



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**CONTROLE DA QUALIDADE DE PRODUÇÃO DE
MÁQUINAS EM PEQUENA ESCALA: UM ESTUDO DE
CASO DE UMA MÁQUINA DE CAPTURA DE ABELHAS**

Por

Marcos Mourthé Starling Pinheiro Lopes

Orientadoras:

Prof.^a Dr.^a Simone Borges Simão Monteiro

Prof.^a Dr.^a Dianne Magalhães Viana

Brasília, 29 de setembro de 2022.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**CONTROLE DA QUALIDADE DE PRODUÇÃO DE
MÁQUINAS EM PEQUENA ESCALA: UM ESTUDO DE
CASO DE UMA MÁQUINA DE CAPTURA DE ABELHAS**

Marcos Mourthé Starling Pinheiro Lopes

Matrícula: 15/0088213

Relatório submetido como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Orientadoras:

Prof.^a Dr.^a Simone Borges Simão Monteiro

Prof.^a Dr.^a Dianne Magalhães Viana

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Aida Alves Fadel

Prof. Dr. Jones Yudi Mori Alves da Silva

Brasília, 29 de setembro de 2022.

Quando o poder do amor superar o amor pelo poder,
o mundo conhecerá a paz.

(Jimi Hendrix)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Brasília, pela oportunidade de vivenciar um ensino de qualidade de forma gratuita, de poder conviver e aprender com a diversidade, por me ensinar a buscar e a gerar conhecimento e por me dar o orgulho em dizer onde me graduei. Graças à formação que tive, me sinto confiante para exercer minha profissão em qualquer lugar do mundo.

Agradeço à minha família, por me oferecer a oportunidade de crescer em um ambiente onde me senti livre e confiante para criar, errar e tentar de novo. Aos meus pais e irmãos que me fizeram quem sou hoje, como pessoa, profissional e como pai. Aos meus amigos, que sempre me apoiaram e se fizeram presentes em todas as vitórias e derrotas. Aos meus irmãos Lucas e Wagner e ao João Quintiliano, pelas horas de esforço e dedicação e por toparem o desafio de desenvolver nosso equipamento.

Agradeço à minha parceira de vida, Larissa, que não só me apoia em todas as esferas da minha vida, como não mede esforços para dedicar suas horas de trabalho nos meus projetos pessoais e profissionais. Por todo amor e parceria na construção da nossa família, de um lar cheio de amor, na criação do nosso filho e por todos os sonhos que dividimos e ainda vamos dividir.

Esse trabalho não seria possível sem o apoio das Professoras Doutoras Simone Borges Simão Monteiro e Dianne Magalhães Viana. Agradeço por toda compreensão, paciência e carinho ao longo dos últimos semestres, pela rigidez na orientação e na correção acompanhadas do amparo técnico e científico que me fizeram extrair o melhor trabalho possível.

RESUMO

Em decorrência do desmatamento e do avanço de centros urbanos no habitat natural das abelhas, algumas espécies têm oferecido risco à população. Apesar da importância desses insetos como agentes polinizadores, a falta de um equipamento resistente, compatível com operações em altura e com efetividade na captura dos insetos faz com que o extermínio seja uma prática ainda comum em ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Diante desse cenário, um equipamento de captura de abelhas que permite a realocação segura foi desenvolvido especificamente para a operação militar. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um protocolo de controle de qualidade para o processo de produção do equipamento. Para tanto, é necessário compreender o processo de produção, identificar os fatores que influenciam na qualidade do processo de fabricação e as possíveis falhas no processo de produção. Trata-se de uma pesquisa exploratória, de abordagem qualitativa, que parte de um estudo de caso e apresenta como técnica para coleta de dados um estudo de campo envolvendo observação e entrevista não-estruturada. Contempla as seguintes etapas: (1) contextualização do desenvolvimento do equipamento, (2) desenho do fluxo do processo de produção do equipamento de captura, (3) levantamento de variáveis que afetam a qualidade do produto e parâmetros desejáveis, (4) avaliação do processo de produção para levantamento de falhas, (5) análise das ações recomendadas e resultados da *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), (6) desenvolvimento de protocolo de controle de qualidade. Após a aplicação das ferramentas de controle de qualidade, observa-se que os processos de produção da estrutura em policloreto de vinila (PVC) apresentam maiores riscos de falha, sendo assim, desenvolve-se gabaritos de corte e montagem da estrutura como forma de mitigar ou eliminar riscos de falhas. As ações recomendadas para cada possível falha levantada por meio da FMEA servem como insumo para a elaboração de um *checklist* de montagem que compila especificações e procedimentos recomendados para o processo de produção do equipamento. A pesquisa realizada busca contribuir para a melhoria no processo de produção do equipamento e, conseqüentemente, nos procedimentos do CBMDF, gerando impacto nas esferas social e ambiental.

Palavras-chaves: Controle de qualidade; FMEA de processos; Prototipagem Rápida; *Checklist* de qualidade; Planejamento de Produção.

ABSTRACT

Due to the deforestation process and the advance of the urban centers through the bee's natural habitat, some species have been offering hazard to the population. The lack of existence of a resistant equipment, compatible to perform work at height and effective on the insect capture makes the extermination still a common procedure in occurrences attended by the Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Hence in this scenario, a bee capture equipment that allow it's safe relocation is developed specifically to the military operation. In that regard, the objective of this research consists in a quality control protocol to the equipment production process development. Therefore, the production process comprehension is necessary, identifying the factors that influence the fabrication process quality and the possible production process failure. The research was exploratory, with a qualitative approach that starts from bibliographical research and presents as a data collect technique a field study involving observation and non-structured interview. It contemplates the following phases: (1) equipment development contextualization, (2) capture equipment process flow design, (3) gathering of product quality variables and desired parameters, (4) production process evaluation and failure analysis, (6) quality control protocol development. Following the quality control tools applications, it is observed that the production process involving the PVC structure presents the greatest failure risks. As a result of that, a cut and assemble template is developed as a way to reduce or eliminate failure risks. The recommended actions to each and every possible failure identified through the FMEA application serve as an input to an assembly checklist that compile procedures and specifications recommended to the equipment production process and, consequently, in the CBMDF procedures, generating impact on the social and Ambiental spheres.

Keywords: Quality control, process FMEA, Rapid Prototyping, Quality checklist, Production Planning

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2. JUSTIFICATIVA	11
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. Objetivo Geral.....	12
1.3.2. Objetivos específicos	12
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. A IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS COMO AGENTES POLINIZADORES E A PRESENÇA DE ENXAMES EM CENTROS URBANOS.....	14
2.2. PRÁTICAS DE REMOÇÃO DE ENXAMES	15
2.3. CONTROLE DE QUALIDADE	18
2.4. <i>FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS</i> (FMEA).....	20
2.5. <i>CHECKLIST</i>	25
2.6. CONTROLE DE QUALIDADE EM MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA	25
2.7. MONTAGEM DE TUBULAÇÃO PVC	30
3. METODOLOGIA.....	33
3.1. MÉTODO DE PESQUISA.....	33
3.2. ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA	33
4. ESTUDO DE CASO: CONTROLE DE QUALIDADE PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE CAPUTRA DE ABELHAS.....	37
4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO	37
4.2. DESENHO DO FLUXO DE PRODUÇÃO DO EQUIPAMENTO	42
4.3. VARIÁVEIS QUE AFETAM A QUALIDADE DO PRODUTO E PARÂMETROS DESEJÁVEIS PARA CADA VARIÁVEL.....	45
4.4. APLICAÇÃO DA FMEA.....	48
4.5. ANÁLISE DAS AÇÕES RECOMENDADAS E RESULTADOS DA FMEA.....	55
4.6. DESENVOLVIMENTO DE PROTOCOLO DE CONTROLE DE QUALIDADE.....	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO A.....	68
ANEXO B.....	69
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Máquina de Captura Bee Vac.....	16
Figura 2 – Dependência entre o ciclo de vida do produto, controle de qualidade e custo do defeito.....	19
Figura 3 – Impressora 3D (Prusa I3 MK3S)	27
Figura 4 – Montagem Junta Soldável.....	31
Figura 5 – Montagem Junta Roscável de Transição.....	31
Figura 6 – Unidade Piloto.....	38
Figura 7 – Comparação entre as soluções existentes e o equipamento desenvolvido.....	39
Figura 8 – Processo de Produção Simplificado.....	42
Figura 9 – Subgrupos de montagem.....	43
Figura 10 – Processo de Produção.....	44
Figura 11 – Guia de calibragem da primeira camada.....	47
Figura 12 – Fluxo de aplicação da FMEA.....	48
Figura 13 – Representatividade dos subitens no risco RPN.....	54
Figura 14 – Radar de resultados FMEA.....	55
Figura 15 – Gabarito de furação da secção do tubo de 300 mm.....	57
Figura 16 – Aplicação de fita no auxílio do processo de lixamento para solda.....	58
Figura 17 – Checklist de verificação da câmara de baixa pressão.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de efeitos para FMEA de processos.....	22
Tabela 2 – Tabela de detecção para FMEA de processos.....	23
Tabela 3 – Tabela de previsão de ocorrência para FMEA de processos.....	24
Tabela 4 – Variáveis que influenciam na resistência de peças em FDM e as faixas de valores para teste.....	28
Tabela 5 – Valores ótimos para fabricação de peças em FDM e resultados previstos para os corpos de prova em cada tipo de resistência.....	29
Tabela 6 – Valores ótimos para fabricação de peças em FDM e resultados previstos para resistência combinada para os corpos de prova.....	29
Tabela 7 – Variáveis e parâmetros sugeridos para impressão 3D.....	46
Tabela 8 – Formulário de aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura.....	49
Tabela 9 – Lista de secções de tubo PVC.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estruturação da Pesquisa.....	34
Quadro 2 – Divisão do equipamento em grupos de componentes.....	41

LISTA DE SIGLAS

CBMDF	Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
NYPD	Departamento de Polícia de Nova Iorque
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i>
NPR ou RPN	Número de prioridade de risco
PVC	Policloreto de vinila
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
FFF	Fabricação com Filamento Fundido
PETG	Polietileno Tereftalato Glicol
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A manutenção da saúde da flora, segundo Silva (2014), depende diretamente da manutenção da saúde dos seres vivos responsáveis pela sua polinização e, em se tratando do cerrado, as abelhas são as principais responsáveis por esse trabalho. Em decorrência do desmatamento e do avanço de centros urbanos no habitat natural dessas espécies, esses seres vivos buscam refúgio em zonas urbanas (FREITAS et al., 2011), e, tendo em vista que algumas espécies são peçonhentas, oferecem risco à população (CORREIA-OLIVEIRA et al., 2012).

Apesar da importância das abelhas no ecossistema, a complexidade do processo de realocação das colmeias apresentada por De Lima (2015) faz com que o procedimento padrão do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) para os casos de abelhas peçonhentas seja o de extermínio, diferentemente do padrão de operação adotado em cidades como Nova Iorque, que tem divisões dedicadas exclusivamente à captura e realocação dos insetos polinizadores (NYPD, 2022 e SCHULMAN, 2018). Diante do cenário de atuação do CBMDF em ocorrência envolvendo abelhas em centros urbanos, Soares e Martins (2020) analisam a viabilidade de implementação de técnicas de captura e realocação das abelhas na operação do CBMDF.

Em face da dificuldade imposta pela incompatibilidade de uso das ferramentas existentes para captura dos animais e da rotina de trabalho dos militares, uma equipe de engenheiros da qual o autor deste trabalho faz parte propôs uma nova solução para a operação de captura de abelhas. O desenvolvimento desse equipamento foi documentado por Soares e Martins (2020).

Diante da realidade de uso militar do equipamento e da fabricação local em pequena escala, os conhecimentos em Engenharia de Produção podem auxiliar na melhoria do desempenho dos processos de fabricação, aumentando o padrão de qualidade do produto.

1.2. JUSTIFICATIVA

Diante do desafio de auxiliar no processo de produção de um equipamento para uso militar e de seu potencial impacto positivo na sociedade, este trabalho define os problemas de

produção mais relevantes a serem enfrentados no processo de produção do equipamento proposto por Soares e Martins (2020).

Segundo Fleury (2008), as contribuições para as comunidades e a sociedade em geral são especialmente relevantes no desempenho da profissão de Engenheiro de Produção. Diante disso, este trabalho une os desafios da implementação dos conhecimentos técnicos para a solução de problemas de produção reais, com a oportunidade de geração de impacto social, por meio da viabilização da produção de um equipamento que diminuirá o impacto ambiental da atuação do CBMDF nas operações de proteção da população de enxames de abelhas peçonhentas.

Tendo em vista que o autor deste trabalho é coautor da patente de utilidade do equipamento proposto por Soares e Martins (2020), a presente pesquisa trata-se do registro científico da abordagem de controle de qualidade na etapa de planejamento de produção do ciclo de vida do equipamento e consiste na continuação do trabalho de desenvolvimento previamente realizado em parceria com os militares.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Propor uma sistemática de controle de qualidade para o processo de produção de um equipamento de captura de abelhas, visando à garantia da qualidade do produto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Compreender o processo de fabricação do equipamento de captura de abelhas;
- Identificar fatores que influenciam na qualidade do processo de fabricação;
- Levantar possíveis falhas no processo de produção;
- Desenvolver protocolo de controle de qualidade para o processo de produção.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está estruturado em 5 seções, no intuito de abordar de forma objetiva, clara e organizada a apresentação dos conceitos e resultados obtidos na pesquisa. Para tanto, as seções dividem o trabalho da seguinte forma:

Seção 1 – Introdução: contempla a contextualização da pesquisa, justificativas e objetivos, disponibilizando aspectos gerais da pesquisa.

Seção 2 – Referencial Teórico: oferece fundamentação teórica aos assuntos que tem relevância para o trabalho, com o objetivo de fornecer ao leitor as definições e conceitos nos quais a pesquisa é apoiada, permitindo a construção do conhecimento para o entendimento do trabalho.

Seção 3 – Metodologia: define o método de pesquisa utilizado, classifica a abordagem, natureza, objetivo, procedimentos e meios de coleta de dados. Apresenta a estruturação detalhada da metodologia utilizada no estudo de caso.

Seção 4 – Estudo de Caso: apresenta a contextualização, o desenvolvimento dos diagramas e ferramentas necessárias para compreensão dos processos estudados, padrões e conceitos necessários para controle dos processos envolvidos, a aplicação das ferramentas de qualidade para levantamentos de falhas no processo, a análise dos resultados e o desenvolvimento do protocolo de controle de qualidade

Considerações Finais: apresenta se os objetivos foram atendidos, as contribuições do estudo de caso, suas limitações e sugestões para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A IMPORTÂNCIA DAS ABELHAS COMO AGENTES POLINIZADORES E A PRESENÇA DE ENXAMES EM CENTROS URBANOS

A polinização biótica, aquela realizada por seres vivos, é vital para a manutenção de cerca de 87% das plantas conhecidas atualmente. Dentre os animais polinizadores, as abelhas estão em posição de destaque e, no cerrado, podem responder pela polinização de mais de 80% das espécies vegetais. (SILVA et al., 2014). Barbosa (2017) classifica as abelhas como essenciais para a vida humana e vegetal e alerta que a falta do serviço ecossistêmico das abelhas oferece risco de extinção de alimentos como tomate, café, manga, laranja, abacate, entre outros. Além disso, segundo Diniz (2017), o valor econômico estimado da polinização feita por insetos, principalmente abelhas, é correspondente a 9,5% da produção agrícola do país, sendo assim, a ameaça à população das abelhas coloca em risco, além da biodiversidade, a economia do país.

Apesar da sua importância no ecossistema, algumas espécies de abelhas são consideradas peçonhentas, além de oferecerem risco à população devido ao alto nível de agressividade (CORREIA-OLIVEIRA et al., 2012). Como abordado por Lima, 2010, a agressividade é a forma que a espécie tem de garantir proteção à sua sociedade e à produtividade de sua colmeia. Tendo isso em vista, o aparecimento de enxames de abelha em zona urbana causa riscos e transtornos à população. Segundo Freitas (2011), o crescimento do desmatamento e as agressões sofridas pelo meio ambiente interferem no habitat natural desses animais, contribuindo para migrações para zonas urbanas.

Terças et al. (2017) afirmam que os acidentes por picadas de abelhas foram subnotificados ao longo dos anos e que mudanças realizadas no processo de registro de ocorrência corroboram a tese, uma vez que, em 2005, antes da alteração, foram registrados não mais que 10 casos anuais, sendo que em 2006, ano da alteração, os casos subiram para 48 e em 2007 já eram registrados mais de 5000 casos no país. Os registros crescem anualmente de maneira significativa e em 2014 o número de acidentes registrados foi superior a 12000 casos no país.

Ao analisar os procedimentos operacionais envolvendo insetos do CBMDF, Soares e Martins (2020) classificam os indivíduos *Apis Mellifera* em território brasileiro como abelhas

africanizadas. Além do elevado nível de agressividade, Mello, Silva e Natal (2003) mostram que as abelhas africanizadas possuem muitas possibilidades de adaptação para construir ninhos em centros urbanos, além de enxamear várias vezes no ano.

Dada a importância da manutenção da vida das abelhas, buscam-se práticas que auxiliem na realocação dos enxames no lugar do extermínio como uma forma de conciliar a segurança da população com a redução do impacto ambiental da atuação do CBMDF.

2.2. PRÁTICAS DE REMOÇÃO DE ENXAMES

Em face do risco oferecido pela presença de abelhas em centros urbanos, além da prática de extermínio, existem as práticas de remoção para realocação das abelhas em um local seguro. Segundo Montero-Castaño (2022), existem três tipos de métodos de captura de abelhas, os métodos passivos (iscas, armadilhas), ativos (redes de captura, coleta direta da colmeia) e os mistos, que utilizam iscas em conjunto com os métodos ativos de captura.

Apesar da existência de práticas de captura, Soares e Martins (2020) mostram que o extermínio ainda é a medida mais comumente adotada pelo CBMDF, responsáveis por ocorrências desse tipo por estarem alinhadas às missões de proteção à integridade da população, ao contrário de cidades como Nova Iorque, que já implementaram como padrão operacional do Departamento de Polícia de Nova Iorque (NYPD) a captura para realocação das abelhas em local seguro, como mostra NYPD (2022).

Conforme apresentado por De Lima (2015) e NYPD (2022), é viável realizar as capturas de abelhas com sucesso, porém De Lima (2015) afirma ser uma operação de alto risco aos militares e à população, além de exigir alto nível de capacitação. Segundo o autor, a maioria das ações de captura nas cidades cearenses são realizadas por apicultores voluntários, mostrando que o Corpo de Bombeiros Militar do Ceará reconhece dificuldades estruturais para realizar o serviço de maneira eficiente. Ferreira (2014) também retrata a importância da capacitação na retirada do enxame para aumentar as chances de sobrevivência da colmeia na realocação e diminuir as chances de retorno ao local de origem.

As parcerias entre os bombeiros e os apicultores locais também acontecem no DF, porém, como levantado pelo autor, os custos para captura de colmeias em zonas urbanas são altos e esse serviço frequentemente é pago pela população por meio da contratação da empresa para realização do serviço. Os militares afirmam que o atendimento por parte da corporação depende do nível de urgência e risco à comunidade, influenciado pela espécie de abelha e pelo

posicionamento da colmeia. De acordo com os bombeiros militares, as ocorrências que oferecem riscos à população são atendidas em caráter de urgência, enquanto as ocorrências que não oferecem riscos são registradas para retirada futura. Os apicultores afirmam que a principal atuação de suas empresas é justamente nos casos que não são classificados como urgentes (abelhas não peçonhentas), e os moradores optam pela contratação para a remoção da colmeia em caráter imediato.

Dentre os métodos de captura de abelhas peçonhentas em centros urbanos abarcados por NYPD (2022), Soares e Martins (2020), Schulman (2018), Souza (2015) e Ferreira (2014), destacam-se os métodos ativos e mistos que envolvem equipamentos de sucção motorizada de abelhas para um recipiente fechado.

A empresa americana Bushkill Ventures LL oferece uma solução projetada para realizar a sucção dos insetos para uma caixa coletora por meio da aspiração, apresentada na Figura 1, de modo a garantir a captura das abelhas de maneira segura, tanto para os insetos quanto para os operadores.

Figura 1: Máquina de Captura Bee Vac



Fonte: Beevac.com

Apelidada de Bee Vac, a solução norte-americana possui concorrentes que utilizam soluções semelhantes. Como mostra Schulman (2018), alguns oficiais utilizam equipamentos similares ao Bee Vac e outros utilizam equipamentos caseiros semelhantes aos apresentados por Souza (2015) e Soares e Martins (2020).

