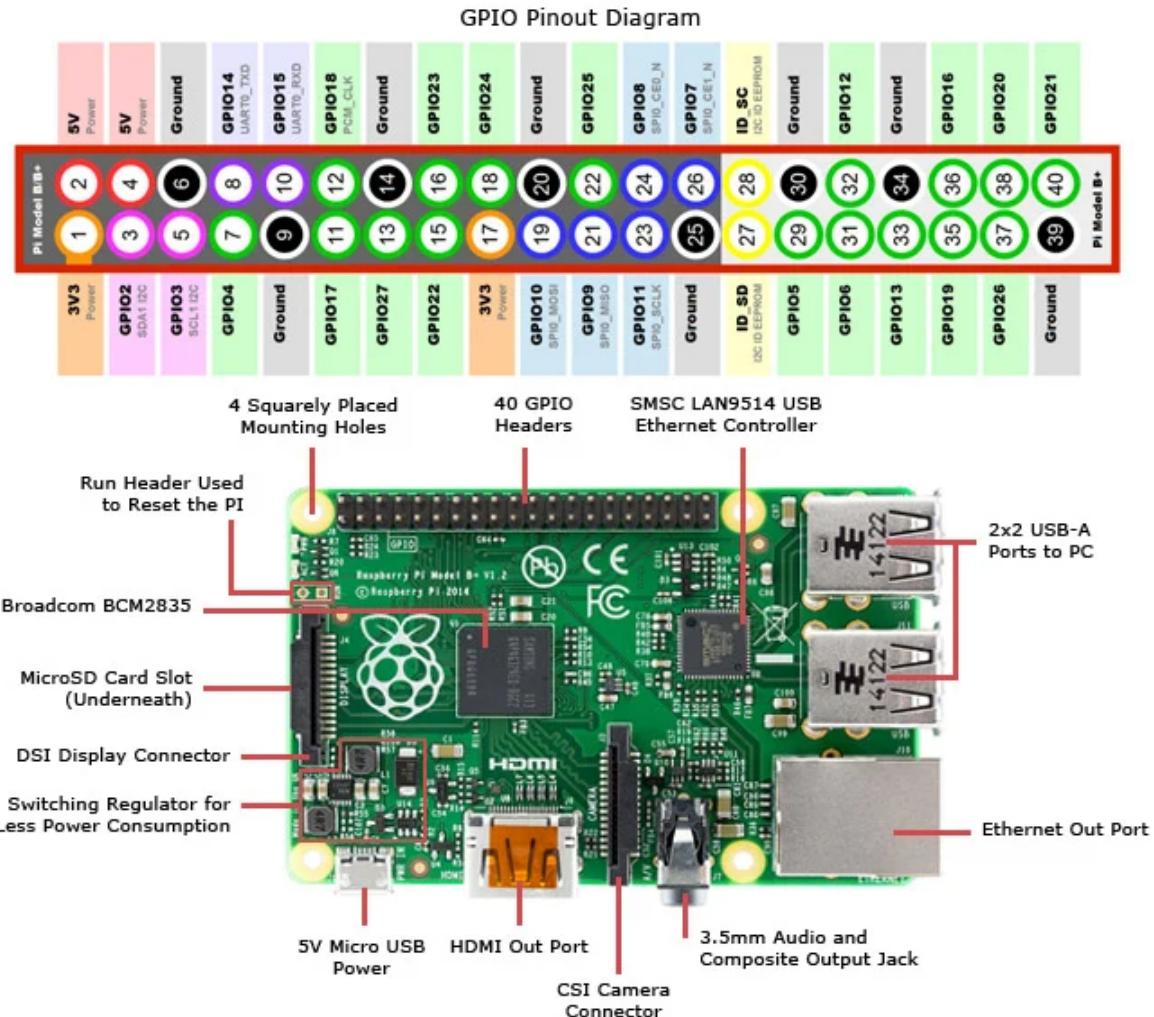


Figura 69 – Diagrama de pinos da Raspberry Pi Model 3 B

- Suporte a Power-over-Ethernet (PoE) (requer HAT PoE separadamente)

Na análise da figura, os pinos responsáveis pelo UART na Raspberry são o GPIO14 para TX e o GPIO15 para RX. Será utilizado a porta UART 4 da placa controladora de voo para fazer essa integração com a Raspberry. A UART 4 pode ser observada abaixo na figura 70.

É possível observar que diferentemente das portas seriais TELE1 e TELE2 usadas nos módulos de vídeo e de radar, a porta UART4 não trabalha com CTS e RTS, conforme visto na figura 66. Portanto, é necessário utilizar o protocolo I2C para efetuar essa conexão. Os pinos GPIO2 e GPIO3 possuem interface SDA e SCL, respectivamente, onde então será possível utilizar a alimentação fornecida pela porta UART4 na porta 2 da Raspberry, utilizar a porta 39 como GND e seguir com o restante das conexões acima mencionadas para efetuar a unificação. A figura 71 (Fonte: Autores) busca ilustrar como será efetuada a conexão entre a controladora de voo e a raspberry da figura 69.

02 UART4

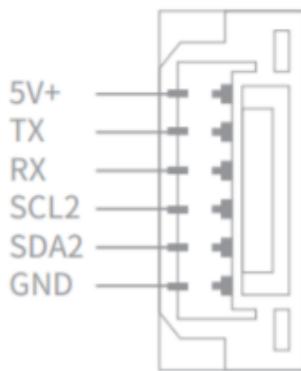


Figura 70 – Interface da porta UART4 da controladora de voo

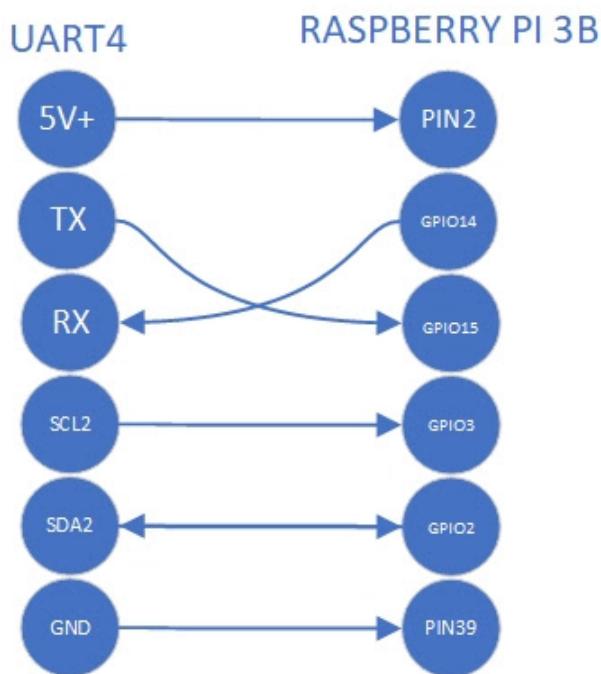


Figura 71 – Ligação entre a controladora de voo e a Raspberry Pi

Conforme visto na figura, o protocolo SDA é full duplex porém o protocolo SCL é apenas half duplex, partindo da controladora de voo, que funcionará como master, para a Raspberry, que funcionará como slave. Essa é a razão dessa ligação ser feita desta maneira. As ligações entre RX e TX se mantiveram as mesmas em relação aos outros dispositivos ligados de maneira serial.

D.4.0.1 Módulo 4G para Raspberry 3B

Para que o piloto tenha acesso ao monitoramento do voo e da pulverização realizada em tempo real, será utilizado um módulo 4G acoplado a Raspberry, onde suas

características são listadas abaixo.

- Faixa de temperatura operacional: $-40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$
- Compatível com modelos raspberry pi com conectores gpio de 40 pinos
- Tensão de alimentação: 5v
- Tensão de funcionamento: 5V/3,3V.

D.5 Módulo de sensores

Para operação adequada e precisa do VANT, é necessário a inclusão de alguns sensores para medição e monitoramento de dados do ambiente de operação do veículo. Estes dados serão coletados e analisados em tempo real pelo sistema de monitoramento desenvolvido pelo núcleo de software.

D.5.1 Sensor de velocidade do ar

Medir a velocidade do ar é de extrema importância para operação adequada do VANT, visto que velocidades muito altas podem ocasionar turbulências e afetar a estabilidade do voo, além de afetar na temperatura de operação dos componentes internos.

Uma vez que os modelos de asa fixa contam com o princípio de Bernoulli para gerar sustentação, a velocidade no ar é uma condição necessária para gerar sustentação, razão pela qual as aeronaves de asa fixa são geralmente equipadas com medidores de velocidade no ar. A velocidade no ar insuficiente é chamada de estol. A título de exemplo, considera-se um avião que opera contra o vento de 30 km por hora e a velocidade de solo é de 50 km. Então, a velocidade no ar é de 80 km neste momento. Por sua vez, se o avião está voando com vento de 30 km e a velocidade de solo é medida em 50 km, a velocidade no ar é de 20 km. Se a velocidade no ar de 20 km não produzir sustentação suficiente, acidentes catastróficos podem ocorrer. De modo geral, o voo manual não precisa ser equipado com um medidor de velocidade no ar, visto que se a potência for insuficiente, basta aumentar o acelerador. Porém, como o VANT projetado é semi autônomo, e possui decolagem V-STOL, este tipo de sensor é altamente recomendado.

O sistema de medição de velocidade do ar é composto por um mini-controlador, um tubo e uma piteira de metal que capta a velocidade relativa do ar, onde os componentes podem ser vistos na figura 72 (Fonte: <https://store.cuav.net/shop/airspeed-sensor/>).

O tubo de Pitot utilizado calcula a velocidade de vazão do ar que escoa ao redor do VANT. Sua instalação é feita paralelamente ao fluxo relativo de ar, onde a ponta do tubo é responsável por captar o fluxo de entrada do ar. O cálculo é então realizado tomando

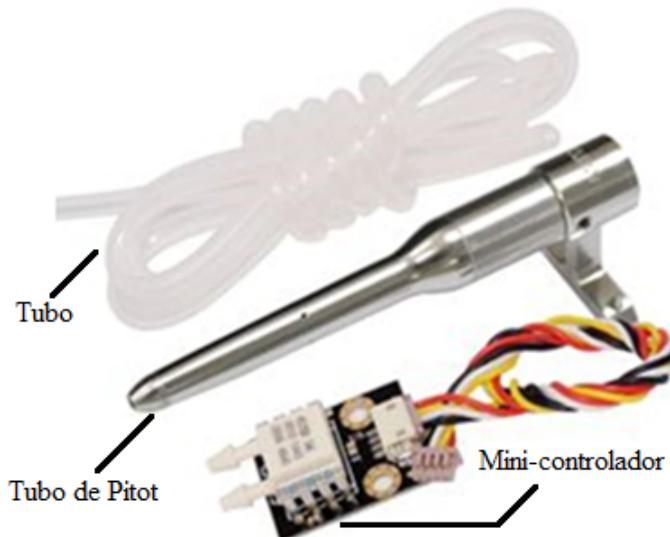


Figura 72 – Sistema de sensoriamento da velocidade do ar

como base os dados de pressão total da atmosfera e da pressão estática, onde quando a aeronave se desloca na massa de ar, o vento relativo causa um aumento na pressão de ar admitida pelo orifício do tubo de Pitot em relação à pressão estática, e esse adicional de pressão somado à pressão estática, faz um componente interno do tubo expandir. O movimento de expansão é transmitido aos ponteiros ao leitor de velocidade do VANT, indicando assim a medição da velocidade.

O transdutor piezoresistivo série MPXV7002 no pacote pequeno (SOP ou small outline package) é um sensor de pressão de silício monolítico de última geração localizado no interior do tubo, projetado para uma ampla gama de aplicações, mas particularmente aquelas que empregam um microcontrolador ou microprocessador com entradas A / D. Este transdutor de elemento único patenteado combina técnicas avançadas de microusinação, metalização de película fina e processamento bipolar para fornecer um sinal de saída analógico de alto nível preciso que é proporcional à pressão aplicada. É o MPXV7002 que é responsável por medir pressão total e estática e, além disso, com um offset específico de 2,5V em vez do 0V convencional, permitindo medir a pressão de até 7kPa através de cada porta para detecção de pressão, mas também para detecção de vácuo.

Características

- -2 a 2kPa (-0,3 a 0,3psi)
- Saída de 0,5 a 4,5V
- O sistema é alimentado através da porta I2C e a captação de dados é feita pela mesma porta.

A figura 73 (Fonte: [Manual da placa CUAV V5+](#)) ilustra a porta I2C responsável por pela alimentação e comunicação do sensor de velocidade do ar.

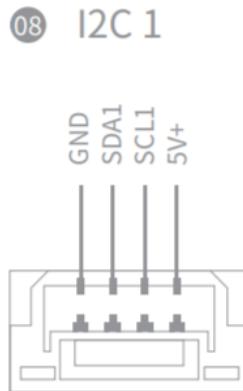


Figura 73 – Porta I2C responsável pela alimentação e comunicação do sensor de velocidade do ar

D.5.2 Sensor de fluxo

O sensor de fluxo atua como regulador do fluxo de pesticidas, interrompendo o bombeamento de pesticidas caso necessário. Para que a bomba não trabalhe a seco e a também por conta da necessidade de monitorar a quantidade de pulverizantes, utilizou-se o sensor de fluxo que enviará pulsos PWM para a Raspberry Pi. O sensor de fluxo adotado foi o YS-201, que funciona através do efeito Hall conforme a figura 74 ([CIRCUIT, 2018](#)) abaixo.

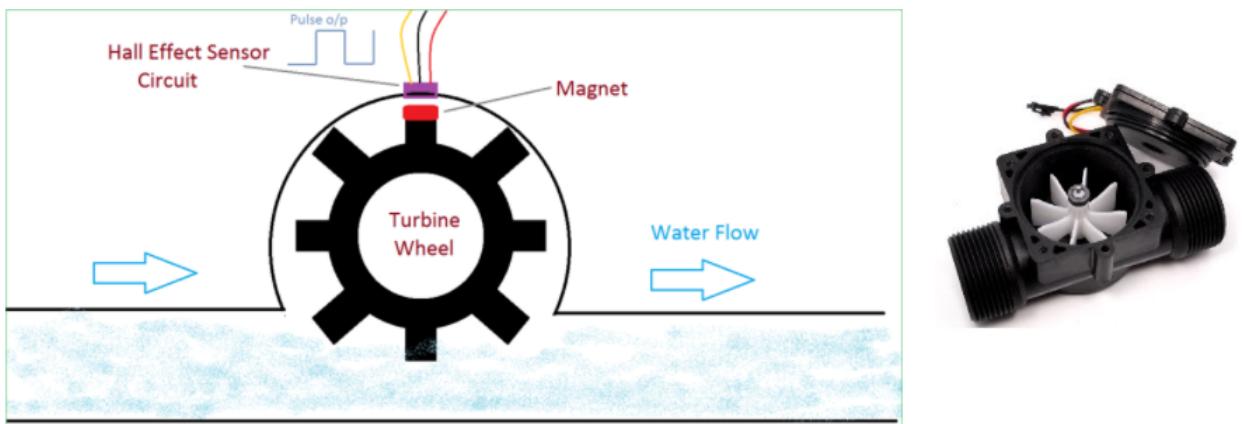


Figura 74 – Sensor de fluxo e seu esquemático de funcionamento

O esquemático de funcionamento mostra uma roda de turbina com um imã, que quando a água flui pela tubulação, a turbina gira e esse fluxo do imã interfere no sensor Hall. A taxa dessa interferência vai depender da velocidade do fluxo de defensivos, e o sensor produz uma saída de sinal de pulso que pode ser calculada como o volume de

pulverizante dispersado. O sensor será conectado a Raspberry Pi, o fio vermelho no pino 4 (5V), o preto no pino 14 (ground) e o fio amarelo de sinal no pino 12 (GPIO 18) como mostrado na figura 69.

Características do sensor

- Tipo de sensor : Efeito Hall
- Tensão de operação: DC 4,5 24V
- Corrente máxima: 15mA (5V)
- Faixa de fluxo: 1~30L/m
- Pressão máxima: $\leq 2\text{ MPa}$
- Temperatura do líquido: $\leq 120^{\circ}\text{C}$
- Pulses por litro: 450

D.5.3 Sensor de temperatura e umidade

O monitoramento da temperatura da bateria é necessário para evitar o superaquecimento da mesma, e consequentemente prolongar sua vida útil. Além disso, monitorar a temperatura de funcionamento da bateria protege os demais componentes localizados próximos a ela, que por sua vez também possuem limite de temperatura de funcionamento. Por sua vez, a medição em tempo real da umidade do ar pode indicar possíveis tempestades e também protege a estrutura externa contra condições adversas de operação, e, portanto, um sensor que monitora a temperatura e a umidade é importante para preservar os componentes estruturais e elétricos, visto que a umidade muito alta pode contribuir para turbulências nas hélices, prejudicando a estabilidade do voo e podendo levar o veículo a queda.

O sensor de temperatura e umidade adotado foi o AM2302B DTH22 com módulo que pode ser alimentado com 3,3V ou 5V e tem uma distância de transmissão de até 20m. O DHT22 envia primeiro os valores de umidade e depois temperatura, ambos com 16 bits, mas mandados de 8 bits (1 byte) em 8 bits. Além disso, possui um sensor capacitivo de umidade e um termistor (componente que tem sua resistência elétrica alterada termicamente), ambos conectados a um controlador de 8 bits que produz um sinal digital serial no pino S (signal). Pode ser conectado em qualquer pino digital da Raspberry.

Para o sensor verificando a temperatura próxima à bateria, será conectado a alimentação nos pinos 1 (3,3V) e 9 (ground), e o do sinal será conectado no pino 7 (GPIO4). O sensor monitorando a umidade do ar vai ser conectado a alimentação nos pinos 17 (3,3V) e 6 (ground), sinal sendo ligado no pino 11 (GPIO17) conforme a figura 69.

Características do sensor

- Faixa de temperatura: -40°C a 80°C
- Faixa de umidade: 0 ~ 99.9%
- Precisão de detecção de temperatura: ± 0.5 °C
- Precisão de detecção de umidade: $\pm 2\%$
- Resolução: 0.1°C em 0.1%
- Período de amostragem: 2s
- Tensão de alimentação: DC 3.3 ~ 5.5V

D.6 Módulo de tensão

O módulo de tensão é de fundamental importância para transferência de energia para os controladores de velocidade e motores brushless, além de gerar alimentação para o controlador de voo e outros periféricos com diferentes níveis de tensão. O modelo escolhido foi o SmartAP PDB (Power Distribution Board), que fornece a funcionalidade para medições de tensão / corrente da bateria. Em adicional, este componente torna as conexões de linhas de alta potência mais fáceis e muito mais confiáveis, onde abaixo na figura 75 (DRONES, 2021) é mostrado seu esquemático de conexões, e após isso, suas especificações.

Especificações técnicas

- quatro orifícios de montagem de 3 mm
- Tensão de entrada de até 60 Volts (14S)
- Capacidade de lidar com correntes extremamente altas (corrente de pico de até 400A)
- Entrada de energia da bateria principal, possibilidade de conectar até 4 baterias independentes
- 12 pares de entradas (6 na parte superior, 6 na parte inferior) para alimentar até 12 motores (todas as configurações de fuselagem possíveis são suportadas)
- Sensores de tensão e corrente integrados com filtros L / C
- Medições de corrente baseadas em efeito Hall preciso

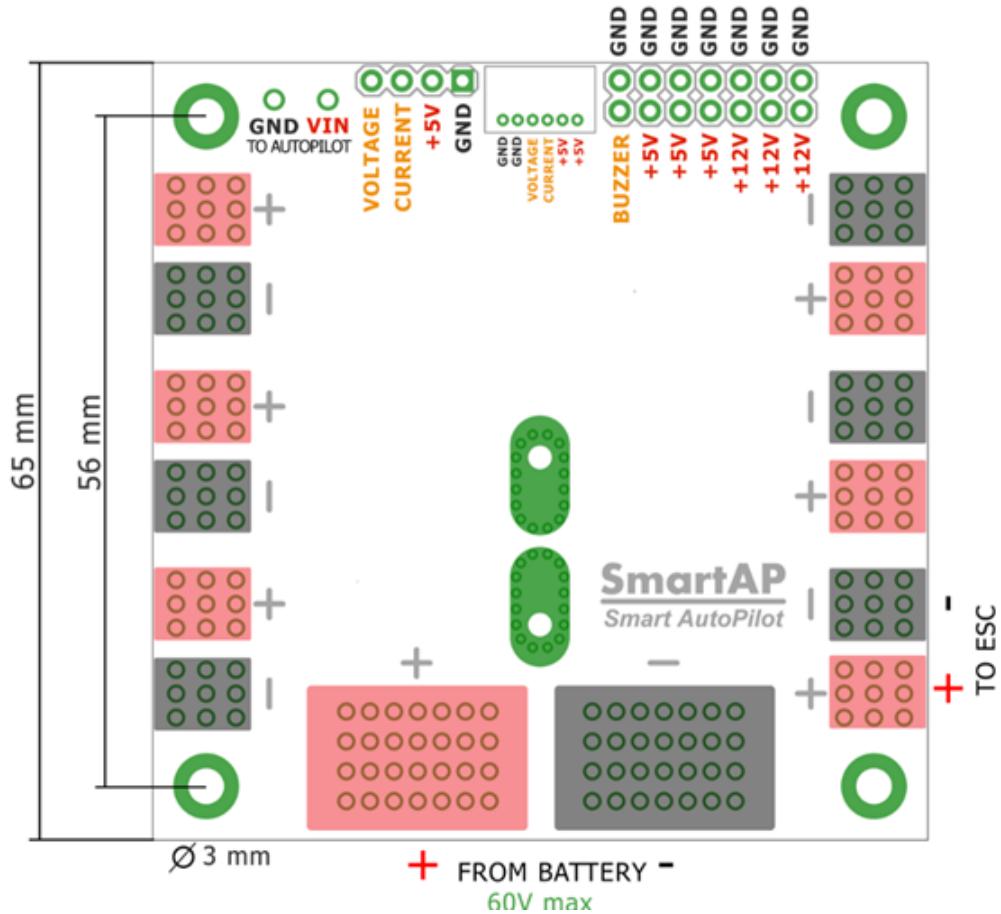


Figura 75 – Diagrama de portas do módulo de tensão SmartAP PDB

- Conversor DC-DC integrado de entrada de 10-60 V (bateria até 14S) para saída de 5V / 5A para alimentar periféricos
- Conversor DC-DC integrado de entrada de 10-60 V (bateria até 14S) para saída de 12V / 5A para alimentar periféricos
- Terminais de saída de energia de 5 V e 12 V (conectores padrão 2,54 mm / 0,1")
- Sonorizador eletromagnético integrado (campainha)
- Saída de energia para o controlador de vôo (tanto regulado por 5V quanto saída de nível de tensão da bateria)
- Totalmente compatível com os pilotos automáticos SmartAP, ArduPilot e PX4

Para conectar este componente na controladora de voo, será utilizado a porta POWER1, conforme a figura 76 abaixo.