O princípio de solução caseira, que consiste na adaptação do motor e da mangueira de sucção de um aspirador de pó de uso residencial em um recipiente plástico, como uma lata ou uma caixa plástica, teve seu teste registrado por Soares e Martins (2020), que avaliam o uso do maquinário e demonstram que além da falta de iniciativas de capacitação dos militares, as atividades de captura dos insetos são dificultadas pela falta de equipamentos específicos no mercado. Apesar dos sucessos obtidos nos testes, Soares e Martins (2020) identificaram falhas e oportunidades de melhorias nos princípios utilizados. Dentre os problemas levantados no estudo, os militares identificaram riscos e vulnerabilidades nas soluções anteriormente apresentadas que inviabilizam a implementação das soluções existentes no contexto de operação do CBMDF. É importante ressaltar que além de atuar na remoção de colmeias de difícil acesso (que exigem içamento do equipamento), operação incompatível com as soluções existentes no mercado, o CBMDF não possui unidades e viaturas dedicadas exclusivamente a esse tipo de ocorrência, exigindo que o equipamento seja excepcionalmente robusto e seguro, uma vez que os militares podem precisar atuar, em situações de emergência, em outras ocorrências não relacionadas à captura de abelhas sem que se tenha a oportunidade de alocar as abelhas capturadas em local seguro, mantendo-as na viatura ao longo da operação. O cenário de atuação do NYPD é diferente, como apresentado por Schulman (2018) e NYPD (2022), a divisão especializada é dedicada apenas às ocorrências de captura de abelhas, porém, são apresentadas apenas operações em colmeias de fácil acesso.

Em parceria com uma empresa local de desenvolvimento e fabricação, os militares propõem um novo maquinário que mitiga os riscos e falhas apresentados nos testes realizados. Além das queixas de que os equipamentos existentes não são compatíveis com içamentos e operações em altura, as soluções, além de frágeis, oferecem espaço de armazenamento limitado e não permitem a transferência das abelhas capturadas para outro recipiente para liberação do armazenamento sem que a operação seja completamente interrompida. Dentre os diferenciais oferecidos pelo equipamento desenvolvido frente às soluções já existentes no mercado estão: a compatibilidade com içamento; a opção de atuação simultânea de dois operadores utilizando uma só unidade; a opção de operação com um ou dois motores; a opção de seleção de câmara de destino (podendo armazenar simultaneamente nas duas câmaras); a possibilidade de troca do saco de armazenamento sem interromper a operação.

Os primeiros testes em operações da corporação com o protótipo desenvolvido também foram registrados por Soares e Martins (2020) e classificados como sucesso. Diante

dos testes realizados, a corporação está em fase de negociação para a encomenda de um lote piloto do equipamento apresentado.

Diante do cenário de uso militar, é importante que se estabeleça um protocolo de controle de qualidade que resulte em um produto robusto e que atenda as demandas de uso extremo, como capturas em altura, captura de grandes colmeias. Porém, tendo em vista que o produto já se encontra em estado avançado de desenvolvimento, é preciso que se defina a fase de desenvolvimento do produto que o equipamento se encontra para que seja feita uma proposta de controle de qualidade condizente com o nível de desenvolvimento.

2.3. CONTROLE DE QUALIDADE

O conceito de qualidade está presente na sociedade há milênios, mas quando se fala formalmente em uma função de gerenciamento, trata-se de uma abordagem recente e ainda em evolução (GARVIN, 1988). Já Juran (1997) conceitua a qualidade como a adequação ao uso através da percepção das necessidades dos clientes. De acordo com Camargo (2016), a questão “qualidade” não pode ser menosprezada por nenhuma empresa no mercado, seja por questões de competência, desenvolvimento ou até a própria subsistência.

Esses avanços surgem na história de acordo com a demanda e as evoluções na complexidade e robustez dos sistemas produtivos. Ao longo do tempo, atividades relacionadas à qualidade ganham importância e se mostram essenciais para o sucesso estratégico (GARVIN, 1988). Segundo Anderson (1994), um controle de qualidade efetivo pode realçar o potencial competitivo das organizações e pode proporcionar vantagem competitiva no mercado.

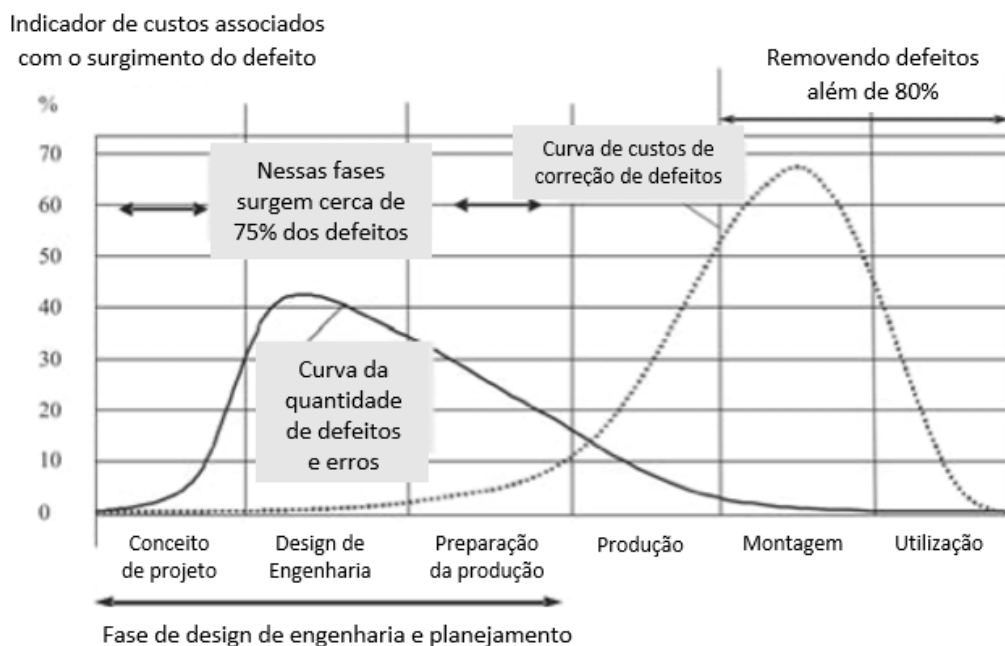
Segundo Dudek-Burlikowska (2011), para um melhor entendimento da filosofia moderna de qualidade, as organizações devem definir formas de monitorar e controlar a qualidade. Uma seleção adequada de ferramentas e métodos, orientação do estado do processo e a definição de formas de mensuração adequadas permitem o entendimento e a análise das razões pelas quais surgem erros na execução dos processos.

O desenvolvimento de um produto, segundo Rozenfeld (2006), é dividido em três macrofases separadas por entregas marcam a mudança na etapa do ciclo de vida de desenvolvimento, o pré desenvolvimento, o desenvolvimento e o pós desenvolvimento sendo equipamento proposto por Soares e Martins (2020) localizado na macrofase de desenvolvimento pelo fato já ter um protótipo funcional testado pelo cliente. Dentro da macrofase de desenvolvimento, Rozenfeld (2006) define que o produto passa pelas fases de

projeto informacional, projeto conceitual, projeto detalhado, preparação para produção e lançamento do produto. A entrega que marca a mudança de projeto detalhado para o início da preparação para produção é justamente um protótipo aprovado, já a mudança de preparação para produção para lançamento do produto é marcada pela entrega de um lote piloto aprovado. Tendo em vista os marcos estabelecidos por Rozenfeld (2006), pode-se definir que o equipamento de captura de abelhas proposto se encontra na fase de preparação para produção.

O surgimento de erros ao longo das fases não acontece de maneira linear, Dudek-Burlikowska (2011) analisa a relação entre os custos associados com o surgimento de defeitos, o ciclo de vida do produto, a quantidade de defeitos e o custo de correção dos defeitos. A Figura 2 apresenta essa relação.

Figura 2: Dependência entre o ciclo de vida do produto, controle de qualidade e custo do defeito



Fonte: adaptado de Dudek-Burlikowska (2011)

Com base no apresentado pela Figura 2, a fase de preparação para produção é a última janela do ciclo de vida do produto, na qual ainda são identificados a maioria dos defeitos com custos de correção baixos. Sendo assim, é importante que ocorra um esforço nessa etapa para garantir a detecção e correção do maior número de defeitos possível antes de iniciar a etapa de produção, quando se observa um crescimento importante nos custos de correção dos defeitos.

Para que seja possível identificar os possíveis problemas, segundo Werkema (2013), a divisibilidade é um fator importante, uma vez que permite que cada processo menor seja controlado separadamente, facilitando a atuação nas causas do problema e promovendo um controle mais eficiente do processo como um todo. Na etapa de projeto do processo, a ferramenta *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pode ser utilizada na análise de falhas pertinentes ao processo e funciona como uma importante ferramenta para a identificação das causas fundamentais dos problemas. Segundo Cristea (2017), as ferramentas FMEA e *Falt Tree Analysis* (FTA) podem ser utilizadas em análises de risco qualitativas ou quantitativas, porém a ferramenta FTA requer um número consideravelmente maior de dados do processo como entrada e oferece uma análise detalhada da relação lógica e temporal que resulta em uma falha mapeada no topo da FTA. Para o caso estudado, tendo em vista a limitação de acesso às informações referentes ao processo, opta-se pela utilização da FMEA, que oferece uma biblioteca de todas as possíveis falhas e suas consequências e tem sua aplicação compatível com a quantidade de dados disponíveis no presente estudo de caso.

2.4. FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

A ferramenta FMEA, que significa Análise dos Modos e Efeitos de Falhas, segundo Spreafico (2017), desde sua implementação pelo exército dos Estados Unidos no fim da década de 40 para estudar problemas que poderiam surgir de mal funcionamentos nos sistemas militares, sofreu diversas modificações e melhorias por meio de publicações científicas e padrões, se tornando uma metodologia bem estabelecida e mandatória para alguns setores. É definida por Rosa e Garrafa (2009) como um método de análise de projetos, produtos ou processos industriais e/ou administrativos. É uma metodologia específica para avaliar sistemas, *designs*, processos, ou serviços, visando identificar os fatores e modos de falha (problemas, erros, riscos) que podem ocorrer (STAMATIS et al, 2003). Classificado conforme a norma NBR 5462 da ABNT (1994) como um método qualitativo utilizado para verificar a confiabilidade, é um método sistemático para identificar e prevenir problemas em processos e produtos antes que eles ocorram (MCDERMOTT et al, 2009).

Segundo McDermott et al, (2009), a aplicação da FMEA, para que seja efetiva, deve contar com a participação do time, ou seja, não deve ser aplicada apenas por uma pessoa. Tendo isso em vista, a equipe técnica responsável pelo processo estudado deve participar da aplicação

da ferramenta. Além disso, a FMEA não exige a elaboração de cálculos estatísticos complexos e tem caráter dedutivo (HELMAN; ANDERY, 1995).

A FMEA é uma ferramenta aplicada por meio de formulários, apresentados por autores como Helman e Andery (1995) e Toledo e Amaral (2006). Tendo esses exemplos em vista e o manual FMEA AIAG (2008), o formulário pode ser adaptado para casos específicos de estudo.

Como abordado por Santos (2017) e Palady (1997), existem dois possíveis tipos de aplicação da FMEA, a FMEA de produto, ou projeto de produto, está relacionada a falhas que poderão ocorrer nas especificações de determinado produto, que, por exemplo, podem culminar no não cumprimento de requisitos. Por sua vez, a FMEA de processos é realizada de modo que as falhas detectadas são decorrentes do processo de fabricação, seja um novo processo ou um processo existente, e tem como objetivo aumentar a confiabilidade e diminuir custos na aplicação de ações corretivas ou de melhorias. Atente-se que na presente pesquisa aplica-se estritamente a FMEA de processos.

Segundo Rosa e Garrafa (2009), uma vez identificados os possíveis efeitos de cada modo de falha, classificam-se os modos de falha quanto à severidade dos efeitos causados por eles para, em seguida, classificar a probabilidade de ocorrência e então a capacidade de detecção antes que o efeito final venha a ocorrer. O método NPR ou RPN (número de prioridade de risco) é amplamente utilizado na priorização das causas de falhas potenciais e é obtido por meio da multiplicação das pontuações dadas para as classificações de severidade, ocorrência e detecção, para então classificar as causas de acordo com o RPN, sendo a primeira causa a de maior risco e a última a de menor risco.

A classificação dos efeitos pode ser realizada por meio de um formulário que determina de acordo com um critério estabelecido um valor na escala de 1 a 10, sendo 1 um modo de falha que não surte nenhum efeito no processo e 10 um modo de falha que pode colocar os operadores em perigo, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de efeitos para FMEA de processos

Efeito	Escala	Critério
Nenhum	1	Nenhum efeito no produto e/ou processo de produção
Muito desprezível	2	Efeito muito desprezível no desempenho do produto, mas sem perder funcionalidades
Desprezível	3	Efeito desprezível no desempenho do produto, mas sem perder funcionalidades
Baixo	4	Baixo efeito no desempenho do produto, mas sem perder funcionalidades
Moderado	5	Moderado efeito no desempenho do produto, mas sem perder funcionalidades
Significativo	6	Desempenho do produto é degradado e a máquina pode perder funcionalidades importantes, porém os reparos não afetam de maneira grave o processo de produção.
Impactante	7	A falha tem impacto importante no funcionamento da máquina, mas não afeta outros sistemas e etapas do processo.
Importante	8	A falha compromete todo processo de produção e pode colocar em risco componentes já instalados.
Sério	9	A falha pode ou não colocar os operadores em perigo
Perigoso	10	A falha coloca os operadores em perigo

Fonte: adaptado de AIAG (2008)

Para classificar quanto à capacidade de detecção, como apresentado na Tabela 2, utiliza-se uma escala de 10 a 1, sendo 10 a detecção absolutamente incerta, ou seja, não há ferramenta disponível para detectar a falha em inspeção e 1 a detecção quase certa da falha no processo de inspeção.

Tabela 2: Tabela de detecção para FMEA de processos

Detecção	Escala	Critério
Absolutamente Incerta	10	Não há ferramenta disponível para detectar causa da falha em inspeção
Muito Remota	9	Chances muito remotas de se detectar causa da falha
Remota	8	Chances remotas de se detectar causa da falha
Muito Baixa	7	Chance muito baixa de se detectar causa da falha
Baixa	6	Chance baixa de se detectar causa da falha
Moderada	5	Chance moderada de se detectar causa da falha
Moderadamente alta	4	Chance Moderadamente alta de se detectar causa da falha
Alta	3	Chance alta de se detectar causa da falha
Muito Alta	2	Chance muito alta de se detectar causa da falha
Quase Certa	1	É quase certo que causa da falha será detectada

Fonte: adaptado de AIAG (2008)

Uma vez definidos valores para os efeitos dos modos de falha para a capacidade de detecção, resta definir um valor para a previsão de ocorrência do modo de falha. Como apresentado na Tabela 3, pode-se utilizar uma escala de 1 a 10, sendo 1 uma ocorrência quase impossível e 10 uma ocorrência quase inevitável.

Tabela 3: Tabela de previsão de ocorrência para FMEA de processos

Previsão de ocorrência	Escala	Critério
Quase impossível	1	É quase impossível que a falha ocorra
Remota	2	A chance de a falha ocorrer é remota
Baixa	3	A chance de a falha ocorrer é baixa
Relativamente baixa	4	A chance de a falha ocorrer é relativamente baixa
Moderada	5	A chance de a falha ocorrer é moderada
Moderadamente alta	6	A chance de a falha ocorrer é moderadamente alta
Alta	7	É alta a chance de a falha ocorrer
Repetidas falhas	8	É provável que a falha se repita várias vezes
Muito alta	9	A chance de a falha ocorrer é muito alta
Extremamente alta: quase inevitável	10	É quase certo que a falha ocorrerá

Fonte: adaptado de AIAG (2008)

Uma vez definidos os valores de RPN para todos os modos de falha levantados, pode-se classificá-los em ordem de prioridade para então definir medidas que eliminem ou reduzam os riscos de ocorrência da falha.

McDermott (2009) define a FMEA como uma ferramenta aplicável a produtos, *design* e processos, porém, para o caso estudado nesta pesquisa, a aplicação se restringe ao processo. As medidas tomadas podem ser estipuladas de acordo com uma abordagem específica de, por exemplo, um método de fabricação envolvido no processo estudado. A ferramenta do *Checklist* pode ser utilizada como forma de garantir que os processos sejam verificados e garantir que estejam de acordo com as especificações. A máquina proposta por Soares e Martins (2020), por exemplo, tem como processos críticos de fabricação métodos de prototipagem rápida e de montagem de tubulação de PVC e, para que se defina protocolos de controle de qualidade do processo de fabricação do equipamento, é importante que se conheça as especificidades dos processos envolvidos.

2.5. CHECKLIST

A ferramenta denominada como *checklist* é definida por Hales (2006) como sendo tipicamente uma lista de ações ou critérios ordenados de maneira sistemática, e entrega ao usuário a capacidade de verificar a presença ou ausência dos itens individuais listados e garantir que todos os itens listados foram considerados.

Ao aplicar essa ferramenta em operações de manufatura, Prístavka (2016) identificou que a obrigatoriedade de preenchimento de um *checklist* forçou os operadores a de fato verificar se o item estava de acordo com a especificação e resultou em reduções de 60% em defeitos no processo.

Além da ampla aplicação na indústria, essa ferramenta também é tida como padrão em processos de organizações relacionadas à área da saúde. Weiser (2010) afirma que o uso de *checklists* nos cuidados com a saúde é cada vez mais comum e aponta similaridades e diferenças entre o uso de checklist na saúde e na indústria da aviação. Dentre as similaridades apontadas, estão a aplicação em procedimentos de alta complexidade, em eventos urgentes (de tempo crítico) e dentre as diferenças estão que no caso da aviação o a vida do piloto está ligada ao procedimento e nos procedimentos os riscos de vida afetam apenas o paciente, além das diferenças de responsabilização legal e da natureza dos riscos de cada profissão. A aplicação da ferramenta do *checklist* também está presente nas diretrizes do Programa de Segurança do Paciente da Organização Mundial da Saúde (PATIENT, 2019).

Com base nos registros científico de aplicação da ferramenta nos mais diversos setores, da manufatura ao cuidado médico, a ferramenta sem mostra aplicável ao processo de produção da máquina proposta por Soares e Martins (2020), que, por exemplo, tem como processos críticos de fabricação métodos de prototipagem rápida e de montagem de tubulação PVC e pode utilizar dessa ferramenta para reduzir a incidência de falhas e defeitos. Porém, para que se defina protocolos de controle de qualidade do processo de fabricação do equipamento, é importante que se conheça as especificidades dos processos envolvidos.

2.6. CONTROLE DE QUALIDADE EM MÉTODOS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Dentre os componentes que formam o equipamento proposto por Soares e Martins (2020), estão peças fabricadas por meio do método conhecido como prototipagem rápida. A

prototipagem rápida é um termo genérico para métodos aditivos de fabricação, e os componentes fabricados por meio dessas tecnologias são construídos gradativamente, camada por camada, até a formação completa da peça (UPCRAFT et al., 2003). A tecnologia utilizada para fabricação dos componentes desenvolvidos é classificada por Upcraft et al. (2003) como FDM (*Fused Deposition Modelling*), conhecida em português como FFF (Fabricação com Filamento Fundido).

Em se tratando da fabricação de peças por meio de FDM, o *setup* do maquinário influencia de maneira crítica na qualidade da peça. Nesse processo de *setup*, configura-se as temperaturas de extrusão, da mesa, a calibração dos eixos da máquina e as taxas de alimentação e extrusão (KIM et al 2018). Para definir corretamente as configurações, é importante verificar as temperaturas sugeridas pelo fabricante do filamento. Para o caso estudado, utiliza-se FDM na fabricação de componentes do equipamento de captura proposto, sendo o filamento definido pela empresa projetista o Polietileno Tereftalato Glicol (PETG) fabricado pela 3D Fila, cujas faixas de temperaturas de operação sugeridas são de 80 a 90 °C para a mesa e 225 a 255 °C para a extrusora. Para o ajuste fino das temperaturas e calibração da máquina, utiliza-se as instruções apresentadas pelo fabricante da máquina empregada, Prusa (2022). No caso, o maquinário utilizado é a impressora 3D Prusa I3 MK3S, fabricada pela empresa Prusa Research (Figura 3). O fabricante da impressora fornece guias para calibração que incluem instruções de como identificar visualmente problemas de fabricação e o passo-a-passo de como encontrar os valores exatos das temperaturas de operação.

Figura 3: Impressora 3D (Prusa I3 MK3S)



Fonte: shop.prusa3d.com

Além do *setup* do maquinário, é importante definir o sentido dos esforços a que cada peça fabricada será submetida para definir o sentido de impressão da peça, uma vez que isso pode maximizar a resistência mecânica do componente (GORDELIER et al 2019). Definidos os tipos de esforços e o sentido dos esforços, é importante buscar quais as melhores configurações para maximizar a resistência mecânica da peça. Em sua pesquisa, Sood et al. (2010) definem as variáveis que influenciam nessa resistência e as configurações que desempenham a melhor performance para cada tipo de esforço, sendo as variáveis estudadas:

- Orientação: a orientação da peça refere-se à sua inclinação na mesa de impressão considerando os eixos X, Y e Z e definindo os eixos X e Y como paralelos à mesa de impressão;
- Espessura da camada: espessura do eixo Z da camada depositada pela extrusora na mesa;
- Ângulo de preenchimento: direção de preenchimento relativa ao eixo X da mesa;
- Largura do preenchimento: largura do padrão de preenchimento utilizado para preencher o interior das partes curvas da peça;

- Espaço entre linhas de preenchimento: espaço de ar entre duas linhas de preenchimento adjacentes na mesma camada.