No canto superior esquerdo da placa SmartAP PDB, observa-se as saídas GND, VIN (to autopilot) e logo ao lado é possível localizar as saídas VOLTAGE, CURRENT, +5V e GND. Exceto pela saída +5V, todo o restante será conectado na porta POWER1.

10 POWER 1

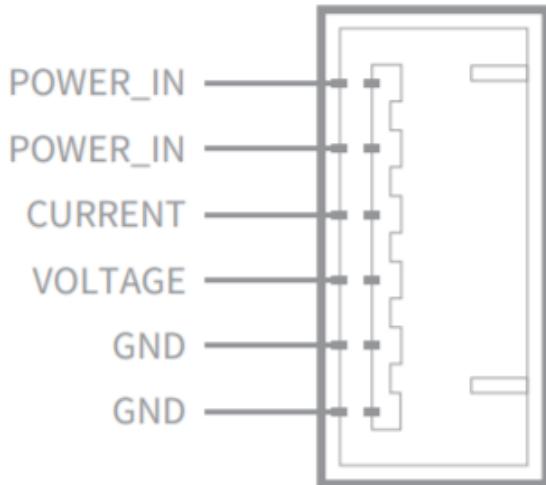


Figura 76 – Porta POWER1 da controladora de voo

O monitoramento da bateria será feito pelas entradas CURRENT e VOLTAGE, e a alimentação será feita por VIN.

D.7 Controladores de velocidade

Os controladores de velocidade, também chamados de ESC (Electronic Speed Controller) estabelece a conexão entre a placa controladora de voo e os motores brushless. Dado que cada motor requer um ESC, um quadricóptero requer 4 ESCs, onde o modelo adotado foi o XOAR Pulse P80, onde o dispositivo atua recebendo o sinal do controlador de voo e a energia da bateria, fazendo então o motor brushless girar.

Como o nome indica, um motor sem escovas (brushless) não tem contatos, ou “escovas” dentro da sua estrutura. A escova atua como o que é chamado de comutador, que usa o contato físico dos enrolamentos do motor para girar o motor. Por não possuírem a escova, os motores usam uma maneira diferente de transformar a corrente contínua (CC), o fluxo unilateral de elétrons, em um tipo de corrente alternada (CA). Isso é feito externamente, por meio do uso de um ESC. O modelo foi escolhido por fazer parte da família do XOAR Propulsion System, sendo da mesma fabricante do motor e já projetado para atuar em conjunto com ele. Possui resposta rápida, alta eficiência, baixo ruído, temperatura e interferência.

Especificações técnicas

- Suporta baterias LiPo 5-14S

- Corrente de 80A (podendo atingir máximos de 120A)
- Voltagem do PWM 3.3-5V
- Frequência de PWM compatível 50 ~ 500Hz
- Proteção de corrente incluída
- Proteção contra travamento incluída
- Grau de proteção IP67

A conexão da ESC é bastante simples, tendo 3 cabos. O do meio é ligado na porta do servo motor (PWM) da placa controladora, e os 2 das extremidades são os cabos de alimentação provenientes do módulo SmartAP PDB. Como são quatro ESCs é necessário utilizar o terceiro pino (S) das entradas M1-M4 da controladora CUAV V5+. Do outro lado da ESC é conectado os 3 fios nos motores, onde o fio central (PWM) permanece no centro para ambos os motores, e, entretanto, os fios de alimentação dependem da orientação de rotação do motor, e caso seja anti horário os fios de alimentação devem ser invertidos. A figura 77 (Fonte: [Manual da placa CUAV V5+](#)) abaixo destaca em amarelo os pinos para encaixe dos ESCs.

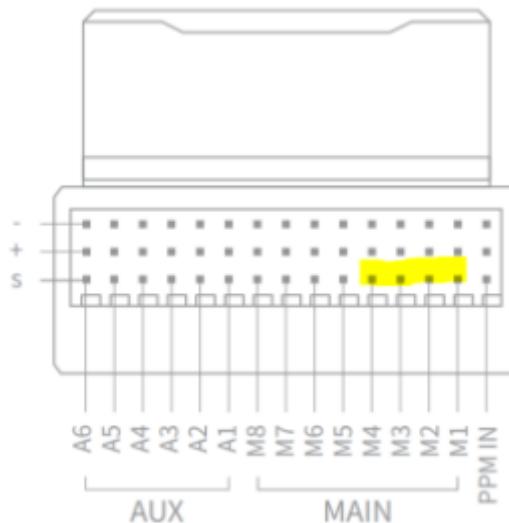


Figura 77 – Saídas PWM para controlar a velocidade dos motores

APÊNDICE E – Definições e soluções de Software

O núcleo de desenvolvedores responsáveis por implementar os sistemas de software ao longo do projeto tem como arquitetura de solução facilitar o monitoramento de VANTS agrícolas, além de coletar informações do ambiente de operação do VANT e disponibilizar em uma interface de forma amigável e intuitiva de modo a gerar valor para o usuário, por meio de uma aplicação web. Esse sistema desenvolvido objetiva-se a auxiliar o controlador do voo com informações relevantes do VANT e também manter o histórico dessas informações de maneira fácil e acessível, simplificando ao máximo o processo de monitoramento. Para melhor explanação acerca da arquitetura de solução desenvolvida, dividiu-se as informações em três blocos, sendo eles a identidade visual do projeto, a arquitetura da informação e a inovação.

E.1 Identidade visual do produto

A identidade visual representa toda a sintetização do design de um produto, onde é criado um conjunto de elementos gráficos com o objetivo de se comunicar com o público levando os valores do produto.

Diante do contexto apresentado, uma paleta de cores foi pensada de modo a representar, de maneira harmônica, todos os ideais do produto. Tendo em vista que o VANT é projetado para o meio rural e agropecuário, foram escolhidas duas variações da cor verde para representar a tonalidade das plantações e reforçar a preocupação dos desenvolvedores com a correta aplicação dos defensivos, minimizando os danos ambientais. Outras duas variantes de cor azul foram escolhidas com o intuito de representar o céu azul e sem poluições, local de operação do VANT. Por fim, a cor cinza foi escolhida por conta da sua neutralidade e para representar os defensivos agrícolas, entrando em harmonia com as outras cores da paleta e simbolizando que a correta aplicação dos defensivos visa trazer benefícios à produção sem agredir o ambiente. A paleta de cores desenvolvida pode ser observada abaixo na figura 78 (Fonte: Autores).

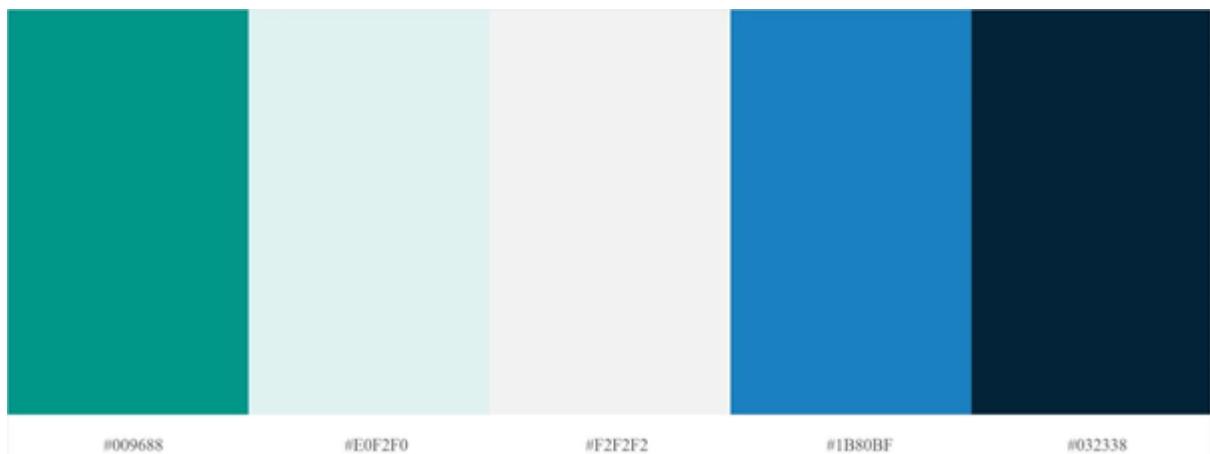


Figura 78 – Paleta de cores desenvolvida para representar o produto

E.1.1 Logomarca do produto

A logo foi projetada de forma a representar as duas principais cores presentes na paleta de cores, verde e azul. Sendo assim, a logo possui um VANT localizado na parte central e na cor azul, representando a missão do produto, e uma plantação na cor verde representando o local de utilização do veículo. O arco em amarelo, representado com a ajuda do trigo, foi adicionado para dar um maior contraste à imagem e trazer um pouco mais a ideia de campo, direcionando o design do veículo para o público agropecuarista. A logomarca idealizada para o produto é mostrada abaixo na figura 79 (Fonte: Autores).



Figura 79 – Logomarca desenvolvida para o produto

E.2 Protótipos de alta fidelidade

O protótipo de alta fidelidade foi desenvolvido utilizando a ferramenta figma ([TOOL, 2021](#)) com o intuito de assemelhar-se ao produto final desenvolvido. Além disso, o protótipo é uma ótima ferramenta para a verificação e validação dos requisitos licitados.

Os padrões de design utilizados foram baseados nos padrões de design da linguagem de design desenvolvida pela Google ([GOOGLE, 2021](#)). As telas do protótipo foram idealizadas para telas de tablets com tamanho variando entre 768 a 1366 pixels, com resolução de 768 X 1024. Entretanto, por conta da responsividade, telas de computadores também poderão ser utilizadas. Para acesso completo do protótipo com as iterações entre as telas [Clique aqui](#)

E.2.1 Telas principais

Inicia-se através do processo de cadastrar o drone na plataforma. A figura 80 (Fonte: Autores) ilustra a interface responsável pela coleta de informação para o cadastro de um novo VANT.

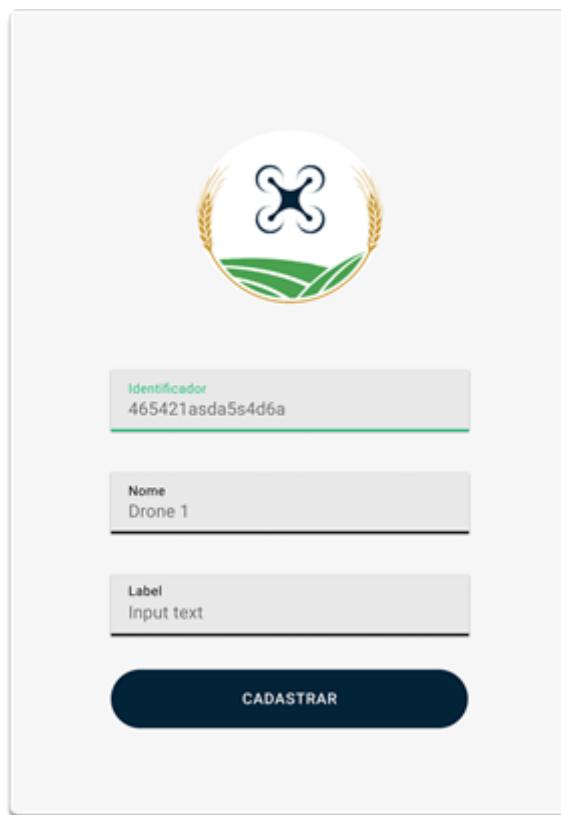


Figura 80 – Interface para registro do VANT

A tela seguinte ilustra o ambiente responsável por mostrar todos os veículos do usuário já cadastrados anteriormente. Essa tela pode ser vista na figura 81 (Fonte: Autores).

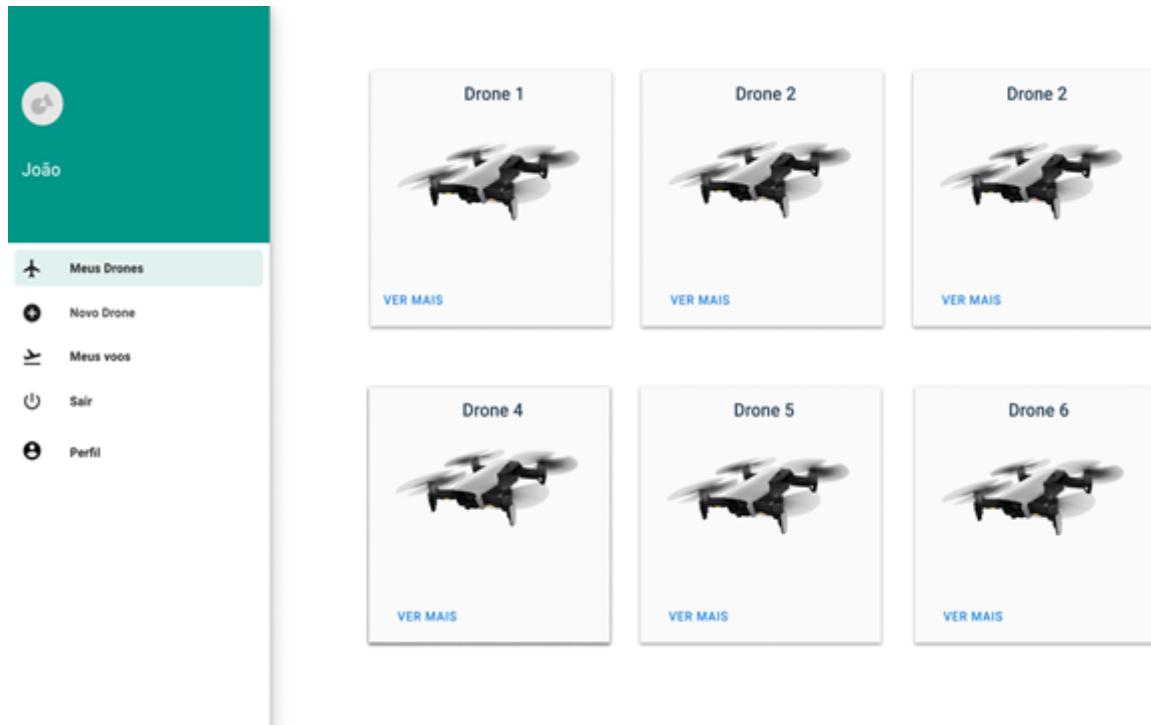


Figura 81 – Tela Meus drones

Clicando nas opções que direcionam o usuário para a tela de monitoramento, é apresentado ao usuário os dados coletados pelos sensores do VANT durante os voos realizados, como temperatura, velocidade, nível de bateria, nível de pesticida, dentre outros. O protótipo de alta fidelidade da tela de monitoramento pode ser observado na figura 82.

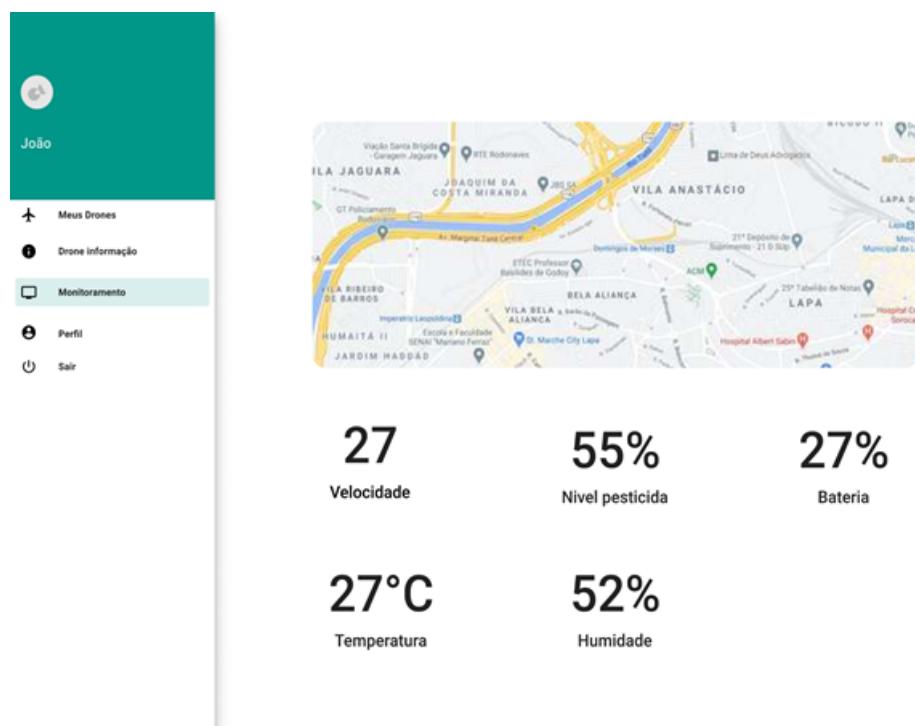


Figura 82 – Tela de monitoramento de dados coletados

A tela "meus voos" lista os voos realizados pelo veículo cadastrados pelo usuário. Essa tela pode ser observada abaixo na figura 83.

The screenshot displays a user interface for managing flights. On the left, there's a sidebar with a profile icon and the name 'João'. Below the name are several menu items: 'Meus Drones' (with a drone icon), 'Novo Drone' (with a drone icon), 'Meus voos' (which is highlighted with a green background and has a flight icon), 'Perfil' (with a person icon), and 'Sair' (with a power-off icon). The main content area shows a table with four rows of flight data:

ID Voo	Data	Hora	ID Drone
1	27/08/2021	08:50	AASDFSA65454 6AAADS
2	27/08/2021	10:50	AASDFSA65454 6AAADS
3	27/08/2021	16:50	AASDFSA65454 6AAADS
4	27/08/2021	20:50	AASDFSA65454 6AAADS

Figura 83 – Tela "meus voos" da interface

A tela "Detalhes-voos" apresenta o detalhamento de um determinado voo finalizado, por meio de gráficos visuais e interativos. Essa tela é representada abaixo na figura 84.

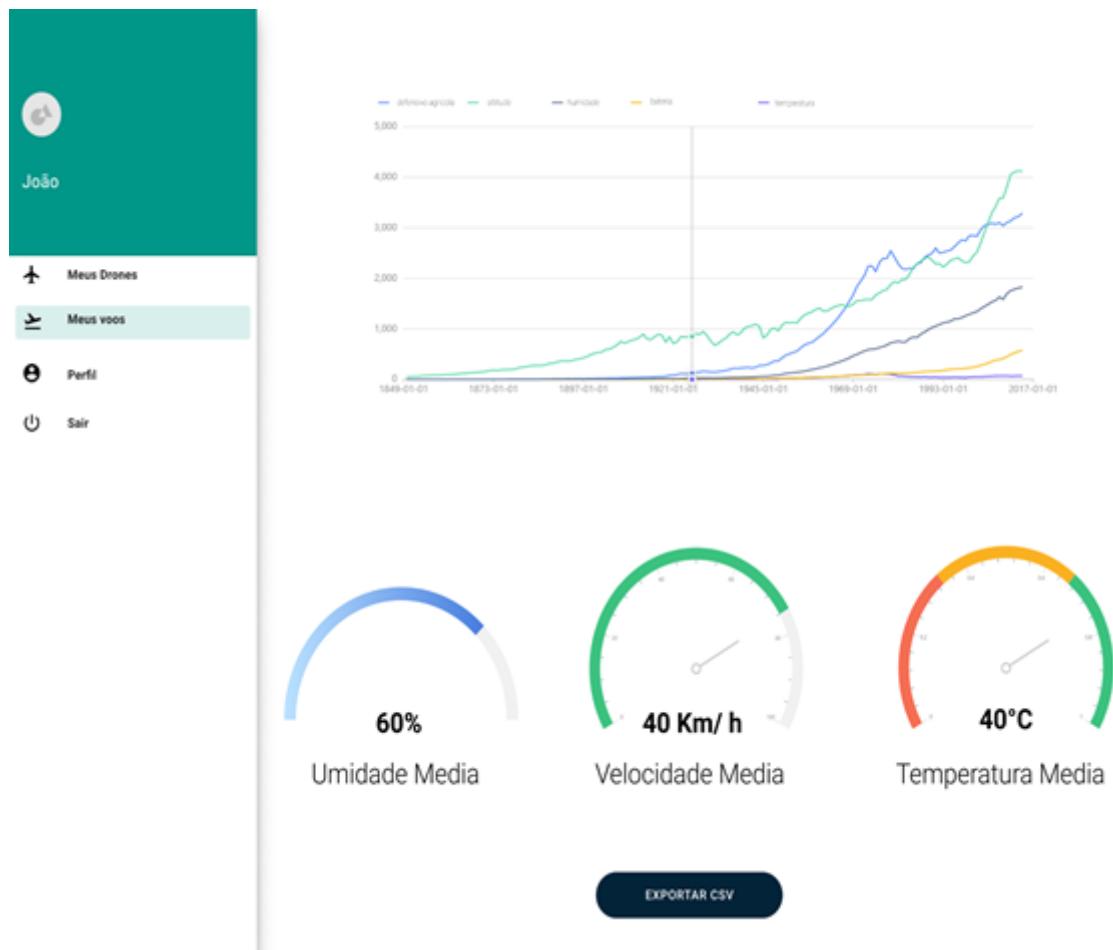


Figura 84 – Tela de detalhamento de voos realizados. Fonte: Autores

E.3 Inovação

E.3.1 Arquitetura de microsserviços

Para a construção da plataforma de monitoramento do VANT, foi necessário realizar um extenso estudo inicial para que fosse possível realizar a comunicação do veículo via rede em regiões com difícil acesso de internet. As pesquisas constataram que a utilização de arquitetura orientada a micro serviços seria benéfica dentro do escopo do projeto, fornecendo a divisão em pequenos serviços independentes e com finalidades únicas. Esse tipo de arquitetura é facilmente implantado, podendo ser reutilizado em múltiplas aplicações, além de ser menos suscetível a falhas.