Uma vez definidas as variáveis, Sood et al. (2010) analisa o desempenho das configurações de acordo com os seguintes tipos de resistência mecânica: resistência à tração, resistência à flexão e resistência ao impacto. Quando se analisa os resultados, observa-se que as configurações de algumas variáveis podem representar *trade-offs*, por exemplo, uma determinada configuração que maximiza a resistência à tração pode ser diferente de uma configuração que maximiza a resistência ao impacto. Sendo assim, torna-se necessário definir uma prioridade de resistência para cada peça de acordo com os esforços que essa peça sofrerá durante o uso da máquina de captura de abelhas.

Sood et al. (2010) definem, na Tabela 4, valores baixos, médios e altos para cada uma das variáveis apresentadas e utilizam os valores definidos na fabricação de corpos de prova impressos em FDM, para então testar a performance de cada combinação.

Tabela 4: Variáveis que influenciam na resistência de peças em FDM e as faixas de valores para teste

Variável	Símbolo	Unidade de medida	Valores baixos (-1)	Valores médios (0)	Valores altos (1)
Espessura da camada	A	mm	0,1270	0,1780	0,2540
Orientação	B	Graus	0,000	15,000	30,000
Ângulo de preenchimento	C	Graus	0,000	30,000	60,000
Largura do preenchimento	D	mm	0,4064	0,4564	0,5064
Espaço entre linhas de preenchimento	E	mm	0,000	0,0040	0,0080

Fonte: Adaptado de Sood et al. (2010)

Realizados os testes, as combinações que apresentavam melhor desempenho para cada tipo de força foram compiladas na Tabela 5, contendo o menor valor obtido nos ensaios, o maior valor, o valor buscado, o peso atribuído para cada tipo de resistência (considerado como 1, tendo em vista que não havia preferência no caso estudado), o índice do valor para cada variável, o resultado previsto e a função de desejabilidade.

Tabela 5: Valores ótimos para fabricação de peças em FDM e resultados previstos para os corpos de prova em cada tipo de resistência

Tipo de resistência	Objetivo	Menor Valor	Maior Valor	Peso	Valores (codificados em -1,0 e 1)	Resultado previsto	Função de desejabilidade
Tração	Máximo	9,1229	18,0913	1	A=1; B=-1; C=-1; D=1; E=-1	18,0986	1
Flexão	Máximo	18,8296	39,2423	1	A=1; B=-1; C=-1; D=1; E=-1	40,0189	1
Impacto	Máximo	0,342708	0,482292	1	A=1; B=1; C=1; D=1; E=-1	0,48226	0,99979

Fonte: Adaptado de Sood et al. (2010)

É interessante observar que alguns índices se mantiveram constantes para os três tipos de esforços, sendo eles a espessura de camada, a largura de preenchimento e o espaço entre linhas de preenchimento, ou seja, as variáveis que definem qual o maior tipo de resistência da peça são a orientação e o ângulo de preenchimento. Uma vez definidos os *setups* ótimos para cada tipo de esforço, Sood et al. (2010) definem uma configuração ótima para resistência combinada dos três tipos de esforços, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Valores ótimos para fabricação de peças em FDM e resultados previstos para resistência combinada para os corpos de prova

Tipo de resistência	Objetivo	Menor Valor	Maior Valor	Peso	Valores (codificados)	Resultado previsto	Desejabilidade	Função de desejabilidade
Tração	Máximo	9,1229	18,0913	1	A=1,00000;	17,9179	0,98066	0,92160
Flexão	Máximo	18,8296	39,2423	1	B=-0,99607;	37,7971	0,92920	
Impacto	Máximo	0,342708	0,482292	1	C=1,00000; D=-1,00000; E=1,0000	0,92787	0,85971	

Fonte: Adaptado de Sood et al. (2010)

Uma vez definidos os valores ótimos para cada variável estudada e a combinação ótima para a resistência combinada, é importante definir o diagrama de esforços de cada peça fabricada em FDM e optar pelo cenário mais adequado para atingir o melhor desempenho de fabricação. Atente-se que os resultados apresentados por Sood et al. (2010) foram obtidos utilizando o material acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), porém o guia de filamentos

disponibilizado pelo fabricante da impressora, vide Anexo A, mostra que o PETG oferece maior resistência à tração, flexão e impacto do que o próprio ABS.

No processo de produção do equipamento proposto por Soares e Martins (2020), além da fabricação de peças por FDM, têm-se os processos de corte e soldagem de tubos e conexões em PVC que também devem ser estudados como uma forma de entender as particularidades e variáveis que podem auxiliar no controle de qualidade.

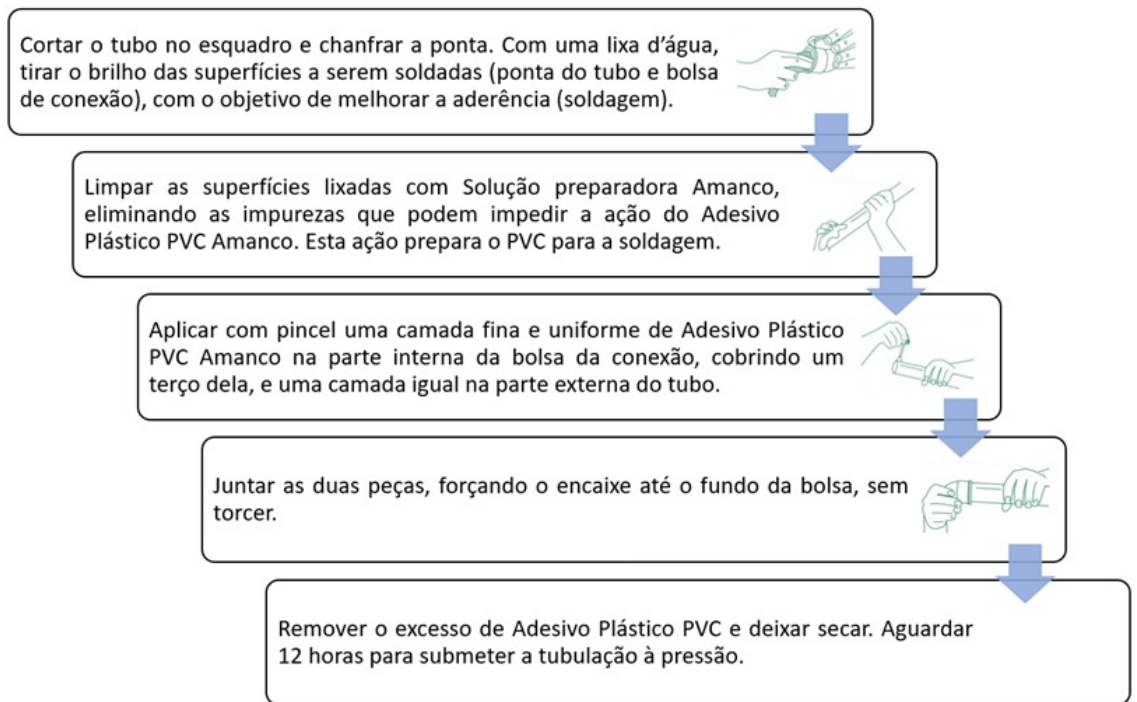
2.7. MONTAGEM DE TUBULAÇÃO PVC

Além da impressão 3D, o equipamento proposto tem como importante componente uma estrutura composta por tubos e conexões em PVC por onde passa todo fluxo de ar durante o funcionamento do equipamento. Assim como as peças de FDM, esses componentes passarão por um processo de montagem a partir dos tubos e conexões comprados, sendo assim, deve-se buscar as recomendações de uso e montagem propostas pelo fabricante dos componentes em PVC.

Para o caso estudado, a marca utilizada é a Amanco, e todos os tubos e conexões são da linha predial, de água fria e soldáveis. As atividades de corte e soldagem dos tubos e conexões serão realizadas de acordo com as instruções disponibilizadas pelo fabricante. O fabricante fornece a ficha técnica da linha predial de água fria soldável contendo as medidas detalhadas e desenho técnico de cada componente da linha (PREDIAL, 2022).

A partir dos guias fornecidos pela empresa Amanco Wavin em Predial (2022), definem-se os passos para a soldagem adequada dos tubos e conexões da linha predial soldáveis, como apresentado na Figura 4.

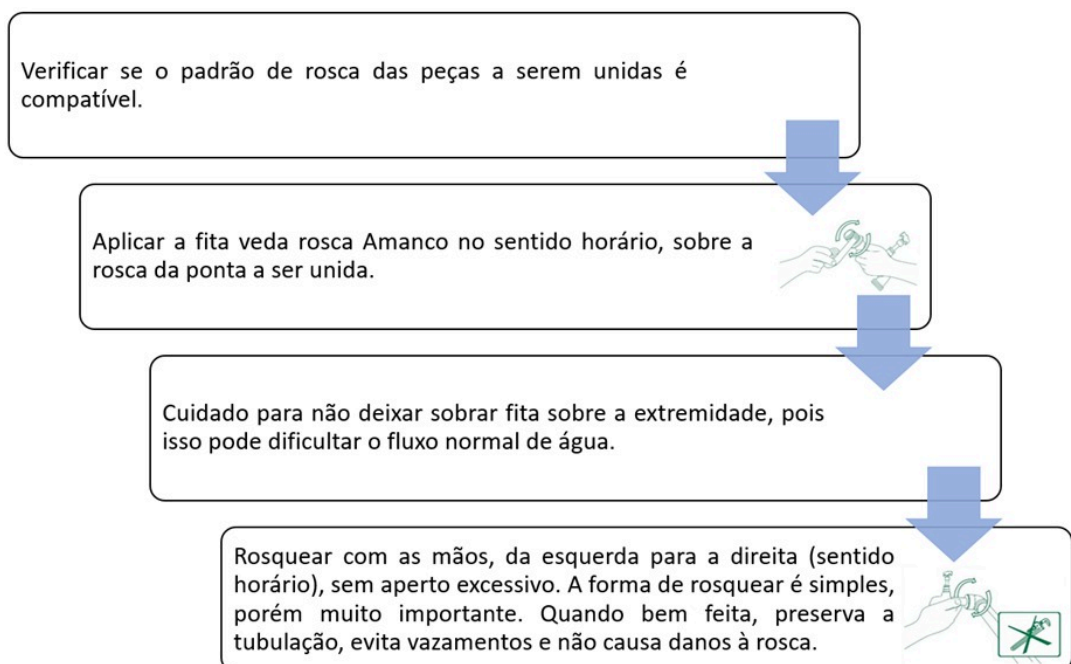
Figura 4: Montagem Junta Soldável



Fonte: Adaptado de Predial (2022)

Para os componentes que possuem roscas e dispensam o processo de soldagem, o fabricante também apresenta instruções de montagem, como apresentado na Figura 5.

Figura 5: Montagem Junta Roscável de Transição



Fonte: Adaptado de Predial (2022)

Os guias fornecidos por Predial (2022) oferecem as instruções necessárias para realizar a montagem de estruturas de cano PVC e os cuidados que devem ser tomados para garantir o sucesso na execução do processo.

O presente referencial teórico oferece embasamento para compreensão do contexto em que o trabalho se insere, bem como a relevância do cuidado com a manutenção da fauna polinizadora. Com base nos procedimentos de captura já testados, implementados e registrados na literatura, munido dos conceitos de controle de qualidade, do conhecimento sobre ferramentas de controle de qualidade bem como das especificidades dos processos de produção envolvidos nesse estudo de caso, dos cuidados de processamento da matéria prima e dos padrões e variáveis relevantes para este trabalho, são oferecidos os insumos necessários disponíveis na literatura para o estudo de caso. O capítulo 3 define a metodologia e a estrutura que guiarão o desenvolvimento dessa pesquisa.

3. METODOLOGIA

3.1. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa realizada, a partir do proposto por Gil (2008) e Silva e Menezes (2005), tem seu procedimento técnico definido como um estudo de caso, uma vez que envolve um estudo profundo e exaustivo de apenas um objeto, permitindo o seu amplo e detalhado conhecimento, sendo, no caso, o controle de qualidade de um processo de produção específico. Além disso, tem objetivo exploratório, tendo em vista que busca descrever características de um fenômeno, tornando-o explícito para a construção de hipóteses com base em levantamento bibliográfico e no contato com a equipe responsável pelo projeto do equipamento, e abordagem qualitativa, diante do vínculo indissociável entre a realidade do mundo objetivo e subjetividade intrínseca à forma como o objeto de estudo é analisado ao longo do trabalho. Essa subjetividade também é observada como parte indissociável das técnicas de controle de qualidades envolvidas no estudo, como é o caso da FMEA.

A observação *in loco* permite uma coleta imparcial da realidade do contexto de fabricação do presente estudo de caso. O estudo de caso ocorreu por meio do livre acesso aos documentos, definidos por Marconi e Lakatos (2003) como registros, escritos ou não (fotografias, objetos, iconografias), denominados fontes primárias, e à estrutura de fabricação do equipamento estudado, oferecidos pela equipe desenvolvedora. Além disso, optou-se por utilizar como técnica de coleta de dados a entrevista não estruturada e a utilização de ferramentas como FMEA, preenchidas em conjunto com a equipe responsável equipamento.

A pesquisa apresentada neste trabalho pode ser classificada como sendo de natureza aplicada, tendo em vista a geração de conhecimentos para aplicação prática e seguindo o proposto por Kauark (2010) e Silva e Menezes (2005).

Uma vez classificada a pesquisa, é importante definir a estrutura seguida no decorrer do trabalho.

3.2. OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo da presente pesquisa se restringe ao processo de produção do equipamento de captura de abelhas. Para melhor compreensão do leitor, os detalhes do equipamento necessários para compreensão do trabalho serão abordados no capítulo 4, com o objetivo de fornecer uma contextualização do projeto e da oportunidade de contribuição na

implementação de um equipamento inovador com potencial de gerar impacto na preservação do meio ambiente. É importante ressaltar, contudo, que os conceitos construtivo, de *design* e de performance do equipamento não serão abarcados na aplicação das ferramentas de controle de qualidade, que se restringirão à aplicação do ponto de vista do processo.

3.3. ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi estruturada em forma de um quadro compilando os objetivos, etapas e técnicas de coleta de dados. O objetivo geral foi dividido em quatro objetivos específicos, sendo que para cada um deles definiu-se as etapas de pesquisa e técnicas de coleta de dados. A estruturação da pesquisa é apresentada pelo Quadro 1.

Quadro 1: Estruturação da Pesquisa

Objetivo Geral		
Propor uma sistemática de controle de qualidade para o processo de produção de um equipamento de captura de abelhas, visando à garantia da qualidade do produto.		
Objetivos específicos	Etapas de pesquisa	Técnica de coleta de dados
Compreender o processo de fabricação do equipamento de captura de abelhas.	Contextualização do desenvolvimento do equipamento	Entrevista não estruturada e pesquisa bibliográfica
	Desenho do fluxo do processo de produção do equipamento de captura de abelhas	Observação <i>in loco</i>
Identificar fatores que influenciam na qualidade do processo de produção.	Levantamento de variáveis que afetam a qualidade do produto e parâmetros desejáveis para cada variável	Pesquisa bibliográfica
Levantar possíveis falhas no processo de produção;	Avaliação do processo de produção para levantamento de falhas	FMEA, Reunião para preenchimento do formulário
Desenvolver protocolo de controle de qualidade para o processo de produção.	Análise das ações recomendadas a partir da FMEA	Formulário FMEA
	Desenvolvimento de protocolo de controle de qualidade	Entrevista não-estruturada com equipe de desenvolvimento do equipamento

Fonte: Autor

No intuito de atingir o objetivo geral e os objetivos específicos, são definidas as etapas da pesquisa:

- **Contextualização do desenvolvimento do equipamento:** o equipamento estudado é apresentado com detalhes sobre suas funcionalidades e diferenciais frente às soluções existentes no mercado por meio de pesquisa bibliográfica e entrevista não estruturada com os responsáveis pelo desenvolvimento do equipamento.
- **Desenho do fluxo do processo de produção do equipamento de captura de abelhas:** a equipe responsável pelo projeto do equipamento cedeu as informações sobre os processos de fabricação e de montagem de cada componente do produto e o pesquisador, por meio da observação *in loco* realizou o desenho do fluxo de produção do equipamento de captura de abelhas.
- **Levantamento de variáveis que afetam a qualidade do produto e parâmetros desejáveis para cada variável:** uma vez desenhado o fluxo dos processos de produção, foram identificados na literatura por meio de pesquisa bibliográfica variáveis que impactam na qualidade dos processos de fabricação e serão definidos os parâmetros desejáveis para cada variável.
- **Avaliação do processo de produção para levantamento de falhas:** em posse do fluxo do processo e dos parâmetros de manutenção da qualidade dos processos, foi preenchido o formulário FMEA com a equipe de desenvolvimento do equipamento, em uma reunião de preenchimento do formulário onde foram definidos os critérios de avaliação do formulário e compilados os resultados para serem usados como insumos para o desenvolvimento do protocolo de controle de qualidade.
- **Análise das ações recomendadas a partir da FMEA:** utilizando-se dos insumos fornecidos pelo preenchimento da FMEA, foram analisadas as ações recomendadas e os resultados obtidos no formulário FMEA, e propostas melhorias dos processos de produção mais críticos.
- **Desenvolvimento de protocolo de controle de qualidade:** embasando-se nas ferramentas de qualidade aplicadas e análises realizadas, um protocolo de

controle de qualidade foi desenvolvido por meio de entrevista não estruturada com a equipe de desenvolvimento do equipamento.

Para que a pesquisa atinja os objetivos definidos, é importante que se tenha livre acesso aos dados e documentos que digam respeito ao projeto do equipamento e de seu processo de produção, além da colaboração da equipe de engenharia responsável pelo seu *design* na aplicação das ferramentas propostas.

Apoiado no referencial teórico e na metodologia e estrutura da pesquisa, torna-se possível avançar para aplicação das ferramentas estudadas à realidade dos desafios propostos nessa pesquisa presentes no estudo de caso elaborado no capítulo 4.

4. ESTUDO DE CASO: CONTROLE DE QUALIDADE PARA O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE CAPUTRA DE ABELHAS

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO

Atente-se que as soluções de captura de abelhas por aspiração existentes no mercado foram desenvolvidas tendo como público alvo os apicultores, sendo adaptadas, diante da necessidade de proteção do meio ambiente e da população, ao uso militar. Os experimentos de aplicação no cenário militar brasileiro retratados por Soares e Martins (2020), De Lima (2015) e Souza (2015) mostram que a implementação dos dispositivos de apicultura existentes é incompatível com a realidade brasileira, apesar de já implementados como padrão em Nova Iorque, onde são utilizadas as soluções Colorado Bee Vac e os aspiradores caseiros (SCHULMAN, 2018).

Diante disso, inspirados nos princípios dos equipamentos existentes e na especificidade da realidade de atuação do CBMDF, um oficial do CBMDF e uma empresa de desenvolvimento de produtos brasileira desenvolvem um equipamento projetado para atender as necessidades de operação militar.

Após a concepção da máquina, os protótipos e testes documentados por Soares e Martins (2020) resultaram na unidade piloto e no depósito de uma patente de utilidade. Dentre os diferenciais do equipamento frente às outras soluções utilizadas no mundo estão a robustez da estrutura, que permite ancoragem e operação em altura; a possibilidade de seleção da câmara em operação ou da operação com as duas câmaras simultaneamente; a possibilidade de operação com um ou dois motores e a possibilidade de troca do saco de captura sem a necessidade de interrupção da operação. A versão final do equipamento, apresentada na Figura 7, também conta com manômetros que permitem o monitoramento da variação da pressão das câmaras.





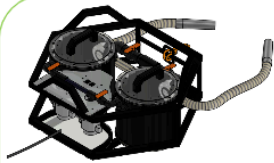
Figura 6: Unidade piloto.



Fonte: Autor

O princípio do funcionamento do equipamento é o mesmo das outras soluções disponíveis no mercado, um motor acoplado a uma câmara faz a sucção e gera uma zona de baixa pressão, uma mangueira é conectada no recipiente de baixa pressão e a outra ponta da mangueira é utilizada pelo operador diretamente no enxame. Porém, partindo das necessidades de operação do CBMDF, foram realizadas mudanças no conceito da máquina de captura até chegar na versão já testada e validada por militares da corporação. Os métodos de captura de abelhas existentes, o tipo de captura, bem como suas vantagens, desvantagens frente ao equipamento proposto são retratados na Figura 7.

Figura 7: Comparação entre as soluções existentes e o equipamento desenvolvido.

	Nome	Tipo de captura	Finalidade do método	Público alvo	Vantagem	Desvantagem
	Rede de captura	Ativa	Coleta de amostra da população de abelhas	Pesquisadores	-	-
	Malaise trap	Passiva	Coleta de amostra da população de abelhas	Pesquisadores	-	-
	BeeVac e Colorado Bee	Ativa/Mista	Captura de enxames	Apicultores	Armazenamento de favos de mel	Fragilidade Não compatível com içamento Armazenamento limitado
	Aspirador caseiro	Ativa	Captura de enxames	Apicultores	Baixo custo	Armazenamento limitado Fragilidade Sem padrão de
	Equipamento de captura desenvolvido	Ativa	Captura de enxames	Militares	Resistência Armazenamento ilimitado Fabricação padronizada Pode ser içada Permite atuação de 2 operadores Compatível com as viaturas	Poucas horas de uso Não comporta favos de mel

Fonte: Autor

A função de atuação de dois operadores simultaneamente apresentada como vantagem do equipamento desenvolvido oferece uma segurança maior aos operadores, uma vez que, em caso de ataque, um operador pode continuar a captura na colmeia enquanto o outro utiliza o equipamento para captura das abelhas que estão atacando seu companheiro.