E.3.2 Arquitetura hexagonal

A arquitetura hexagonal é um padrão arquitetural bastante utilizado em micro serviços como uma alternativa à arquitetura tradicional em camadas muito comum em linguagens orientadas a objetos, o objetivo é deixar o serviço independente em relação a

ferramentas e bibliotecas externas, onde os componentes do aplicativos são fracamente acoplados.

Para implementar a arquitetura hexagonal são construídas portas e adaptadores para que os componentes consigam conectar-se com as camadas mais superiores da aplicação e assim deixar o ambiente menos acoplado. A figura 85 (LECHEVALIER, 2019) apresenta de forma visual a arquitetura hexagonal, onde as portas e adaptadores são implementados entre as camadas do hexágono.

- Portas: são basicamente as interfaces usadas para comunicação com as classes de domínio, as portas não dependem da tecnologia, então estão localizadas mais ao centro do hexágono.
- Adaptadores: são responsáveis por receber chamadas da das classes de domínio, camada mais interna do sistema, e a partir daí direcionam para um sistema externo, como por exemplo o banco de dados ou software de terceiros.

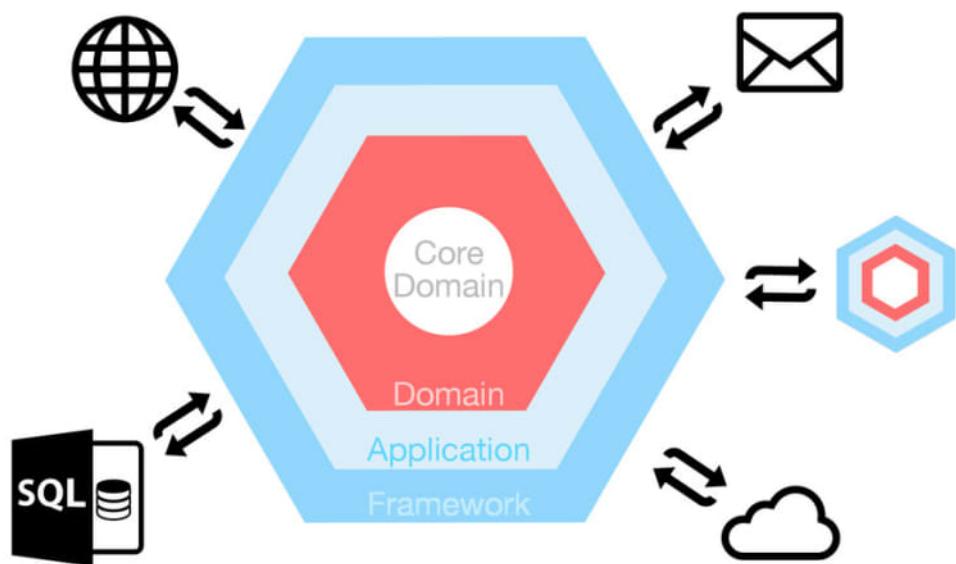


Figura 85 – Diagrama da arquitetura hexagonal

Na arquitetura hexagonal o domínio da aplicação é agnóstico a frameworks e independe de camadas externas da própria aplicação, sendo considerado como único ponto de verdade da aplicação, ou seja, o domínio não possui conhecimento das camadas mais

externas a ele. Para as camadas mais externas utilizarem o domínio da aplicação é necessária a utilização de portas, ou adapters, que invertam a dependência e assim apenas as camadas externas conhecem o domínio, como as camadas de repositórios e banco de dados, deixando assim o domínio da aplicação livre de implementações de bibliotecas externas, pois caso ocorram mudanças ao longo do processo o domínio permanecerá o mesmo sendo necessário mudança apenas no adapter do framework utilizado.

E.3.3 Integração Contínua (Continuous Integration) e Entrega Contínua (Continuous Delivery)

A integração contínua permite que durante o desenvolvimento de um determinado projeto ocorra a mesclagem de código de forma iterativa onde, o código é continuamente criado, testado e implantado minando a chances de ocorrerem falhas no desenvolvimento utilizando códigos com falhas ou erros. Esse processo de integração contínua é uma prática de desenvolvimento de software que visa tornar a integração de código mais eficiente através de builds e testes de forma automática, verificando e validando a nova versão submetida. A entrega contínua é uma etapa complementar da integração contínua e que visa a implantação da nova versão gerada, diminuindo as configurações manuais e automatizando o processo.

APÊNDICE F – Desenhos técnicos e modelagem CAD

Para o ponto de controle 3, o design CAD foi modificado para cumprir as etapas do processo do manual de montagem descrito no apêndice G. As figuras 86,88,92 e 87 (Fonte: Autores) seguintes mostram o novo design projetado para o Pulver VANT, bem como seus componentes mecânicos principais, e logo abaixo são apresentados os desenhos técnicos dos componentes. Ressalta-se que as imagens com melhor resolução estão no repositório do projeto, o qual os professores já possuem acesso.



Figura 86 – Vista em perspectiva do Pulver VANT



Figura 87 – Vista explodida do conjunto

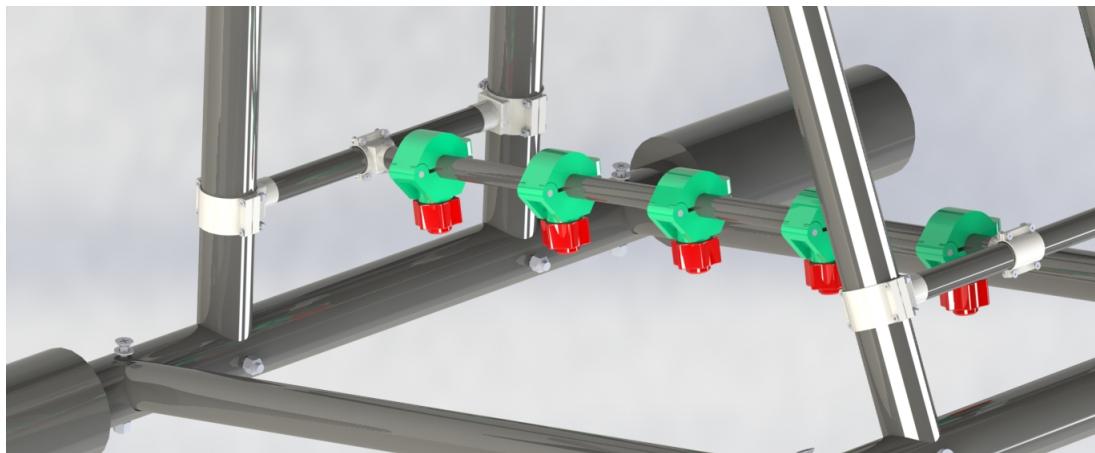


Figura 88 – Bicos nebulizadores

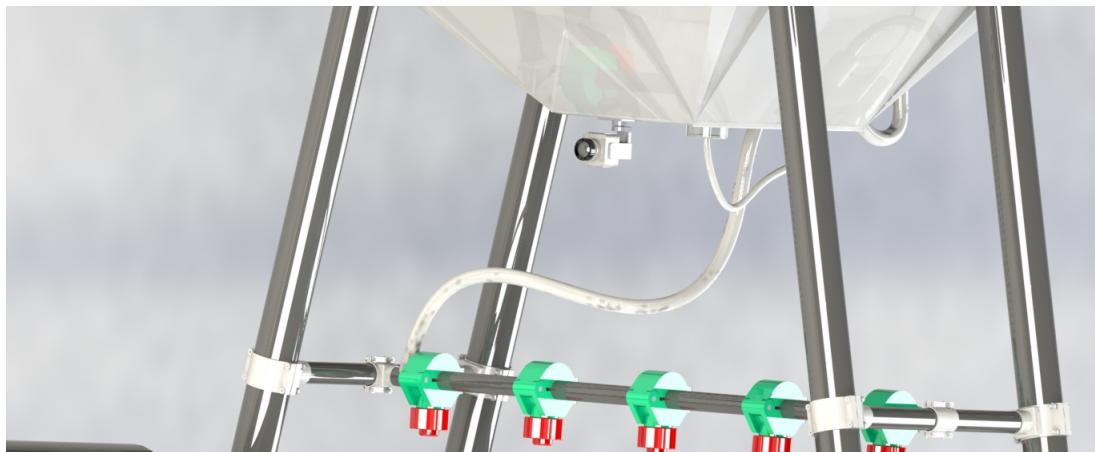


Figura 89 – Câmera e mangueiras

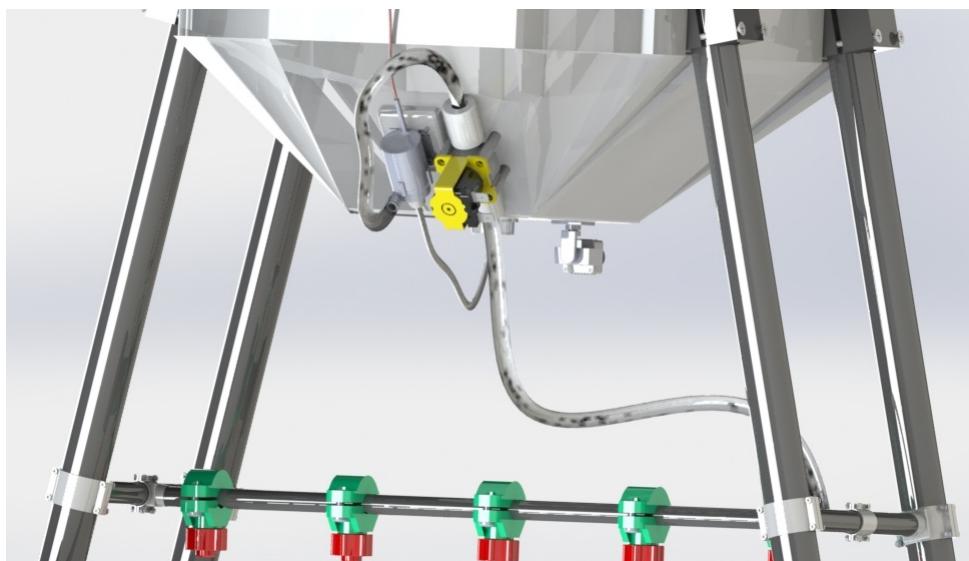


Figura 90 – Válvula solenóide e bomba



Figura 91 – Encaixe da mangueira no tanque de defensivos

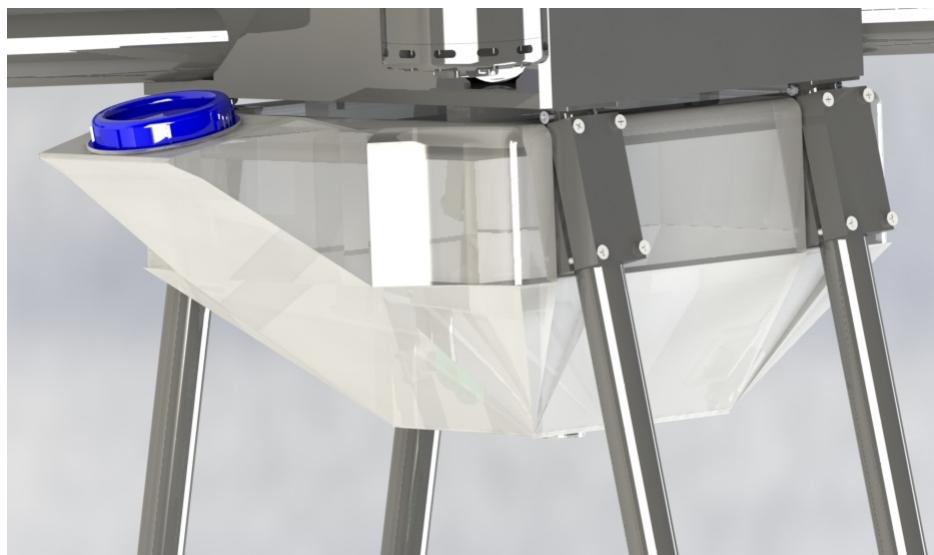


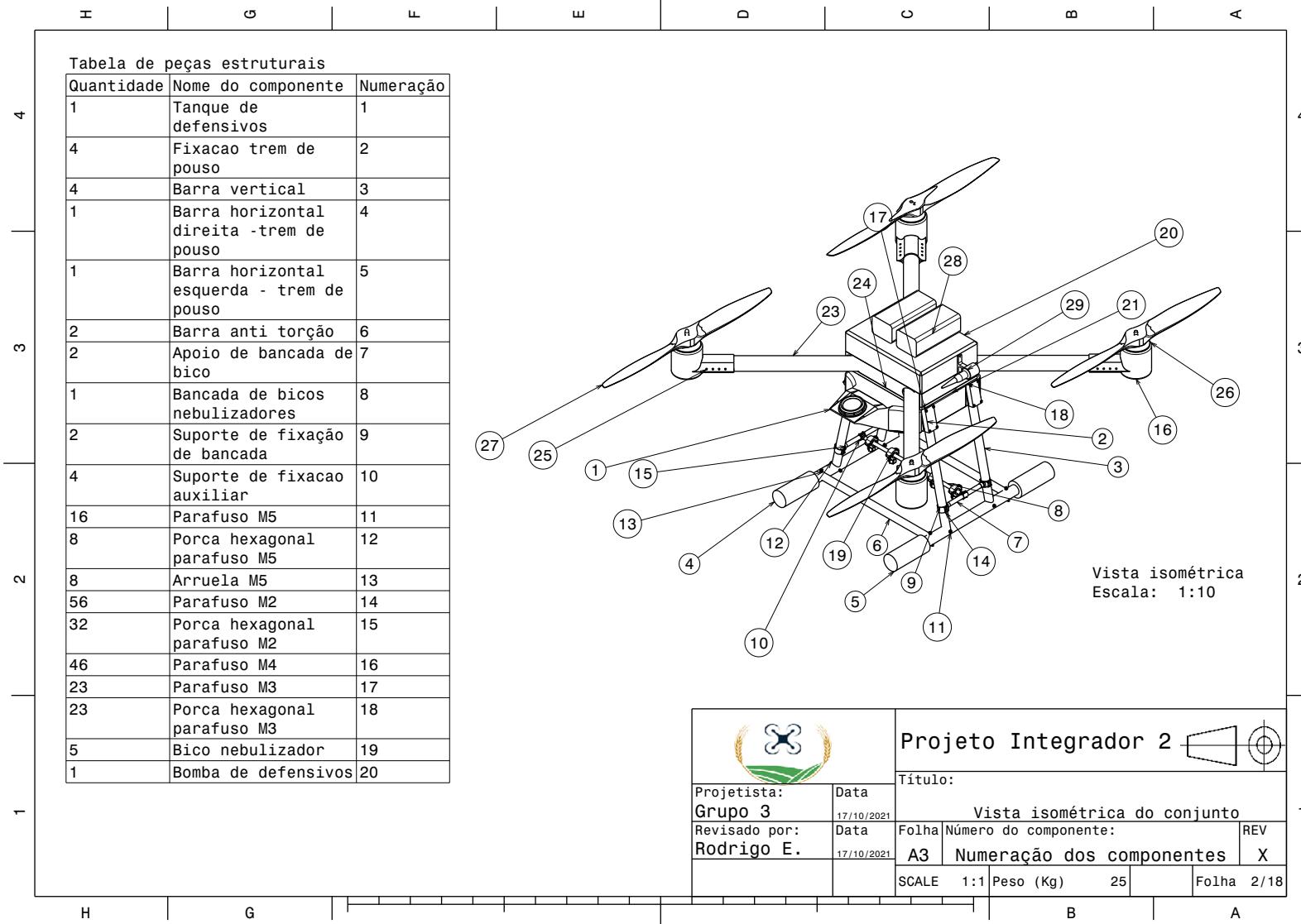
Figura 92 – Tanque de defensivos

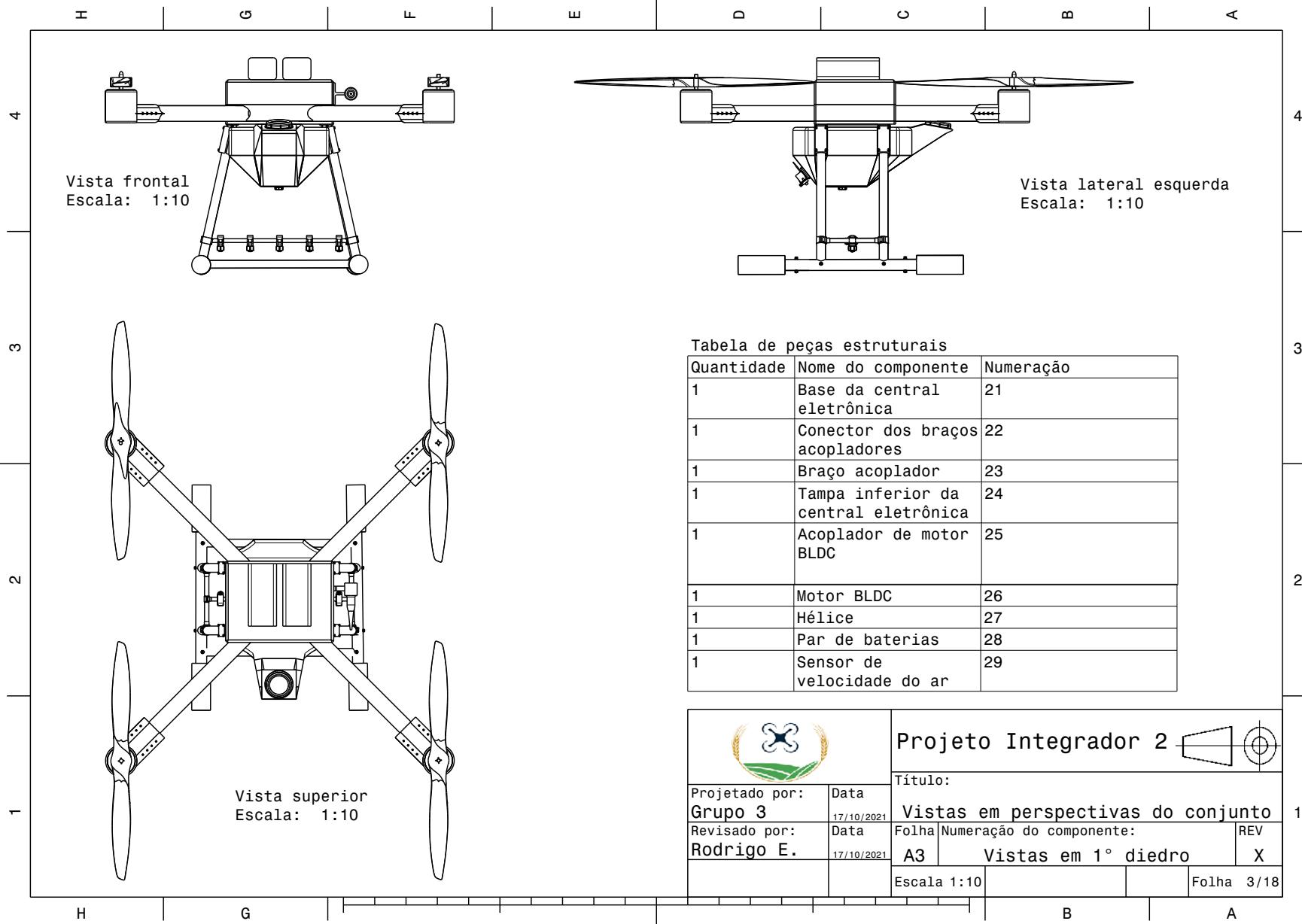


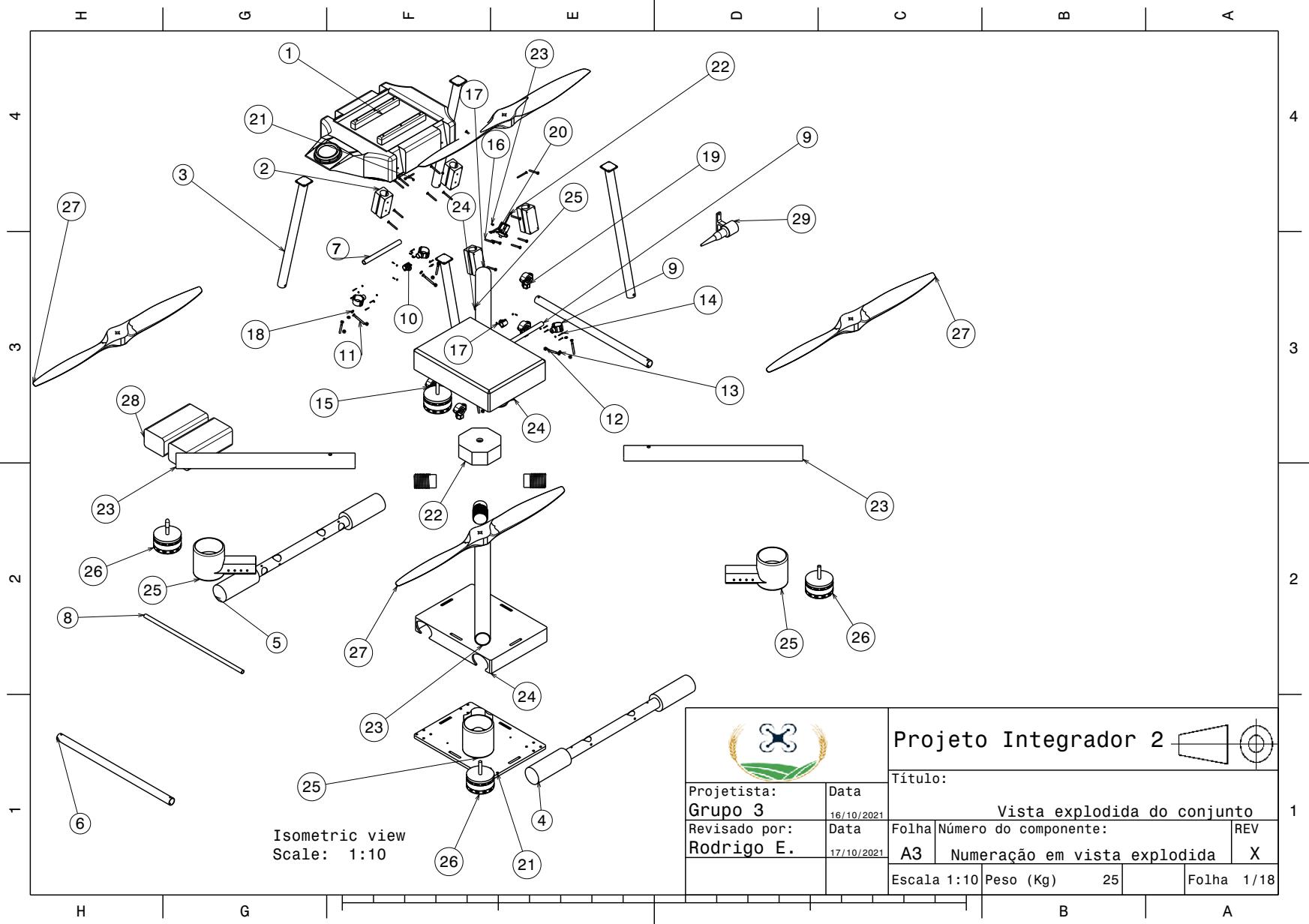
Figura 93 – Acoplamento do trem de pouso no tanque de defensivos