O equipamento, cujo processo de produção é objeto dessa pesquisa, é composto em parte por componentes fabricados de forma terceirizada e em parte por componentes fabricados pela empresa responsável pelo seu desenvolvimento. No intuito de auxiliar nas análises do processo, o equipamento é dividido por seus desenvolvedores em grupos de componentes. Os grupos de componentes e as informações mais relevantes de cada grupo são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Divisão do equipamento em grupos de componentes

Grupo	Principais componentes	Material	Processamento da matéria-prima	Subgrupos onde são utilizados
Exoesqueleto	Estrutura metálica (aro externo com alças; aro externo com barras de proteção; tubos que conectam os dois aros; grade de proteção dos motores	Alumínio	Terceirizado	Estrutura metálica
Tubos e conexões PVC	Tubo de 300 mm; tubo de 40 mm; tubo de 20 mm; conexões; registros	PVC	Fabricante do equipamento	Câmara de baixa pressão; estrutura PVC de 20 mm; estrutura PVC de 40 mm
Peças em FDM	Flanges; alça da tampa da câmara; válvula antiretorno	PETG	Fabricante do equipamento	Câmara de baixa pressão; tampa da câmara; mangueira de sucção; peças customizadas.
Motores e componentes eletrônicos	Motor; interruptor; cabo de força; fusíveis;	-	Terceirizado	
Insumos de montagem	Parafusos; porcas; colas.	-	Terceirizado	Câmara de baixa pressão; estrutura metálica; motorização.
Peças em policarbonato	Peças cortadas a laser	Policarbonato	Terceirizado	Tampa da câmara de baixa pressão; motorização
Componentes diversos	Anéis de vedação; manômetro	-	Terceirizado	Câmara de baixa pressão.

Fonte: Autor

Uma vez apresentado o equipamento e suas funcionalidades principais e a sua comparação com as soluções existentes no mercado, analisa-se os processos de produção

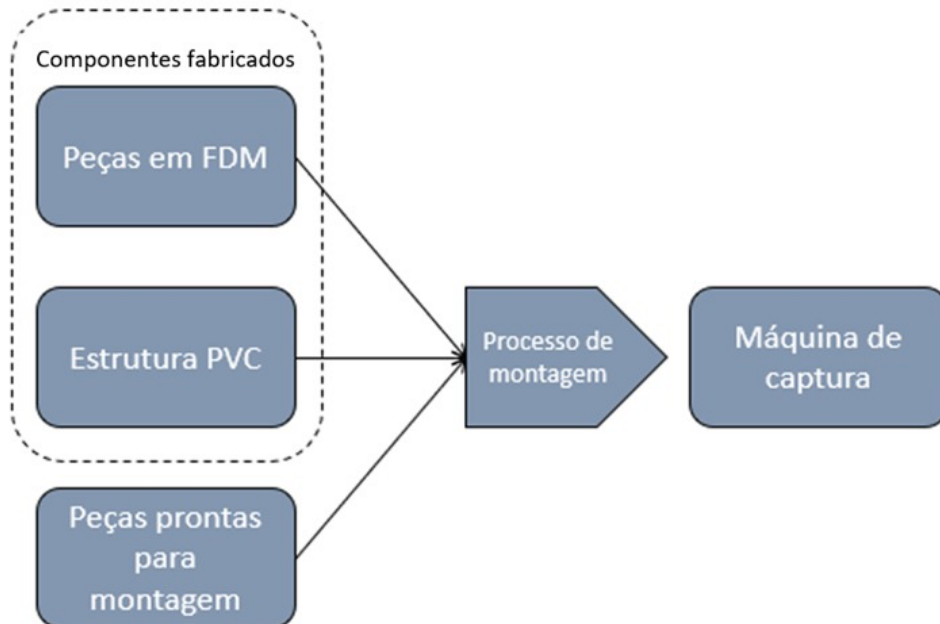
envolvidos e desenha-se o fluxo de produção para compreensão do cenário de produção do equipamento.

4.2. DESENHO DO FLUXO DE PRODUÇÃO DO EQUIPAMENTO

Do ponto de vista de produção, o equipamento foi desenvolvido de forma a utilizar ao máximo peças e componentes já disponíveis no mercado, com o objetivo de reduzir custos de produção e desenvolvimento. As peças desenvolvidas especificamente para o equipamento foram projetadas para serem fabricadas por meio da impressão 3D (FDM), com exceção da estrutura metálica, fabricada por uma empresa terceirizada de acordo com as especificações de projeto. As peças fabricadas em FDM, os componentes de PVC passam por processos produtivos específicos que antecedem a montagem do equipamento.

Os diagramas apresentados foram desenvolvidos a partir da observação *in loco* do processo de produção da unidade piloto apresentada na Figura 6. A Figura 8 trata o processo de produção de maneira simplificada e representa a diferenciação dos componentes que são fabricados antes da montagem e dos componentes que são comprados prontos para montagem.

Figura 8: Processo de Produção Simplificado

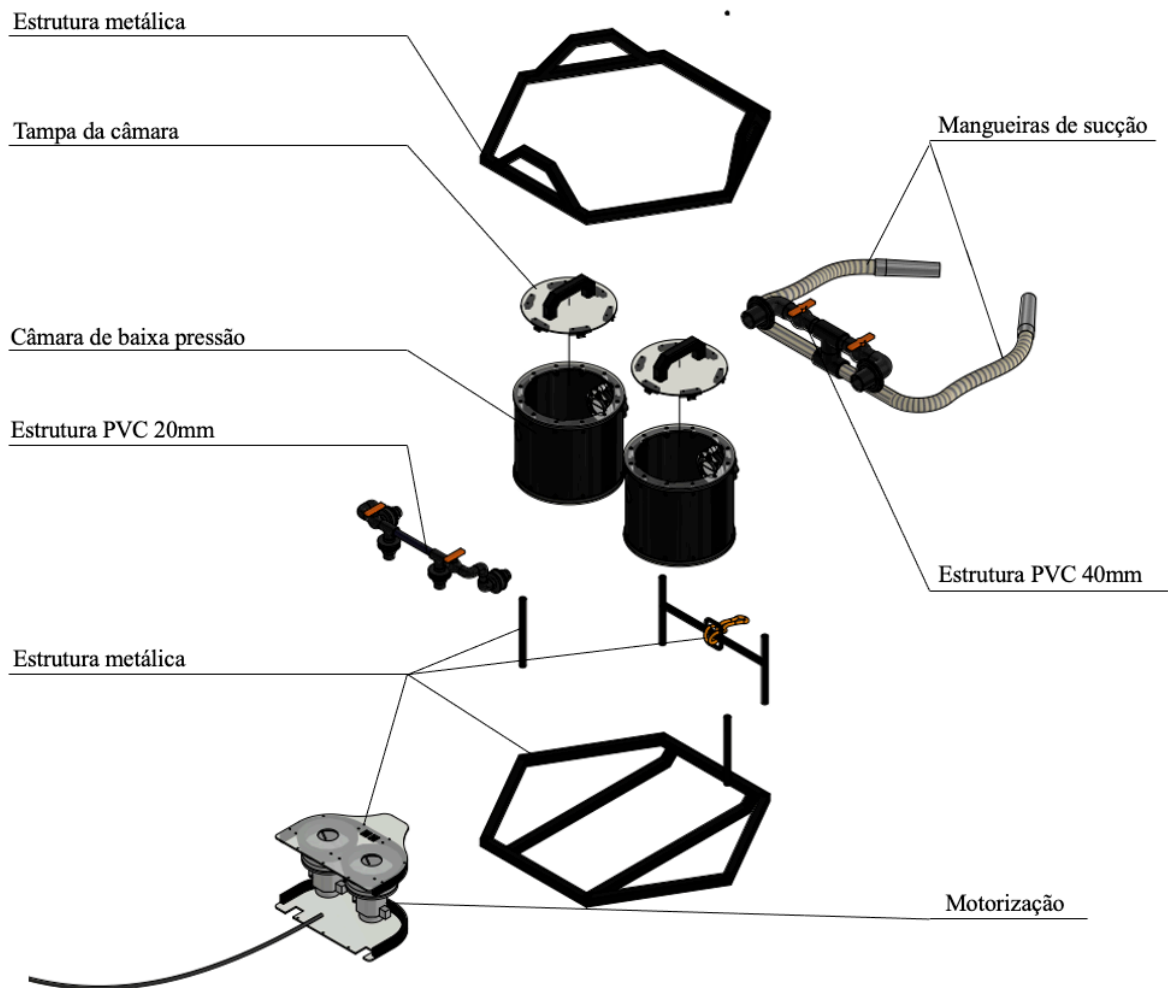


Fonte: Autor

Conforme apresentado na Figura 8, os componentes fabricados, somados aos componentes comprados prontos para a montagem pelo processo de montagem, resultam no equipamento apresentado na Figura 6.

Uma vez que todos os componentes estão prontos para o processo de montagem, organizam-se subgrupos de montagem, como mostrado na Figura 9. Observa-se que a estrutura metálica aparece mais de uma vez na Figura 9, isso se dá pelo fato de a estrutura ser dividida em quatro partes, quais sejam os dois aros, a estrutura de proteção dos motores e os tubos de união dos aros.

Figura 9: Subgrupos de montagem.

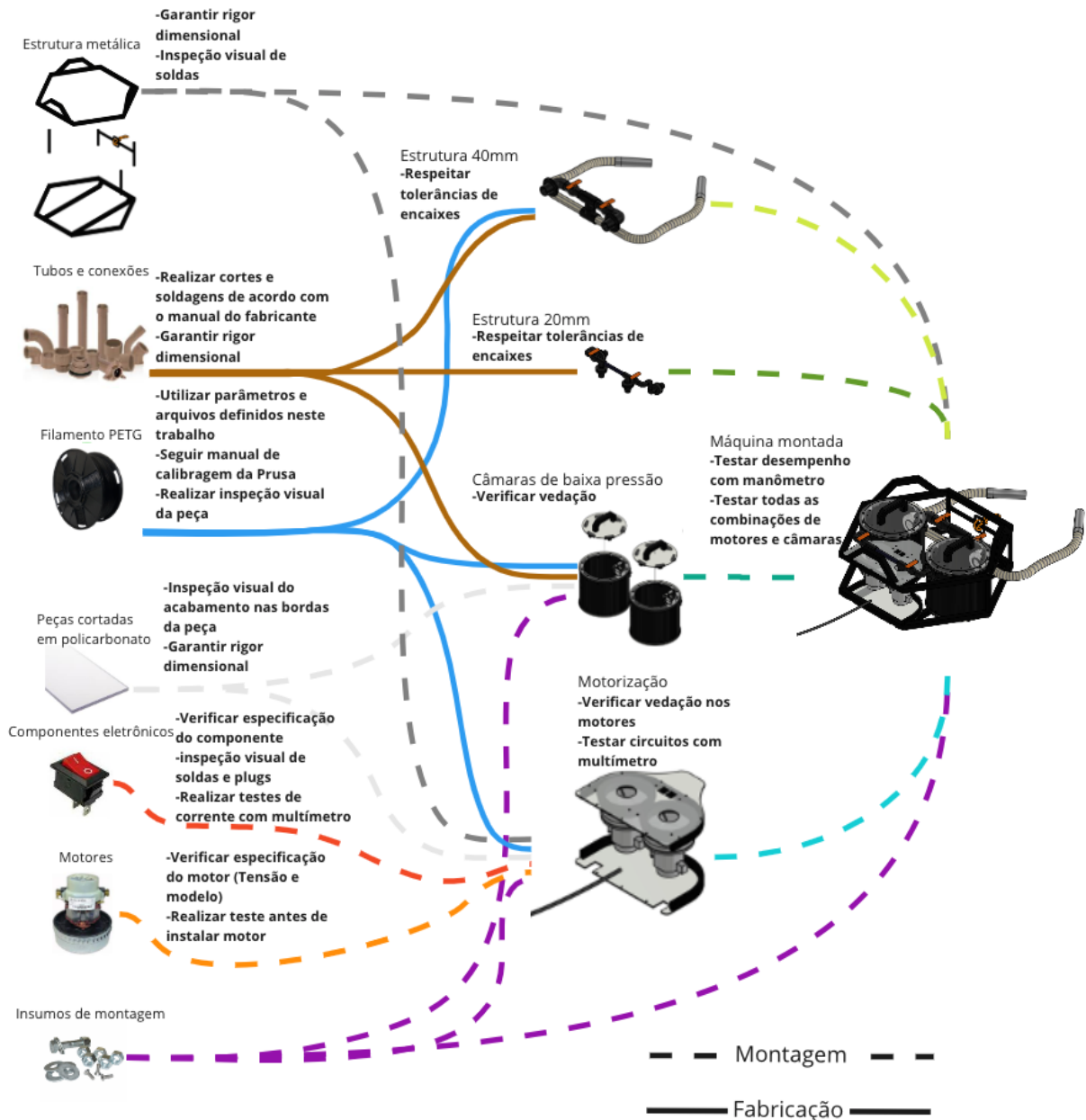


Fonte: Autor

Os subgrupos representados na Figura 9 auxiliam na compreensão da lógica de montagem do equipamento, uma vez que são montados individualmente. Montados os

subgrupos, a etapa seguinte do processo de produção do equipamento é a montagem global. Alguns subgrupos são compostos por itens que são submetidos a processos de produção anteriores à montagem. O processo de produção do equipamento é representado de maneira global na Figura 10, diferenciando os itens que passam por processos de produção anteriores aos processos de montagem.

Figura 10: Processo de Produção.



Fonte: Autor

Além de representar o fluxo do processo de produção do equipamento, a Figura 10 lista as ações recomendadas em cada passo do processo. Os componentes cujos fluxos são representados por linhas contínuas (fabricação) são submetidos a processos de produção que serão abordados adiante neste capítulo, analisando as principais variáveis e os procedimentos ideais para o controle de qualidade.

Com base na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, analisa-se as variáveis que interferem na qualidade do processo de produção apresentado pelas Figuras 8, 9, e 10 e define-se recomendações para aplicação prática no caso estudado.

4.3. VARIÁVEIS QUE AFETAM A QUALIDADE DO PRODUTO E PARÂMETROS DESEJÁVEIS PARA CADA VARIÁVEL

A revisão bibliográfica realizada abarca especificidades de dois processos de fabricação envolvidos no processo de produção do equipamento, a fabricação de peças por FDM e o processo corte e solda de tubos PVC. Sendo assim, analisa-se as variáveis levantadas no capítulo 2 e define-se recomendações de aplicação no processo produtivo do equipamento.

O processo de fabricação por FDM tem sua qualidade impactada pelo *setup* e pela regulagem ou calibragem da impressora 3D. Quanto à calibragem, recomenda-se seguir as instruções do fabricante disponíveis em Prusa First Layer Calibration (2022) e repetir esse processo sempre que forem identificadas imperfeições superficiais na peça ou falhas no processo de impressão, já o *setup* pode ser otimizado analisando o material utilizado e os esforços pelos quais cada peça será submetida, definindo-se *setups* adequados que maximizam a resistência da peça fabricada.

As recomendações de *setup* variam de acordo com o principal tipo de esforço pelo qual a peça será submetida, sendo eles tração, flexão e impacto, além do *setup* de resistência combinada dos três tipos de esforços. As Tabelas 5 e 6 apresentadas no capítulo 2 (referencial teórico), item 2.6, mostram que o *setup* de resistência combinada, quando comparado aos *setups* ótimos para cada tipo de esforço, apresenta uma perda pouco significativa na resistência à tração e à flexão e um ganho de quase duas vezes na resistência de impacto. Isso se dá, segundo Sood et al. (2010), pelo fato de que a interação entre os fatores tem um impacto grande na resistência como um todo de uma peça fabricada em FDM.

Considerando o *setup* de resistência combinada apresentado pela Tabela 6 apresentada no capítulo 2 (referencial teórico), item 2.6, e considerando o PETG da 3DFila como insumo,

sugere-se os parâmetros apresentados pela Tabela 7 para a fabricação das peças de FDM do equipamento de captura de abelhas estudado.

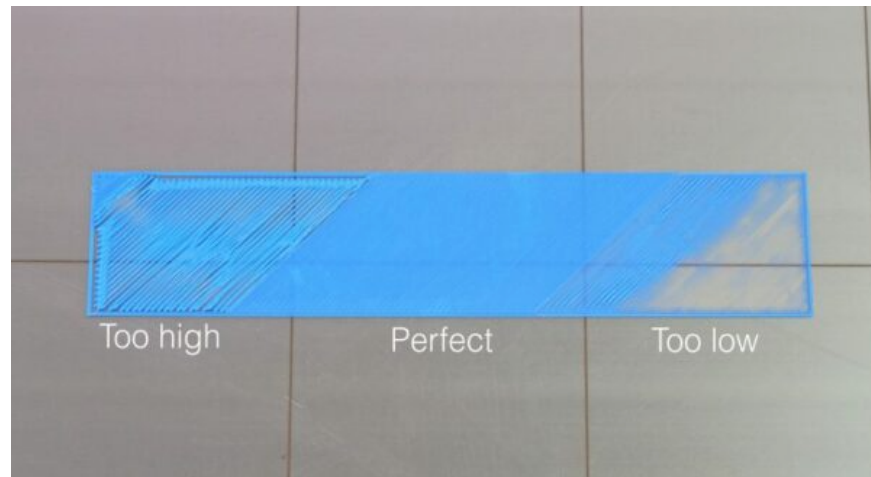
Tabela 7: Variáveis e parâmetros sugeridos para impressão 3D.

Variável	Parâmetro sugerido	Unidade
Espessura da camada	0,254	mm
Orientação	0,06045	Graus
Ângulo de preenchimento	60	Graus
Largura de preenchimento	0,4064	mm
Espaço entre linhas de preenchimento	0,008	mm
Temperatura de extrusão	230-260	°C
Temperatura da mesa	70-80	°C
Velocidade de impressão	40-100	mm/s

Fonte: Autor

É importante ressaltar que o fabricante de filamento sugere um intervalo para as temperaturas da mesa e de extrusão e para a velocidade de impressão, uma vez que depende da interação entre a impressora e o filamento. O ajuste fino deve ser realizado seguindo as orientações disponibilizadas pelo fabricante da impressora, que, por sua vez, sugere analisar indicadores como superfície da peça impressa, primeira camada de impressão e possíveis distorções dimensionais da peça impressa. Uma impressão realizada em uma impressora bem calibrada e com as temperaturas corretas de operação deve apresentar as superfícies laterais homogêneas, sem falhas, descolamentos de camadas ou deformações. Uma etapa importante da calibragem da impressora é o ajuste de altura do eixo Z, o qual define a distância entre a ponta da extrusora e a mesa de impressão. Cumpre ressaltar que esse ajuste deve ser mudado de acordo com o material do filamento utilizado e deve ser repetido na medida em que as impressões perderem qualidade. O fabricante da impressora fornece guias de calibragem da primeira camada em Prusa First Layer Calibration (2022), como o apresentado pela Figura 11.

Figura 11: Guia de calibragem da primeira camada.



Fonte: help.prusa3d.com

Pode-se observar que o aspecto visual da primeira camada é alterado de acordo com o ajuste do eixo Z, sendo, da esquerda para a direita da Figura 11, uma primeira camada impressa com a extrusora alta demais, na altura certa e baixa demais. Além do aspecto visual, o fabricante orienta que o tato também pode ser um indicador, visto que uma primeira camada impressa com o eixo Z bem calibrado apresenta uma superfície lisa.

Definidas as variáveis e parâmetros que envolvem os processos de fabricação por FDM, analisa-se os fatores que podem interferir na qualidade dos processos de fabricação dos tubos em PVC. Dentre os fatores identificados estão os processos de corte, soldagem das conexões e rosqueamento das conexões. Para o processo de corte e soldagem, o fabricante dos tubos orienta que os tubos sejam serrados, tenham suas bordas chanfradas e que a superfície a ser soldada seja lixada até que o brilho seja removido. Uma vez realizadas essas etapas, aplica-se o adesivo plástico na superfície do tubo e da conexão e encaixa-se até que o tubo atinja o fim da bolsa da conexão. Já para o processo de rosqueamento, orienta-se utilizar sempre a fita vedarosca e observar o encaixe correto da rosca. As orientações do fabricante podem ser observadas no capítulo 2 (referencial teórico), item 2.7.

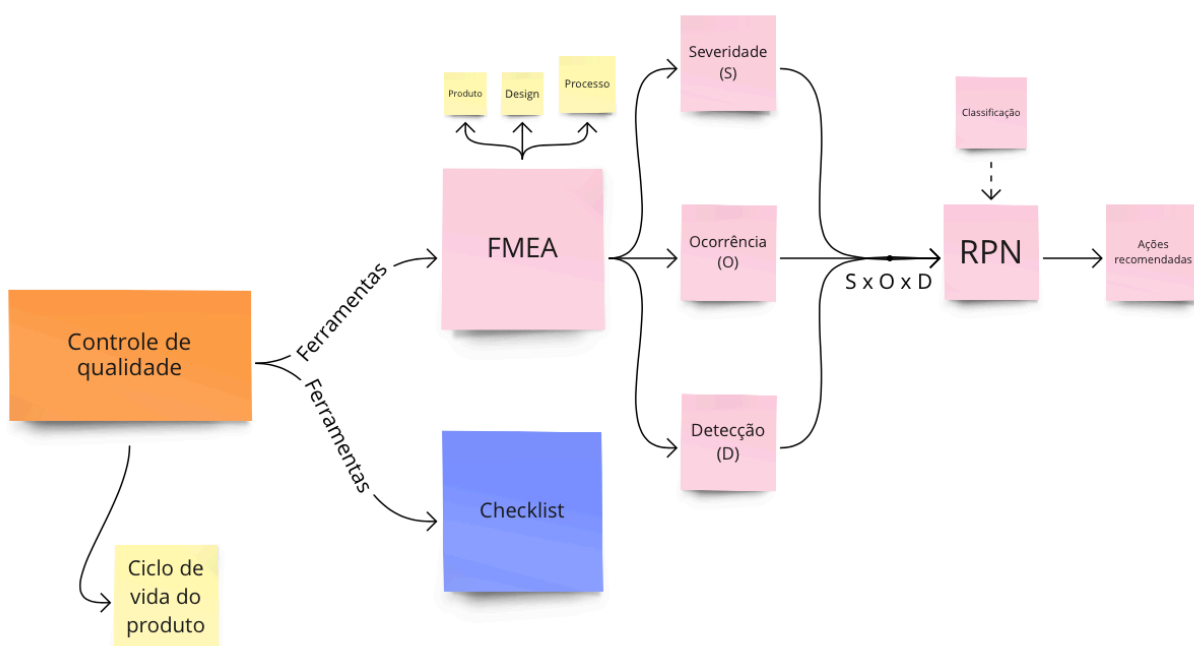
Uma vez apresentados o equipamento, as variáveis que afetam a qualidade do produto, os parâmetros recomendados para cada variável e tendo como base os diagramas do processo de produção apresentados nas Figuras 8, 9 e 10, analisa-se por meio da ferramenta FMEA os modos de falha, causas de falha e o risco das falhas no processo de produção do equipamento para compreender qual parte do processo está mais sensível e, posteriormente, definir protocolos de controle de qualidade para mitigar as falhas apresentadas.

4.4. APLICAÇÃO DA FMEA

Para aplicação da ferramenta FMEA no planejamento do processo de produção do equipamento, organiza-se os componentes chave em itens e subitens descrevendo as funções que desempenham na operação da máquina, para então definir os potenciais modos de falha, as possíveis causas de falha e as ações recomendadas.

Seguindo os parâmetros de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) apresentados no capítulo 2, calcula-se o Risco (RPN) por meio da multiplicação dos parâmetros S, O e D. Uma vez definidos os valores de RPN das causas de falha, classifica-se as causas de modo que a primeira representa o maior valor e a última o menor valor. O fluxo de aplicação da FMEA é apresentado na Figura 12.

Figura 12: Fluxo de aplicação da FMEA



Fonte: Autor

Observa-se que, para que seja iniciada a aplicação das ferramentas, é importante que se observe a fase do ciclo de vida do produto para que seja realizada uma análise compatível com o grau de maturidade do produto. Na figura 12, também é possível observar que a FMEA de processos está em destaque, uma vez que a aplicação dessa ferramenta nesse estudo de caso

se restringe ao processo de produção do equipamento, não abrangendo as possíveis falhas do produto ou *design*.

A ferramenta preenchida por meio de entrevista não estruturada realizada pelo autor (codesenvolvedor do equipamento e do processo de produção) com o engenheiro mecânico responsável pelo desenvolvimento do produto e do processo é apresentada na Tabela 8. O levantamento dos itens chave, subitens, funções, potenciais modos, efeitos e causas de falha, ações recomendadas e avaliação dos parâmetros foi realizado por meio de entrevista não estruturada com o engenheiro mecânico responsável pelo projeto da máquina. É importante salientar que o autor deste trabalho também é codesenvolvedor do equipamento e participou de todas as etapas de projeto e prototipagem da máquina.

Tabela 8: Formulário de aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura

Aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura											
Item	Subitem	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade (S)	Causa de Falha	Ocorrência (O)	Ações recomendadas	Deteção (D)	Risco (RPN)	Classificação
Registros	Registro 20mm	Permitir abertura para troca de saco sem interromper a operação	Quebra da peça	Perda da manopla de controle	7	Erro no manejo da máquina	1	Permitir manejo apenas por profissionais treinados	1	7	41°
		Selecionar motores e câmaras em operação									
		Diminuir poder de sucção	Quebra da peça	Travamento do registro	7	Defeito de fabricação	1	Entrar em contato com fabricante	2	14	24°
	Registro 40mm	Impedir retorno de insetos capturados	Quebra da peça	Travamento do registro	7	Defeito de fabricação	1	Entrar em contato com fabricante	2	14	24°
Peças em FDM	Peças customizadas	Resistir aos esforços previstos nos diagramas de corpo livre e respeitar encaixes previstos	Não resistir aos esforços previstos nos diagramas de corpo livre	Quebra da peça	8	Defeito de fabricação	2	Refazer calibragem da impressora	2	32	9°
			Encaixe incompatível da peça	Problema de montagem	8						

Aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura											
Item	Subitem	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade (S)	Causa de Falha	Ocorrência (O)	Ações recomendadas	Deteção (D)	Risco (RPN)	Classificação
Estrutura metálica	Exoesqueleto	Ancoragem para operação em altura	Falha da ancoragem	Queda/dano no equipamento	10	Erro no procedimento de ancoragem	1	Realizar ancoragem e manuseio apenas pelos locais adequados	1	10	32°
		Estrutura e proteção da máquina	Falha mecânica	Colapso/ rompimento da estrutura	10	Manejo incorreto	1	Realizar manuseio apenas pelos locais adequados	2	20	18°
						Defeito de fabricação	1	Verificar aperto nos parafusos	1	10	32°
							1	Realizar ensaio destrutivo em lote de fabricação	1	10	32°
						Erro de projeto	1	Rever cálculo estrutural da máquina	1	10	32°
	Não atendimento à conformidade dimensional	Impossibilidade de montagem da máquina	8	Erro de especificação	1	Verificar especificações dos componentes	1	8	37°		
						Entrar em contato com fornecedores	1	8	37°		
	Tela de proteção	Proteger hélice do motor	Perfuração da malha/fixação incorreta	Tela de proteção solta ou furada	9	Erro de montagem	2	Definir protocolos de controle de qualidade do processo	1	18	19°
						Manejo incorreto	2	Realizar manuseio apenas pelos locais adequados	1	18	19°
	Estrutura PVC 20mm/40mm	Tubos e conexões montados	Conectar motores às câmaras de baixa pressão	Não atendimento à conformidade dimensional	Impossibilidade de montagem da máquina	8	Erro no corte dos tubos	4	Definir tolerância de tamanho dos cortes (Gabarito Mínimo e máximo)	4	128
Perda de pressão				Perda de poder de sucção	6	Encaixe incompleto na conexão	5	Quebrar e refazer a união	4	120	4°
Quebra da estrutura						1	Refazer solda seguindo o manual do fabricante	2	12	27°	

Aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura												
Item	Subitem	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade (S)	Causa de Falha	Ocorrência (O)	Ações recomendadas	Deteção (D)	Risco (RPN)	Classificação	
Câmara de baixa pressão	Tubo de 300mm	Conferir rigidez estrutural à câmara	Não atendimento à conformidade dimensional	Impossibilidade de montagem da máquina	8	Erro no corte dos tubos	4	Definir tolerância de tamanho dos cortes (Gabarito Mínimo e máximo)	4	128	1°	
		Unir elementos	Não atendimento à conformidade posicional dos furos dos terminais das estruturas PVC	Impossibilidade de montagem da máquina	8	Erro na furação dos tubos	4	Utilizar gabaritos de posicionamento de furação	4	128	1°	
	Manômetro	Aferir diferença de pressão entre o interior e exterior	Não permitir leitura	Problema de leitura da pressão interna	6	Defeito de fabricação do componente	1	Encaminhar peça para o departamento de compras e trocar o manômetro	2	12	27°	
	Válvula antiretorno	Impedir retorno de insetos capturados	Não operação da válvula	Perda no controle da passagem de abelhas	Risco ao operador	10	Erro de montagem	3	Testar e refazer instalação em caso de falha	2	60	5°
	Tampa da câmara de baixa pressão	Conferir abertura ou fechamento hermético de forma rápida	Encaixe incompatível com a câmara	Falha na montagem da câmara	8	Defeito de fabricação	1	Utilizar gabaritos para checar a peça	3	24	12°	
	Componentes de vedação (anel, aro e arruelas de borracha)	Manter baixa pressão para captura dos insetos	Perda de pressão	Perda de poder de sucção	6	Falha do componente	1	Encaminhar peça para o departamento de compras e trocar componente	3	18	19°	
						Erro de instalação	2	Refazer instalação	1	12	27°	
	Dispositivo de acoplamento do saco	Abrir/fechar válvula antiretorno	Não operação da válvula	Perda no controle da passagem de abelhas	8	Erro de montagem	3	Refazer montagem	1	24	12°	
		Acoplar/desacoplar saco de captura no cano de 300mm	Encaixe incompatível com a câmara	Falha na montagem da câmara	8	Erro de montagem	3	Refazer montagem	1	24	12°	
Falha no mecanismo de acoplamento			Impossibilidade utilizar os sacos removíveis	6	Instalação incorreta dos elementos magnéticos	3	Trocar mecanismo e rever processo de checagem de polaridade dos elementos magnéticos	1	18	19°		

Aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura											
Item	Subitem	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade (S)	Causa de Falha	Ocorrência (O)	Ações recomendadas	Deteção (D)	Risco (RPN)	Classificação
Peças em Policarbonato	Placa da tampa/fundo da câmara de baixa pressão	Permitir visualização do interior da câmara	Dano na superfície da peça	Dificuldade de visualização através da peça	6	Remoção precipitada do filme protetor	2	Encomendar outra peça e realizar a troca	1	12	27°
		Conferir rigidez estrutural à câmara	Surgimento de trincas	Quebra/ perda de pressão	6	Manejo incorreto	1	Rever processo que gerou a trinca de forma a diminuir esforços na peça	1	6	42°
	Cobertura dos motores	Vedar base do motor	Surgimento de trincas	Quebra/ perda de pressão	6	Manejo incorreto	1	Rever processo que gerou a trinca de forma a diminuir esforços na peça	1	6	42°
		Conferir rigidez estrutural à câmara									
		Posicionar componentes	Encaixe incompatível da peça	Problema de montagem	8	Defeito de fabricação	2	Encaminhar peça para o departamento de compras e trocar componente	3	48	6°
	Insumos de montagem	Colas, parafusos, porcas, arruelas	Fixar componentes	Incompatibilidade do componente	Problema de montagem	8	Erro no processo de compra	1	Rever estoque do componente e refazer a compra	1	8
Falha do componente				Problema de montagem	8	Defeito de fabricação	1	Refazer colagem/trocar componente	1	8	37°
Sacos de captura	Saco costurado	Manter abelhas enclausuradas	Brechas maiores que os insetos	Saco de captura não retém objetos das dimensões projetadas	7	Rasgo no saco	2	Rever processo que ocasionou o rasgo e substituir o saco	3	42	7°
					7	Problema de fabricação (zíper defeituoso/ ruptura de costura)	2	Entrar em contato com fornecedores	1	14	24°
		Permitir soltura das abelhas	Travamento do zíper	Não é possível abrir e fechar o zíper	6	Zíper defeituoso ou danificado	2	Trocar saco de captura	1	12	27°

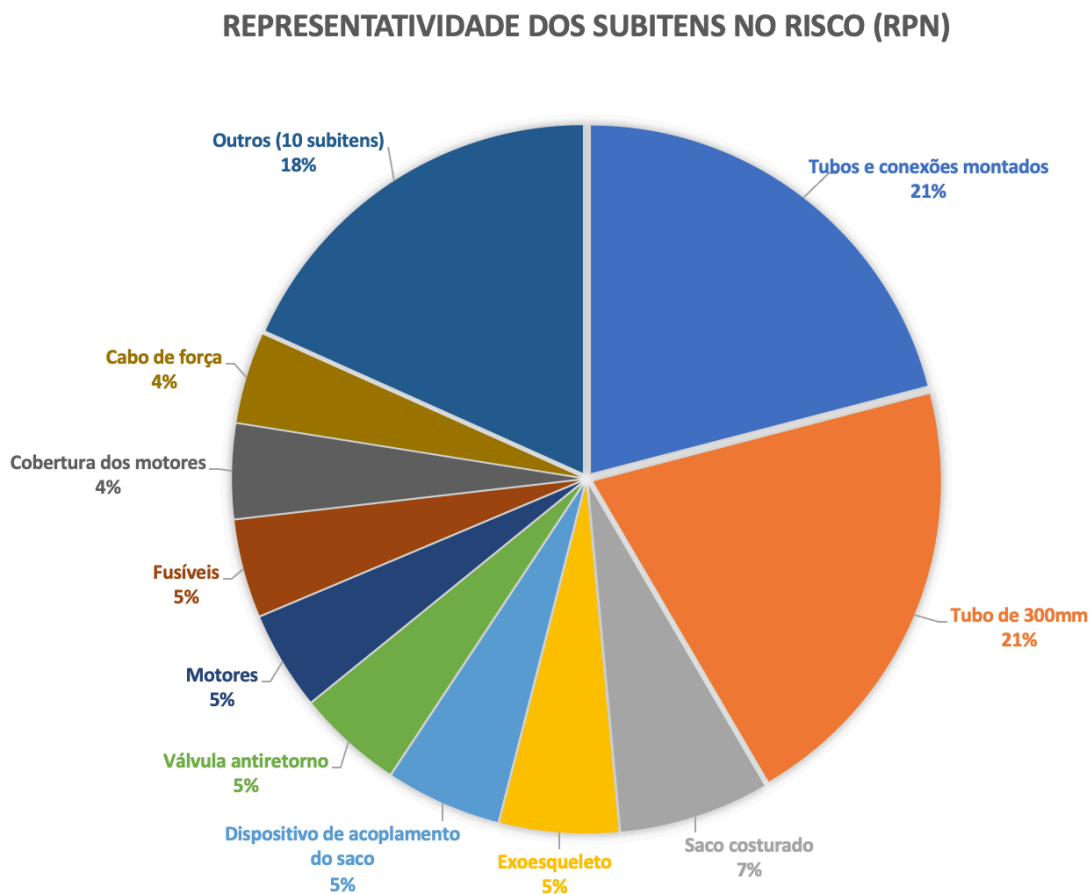
Aplicação da FMEA no processo de produção da máquina de captura											
Item	Subitem	Função	Potencial modo de falha	Potencial efeito de falha	Severidade (S)	Causa de Falha	Ocorrência (O)	Ações recomendadas	Deteção (D)	Risco (RPN)	Classificação
Motorização e parte elétrica	Motores	Criar campo de baixa pressão no interior das câmaras	Queima do motor	Não funcionamento	8	Instalação incorreta	2	Testar motores antes de iniciar processo de instalação/rever processo de instalação	2	32	9°
			Não conformidade de funcionamento	Funcionamento fora do padrão	6	Peça defeituosa/instalação incorreta	2	Testar motores antes de iniciar processo de instalação/rever processo de instalação	2	24	12°
	Fusíveis	Evitar sobrecorrente	Fusível rompido	Motor não funciona	8	Componente defeituoso/instalação incorreta/especificação incorreta	2	Trocar componente/rever instalação/rever especificação	2	32	9°
			Fusível não rompe quando deveria	Motor não funciona	8	Motor queimado	1	Rever especificação do componente/rever política de teste de lote de fabricação	3	24	12°
	Interruptores	Acionar motores	Não chaveamento	Máquina não liga/desliga	7	Problema no componente e/erro na ligação	2	Troca do componente/rever ligação	3	42	7°
	Cabo de força	Alimentar a máquina	Falha mecânica do condutor	Não funcionamento	8	Manejo incorreto/erro de fabricação	1	Trocar componente e rever controle de qualidade do fornecedor	3	24	12°
			Falha do isolamento	Risco ao operador	10	Manejo incorreto	1	Verificar se o POP está correto	1	10	32°
			Curto interno	Queima de componentes	9	Erro de instalação/fabricação	1	Verificar se o POP está correto	2	18	19°

Fonte: Autor

Uma vez apresentada a FMEA preenchida, analisa-se os valores de RPN para compreender a distribuição dos riscos entre os subitens. As classificações dos subitens foram coloridas em tons de vermelho de acordo com sua representatividade na soma total dos valores de RPN, sendo os mais críticos pintados de vermelho vivo, os menos críticos em tons mais

claros de vermelho e os agrupados como “Outros” em cinza. O gráfico apresentado na Figura 13 mostra a representatividade de cada subitem na soma total dos valores de RPN.

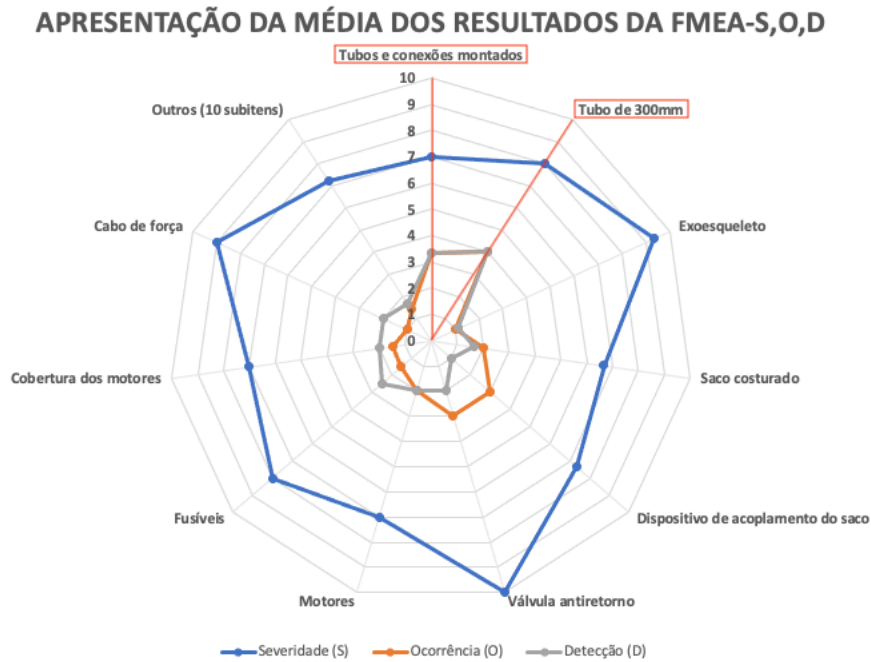
Figura 13: Representatividade dos subitens no risco RPN.



Fonte: Autor

Observa-se que os Tubos e conexões montados e o Tubo de 300 mm juntos somam mais de 40% da soma total do RPN, sendo o terceiro subitem de maior representatividade o saco costurado, com apenas 7%. A Figura 14 mostra que, apesar de outros subitens apresentarem severidade maior, a combinação dos parâmetros Ocorrência e Detecção acaba apontando para os subitens que envolvem peças em PVC, marcados em vermelho, como os mais propícios a gerar impacto no processo de produção do equipamento.

Figura 14: Radar de resultados FMEA



Fonte: Autor

Nota-se que os modos de falha dos subitens que apresentam maior valor médio de severidade acabam por apresentar uma fácil detecção ou uma baixa probabilidade de ocorrência. Embasando-se nos resultados da FMEA, independentemente do valor de RPN, é importante analisar as ações recomendadas e buscar formas de adaptar o processo de produção de modo a incorporá-las.

4.5. ANÁLISE DAS AÇÕES RECOMENDADAS E RESULTADOS DA FMEA

As ações recomendadas apresentadas pela FMEA e os resultados levantados pelas Figuras 13 e 14 mostram que existem formas de mitigar ou eliminar os riscos de ocorrência de alguns dos modos de falha por meio da implementação das ações recomendadas no processo de produção do equipamento. Como apresentado no capítulo 2 (referencial teórico), a fase de preparação da produção em que o equipamento atualmente se encontra é uma etapa do ciclo de vida do produto em que o custo de correção de erros ainda é baixo e o percentual de erros e defeitos que aparecem ainda é alto. Sendo assim, é um momento oportuno para a implementação de ferramentas de controle de qualidade. Os processos produtivos ainda se

encontram em fase de planejamento e podem facilmente ser adaptados de modo a abarcar as ações recomendadas.