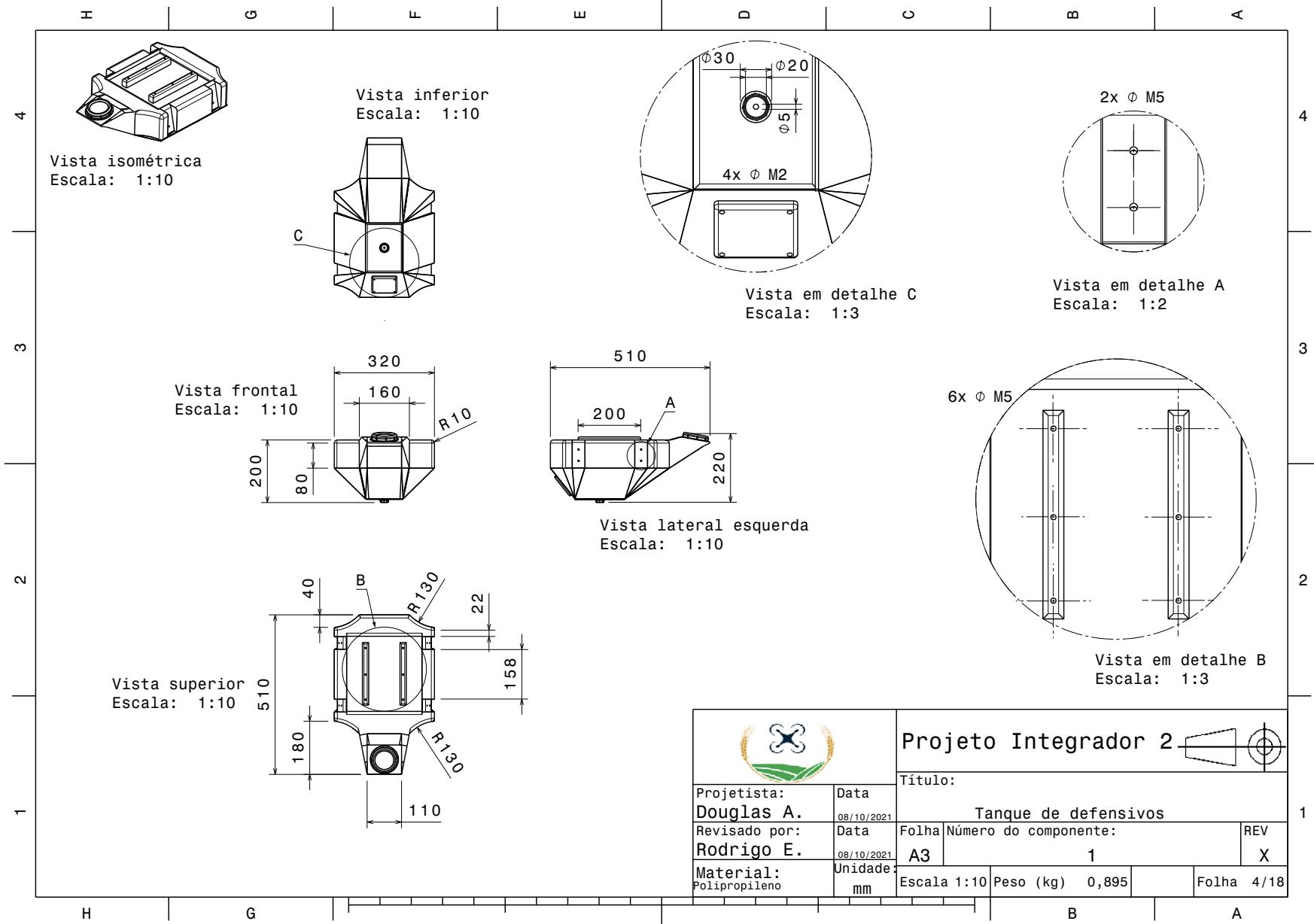


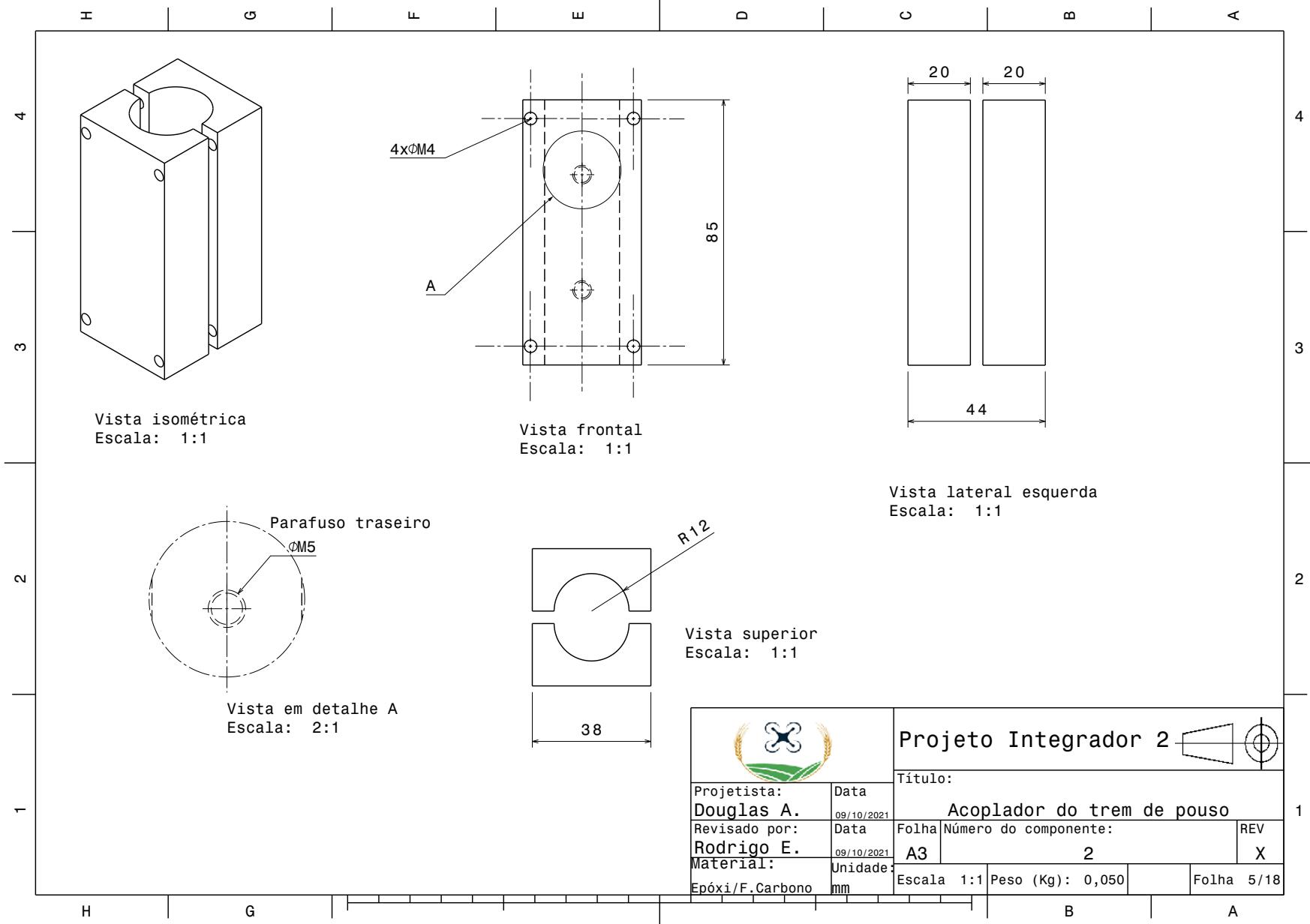
Figura 94 – Acoplamento das hélices

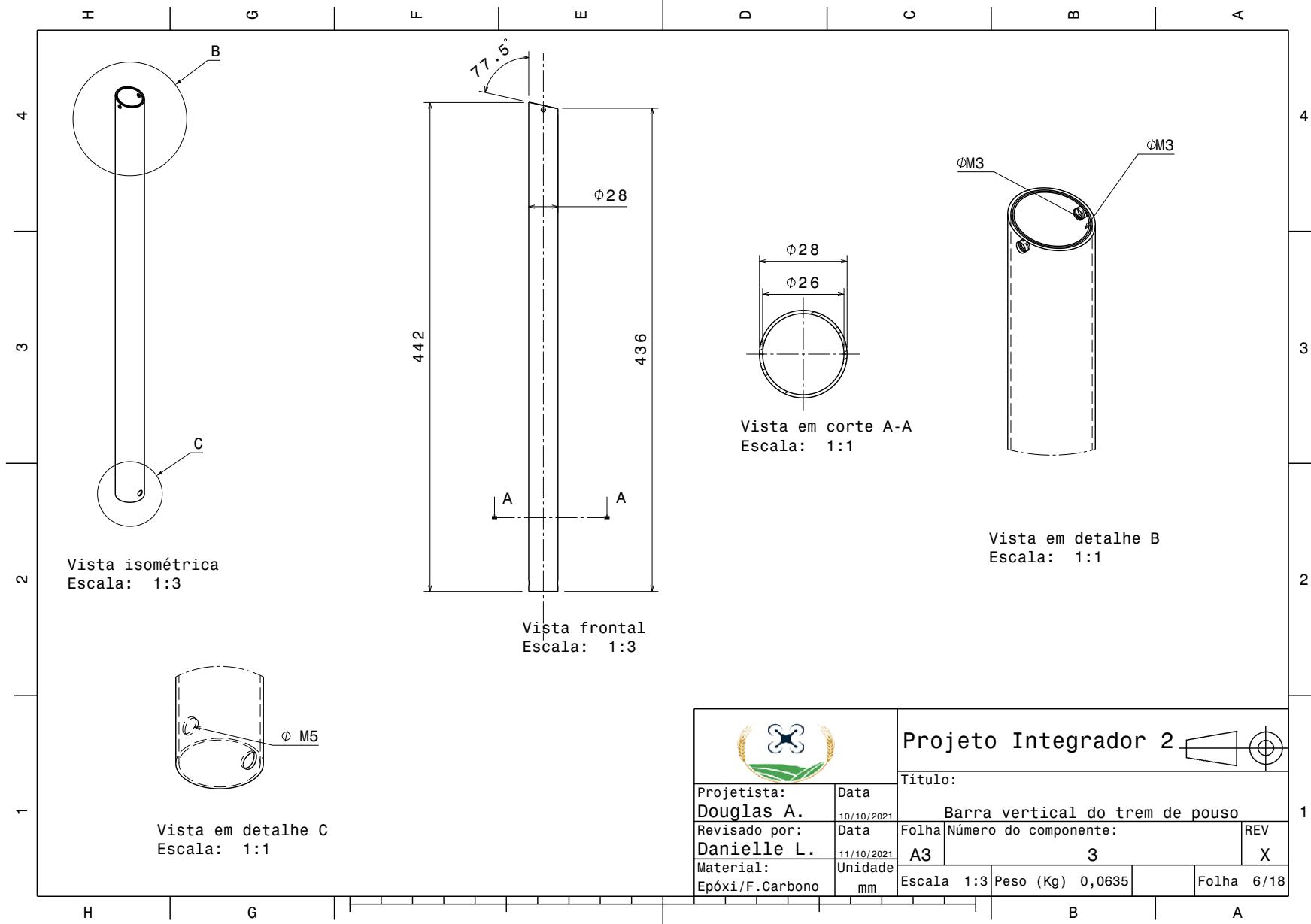


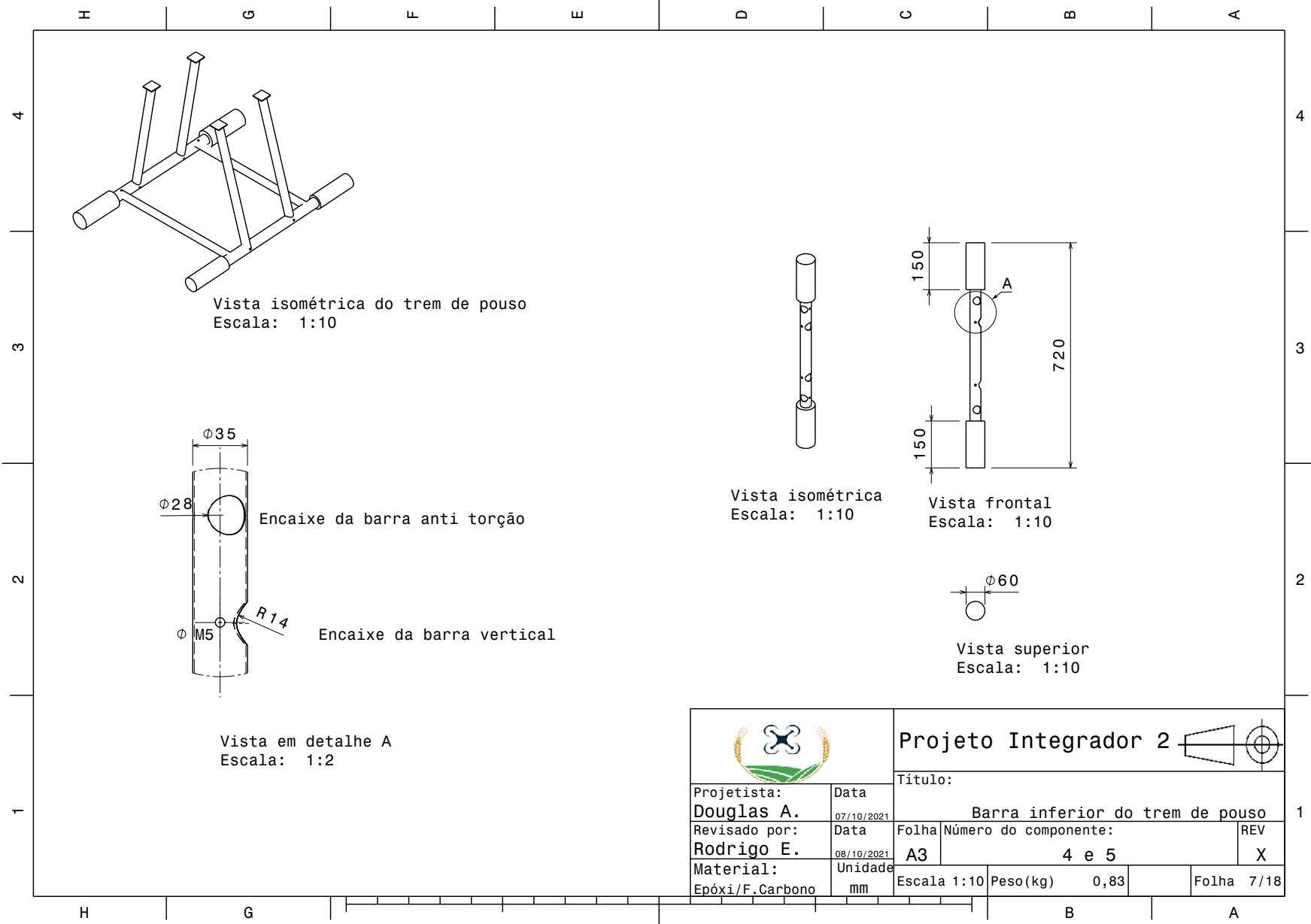


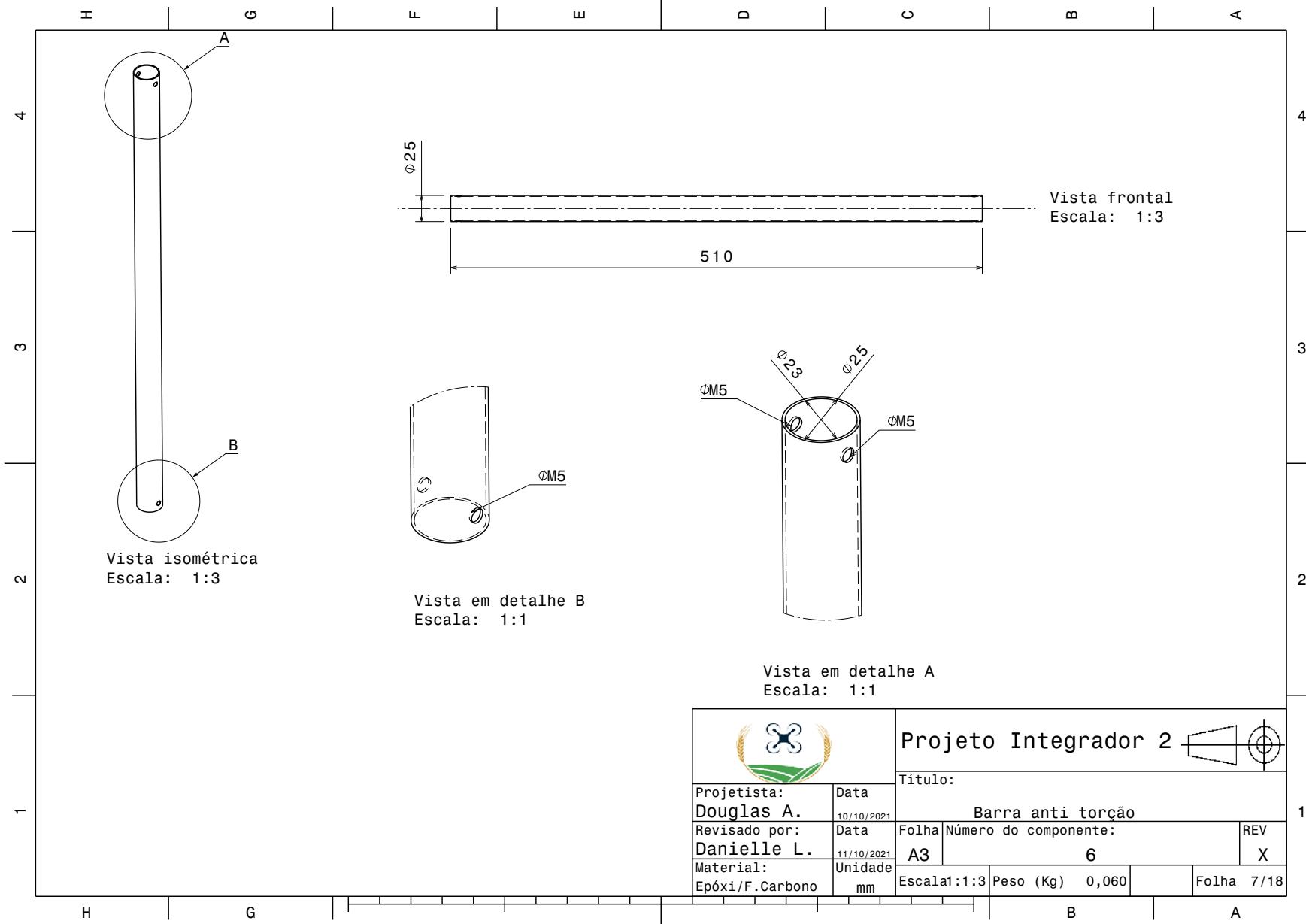


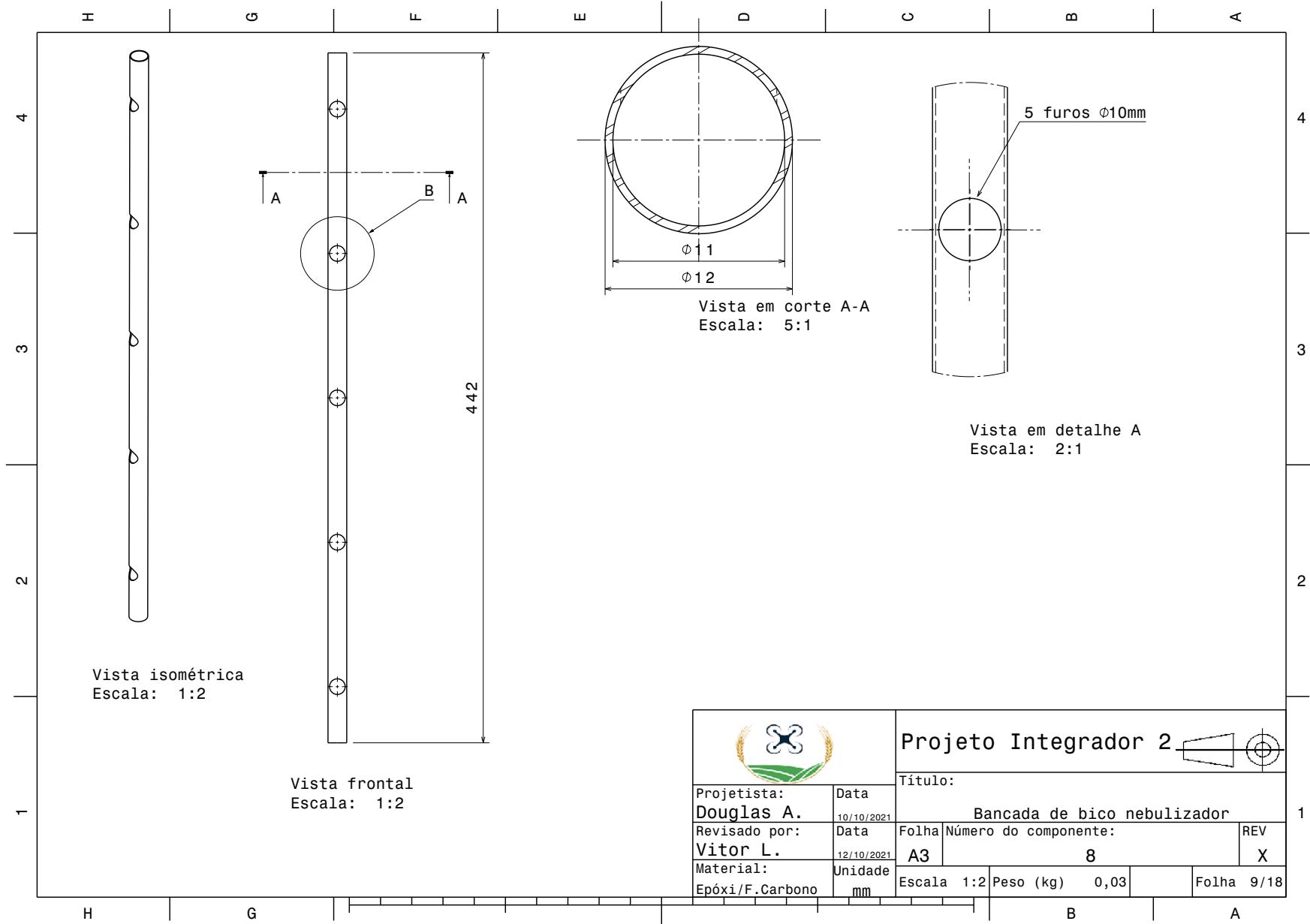


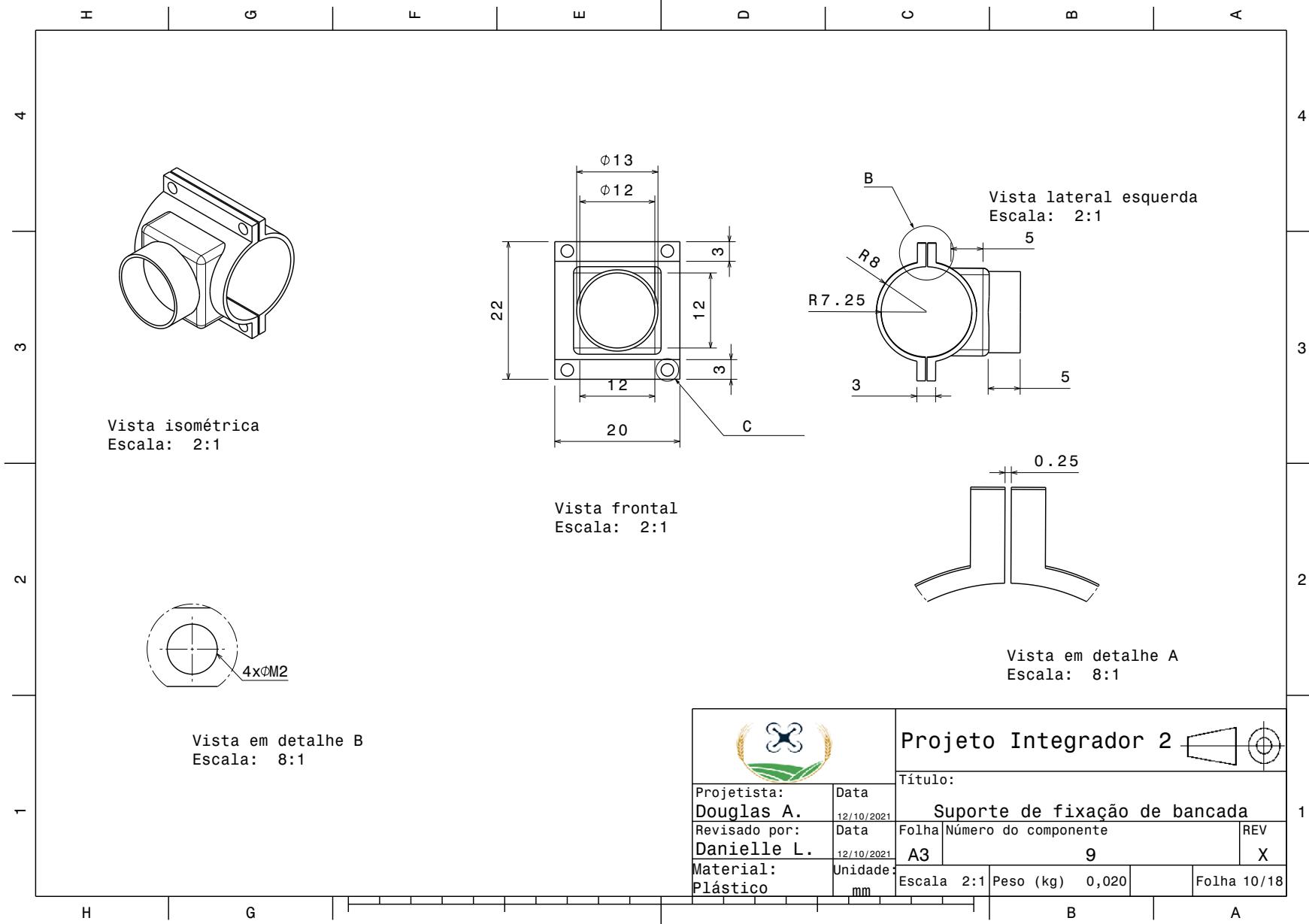


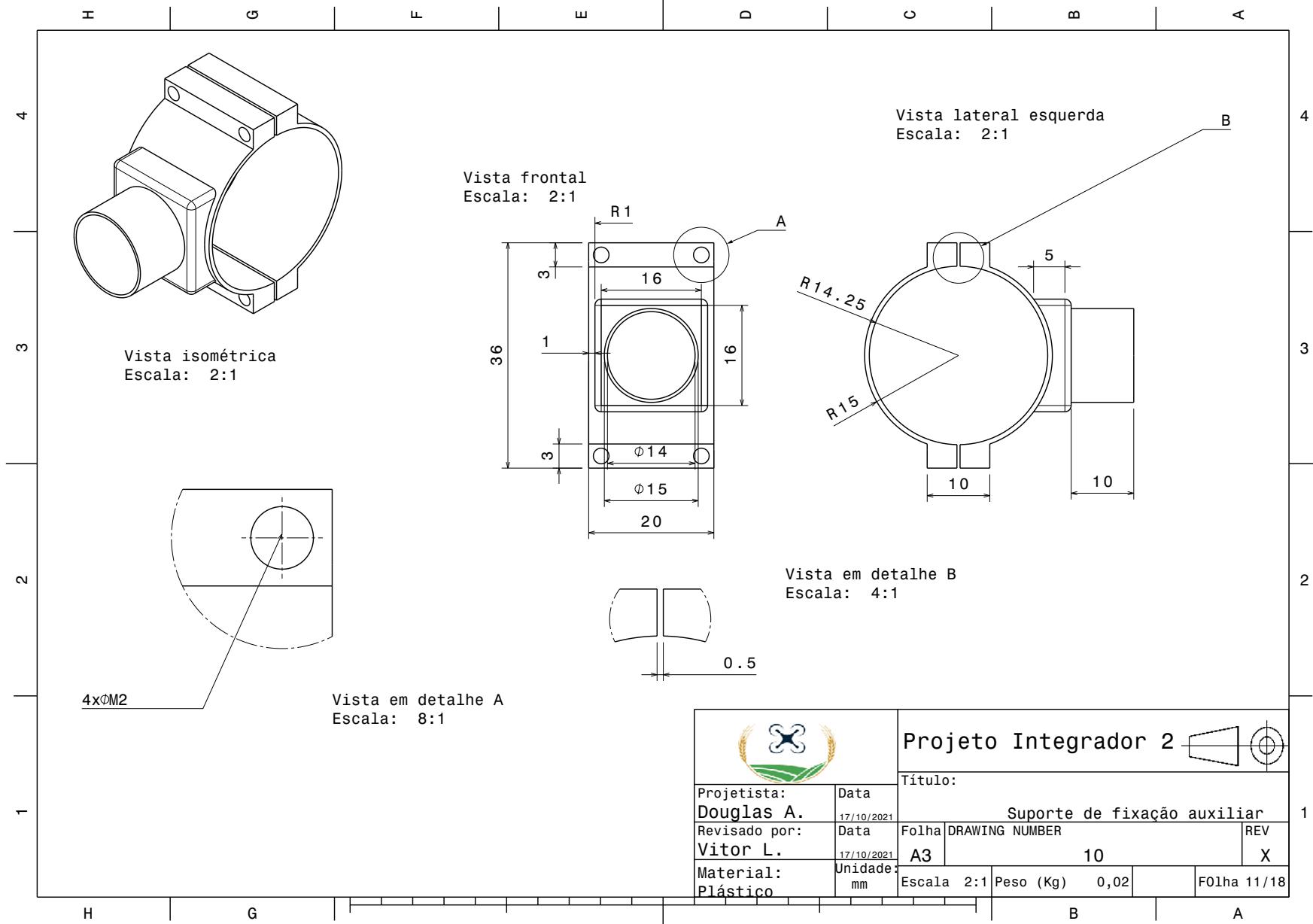


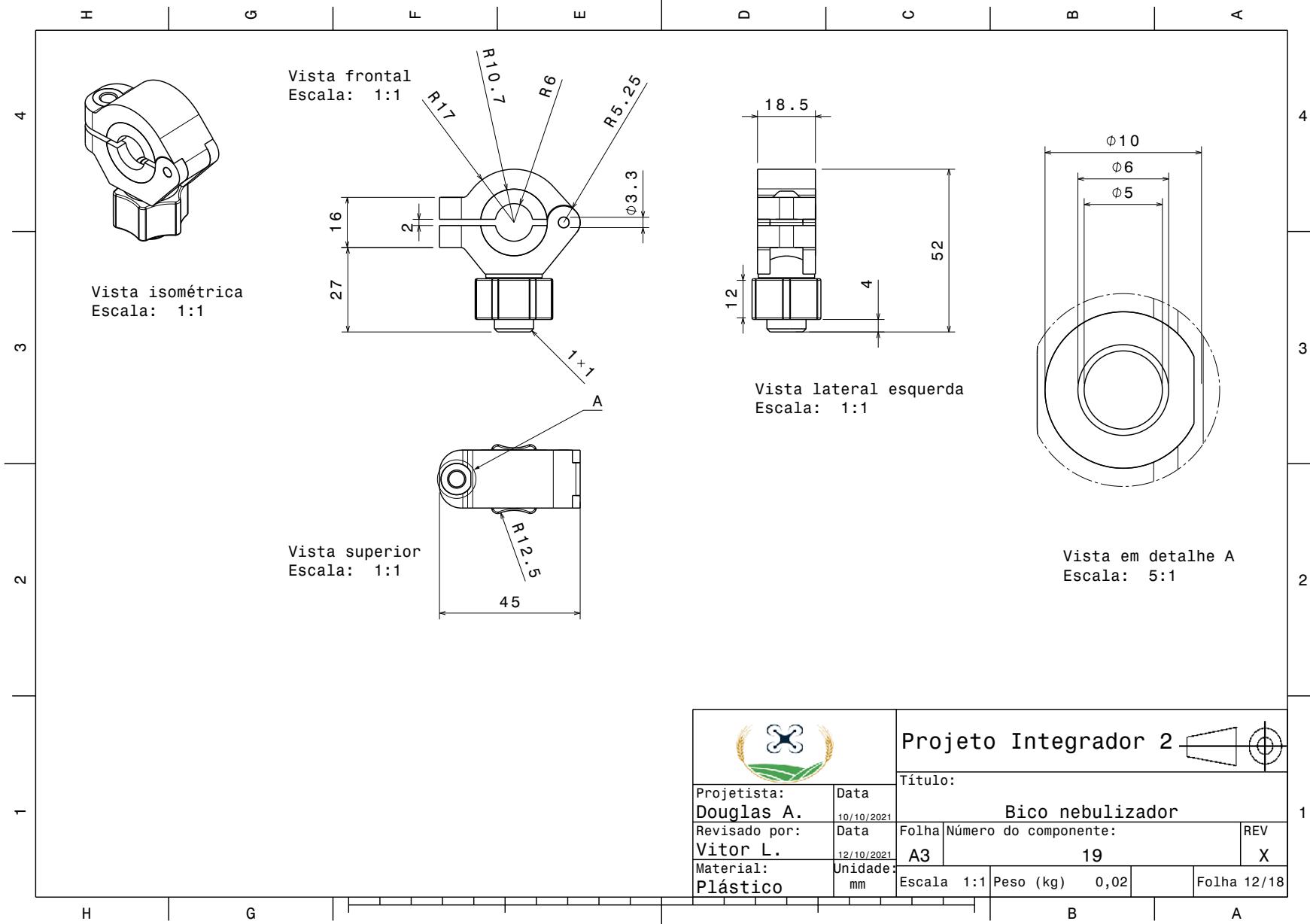


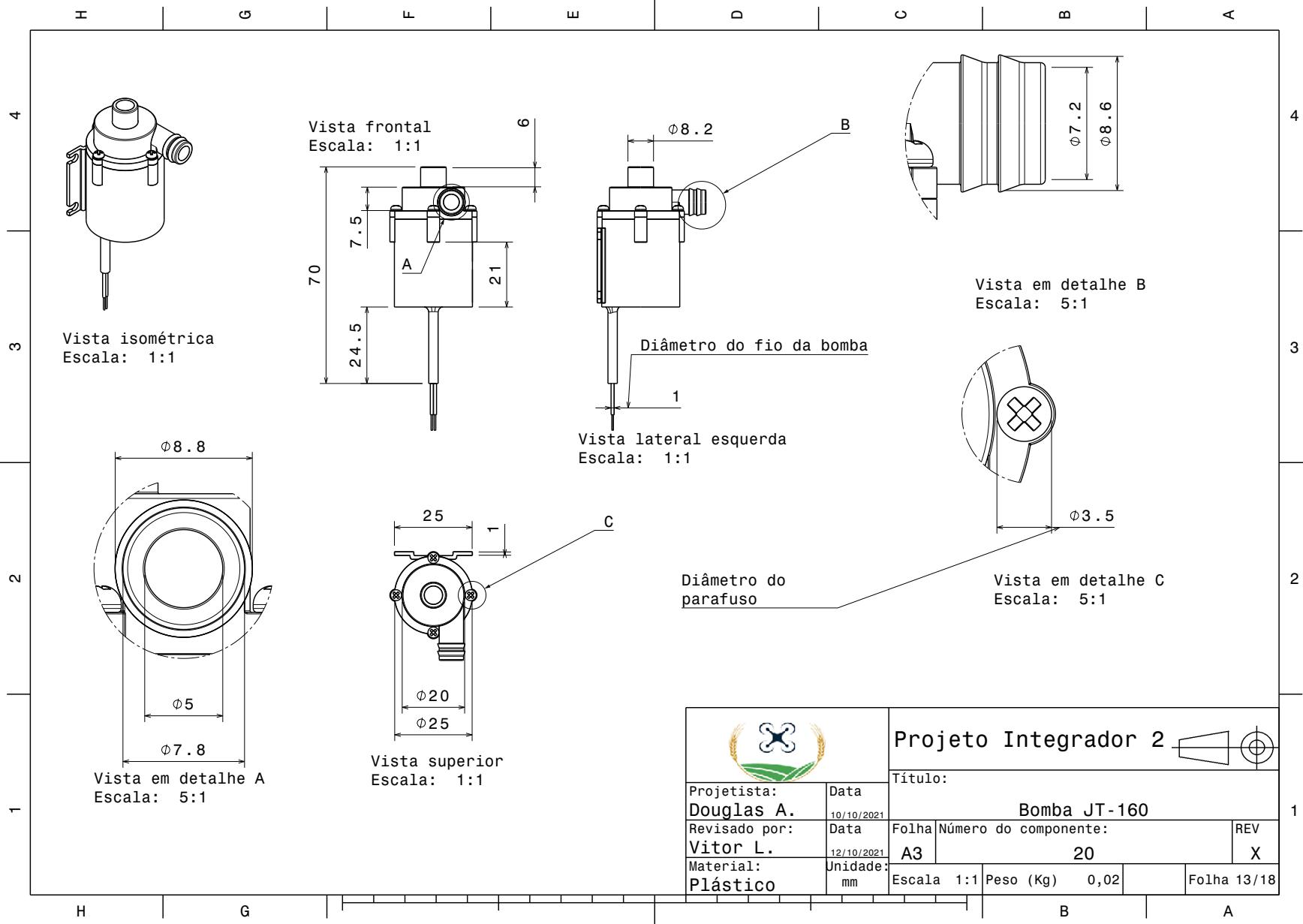


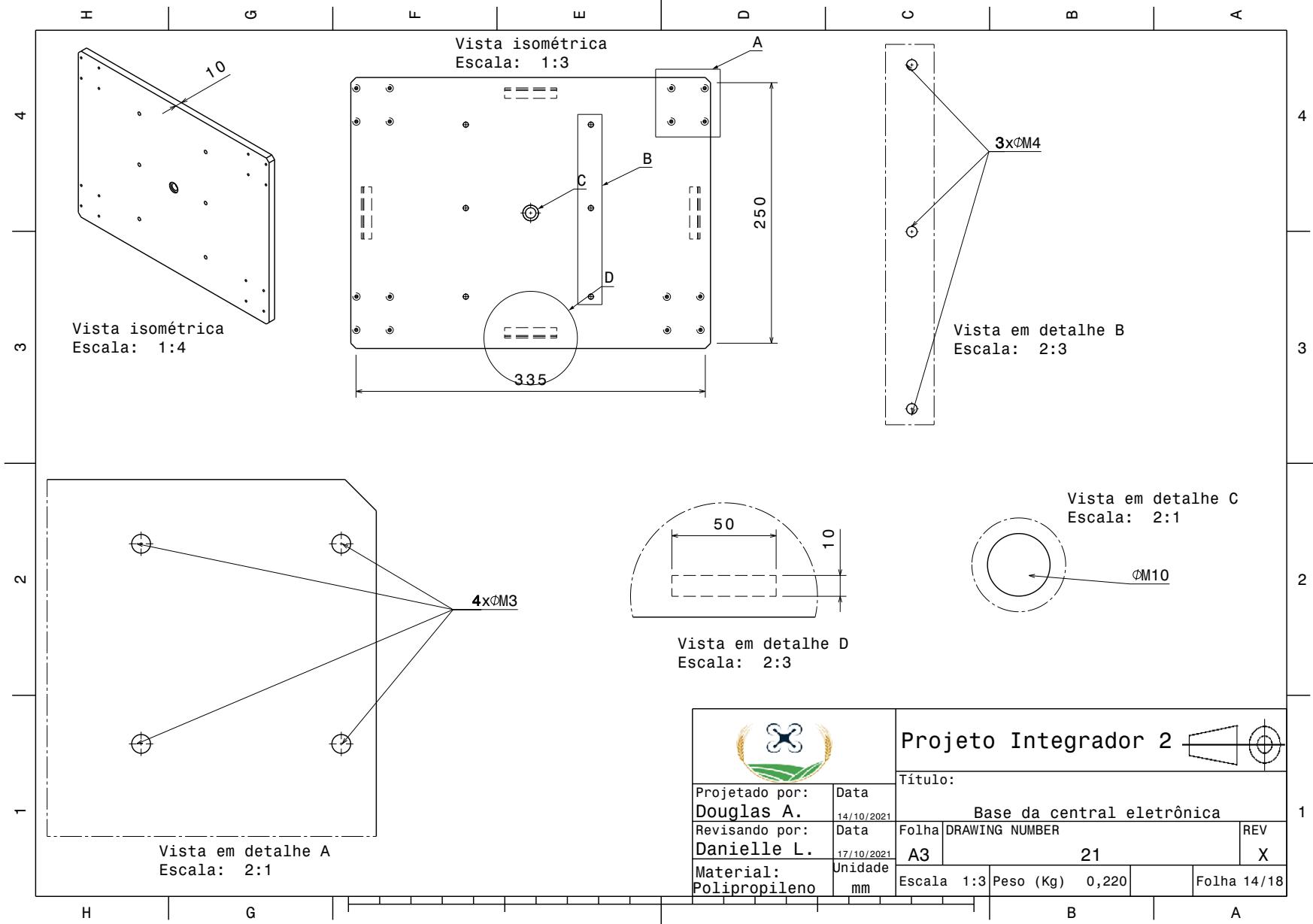


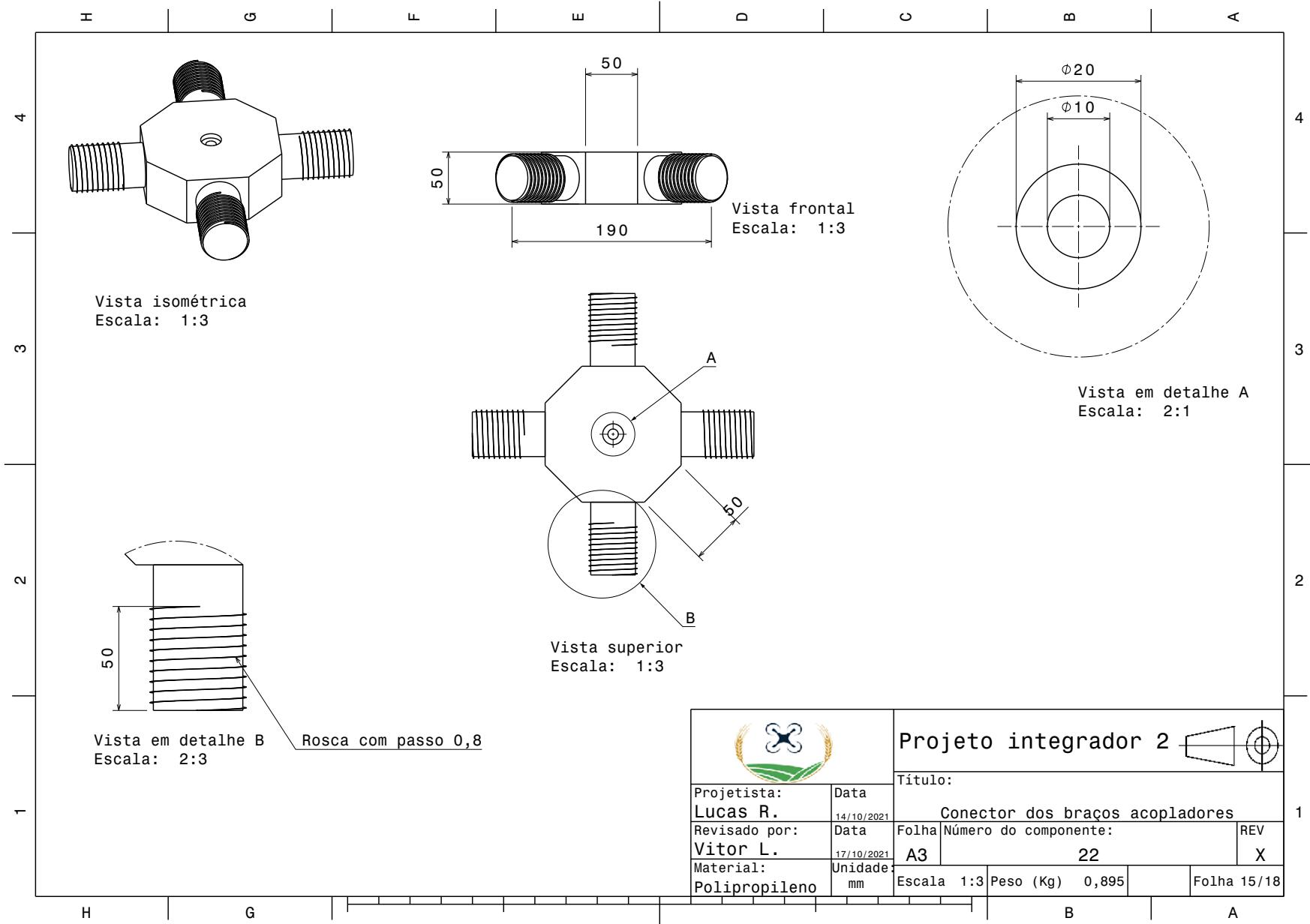


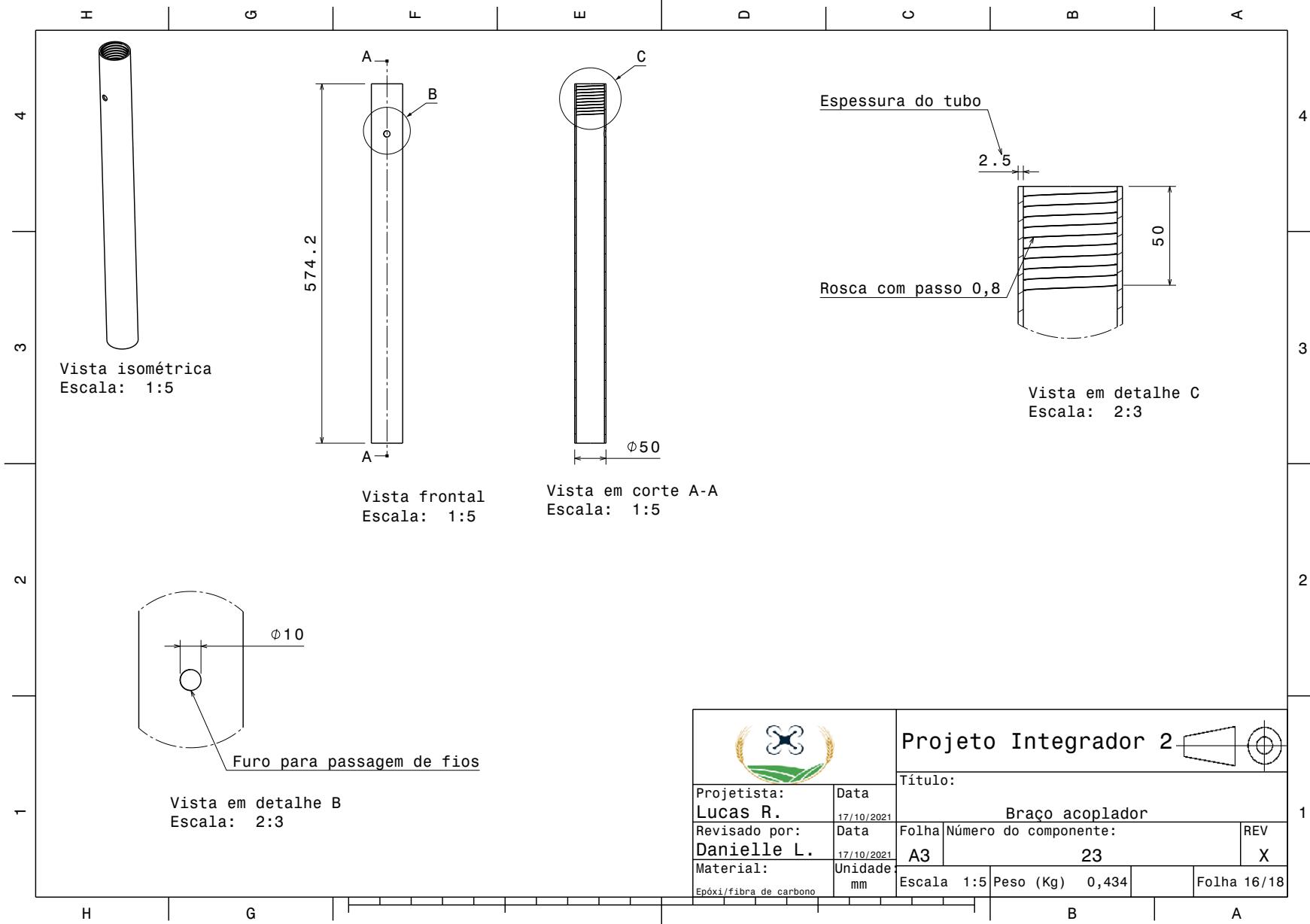


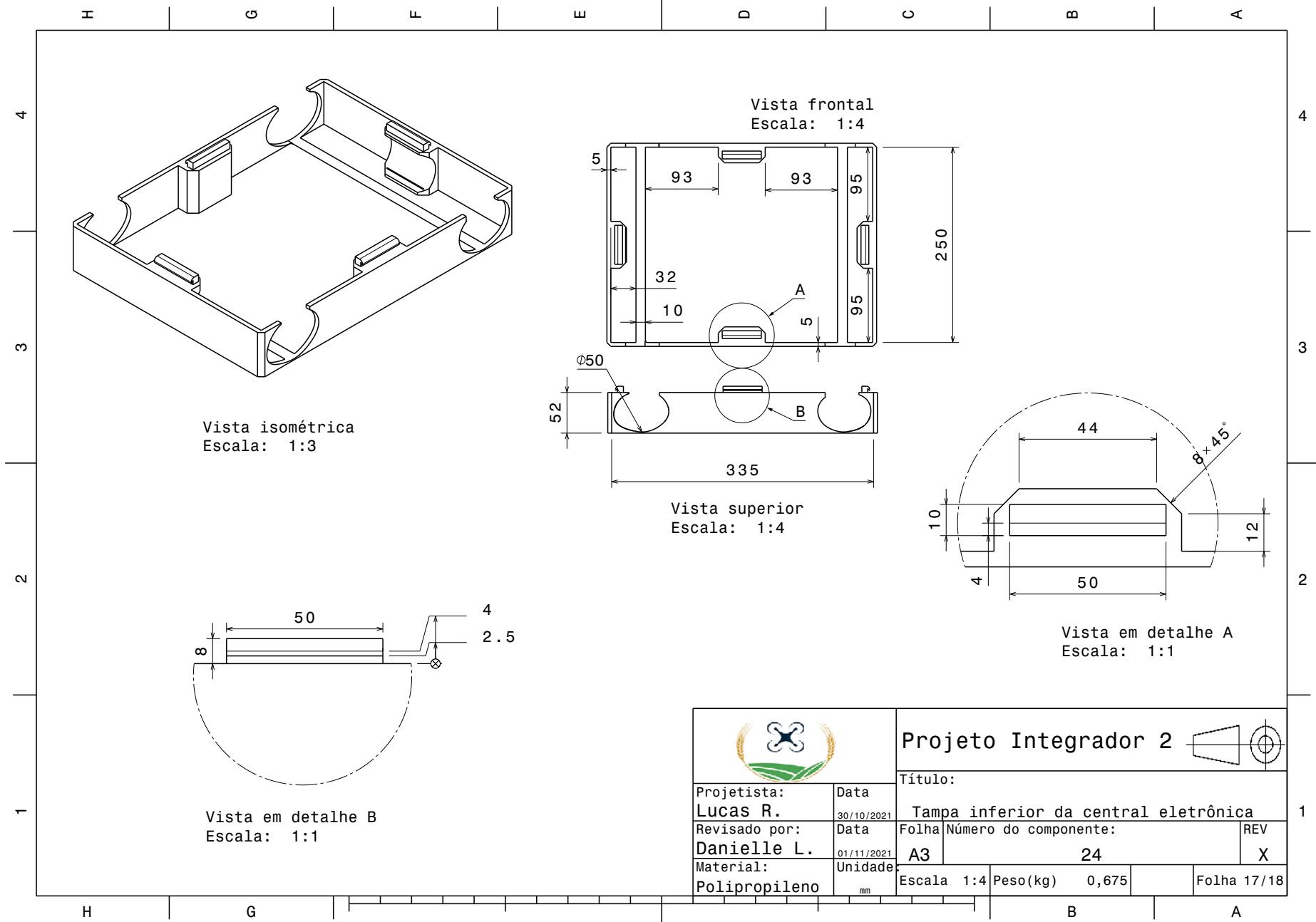












APÊNDICE G – Manual de montagem estrutural do Pulver VANT

O manual de montagem tem o intuito de auxiliar o usuário na coreeta montagem de toda a estrutura básica do veículo, garantindo que não ocorram falhas mecânicas na estrutura. Para isso, sugere-se seguir as seguintes recomendações:

- 1. Realizar a montagem seguindo todos os passos rigorosamente. A não execução de qualquer uma das etapas ou a execução da montagem fora da ordem aqui proposta pode ocasionar graves acidentes durante a operação do veículo
- 2. As cores das peças utilizadas são meramente ilustrativas. As peças com a cor vermelha são as que vão ser tratadas na etapa de montagem, precisando ser montadas conforme indica o manual
- 3. Torque recomendado na montagem
 - a.Parafuso M2: 0,58