Dentre os modos de falha listados pela FMEA, observa-se que as ações recomendadas para alguns deles tem efeito corretivo e não preventivo, sendo assim, para a proposta de protocolo de controle de qualidade, alguns modos de falha não serão abarcados nos processos de rotina, uma vez que o foco das sugestões de alteração nos processos de produção será a prevenção e não a correção. É importante salientar, entretanto, que a própria FMEA será disponibilizada para a equipe responsável pela fabricação do produto e poderá ser consultada e atualizada na medida em que for necessário ao longo das etapas de preparação e produção do equipamento.

Tendo em vista a magnitude dos valores de RPN atribuídos aos modos de falha dos itens que envolvem tubos e conexões PVC frente aos valores dos demais itens e subitens, recomenda-se uma abordagem focada e individualizada para que os riscos sejam mitigados ou eliminados. Sendo assim, propõe-se medidas e ferramentas que devem ser utilizadas como insumo na aplicação do protocolo de controle de qualidade proposto por esse trabalho.

As ações preventivas aplicáveis às peças em PVC envolvem os processos de corte, furação e soldagem das conexões. Para que se elabore o protocolo de controle de qualidade, sugere-se a implementação de medidas que mitiguem os riscos envolvidos nos três processos listados acima. Com relação ao corte, é importante que se considere a profundidade de encaixe nas bolsas das conexões, uma vez que o fabricante recomenda que a soldagem seja realizada encostando o tubo no limite do encaixe na bolsa. Considerando as dimensões e tolerâncias das estruturas representadas no desenho técnico fornecido pelo fabricante do equipamento disponível no anexo B e que a profundidade das bolsas dos tubos de 20 mm e de 40 mm é de 16,5mm e 26,5 mm respectivamente, lista-se, na Tabela 9, as seções de tubo PVC necessárias para a fabricação de uma unidade do equipamento de captura de abelhas estudado.

Tabela 9: Lista de seções de tubo PVC

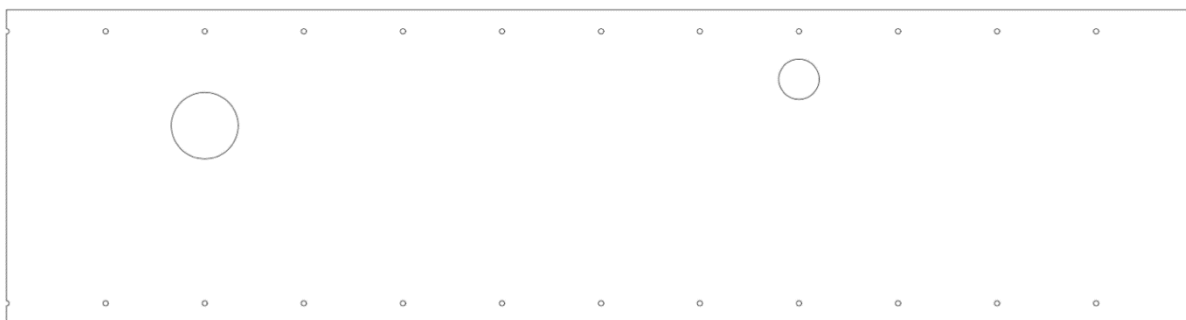
Bitola do tubo	Comprimento	Tolerância	Unidade	Quantidade
20	33	-2	mm	10
20	81	±0,5	mm	2
20	147	±0,5	mm	1
40	53	-2	mm	7
40	54,5	±0,5	mm	2
300	250	±0,1	mm	2

Fonte: Autor

Observa-se que dois dos itens listados na Tabela 9 não toleram medidas maiores do que o comprimento definido, apenas menores. Isso se dá pelo fato de que a estrutura PVC do equipamento possui partes em que o tubo serve apenas para unir duas conexões, ou seja, uma vez montada a estrutura, as duas conexões ficarão faceadas. Sendo assim, secções até 2 mm menores ainda oferecem uma superfície de soldagem de pelo menos 98% da bolsa, permitindo uma tolerância maior sem comprometer significativamente a soldagem e sem alterar as dimensões da estrutura montada.

O processo de furação envolve apenas o tubo de 300 mm, segundo a FMEA, é um processo de alto risco. Sendo assim, propõe-se a implementação de um gabarito de furação. O gabarito apresentado pela Figura 15 foi desenvolvido por meio da planificação da superfície do tubo com as previsões de furo e projetado para ser colado temporariamente ao tubo para a marcação da posição dos furos na superfície do tubo utilizando um marcador permanente. Sugere-se a fabricação do gabarito em papel ou em material emborrachado.

Figura 15: Gabarito de furação da secção do tubo de 300 mm.



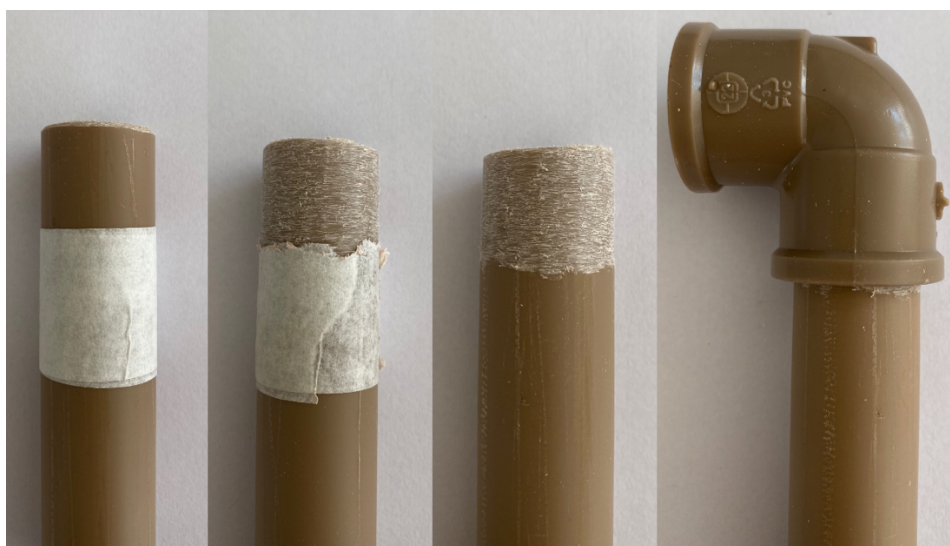
Fonte: Autor

A utilização do gabarito, além de mitigar os riscos de erros no processo de furação, deve facilitar, agilizar o trabalho de produção da peça e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção da peça. O desenho técnico do gabarito está disponibilizado no Apêndice A.

Uma vez abordados os processos de corte e furação das peças em PVC, propõe-se a implementação de procedimentos para mitigar as chances de ocorrência de falhas no processo de soldagem de conexões. Segundo o fabricante dos tubos e conexões, uma etapa importante do processo de soldagem é a de lixar a superfície a ser soldada do tubo antes de realizar a soldagem. Além da remoção do verniz, o processo de lixamento contribui facilitando o encaixe do tubo até o fim da bolsa da conexão, tendo em vista a tolerância do encaixe do tubo na

conexão e a dificuldade de realizar o encaixe corretamente sem a remoção dessa camada superficial do tubo. Como uma forma de garantir que a superfície lixada seja suficiente para preencher a bolsa de encaixe da conexão, propõe-se a aplicação temporária de uma fita delimitando a superfície compatível com o encaixe na bolsa antes de iniciar o lixamento, dessa forma, garante-se que apenas a superfície necessária será lixada. Essa medida, além de impactar esteticamente no produto deixando à mostra apenas a superfície envernizada do tubo, dá ao operador uma referência de quanto é necessário para atingir os limites da bolsa, como mostra a Figura 16.

Figura 16: Aplicação de fita no auxílio do processo de lixamento para solda.



Fonte: Autor

O processo de lixamento apresentado na Figura 16 deve ser realizado até que o operador consiga, sem auxílio de ferramentas, inserir a parte lixada do tubo até o fim da bolsa da conexão e retirá-la. Tendo em vista que a solda realizada não sofrerá esforços consideráveis na rotina de uso do equipamento e considerando que o adesivo PVC impedirá qualquer movimentação do tubo na bolsa durante o uso, não é necessário que o encaixe do tubo na bolsa seja extremamente justo. Além do processo proposto pela Figura 16, sugere-se que seja realizado um teste de encaixe da tubulação antes da soldagem definitiva com o adesivo plástico PVC. Esse teste permite avaliar se o tubo foi suficientemente lixado, uma vez que o não lixamento adequado dificulta o encaixe até o fim da bolsa. Uma vez lixado, deve-se limpar a superfície com o

objetivo de tirar resíduos decorrentes do processo de lixamento antes que seja realizada a solda definitiva.

A análise das ações recomendadas e as medidas sugeridas para mitigar ou eliminar o risco de falha dos subitens mais críticos servem também como insumo para o desenvolvimento de um protocolo de controle de qualidade que envolva o processo de produção do equipamento como um todo. Para tanto, propõe-se a aplicação de um *checklist* de controle de qualidade a ser utilizado como forma de abarcar mais modos de falha, atuando como ferramenta de prevenção de falhas ao longo do processo.

4.6. DESENVOLVIMENTO DE PROTOCOLO DE CONTROLE DE QUALIDADE

O processo de produção estudado, como apontado pelas ações recomendadas na FMEA, pode ser aprimorado com o objetivo de reduzir as chances de ocorrência dos modos de falha. Para o caso estudado, propõe-se a implementação de um *checklist* de controle de qualidade que mitigue ou elimine o risco de ocorrência dos modos de falha mapeados. Para tanto, analisa-se as variáveis que afetam a qualidade e os parâmetros recomendados, o fluxo do processo, as ações recomendadas para os modos de falha mapeados e as medidas de controle de qualidade sugerida e desenvolve-se uma ferramenta que abarca, de maneira objetiva, pontos-chave do processo de produção.

O *checklist* proposto foi dividido seguindo o padrão de divisão por itens utilizado na FMEA, contemplando propostas de procedimentos de checagem para itens e subitens de modo a diminuir incidência de falhas sem tomar tempo excessivo do operador designado para aplicar a ferramenta. O *checklist* é estruturado com uma lista com tópicos a serem verificados, fornecendo, para cada tópico, a peça/processo verificado, referência ou especificação, observação, atividade de controle e status. Ao final da lista, tem-se um campo para registro do operador responsável pela aplicação da ferramenta, data e hora de aplicação. A Figura 17 apresenta como exemplo o *checklist* desenvolvido para verificação da câmara de baixa pressão.

Figura 17: Checklist de verificação da câmara de baixa pressão

Câmara de baixa pressão				
Peça/processo	Referência/Especificação	Observação	Atividade de controle	Status
Cortar tubo de 300 mm	Comprimento:250,00 mm Tolerância:1,00 mm	Folha 6 desenho técnico Utilizar gabarito de furação para marcar o tubo	Verificar dimensões	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Realizar furações no tubo	Os furos devem seguir o gabarito de furação	Envolver tubo com gabarito e marcar posições com caneta	Verificar dimensões e posicionamento dos furos	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Manômetro	Deve mostrar variação na pressão interna da câmara quando o motor for ligado	Testar com 1 motor funcionando e depois com 2 motores funcionando	Instalar manômetro em máquina de referência e verificar funcionamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Válvula antiretorno	Deve ser aberta quando o saco for acoplado e fechada assim que o saco for descoplado	Utilizar uma válvula de referência para verificar atuação das molas	Verificar se a válvula está atuando como projetado	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Tampa da câmara de baixa pressão	A abertura e fechamento hermético devem estar de acordo com a máquina de referência	Os ímãs devem atuar para garantir o fechamento	Realizar operação de fechamento e abertura da tampa	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Componentes de vedação	Com os motores funcionando, os manômetros devem mostrar variações semelhantes às da máquina de referência	-	Verificar variação aferida pelo manômetro	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Dispositivo de acoplamento de saco	O acoplamento e desacoplamento devem funcionar de acordo com a máquina de referência	Observar polaridade dos ímãs	Testar acoplamento e desacoplamento	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Assinatura do operador: Data e hora:				

Fonte: Autor

Além do *checklist* para a câmara de baixa pressão apresentado como exemplo na Figura 17, desenvolveu-se *checklist* para a estrutura metálica, estrutura PVC 20 mm/40 mm, peças em FDM, peças de policarbonato, motorização e parte elétrica e sacos costurados, vide Apêndice B.

O protocolo desenvolvido deve ser utilizado ao longo do processo de produção do equipamento em conjunto com a FMEA, os parâmetros sugeridos, procedimentos e gabaritos propostos. A aplicação do protocolo deve ter efeito preventivo e mitigar ou eliminar os riscos mapeados por meio da FMEA. Sugere-se que os *checklists* sejam atualizados ou

complementados ao passo da implementação dos processos de produção. A ferramenta desenvolvida deve evoluir na medida em que o processo for aprimorado.

A implementação de um protocolo de controle de qualidade como o desenvolvido para o processo de produção do equipamento de captura de abelhas deve elevar os níveis de qualidade observados, reduzir custos de produção e pode auxiliar na redução do prazo de fabricação, porém, atente-se que a ferramenta se limita aos processos de produção e que melhorias na concepção do produto podem auxiliar no controle dos processos e contribuir na redução dos riscos de falha no processo. Foram selecionados para compor a ferramenta os itens e subitens com maior potencial de impacto preventivo no processo. A elaboração dessa ferramenta e os estudos e análises que servem de insumo em seu desenvolvimento fornecem conhecimento profundo sobre o produto, os processos de produção e sobre o controle de qualidade dos processos envolvidos e permite que sejam feitas considerações sobre o trabalho como um todo e sobre a concepção do produto, apresentadas no capítulo 5.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso apresentado fornece uma sistemática de controle de qualidade para o processo de produção do equipamento de captura de abelhas, sendo assim, considera-se que o objetivo geral da pesquisa foi atingido. Para tanto, o processo de fabricação do equipamento foi abordado de maneira clara, foram identificados os fatores que influenciam na qualidade do processo de produção e foram levantadas as possíveis falhas do processo de produção, permitindo o desenvolvimento de um protocolo de controle de qualidade, atingindo todos os objetivos específicos da pesquisa.

A análise dos processos de produção na etapa de preparação para produção fornece *insights* valiosos que podem ser incorporados ao *design* e à concepção de soluções de *hardware* que auxiliem no processo de controle de qualidade sem impacto significativo no custo de desenvolvimento. Observa-se que alguns dos processos de produção têm seu controle limitado por imprecisões de projeto e se tornam fontes de risco de falha, onerando, possivelmente, o processo de produção.

Ao analisar o equipamento modelo e os desenhos técnicos fornecidos do equipamento, observa-se divergências e imprecisões que podem ser corrigidas alterando a concepção da solução adotada, como é o caso da conexão entre a tubulação PVC de 20 mm que controla a sucção dos motores e a câmara de baixa pressão. Os ângulos previstos na Folha 5 do desenho técnico, vide Anexo B, não são compatíveis com a distância entre os encaixes na câmara de baixa pressão. Sendo assim, sugere-se a implementação de uma conexão flexível entre a estrutura de controle de fluxo dos motores e a câmara de baixa pressão, uma vez que essa alteração deve aumentar as tolerâncias de montagem do equipamento, simplificando o processo e reduzindo riscos de falha na montagem da estrutura sem diminuir a capacidade de sucção ou interferir negativamente no desempenho do equipamento.

O estudo de caso, com o apoio da pesquisa da literatura, identificou os parâmetros sugeridos para os processos abarcados nos artigos encontrados, utilizou os desenhos de fluxo para compreensão do processo de produção e a ferramenta FMEA para identificar os possíveis modos de falha e propôs medidas e um protocolo de controle de qualidade capaz de mitigar ou eliminar o risco de ocorrência das falhas previstas. Os resultados do estudo de caso servirão de insumo para a próxima etapa do ciclo de vida do produto, a produção, e, possivelmente, para a melhoria do projeto do produto.

Como limitação do estudo pode-se mencionar o baixo número de pessoas envolvidas no processo de aplicação da FMEA tendo em vista a participação de apenas dois dos responsáveis pelo projeto do equipamento e planejamento da produção do equipamento. A participação de mais pessoas na aplicação da ferramenta poderia resultar em uma lista ainda mais completa de modos de falha abarcando possíveis falhas não previstas neste trabalho.

Para estudos futuros, sugere-se a reaplicação da FMEA com as alterações sugeridas no *design* do equipamento e nos processos de produção para comparação dos valores de RPN e constatação dos níveis de melhoria do processo de produção. Além disso, sugere-se a implementação dessas ferramentas ao longo do processo de produção do equipamento coletando indicadores de desempenho do processo e registrando a ocorrência de falhas em cada etapa para que se possa propor novas alterações no processo de produção e no protocolo de controle, de modo a otimizar a aplicação da ferramenta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade - Terminologia. **Associação Brasileira De Normas Técnicas**. 1994.

AIAG. **Manual de referência FMEA**, 4a edição. AIAG - **Automotive Industry Action Group**. **AIAG Reference guide** - Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), 4th Edition Standard published by AIAG, 2008.

ANDERSON, John C.; RUNGTUSANATHAM, Manus; SCHROEDER, Roger G. A theory of quality management underlying the Deming management method. **Academy of management Review**, v. 19, n. 3, p. 472-509, 1994.

BRIOL, Patrice. **BPMN, the Business Process Modeling Notation Pocket Handbook**. Lulu.com, 2008.

BARBOSA, Deise Barbosa et al. As abelhas e seu serviço ecossistêmico de polinização. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 4, p. 694-703, 2017.

CRISTEA, G.; CONSTANTINESCU, Dan Mihai. A comparative critical study between FMEA and FTA risk analysis methods. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2017. p. 012046.

CORREIA-OLIVEIRA, Maria Emilene et al. **Manejo da agressividade de abelhas africanizadas**. Série Produtor Rural, v. 1, n. 53, p. 4-46, 2012.

CAMARGO, Wellington. **Controle de qualidade total**. 2016.

DE FREITAS, Pedro Henrique et al. Controle de abelhas africanizadas em áreas urbanas. **Anais do Semex**, v. 2, n. 2, 2009.

DINIZ, Fernanda. Brasil reforça os padrões regulatórios de agrotóxicos para proteger abelhas e outros insetos polinizadores: Gestão ambiental e territorial. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21145131/brasil-reforca-os-padroes-regulatorios-de-agrotoxicos-para-proteger-abelhas-e-outros-insetos-polinizadores>>. Acesso em: 20 set 2022.

DUDEK-BURLIKOWSKA, M. Application of FMEA method in enterprise focused on quality. **Journal of achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 45, n. 1, p. 89-102, 2011.

FERREIRA, Jordânia Lima. **Práticas de extensão, pesquisa, manejo e produção de abelhas africanizadas (Apis mellifera L.) no sertão central**, Quixeramobim-CE. 2014.

FLEURY, Afonso. **O que é Engenharia de Produção** - Introdução à engenharia de produção. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 1-10, 2008.

GARVIN, David A. **Managing quality: The strategic and competitive edge**. Simon and Schuster, 1988.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 2008. v. 264

GODFREY, A. Blanton. Juran's quality handbook. **McGraw-Hill Publishing**, 1999.

GORDELIER, Tessa Jane et al. Optimizing the FDM additive manufacturing process to achieve maximum tensile strength: a state-of-the-art review. **Rapid Prototyping Journal**, 2019.

HALES, Brigitte M.; PRONOVOST, Peter J. The checklist - a tool for error management and performance improvement. **Journal of critical care**, v. 21, n. 3, p. 231-235, 2006.

HELMAN, Horácio; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. UFMG, Escola de Engenharia, 1995.

JURAN, J. M.; **A qualidade desde o projeto: Novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**, São Paulo: Cengage Learning, 1997.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa: um guia prático**. 2010.

KIM, Hoejin; LIN, Yirong; TSENG, Tzu-Liang Bill. A review on quality control in additive manufacturing. **Rapid Prototyping Journal**, 2018.

LIMA, F. T. P.; PEREIRA, D. S. & ARAÚJO, R. R. Atuação do corpo de bombeiros do Ceará em ocorrências envolvendo abelhas africanizadas. **Acta Apícola Brasileira**, v. 3, n. 2, p. 10-18, 2015.

MANIVELA, **Desenho técnico dos componentes do equipamento de captura de abelhas**, 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. **Atlas**, 2003.

MCDERMOTT, Robin E.; MIKULAK, Raymond J.; BEAUREGARD, Michael R. **FMEA**. New York: Taylor & Francis Group, 2009.

MELLO, Maria Helena Silva Homem de; SILVA, Elisabete Aparecida da; NATAL, Delsio. Abelhas africanizadas em área metropolitana do Brasil: abrigos e influências climáticas. **Revista de Saúde Pública**, v. 37, p. 237-241, 2003.

MONTERO-CASTAÑO, Ana et al. Pursuing best practices for minimizing wild bee captures to support biological research. **Conservation Science and Practice**, p. e12734, 2022.

NYPD removes 15,000 honey bees from tree in Queens. **CBS**, New York, may 17. 2022. Local news. Disponível em: <<https://www.cbsnews.com/newyork/news/bees-removed-nypd-queens/>>. Acesso em 22 set. 2022.

PALADY, P. Uma visão geral do FMEA. **Palady P. FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: Instituto IMAM, p. 3-20, 1997.**

PATIENT Safety. World Health Organization, 2019. **News Room**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>>

PREDIAL. **Wavin**, 2022. Disponível em: <<https://amancowavin.com.br/produtos/predial/agua-fria/amanco-soldavel>>. Acesso em: 20 de fev. de 2022

PRÍSTAVKA, Miroslav; KOTOROVÁ, Martina; SAVOV, Radovan. Quality control in production processes. **Acta technologica agriculturae**, v. 19, n. 3, p. 77-83, 2016.

PRUSA. i3 MK3S+. **How to**. Prusa3d 2022. Disponível em: <<https://help.prusa3d.com/en/tag/mk3s-2/>>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

PRUSA. **First Layer Calibration (i3)**. Prusa3d 2022. Disponível em: <https://help.prusa3d.com/article/first-layer-calibration-i3_112364>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

PRUSA. **Original Prusa i3 MK3S+3D printer**. Prusa3d 2022. Disponível em: <<https://prusa3d.com/product/original-prusa-i3-mk3s-3d-printer-3/>>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

RADFORD, George Stanley. The control of quality in manufacturing. **Ronald Press Company**, 1922.

ROSA, Leandro Cantorski da; GARRAFA, Marcos. Análise dos modos de falha e efeitos na otimização dos fatores de produção no cultivo agrícola: subprocesso colheita da canola. **Gestão & Produção**, v. 16, p. 63-73, 2009.

ROZENFELD, Henrique; AMARAL, Daniel Capaldo. **Gestão de projetos em desenvolvimento de produtos**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SANTOS, Lucas Oliveira et al. Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA): Uma avaliação das publicações em periódicos nacionais e internacionais. **Anais do IX SIMPROD**, 2017.

SCHULMAN, Michael. When bees go rogue, call the N.Y.P.D. **The New Yorker** [online], New York, September 10. 2018. September 17, 2018 issue. Disponível em: <[newyorker.com/magazine/2018/09/17/when-bees-go-rogue-call-the-nypd](https://www.newyorker.com/magazine/2018/09/17/when-bees-go-rogue-call-the-nypd)>. Acesso em: 22 de set. de 2022.

SILVA, C. I.; ALEIXO, K. P.; NUNES-SILVA, B.; FREITAS, B. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia ilustrado de abelhas polinizadoras no Brasil**. 1. ed. São Paulo, SP: [s.n.], 2014.

SILVA, E. L. MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. Operations management. **Pearson education**, 2010.

SOARES, Eduardo Martins Guimarães. **Captura de abelhas**: procedimento operacional com potencial de salvar vidas e garantir a preservação do meio ambiente. 2020.

SOOD, Anoop Kumar; OHDAR, Raj K.; MAHAPATRA, Siba S. Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. **Materials & Design**, v. 31, n. 1, p. 287-295, 2010.

SOUZA, Adriel Alves de. Proposta de implantação de dispositivo adaptado para captura de abelhas no âmbito do CBMGO. 2015. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de CFO, **CBMGO**, Goiânia, 2015. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wpcontent/uploads/2016/08/tcc-adriel-alves-de-souza-proposta-de-implantacao-dedispositivo-adaptado-para-captura-de-abelhas-no-ambito-do-cbmgo.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2019

SPREAFICO, Christian; RUSSO, Davide; RIZZI, Caterina. A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. **Computer Science Review**, v. 25, p. 19-28, 2017.

STAMATIS., D.H.. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. 2. ed. Wisconsin: **Quality Press**, 2003. p. 686

TAGUCHI, Genichi et al. Taguchi's quality engineering handbook. **Wiley-Interscience**, 2005.

TERÇAS, Ana Cláudia Pereira; VIVI, Viviane Karolina; DE LEMOS, Elba Regina Sampaio. Aspectos epidemiológicos dos acidentes por picada de abelha africana/Epidemiological aspects of african bee sting acidentes/Aspectos epidemiológicos de acidentes por picaduras de abeja africana. **Journal Health NPEPS**, v. 2, n. 1, p. 58-72, 2017.

TOLEDO, José Carlos de; AMARAL, Daniel Capaldo. **FMEA - Análise do tipo e efeito de falha**. GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade - DEP – UFSCar. Apostila, 2006.

UPCRAFT, Steve; FLETCHER, Richard. The rapid prototyping technologies. **Assembly Automation**, 2003.

WERKEMA, Cristina. **Métodos PDCA e Demaic e Suas Ferramentas Analíticas**. Elsevier Brasil, 2013.

WOMACK, James P. A máquina que mudou o mundo. **Gulf Professional Publishing**, 2004

ZUR MUEHLEN, Michael; RECKER, Jan. **How much language is enough?** Theoretical and practical use of the business process modeling notation. In: Seminal Contributions to Information Systems Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 429-443.

ANEXO A

Prusa Material Table

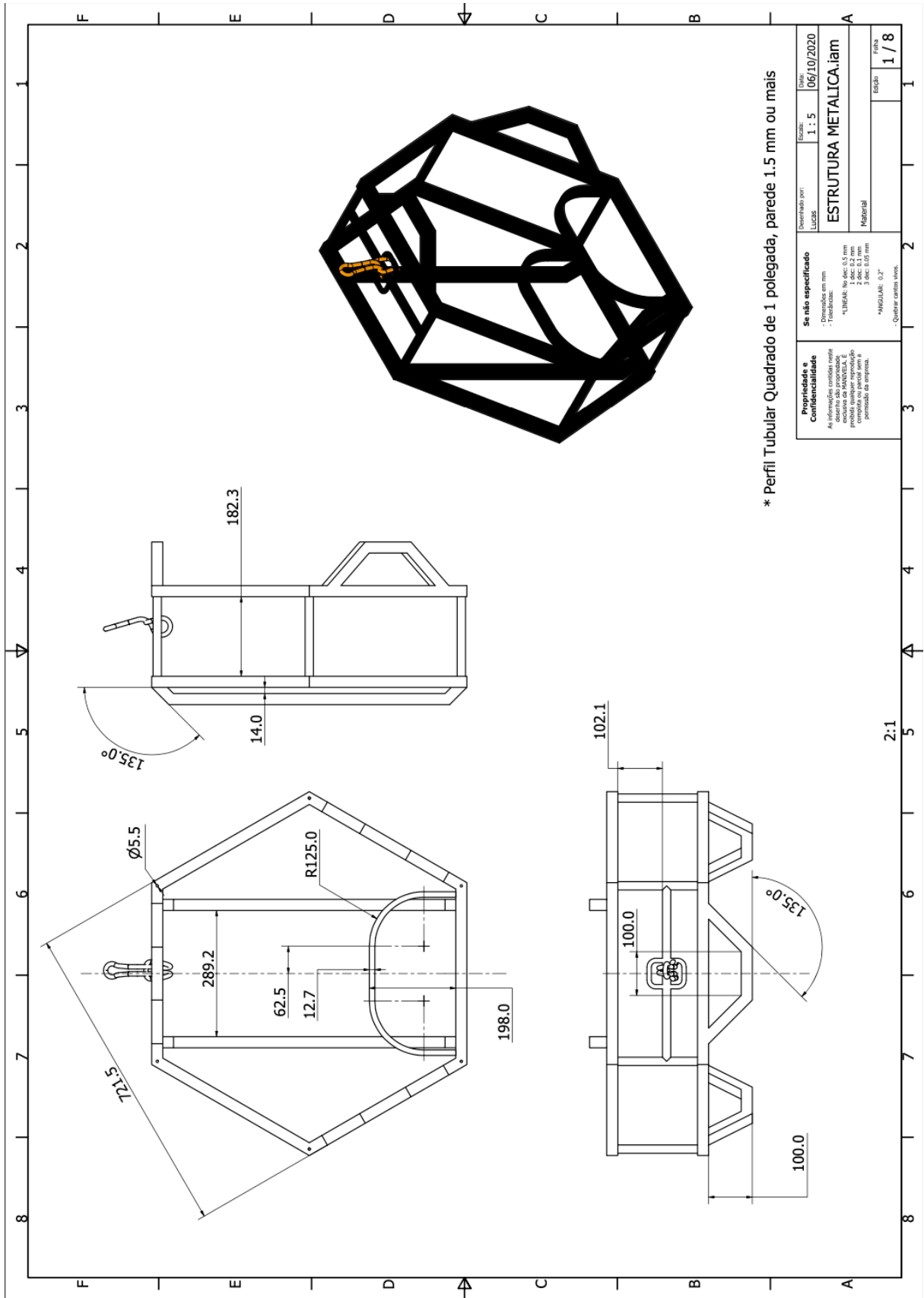
Our filament guide table includes all sorts of supported filaments, divided both by material and specific manufacturers. Here, you can compare their parameters starting with physical properties and ending in price. Filaments can be sorted up and down by clicking on selected parameters. They can also be filtered by their intended use. Read more about the material table background and making at [our blog](#).

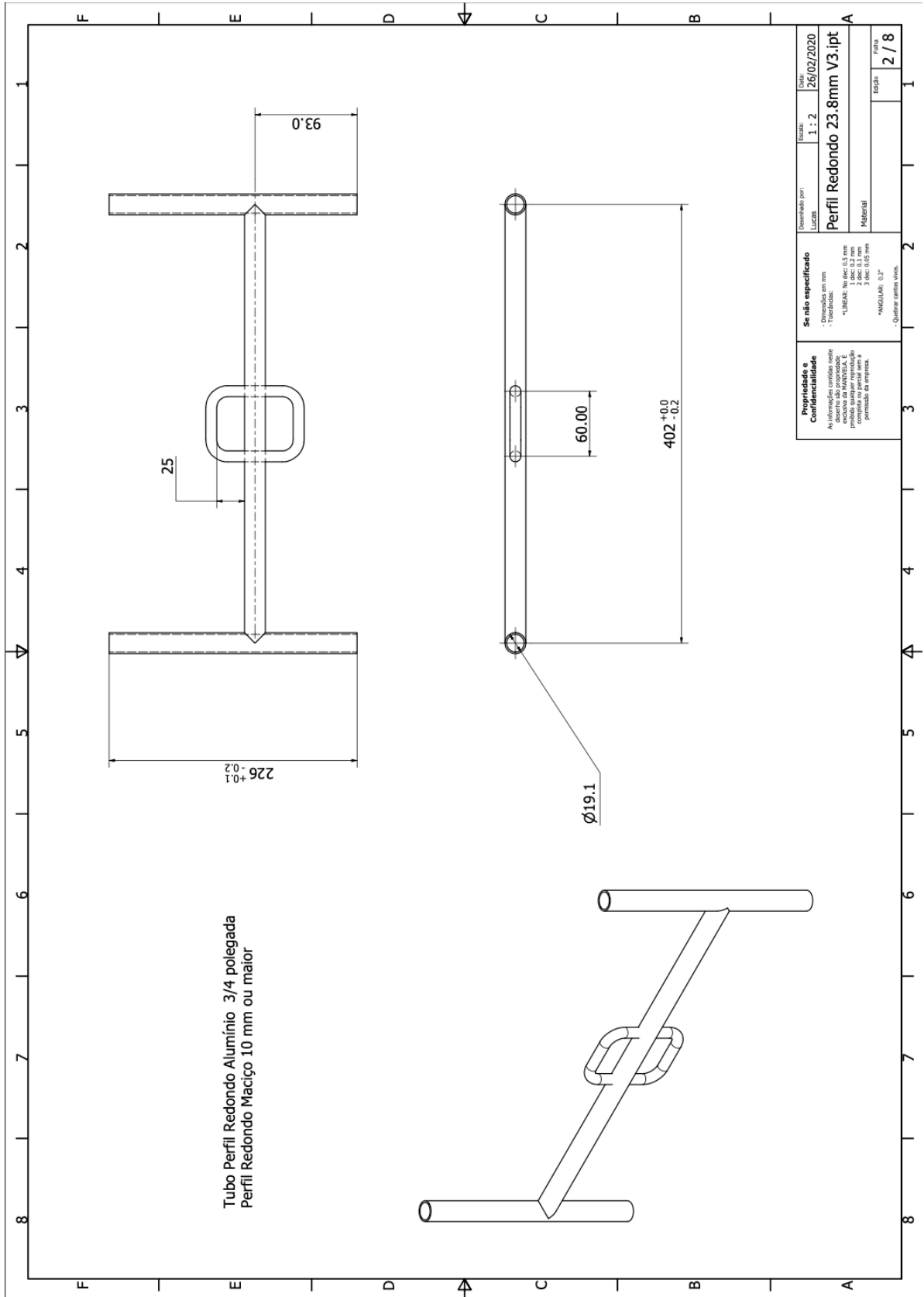
- All
- Food safe
- Suitable for tiny parts
- Low warping
- High tenacity
- Headtbed not required
- Impact resistance
- Chemical resistance
- Suitable for mechanical parts
- Dissolvable
- Temperature resistance
- UV resistance
- Flexible or bendable
- Support material
- Composite

Hardened nozzle required	Nozzle temperature (+-10 °C)	Bed temperature (+-10 °C)	Printable on powder coated sheet	Printable on smooth PEI sheet	Printable on satin sheet	Printable on Special PA Nylon sheet	Soluble with common solvents	Heat deflection temperature (avg. °C)	Impact resistance Charpy (kJ/m ²)	Tensile strength (Mpa)	Price
> PLA	(34)	0 °C	✓	✓	✓	✗	✗	Red	Red	Yellow	Yellow
> PETG	(18)	0 °C	✓	with glue stick	✓	Cleaned with water	✗	Orange	Orange	Yellow	Yellow
> PETG HT	(1)	0 °C	✓	with glue stick	✓	Cleaned with water	✗	Yellow	Green	Yellow	Red
> ASA	(5)	0 °C	with glue stick	with glue stick	✓	✗	✓	Yellow	Orange	Yellow	Yellow
> ABS	(10)	10 °C	with glue stick	with glue stick	✓	✗	✓	Yellow	Red	Orange	Yellow
> PC (Polycarbonate)	(4)	5 °C	with glue stick	with glue stick	✓	✗	✗	Green	Yellow	Green	Red
> CPE	(2)	5 °C	✓	with glue stick	✓	✗	✗	Yellow	Orange	Yellow	Orange
> PVA / BVOH	(2)	0 °C	✓	✓	✓	✗	✓	Red	Red	Green	Red
> HIPS	(3)	10 °C	✓	✓	✓	✗	✓	Yellow	Red	Red	Yellow
> PP (Polypropylene)	(3)	0 °C	✗ not recommended	with PP tape	✓	✗	✗	Red	Yellow	Red	Red