 - b.Parafuso M3: 1,7
 - c.Parafuso M4: 5
 - d.Parafuso M5: 8
 - e.Parafuso M10: 80

Para que a montagem seja efetuada com sucesso, é necessário conhecer todas as peças envolvidas no processo, as quais estão listadas abaixo.

ID	Peça	Quantidade
C1	Tanque de defensivos	1
C2	Fixador de trem de pouso	4
C3	Barras verticais do trem de pouso	4
C4	Barra horizontal direita	1
C5	Barra horizontal esquerda	1
C6	Barra anti-torção	2
C7	Apoio de bancada de bico	2
C8	Bancada de bicos nebulizadores	1
C9	Suporte de fixação de bancada	2

ID	Peça	Quantidade
C10	Suporte de fixação auxiliar	4
C11	Parafuso M5 a. 8 M5x0,8x60 para fixação do C2 no C1 b. 4 M5x0,8x50 para fixação do C4 e C5 no C3 c. 4 M5x0,8x50 para fixação do C6	16
C12	Porca hexagonal M5 a. 4 porcas para fixação do C4 e C5 no C3	4
C13	Arruela M5 a. 4 arruelas para fixação do C4 e C5 no C3 b. 4 arruelas para fixação do C4 e C5 no C6	8
C14	Parafuso M2 a. 16 M2x0,5x30 para fixação do C10 no C3 b. 8 M2x0,5x30 para fixação do C9 no C7 c. 32 para fixação do C25 no C26	56
C15	Porca hexagonal M2 a. 32 para fixação do C25 no C26	32
C16	Parafuso M4 a. 6 M4x0,8x60 para fixação do C21 no C1 b. 16 M4x0,8x60 para fixação do C2 no C3 c. 24 M4x0,8x60 para fixação do C25 no C26 d. 2 M4x0,8x60 para fixação do C29 e. 4 M4x0,8x60 para fixação do C35	46
C17	Parafuso M3 a. 16 M3x0,8x50 para fixação do C32 no C21 b. 4 M3x0,8x50 pra fixação do C32 no C3 c. 3 M3x0,8x60 para fixação do C20 d. 4 M3x0,8x60 para fixação do C34	23
C18	Mangueira PVC	1
C19	Bicos nebulizadores	5
C20	Bomba de defensivos	1
C21	Base da central eletrônica	1
C22	Conector de braços acopladores	1
C23	Braços acopladores	4
C24	Tampa inferior da central eletrônica	1
C25	Acoplador de motor BLDC	4
C26	Motores BLDC	4
C27	Hélice	4

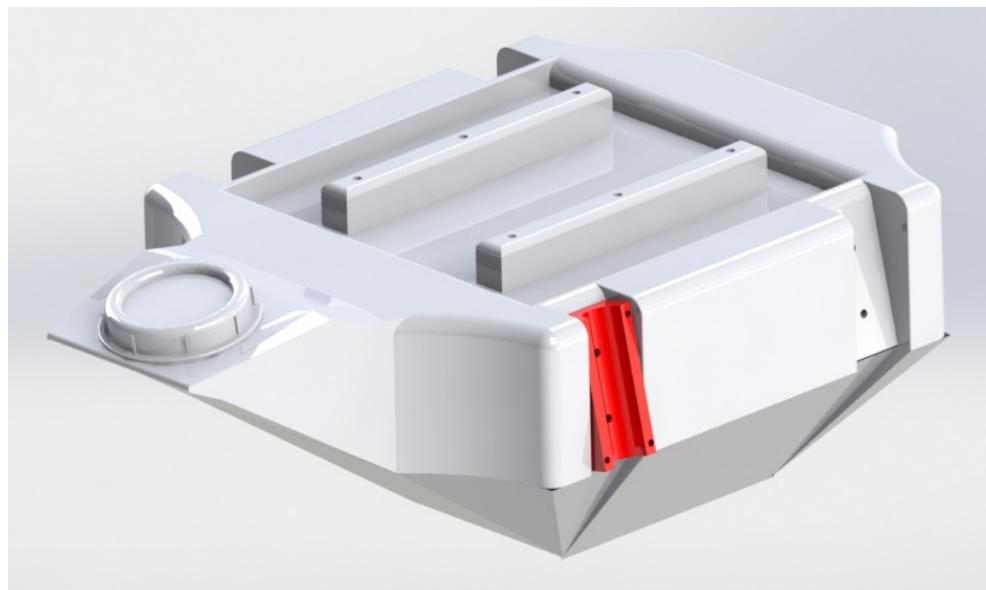
ID	Peça	Quantidade
C28	Par de baterias	1
C29	Sensor de velocidade do ar	1
C30	Tampa superior da central eletrônica	1
C31	Sensor de colisão	1
C32	Luva do trem de pouso	4
C33	Parafuso M10x0,8x80	1
C34	Válvula solenóide	1
C35	Câmera	1

Etapas de montagem

Etapa 1

Inicialmente, deve-se pegar a parte traseira do componente C2 e alinhar com a entrada lateral dos furos do componente C1. Depois, fixar o componente C2 com a ajuda do componente C11a.

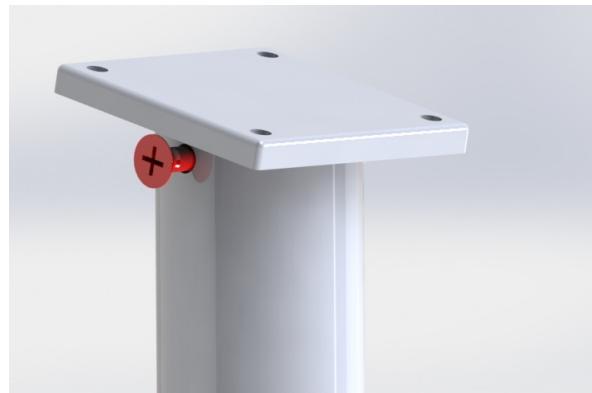
Figura 1 - Encaixe inicial do acoplamento do trem de pouso



Etapa 2

Acoplar o componente C32 na posta dos componentes C3. Depois, parafusar os componentes usando o componente C17b.

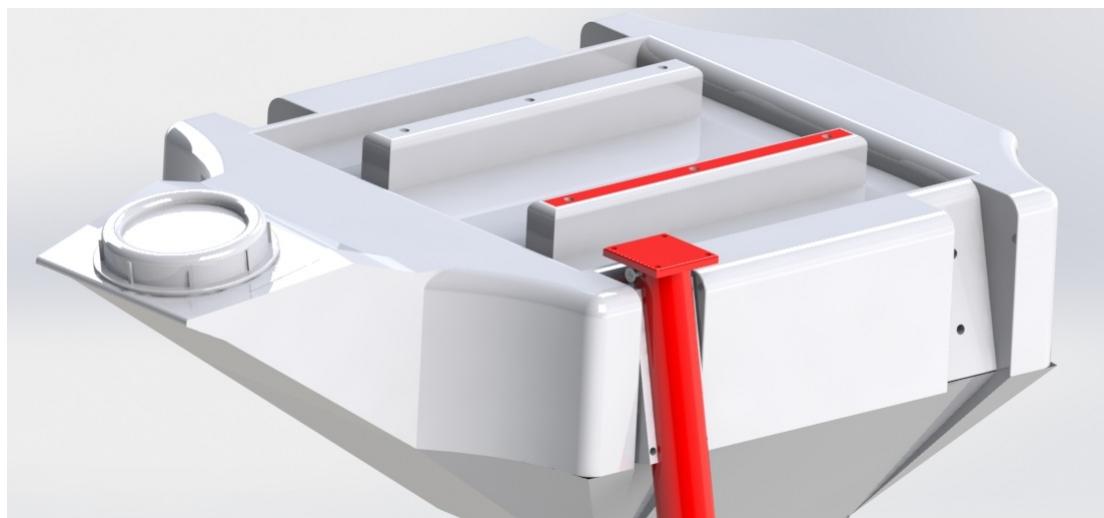
Figura 2 - Montagem da fixação do trem de pouso



Etapa 3

Alinhar o conjunto mostrado na figura 2 dentro da parte interna do componente C2 que já foi fixado na etapa 1. A parte superior do componente da figura 2 deve ser coplanar com os furos do tanque de defensivos destacados em vermelho na figura 3.

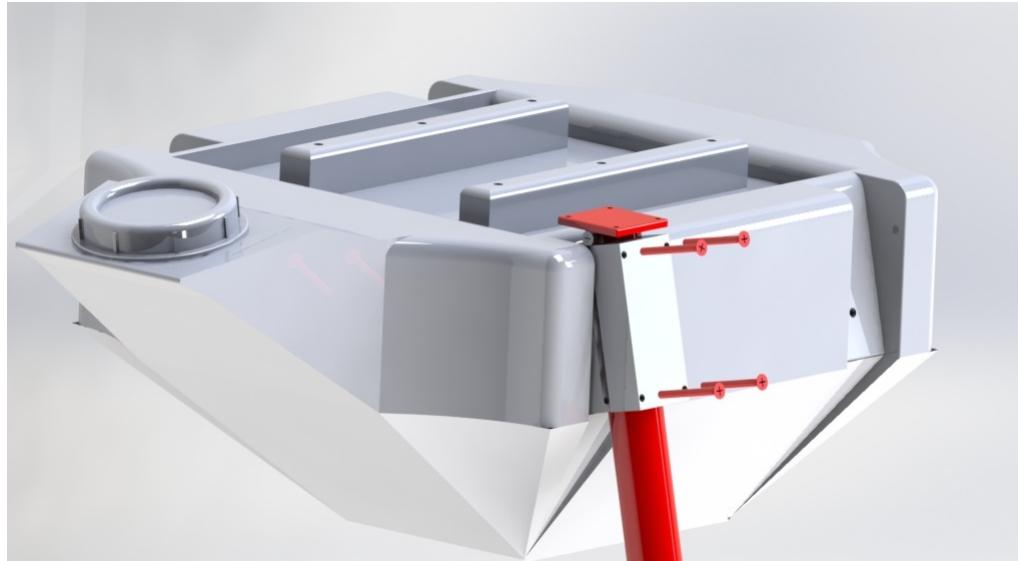
Figura 3 - Fixação do trem de pouso no tanque de defensivos



Etapa 4

Alinhas os furos da parte dianteira do C2 com os furos da parte traseira já fixada na etapa1. Depois disso, juntar e fixar ambas as partes usando o componente C16b.

Figura 4 - término do encaixe do trem de pouso



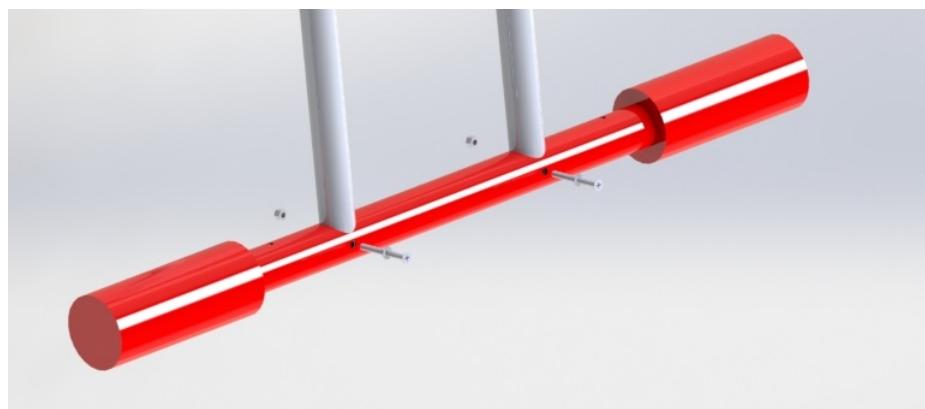
Etapa 5

Repetir as etapas anteriores para fixar o restante das barras verticais nos espaços de fixação disponíveis.

Etapa 6

Alinhar o furo de encaixe do componente C4 com o furo de encaixe inferior da barra vertical já fixada ao tanque. Logo em seguida, deve-se passar uma arruela (C13a) através de um parafuso M5 (C11b) e fixar os componentes com esse conjunto parafuso+arruela. Para trava do parafuso, usar uma porca (C12) na extremidade livre do parafuso.

Figura 5 - Encaixe das barras horizontais do trem de pouso

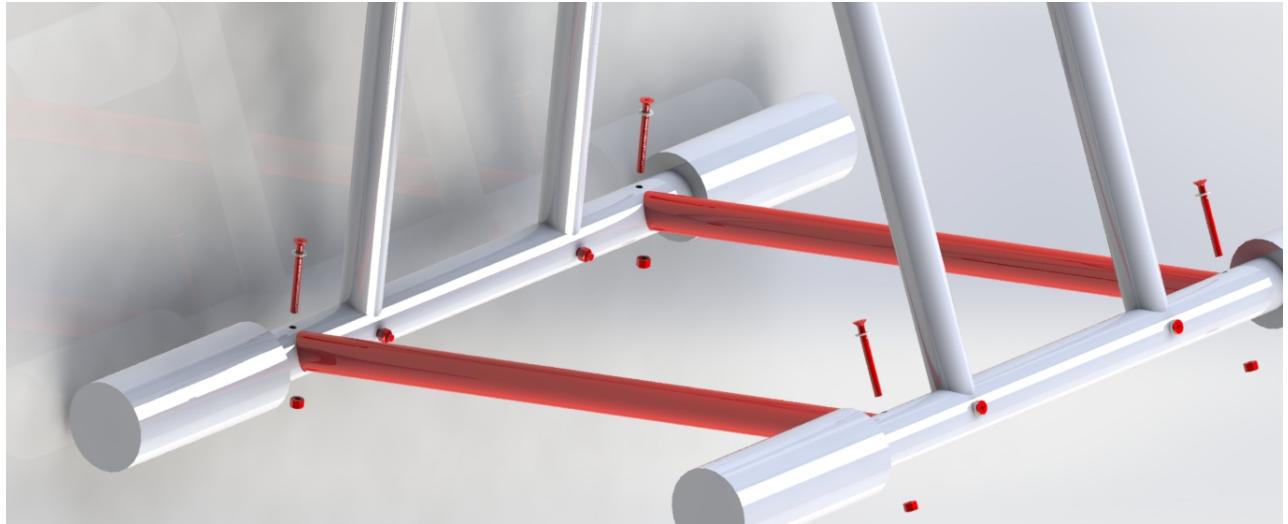


Uma vez finalizado o processo, repetir os passos para o componente C5.

Etapa 7

Posicionar as barras anti- torção (C6) nos furos de encaixe disponíveis nas barras horizontais (C4 e C5). Uma vez feito isso, deve-se passar uma arruela (C13b) através de um parafuso M5 (C11c).

Figura 6 - Encaixe das barras anti torção



Etapa 8

Usar o componente C14a para fixar o componente C10 nas barras verticais (C3) do trem de pouso. Lodo em seguida, encaixar nos suportes C10 os componentes C7. Depois, fixar na parte central dos componentes C7 os componentes C9, que serão utilizados para fixação do C8.

Figura 7 - Fixação do suporte de bancada de bico



Etapa 9

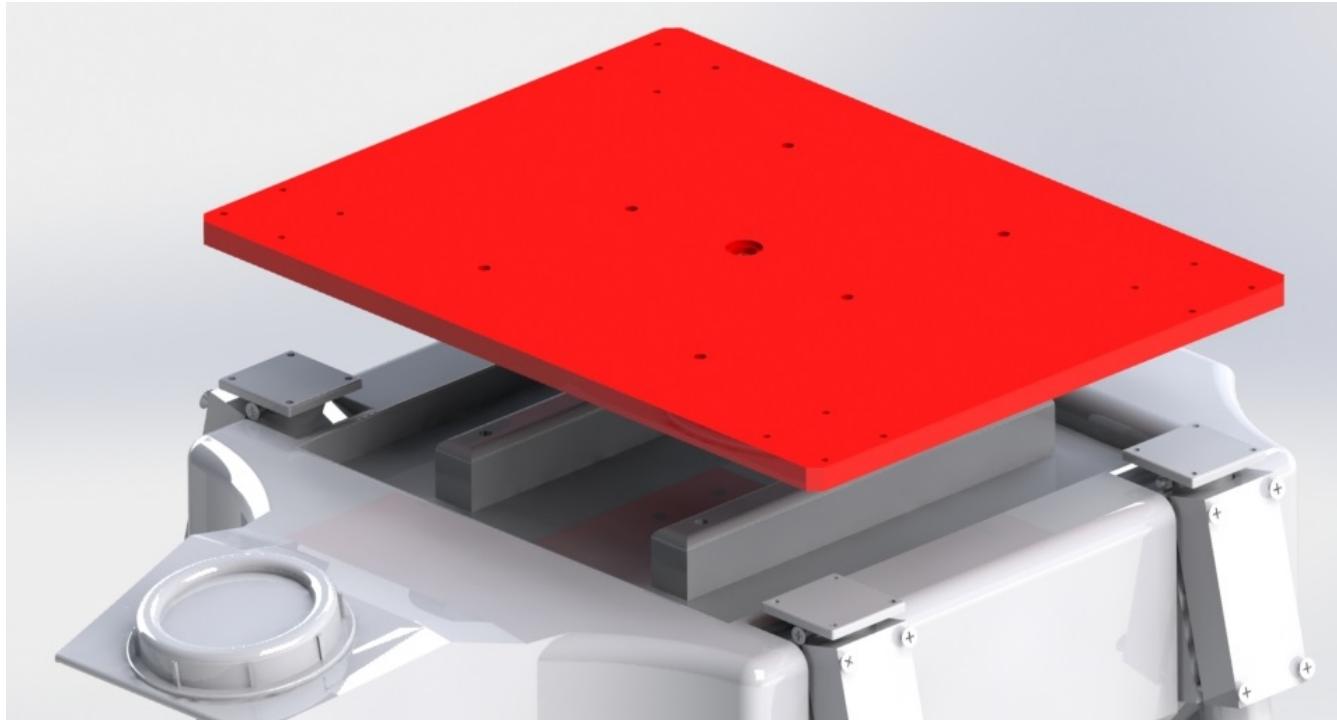
Fixar o componente C8 nos suportes em C9. Depois, encaixar os bicos nebulizadores nos furos indicados em C8, finalizando a montagem da bancada de bico.

Figura 8 - Montagem completa do trem de pouso

**Etapa 10**

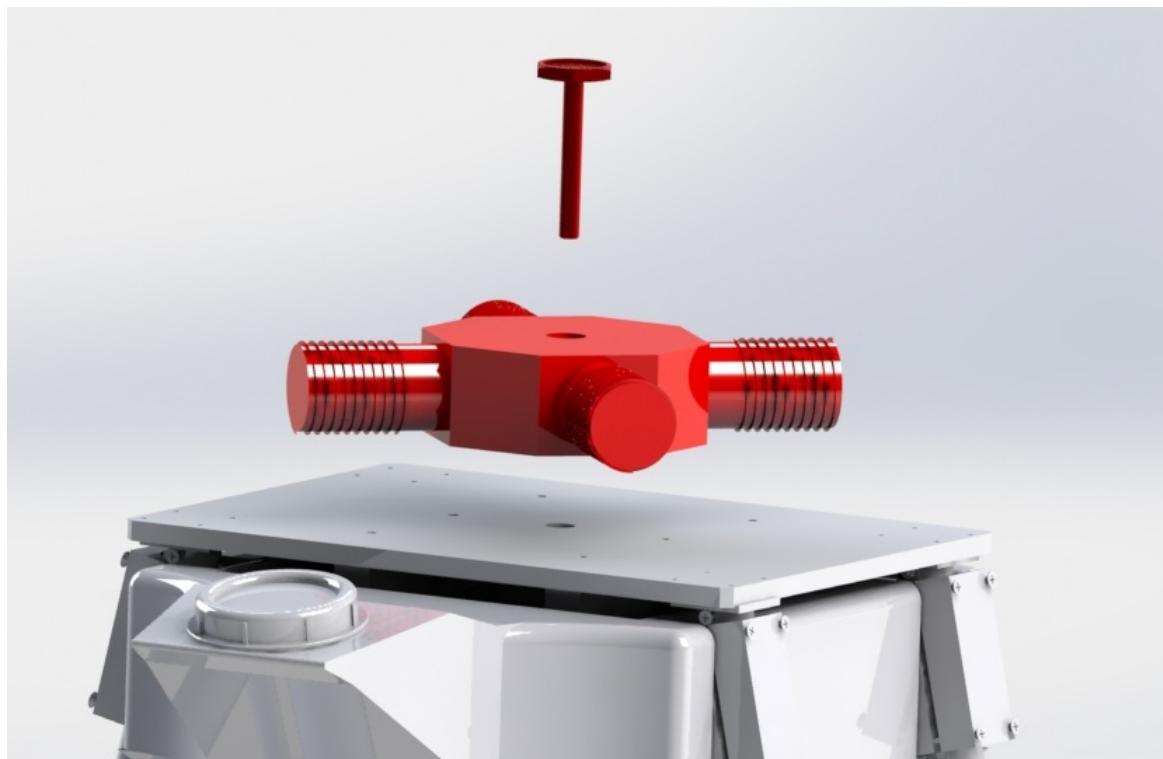
Alinhas os furos centrais do componente C21 com os furos da parte superior do tanque de defensivos (C1). Depois, utilizar os parafusos C16a.

Figura 9 - Encaixe inferior da central eletrônica

**Etapa 11**

Posicionar o componente C22 no furo central do componente C21. Depois, utilizar o componente de fixação C33 para prender os componentes.

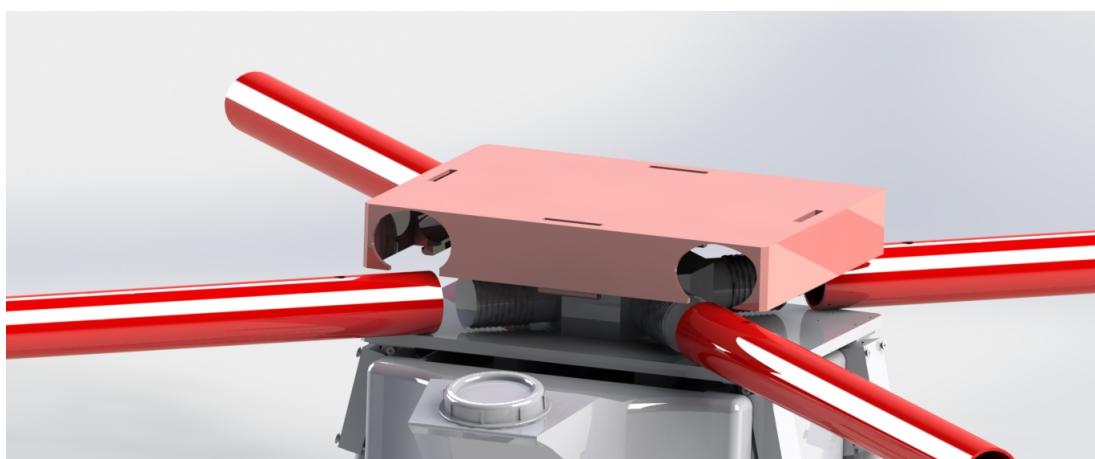
Figura 10 - Fixação do acoplador dos braços



Etapa 12

Rosquear os componentes C23 no C22. Logo em seguida, acoplar o componente C24.

Figura 11 - Encaixe dos braços acopladores



Etapa 13

Fixar os componentes eletrônicos através dos parafusos disponíveis. Os espaços para furo seguem o diagrama disponível na figura 12. Logo em seguida, fechar a central eletrônica utilizando o componente C30.

Figura 12 -Esquema de componentes internos da central eletrônica

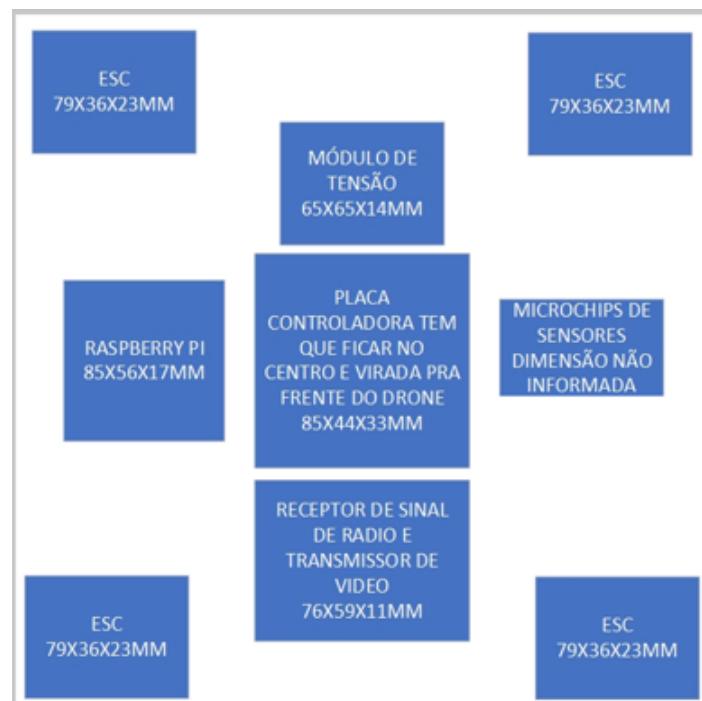
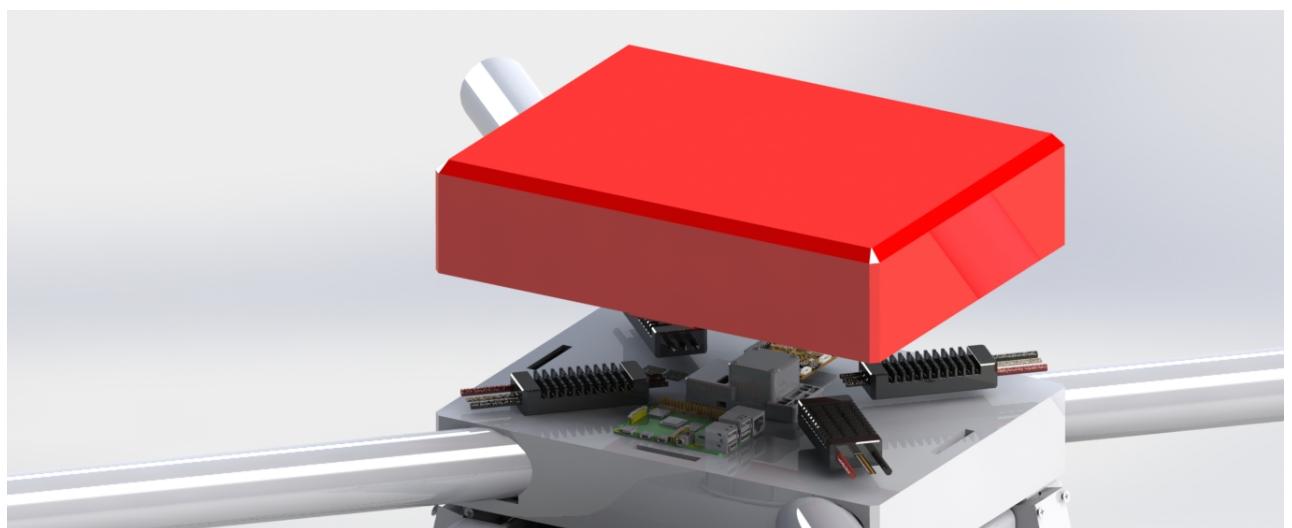


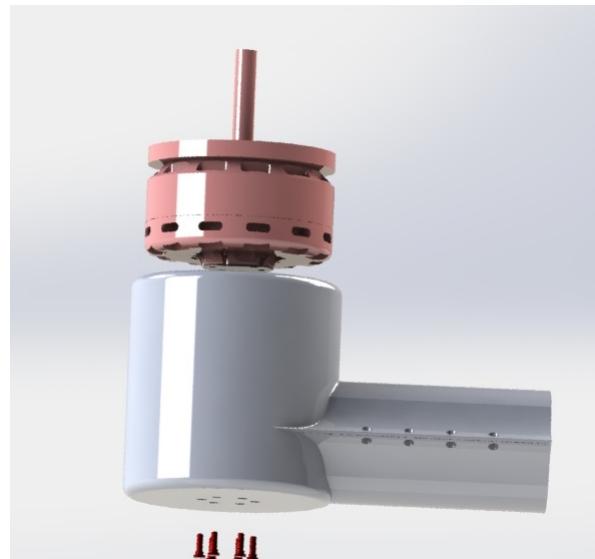
Figura 13 - Fixação da tampa da central eletrônica



Etapa 14

Acoplar o componente C25 no C26, já alinhando as fixações dos furos de parafusos. Depois, fixar os componentes com os parafusos C16c.

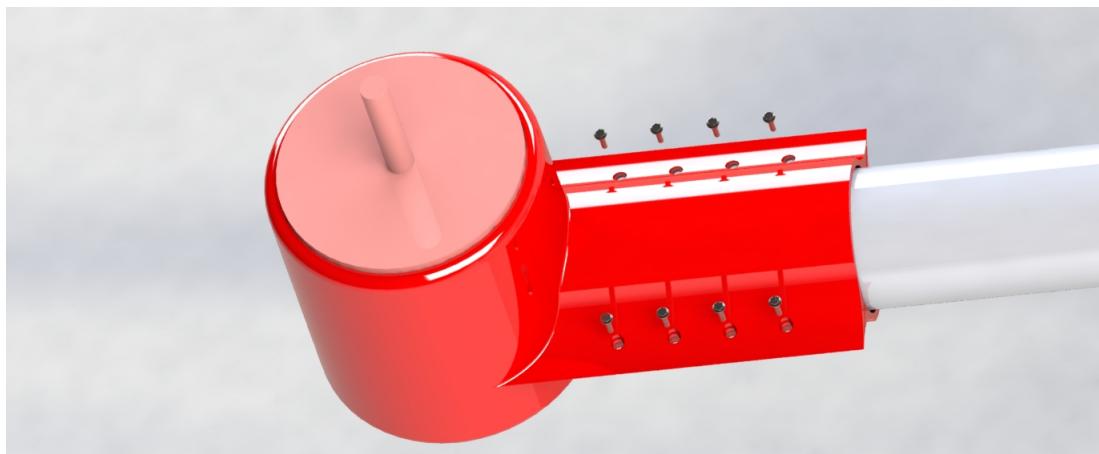
Figura 14 - Encaixe dos motores brushless nos compartimentos



Etapa 15

Encaixar o conjunto da etapa 14 nos braços acopladores (C23). Logo em seguida, parafusar e fixar os componentes através dos parafusos C14c e C15a.

Figura 15 - Fixação dos motores brushless nos braços acopladores



Etapa 16

Acoplar a parte traseira da fixação das hélices no eixo do motor. Depois, acoplar as hélices (C27) nos eixos de giro, fixando com a trava.

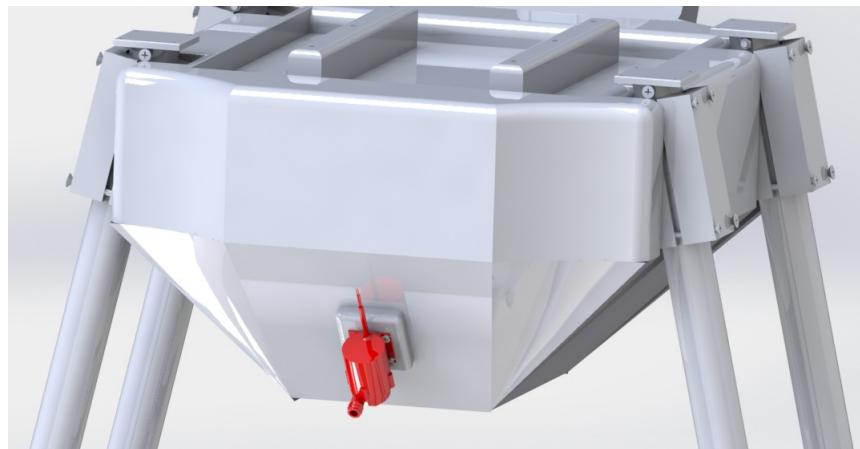
Figura 16 - Encaixe das hélices nos motores brushless



Etapa 17

Acoplar o componente fixar o componente C20 no tanque de defensivos na parte traseira, utilizando para isso o componente C17c.

Figura 17 - Fixação da bomba



Etapa 18

Acrescentar a válvula solenóide (C34) ao lado da bomba, conforme figura mostrada abaixo, usando para isso o componente C17d. Logo em seguida, acoplar o sensor de velocidade (C29) no furo lateral da central eletrônica, usando o componente C16d.

Figura 18 - Fixação da válvula solenóide

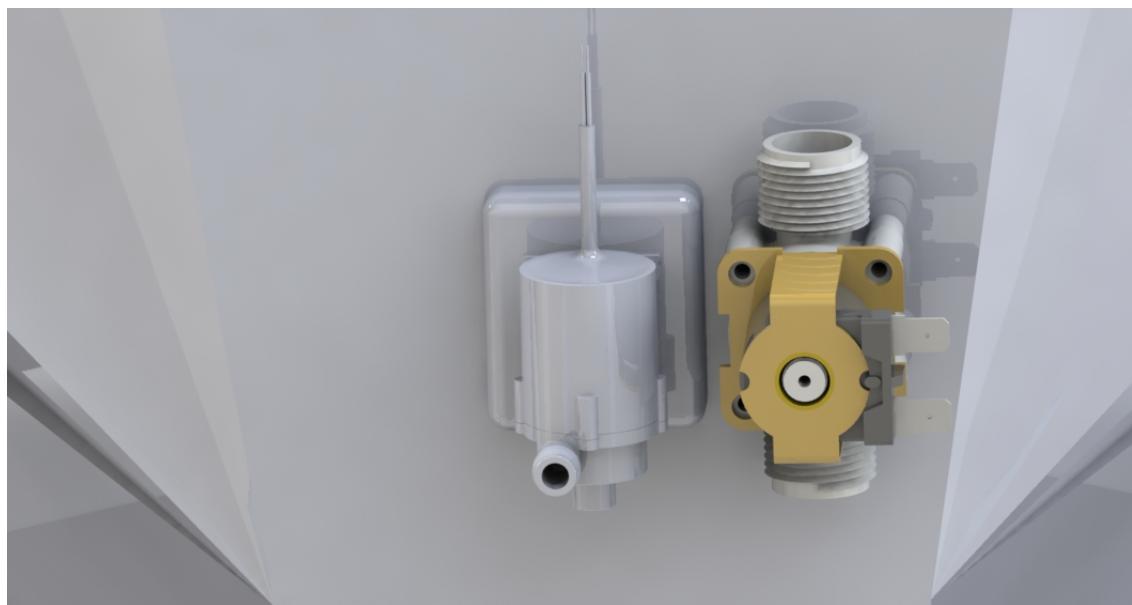
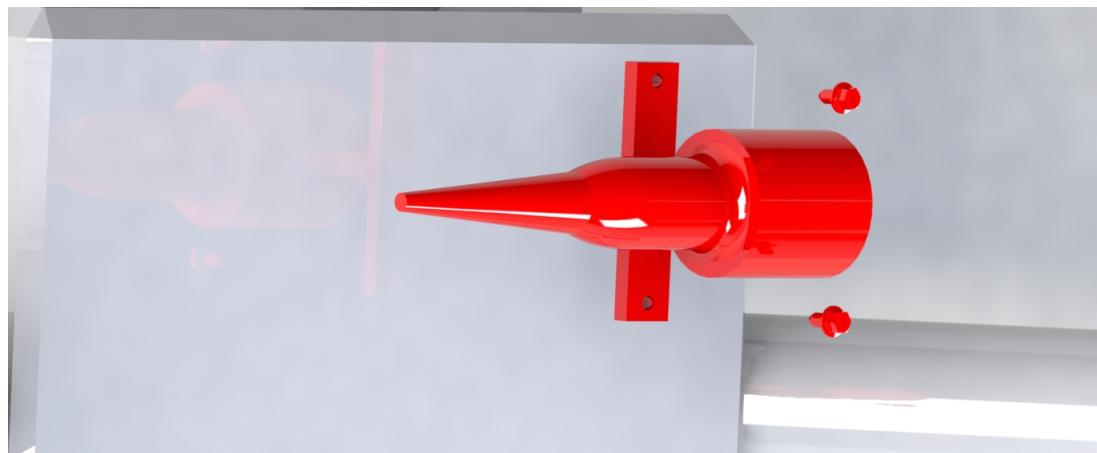


Figura 19 - Encaixe do sensor de velocidade



Etapa 19

Fixar o componente C35 na parte inferior do tanque de defensivos, visando melhor auxiliar o piloto no processo de pulverização.

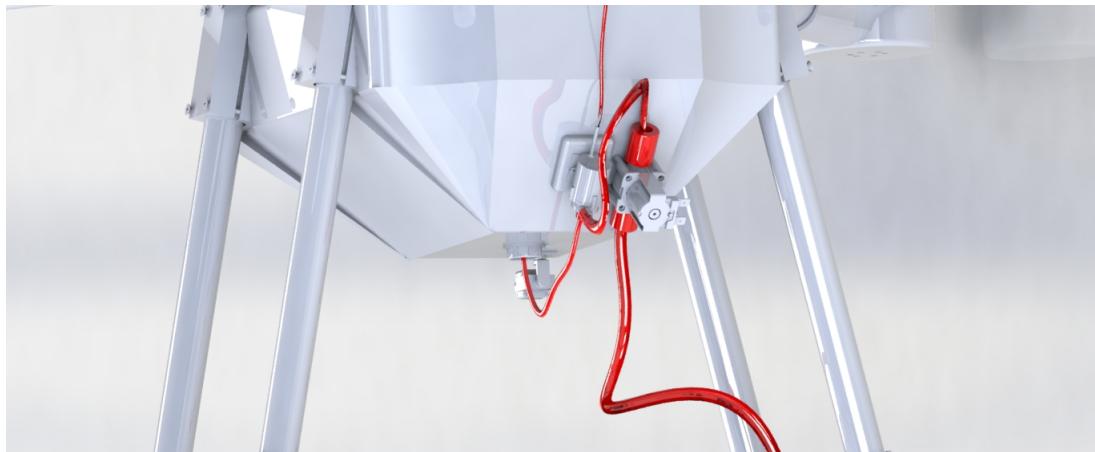
Figura 20 - Fixação da câmera



Etapa 20

Com a montagem do VANT quase finalizada, basta apenas acoplar as mangueiras e sensor de colisão. Sendo assim, inserir a mangueira (C18) na saída do tanque, localizada na parte inferior. Logo em seguida, acoplar a outra ponta da mangueira na entrada da bomba. A continuação da mangueira conecta a saída da bomba com a entrada da válvula solenoide, e depois conecta a saída da válvula com a bancada de bico, conforme figuras abaixo. Depois de conectado a mangueira, ligar a fiação que vai da central eletrônica até a bomba.

Figura 21 - Fixação das mangueiras PVC e fiação da bomba





APÊNDICE H – Manual de manutenção preventiva

O presente manual apresenta instruções de manutenção a serem realizadas no VANT ao longo de sua vida útil. Algumas orientações iniciais são dadas abaixo.

- Realizar qualquer operação com o veículo desligado e sem a bateria, previnindo possíveis acidentes
- ler todo o manual de montagem e seguir todas as instruções à risca para desmontar e montar as peças do veículo
- Caso haja necessidade de mexer em algum componente eletrônico, cuidado. Os mesmo são sensíveis e merecem atenção redobrada.

(M) - Mensal, (B) - Bimestral, (T) - Trimestral, (S) - Semestral, (A) - Anual, (E) - Eventual

Item	Nome. conjunto/componente	M	B	T	S	A	E
1	Sistema de decolagem						
1.1	Manutenção e lubrificação das peças dos motores				•		
1.2	verificar o funcionamento das hélices e averiguar possíveis falhas						•
1.3	Averiguar possíveis trincas ou torções nos braços acopladores			•			
1.4	Verificar o encaixe da placa controladora e sua comunicação com os sensores e softwares		•				
1.5	Verificar se os ESCs estão operando normalmente		•				
2	Sistema de pouso						
2.1	Verificar a estabilidade, encaixe e resistência do trem de pouso	•					
3	Sistema de medição						
3.1	Calibração do sensor de velocidade do ar						•
3.2	Calibração do sensor GPS e controle remoto		•				
3.3	Verificação do funcionamento do sensor de fluxo					•	
3.4	Testar o monitoramento do nível de bateria				•		
4	Sistema de bombeamento						

Item	Nome. conjunto/componente	M	B	T	S	A	E
4.1	Verificar a conexão da raspberry com o sensor de fluxo						•
4.2	Verificar a pressão de trabalho e funcionamento da bomba					•	
4.3	Limpar as mangueiras e verificar a ocorrência de furos ou vazamentos	•					
5	Bateria e carregamento						
5.1	Verificar a taxa de descarga das baterias					•	
5.2	Averiguar o tempo médio de carregamento das baterias						•
5.3	Verificar a conexão dos fios					•	
5.4	Verificar possíveis trincas na bateria ou problemas de encaixe no VANT			•			

APÊNDICE I – Manual do usuário e outras informações

O **manual do usuário** produzido engloba todos os processos de montagem, teste e manutenção discutidos nos apêndices anteriores. Como se trata de um documento mais voltado ao cliente, foi produzido uma versão à parte para download por parte do cliente, onde essa versão se encontra disponível no link <https://drive.google.com/file/d/1XuaBFqyRvRoHVLL>

I.1 Navegação no repositório do projeto

Para facilitar a navegação no repositório do projeto, foi criado uma lista com os principais links conforme abaixo

- Repositório do projeto:
<https://drive.google.com/drive/folders/1BpwltJ7O5vXzPd2z4l-y8DeecWxoXCG9?usp=sharing>
- Proposta detalhada inicial do projeto:
<https://drive.google.com/file/d/1l0P4rh-73yakmXUAfKMOafIKLqWJXU5/view?usp=sharing>
- Apresentação em vídeo:
<https://drive.google.com/file/d/1CRTntjQhG7QGwTJ1XDT-Pqxw2A2x4Q3W/view?usp=sharing>
- Ponto de Controle 1:
<https://drive.google.com/file/d/1V2FibTMOwCbLAOTNIjgzMrSROVK5ZY5S/view?usp=sharing>
- Ponto de Controle 2:
<https://drive.google.com/file/d/1o1fo0Un6R-8NzhVDmySmIRaByFAJZGrK/view?usp=sharing>
- Ponto de Controle 3 (Antes da apresentação):
<https://drive.google.com/file/d/1falvu7WBml7-YV4i7GB1wnOVqjDM4qva/view?usp=sharing>
- Design do VANT no PC1:
<https://drive.google.com/drive/folders/1RV-sx1aTogqUDjhz5cxWgahr4V6vtbwbf?usp=sharing>

- Design do VANT no PC2:

<https://drive.google.com/drive/folders/1dp3iJEgWqgmv5ClX9b4wwGBcz2P5IIo?usp=sharing>

- Design do VANT no PC3:

<https://drive.google.com/drive/folders/1dngf4oKcpmPQMRdTddYok4AwMeeixQcw?usp=sharing>

- Diagrama geral de integração do projeto:

<https://drive.google.com/file/d/1JU6CYshLZcSHi5RNbQgi058gOpt9/view?usp=sharing>

Anexos

ANEXO A – Rotina computacional em matlab utilizada para a escolha do modelo de hélice

Arquivo “HelicesData.txt” com opções de hélices

(Este arquivo deve ser salvo em txt , na mesma pasta em que o código for salvo)

2788

2002 -22.32 2277.6 0.73 44.4 5.57 247.31 153.03 0.62 9.21 14.88
 2210 -27.35 2790.8 0.89 44.4 7.12 316.13 205.96 0.65 8.83 13.55
 2321 -30.43 3105.1 0.97 44.4 8.29 368.08 235.75 0.64 8.44 13.17
 2421 -33.27 3394.9 1.18 44.4 9.29 412.48 299.14 0.73 8.23 11.35
 2617 -39.85 4066.3 1.27 44.4 11.54 512.38 348.02 0.68 7.94 11.68
 2814 -46.13 4707.1 1.49 44.4 13.93 618.49 439.04 0.71 7.61 10.72
 3000 -52.92 5400.0 1.69 44.4 16.67 740.15 530.89 0.72 7.3 10.17
 3200 -60.04 6126.5 1.99 44.4 19.86 881.78 666.81 0.76 6.95 9.19
 3408 -68.63 7003.1 2.15 44.4 23.66 1050.5 767.25 0.73 6.67 9.13
 3602 -77.35 7892.9 2.4 44.4 27.68 1228.99 905.21 0.74 6.42 8.72
 3831 -87.74 8953.1 2.83 44.4 32.77 1454.99 1135.26 0.78 6.15 7.89
 4021 -97.82 9981.6 3.22 44.4 38.36 1703.18 1355.77 0.8 5.86 7.36

2880

2220 -32.23 3288.8 1.08 44.4 7.39 328.12 251.06 0.77 10.02 13.10
 2404 -39.25 4005.1 1.33 44.4 9.78 434.23 334.80 0.77 9.22 11.96
 2613 -46.69 4764.3 1.55 44.4 12.53 556.33 424.10 0.76 8.56 11.23
 2815 -54.26 5536.7 1.78 44.4 15.7 697.08 524.68 0.75 7.94 10.55
 3030 -63.93 6523.5 2.09 44.4 20.14 894.22 663.11 0.74 7.30 9.84
 3210 -72.67 7415.3 2.41 44.4 24.52 1088.69 810.06 0.74 6.81 9.15
 3420 -76.2 7775.5 2.54 44.4 26.79 1189.48 909.61 0.76 6.54 8.55

2995

2026 32.72 3338.78 1.12 44.4 7.4 328.56 237.60 0.72 10.16 14.05
 2180 37.86 3863.27 1.33 44.4 9.1 404.04 303.60 0.75 9.56 12.72
 2414 46.93 4788.78 1.57 44.4 12 532.80 396.86 0.74 8.99 12.07
 2598 53.9 5500.00 1.81 44.4 14.6 648.24 492.40 0.76 8.48 11.17

```

2790 63.59 6488.78 2.17 44.4 18.1 803.64 633.96 0.79 8.07 10.24
3000 72.84 7432.65 2.48 44.4 21.8 967.92 779.06 0.80 7.68 9.54
3200 81.4 8306.12 2.81 44.4 26.1 1158.84 941.57 0.81 7.17 8.82
3300 88.74 9055.10 3 44.4 30.2 1340.88 1036.65 0.77 6.75 8.73
3490 107.66 10985.71 3.5 44.4 38.5 1709.40 1279.06 0.75 6.43 8.59

```

```

3010
1514 -19.02 1940.80 0.72 50 3 150 114.1 0.76 12.94 17
1733 -25.17 2568.40 0.85 50 4.3 215 154.2 0.72 11.95 16.65
1920 -30.82 3144.90 1.07 50 5.6 280 215.1 0.77 11.23 14.62
2133 -38 3877.60 1.31 50 7.5 375 292.6 0.78 10.34 13.25
2323 -45.39 4631.60 1.59 50 9.5 475 386.8 0.81 9.75 11.98
2518 -53.52 5461.20 1.85 50 11.8 590 487.8 0.83 9.26 11.2
2746 -63.65 6494.90 2.24 50 15.1 755 644.1 0.85 8.6 10.08
2907 -71.94 7340.80 2.53 50 17.9 895 770.1 0.86 8.2 9.53
3130 -83.06 8475.50 2.86 50 22.3 1115 937.4 0.84 7.6 9.04
3215 -88.15 8994.90 3 50 24.1 1205 1009.9 0.84 7.46 8.91
3302 -92.95 9484.70 3.19 50 26.2 1310 1103 0.84 7.24 8.6
3431 -100.34 10238.80 3.45 50 29.3 1465 1239.5 0.85 6.99 8.26
3515 -107 10918.40 3.65 50 31.9 1595 1343.4 0.84 6.85 8.13
3615 -113.51 11582.70 3.82 50 34.7 1735 1446 0.83 6.68 8.01
3720 -120.85 12331.60 4.06 50 38.1 1905 1581.5 0.83 6.47 7.8

```

Código matlab

```

clear ;
clc ;

data = struct ("opt " ,[] , "RPM" ,[] , "NetThrust " ,[] , "Thrust " ,[] , ...
    "Torque " ,[] , "MotorVoltage " ,[] , "MotorCurrent " ,[] , ...
    "Input " ,[] , "Output " ,[] , "Efficiency " ,[] , "InputRatio " ,[] , ...
    "OutputRatio " ,[] ) ;

A = fopen ( "HelicesData . txt " );
while ( s = fgetl (A)) != -1
    if isempty (data (end) . opt )
        data (end) . opt = s ;
    else
        data (end+1) . opt = s ;
    end
end

```

```
        endif
        while(s = fgetl(A)) != -1 && !isempty(s)
            tmp = str2double(strsplit(s));
            data(end).RPM(end+1) = tmp(1);
            data(end).NetThrust(end+1) = tmp(2);
            data(end).Thrust(end+1) = tmp(3);
            data(end).Torque(end+1) = tmp(4);
            data(end).MotorVoltage(end+1) = tmp(5);
            data(end).MotorCurrent(end+1) = tmp(6);
            data(end).Input(end+1) = tmp(7);
            data(end).Output(end+1) = tmp(8);
            data(end).Efficiency(end+1) = tmp(9);
            data(end).InputRatio(end+1) = tmp(10);
            data(end).OutputRatio(end+1) = tmp(11);
        endwhile
    endwhile
    fclose(A);

requiredThrust = 5900;
bestOption = 1;
bestCurrent = interp1(data(1).Thrust, data(1).MotorCurrent, ...
requiredThrust);
for option = [2:columns(data)]
    current = interp1(data(option).Thrust, data(option).MotorCurrent, ...
requiredThrust);
    if current < bestCurrent
        bestCurrent = current;
        bestOption = option;
    endif
endfor

bestCurrent
bestRPM = interp1(data(option).Thrust, data(option).RPM, requiredThrust)
bestVoltage = interp1(data(option).Thrust, ...
data(option).MotorVoltage, requiredThrust)
bestInput = interp1(data(option).Thrust, ...
data(option).Input, requiredThrust)
bestOutput = interp1(data(option).Thrust, ...
data(option).Output, requiredThrust)
```

```
bestEfficiency = interp1(data(option).Thrust, ...
data(option).Efficiency, requiredThrust)
bestInputRatio = interp1(data(option).Thrust, ...
data(option).InputRatio, requiredThrust)
bestOutputRatio = interp1(data(option).Thrust, ...
data(option).OutputRatio, requiredThrust)
```

ANEXO B – Código utilizado para simulação do fluxo da bomba

```

#!/usr/bin/python
import RPi.GPIO as GPIO
import time , sys

FLOW_SENSOR_GPIO = 13

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(FLOW_SENSOR_GPIO, GPIO.IN , pull_up_down = GPIO.PUD_UP)

global count
count = 0

def countPulse(channel):
    global count
    if start_counter == 1:
        count = count+1

GPIO.add_event_detect(FLOW_SENSOR_GPIO, GPIO.FALLING, callback=
countPulse)
while True:
    try:
        start_counter = 1
        time.sleep(1)
        start_counter = 0
        flow = (count / 7.5)
        print ("O fluxo : %.3f Litros/min" % (flow))
        count = 0
        time.sleep(5)
    except KeyboardInterrupt:
        print ('\n teclado detectado!')
        GPIO.cleanup()
        sys.exit()

```

ANEXO C – Código utilizado na simulação do sensor de umidade e temperatura

```

import os
import time
import Adafruit_DHT

DHT_SENSOR = Adafruit_DHT.DHT22
DHT_PIN = 4

try:
    f = open('/home/pi/humidity.csv', 'a+')
    if os.stat('/home/pi/humidity.csv').st_size == 0:
        f.write('Data,Hora,Temperatura,Umidade\r\n')
except:
    pass

while True:
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(DHT_SENSOR, DHT_PIN)

    if humidity is not None and temperature is not None:
        f.write('{0},{1},{2:0.1f}*C,{3:0.1f}%\r\n'.format(time.strftime
        ('%m/%d/%y'), time.strftime('%H:%M'), temperature, humidity))
    else:
        print("Nao foi possivel obter dados do sensor")

    time.sleep(30)

```