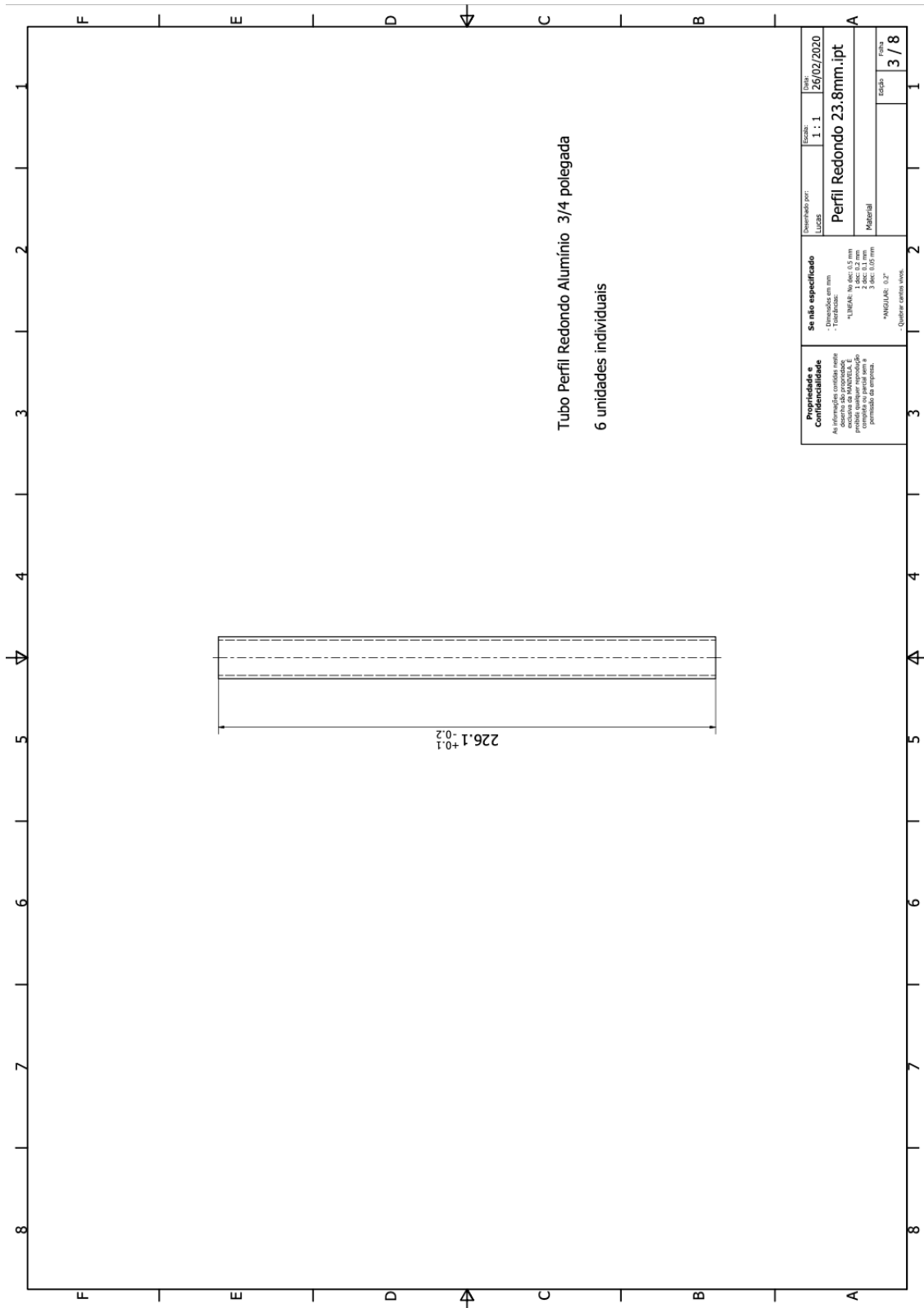
Fonte: help.prusa3d.com

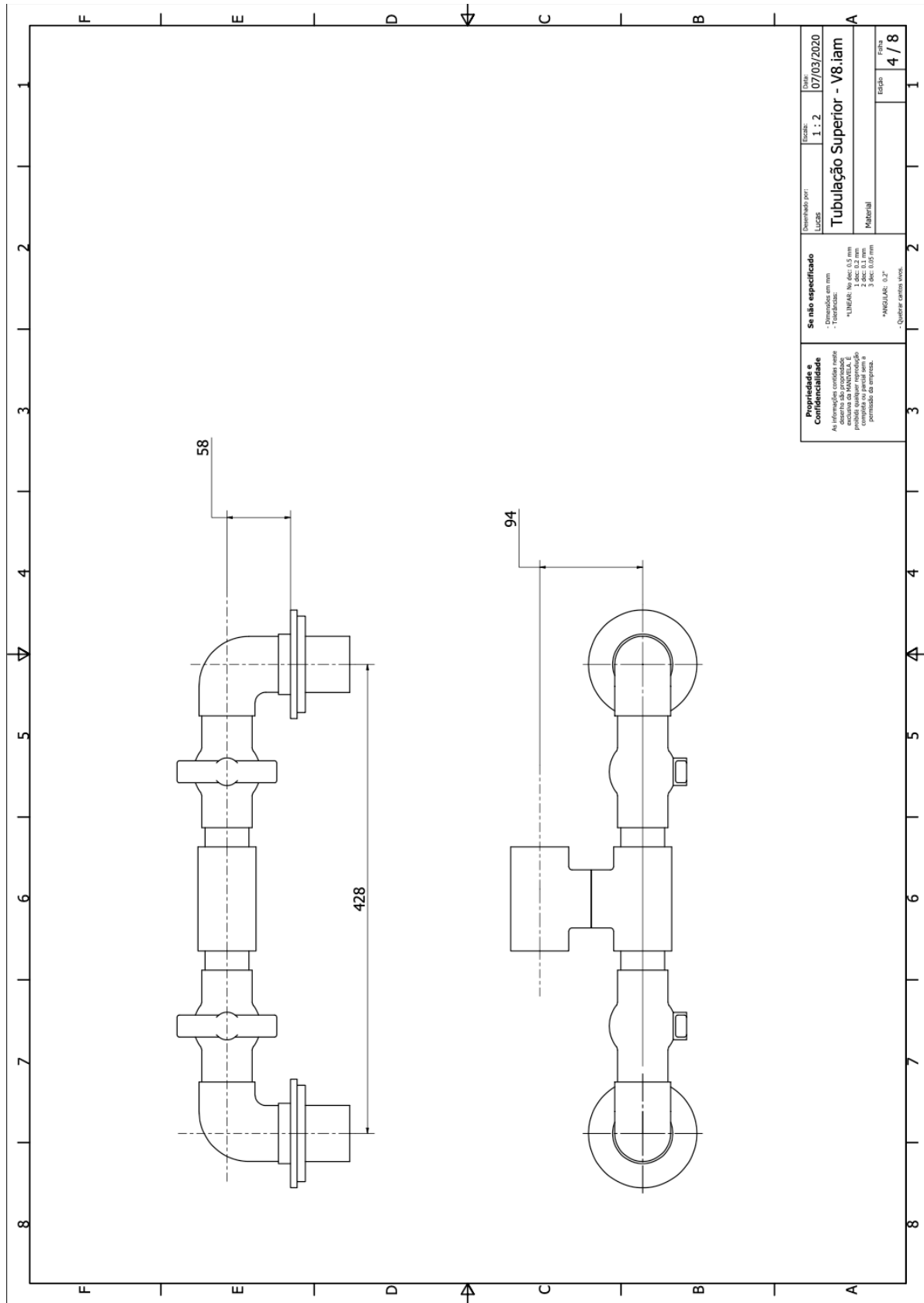
ANEXO B



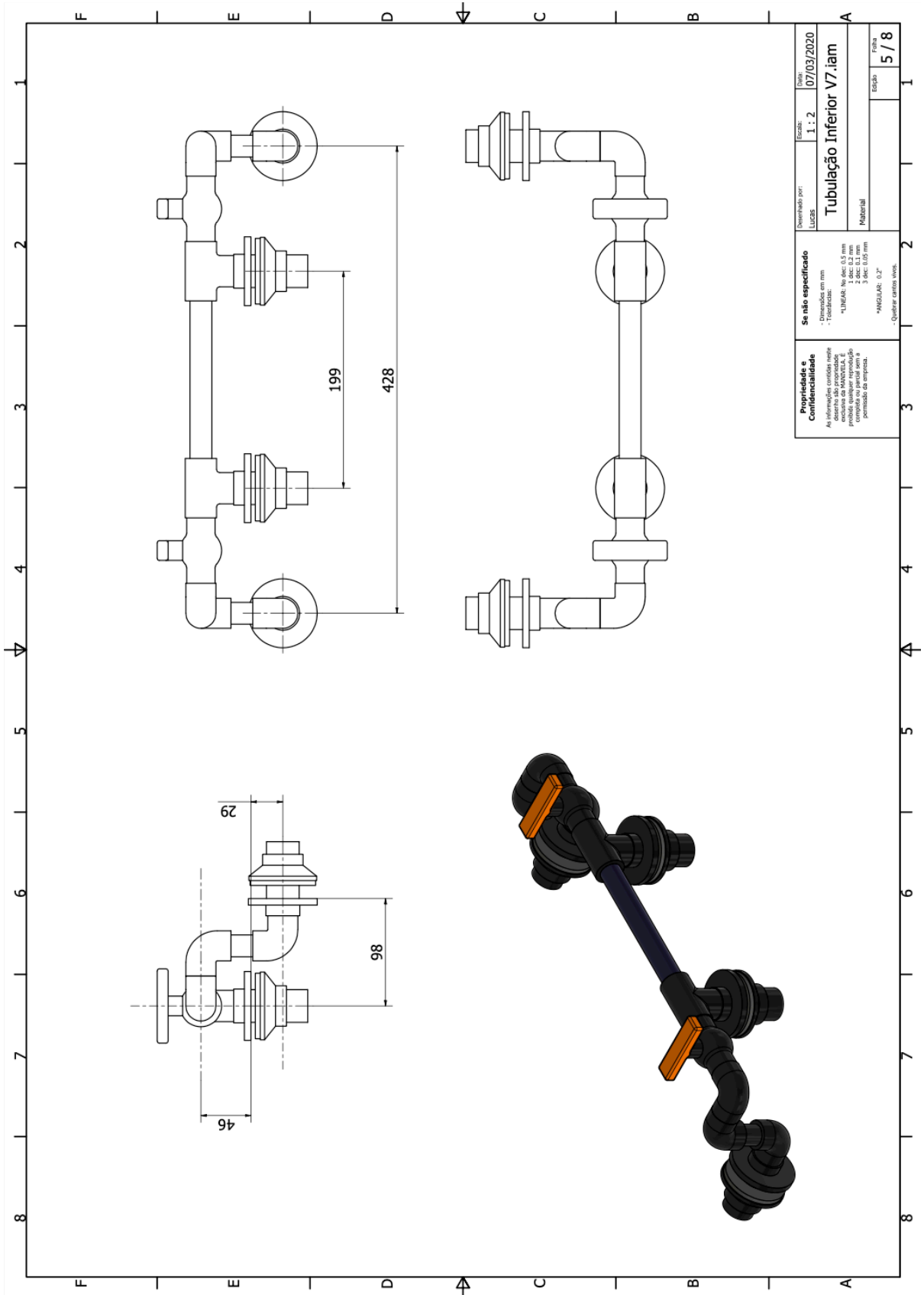


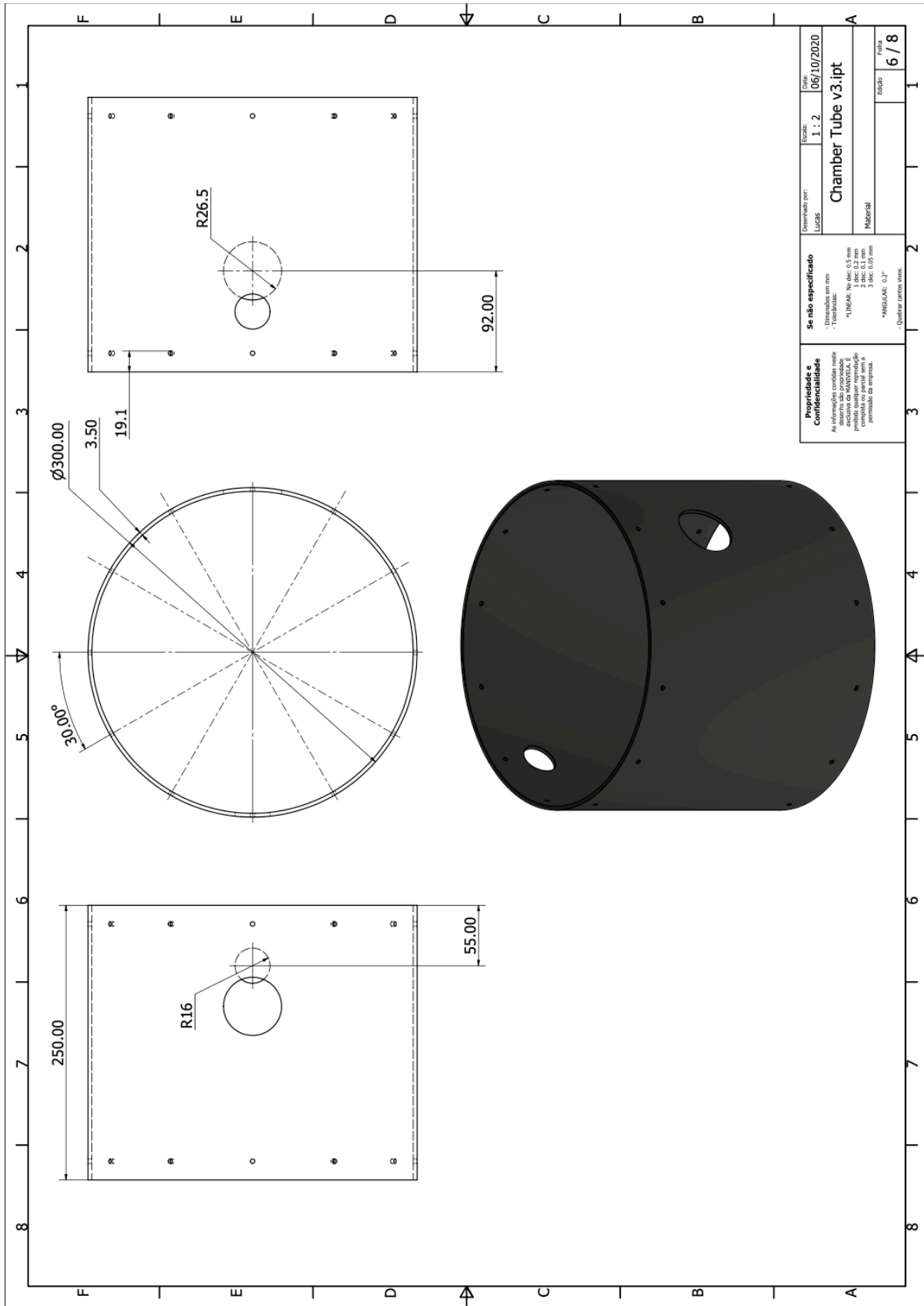
Propriedade e Confidencialidade As informações contidas neste desenho são propriedade exclusiva da empresa e não devem ser divulgadas sem a permissão da empresa.	Se não especificado Dimensionado em mm *TOLERÂNCIA: 1 SAC: 0.5 mm 2 SAC: 0.2 mm 3 SAC: 0.05 mm	Desenhado por: LUCAS	Escala: 1 : 2	Data: 25/02/2020
		Perfil Redondo 23.8mm V3.ipt		
Material: *ANGULAR: 0.2"		Estágio:	Folha:	Total:
Quantidade: 0000		2	2 / 8	1

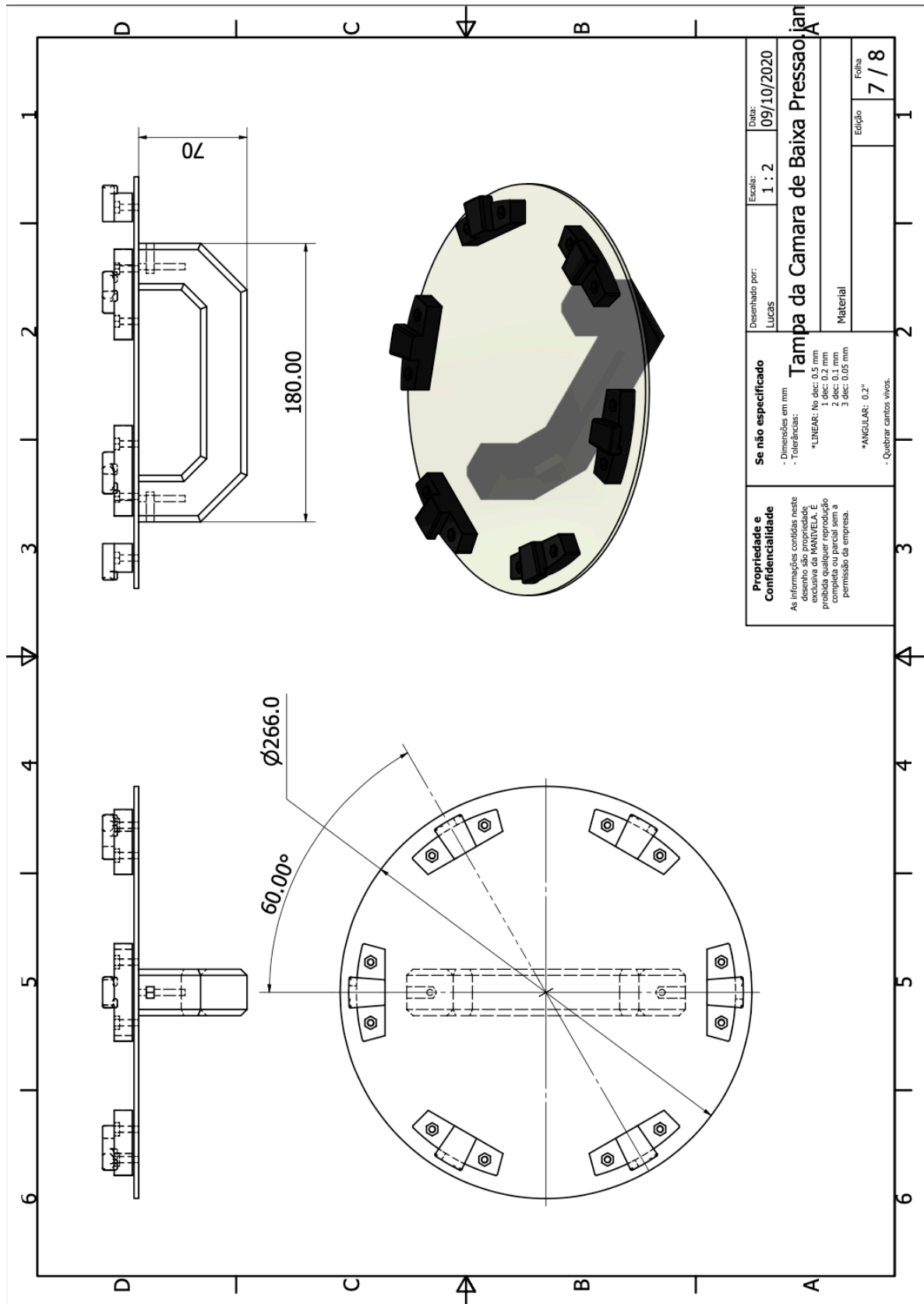




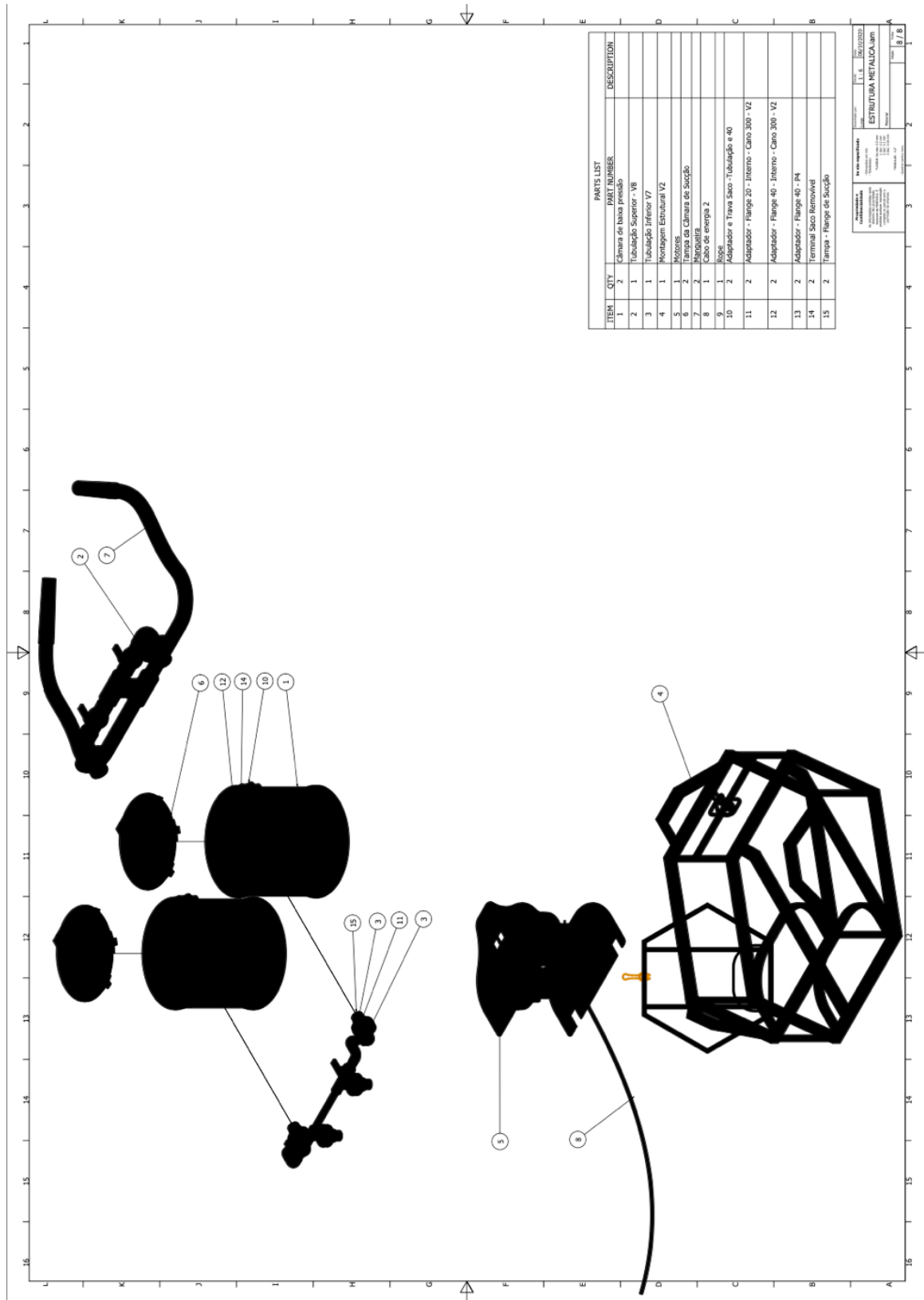
Propriedade e Confidencialidade A informação contida neste documento é propriedade da MANTEGA, E. Qualquer reprodução, total ou parcial, sem a permissão da empresa, é proibida.	Desenvolvido por: LUCAS	Escala: 1 : 2	Data: 07/03/2020
	Se não especificado - Dimensões em mm - Tolerâncias: *LINHAS: No ABC: 0,3 mm 2 ABC: 0,1 mm 3 ABC: 0,05 mm *ANGULOS: 0,2° - Outras cotas livres.		
Título: Tubulação Superior - V8.1am		Folha: 4 / 8	





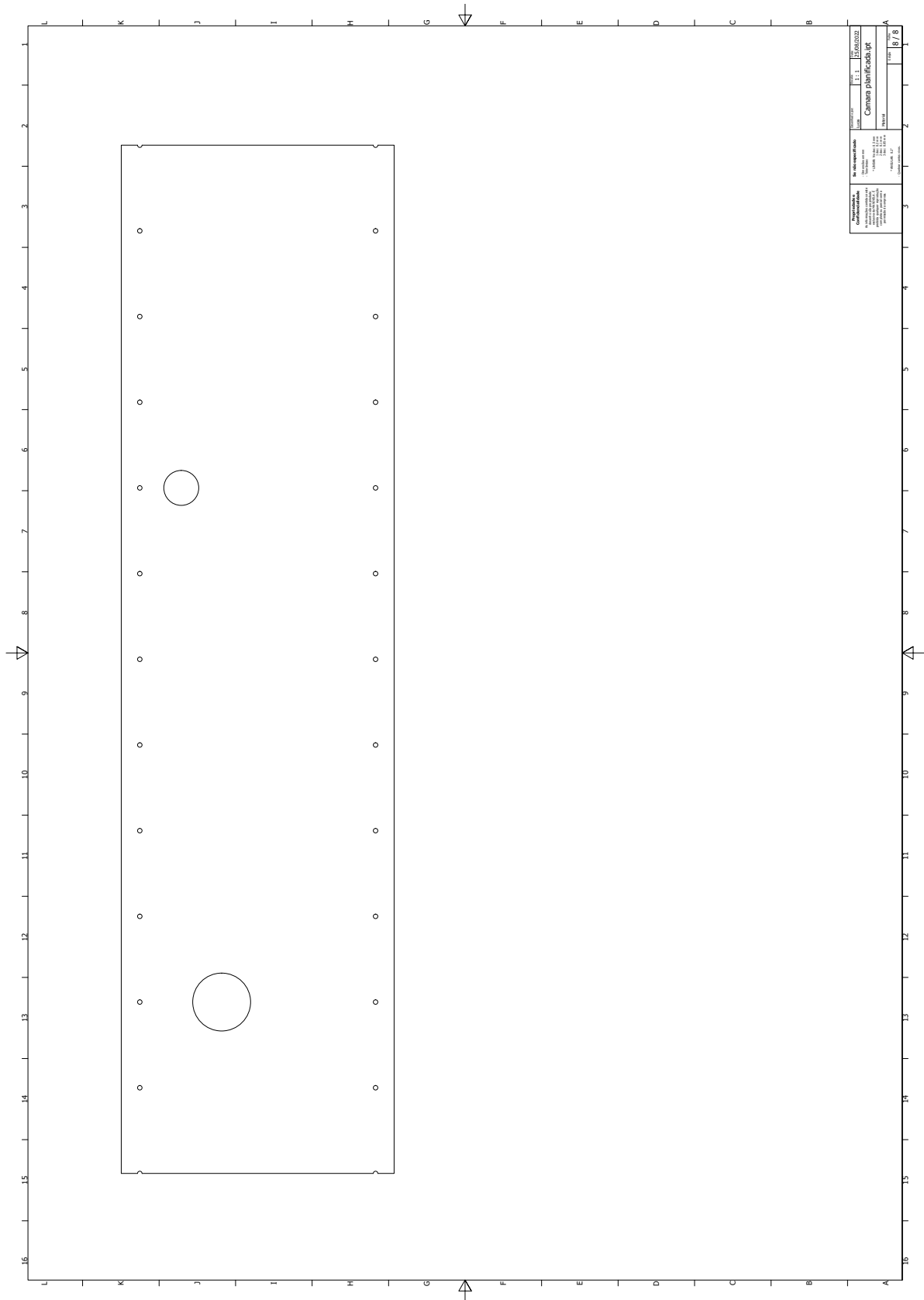


Propriedade e Confidencialidade As informações contidas neste desenho são propriedade exclusiva da MANVELA. É proibida qualquer reprodução completa ou parcial sem a permissão da empresa.	Se não especificado - Dimensões em mm - Tolerâncias: *LINEAR: No dec: 0.5 mm 1 dec: 0.2 mm 2 dec: 0.1 mm 3 dec: 0.05 mm *ANGULAR: 0.2° - Quebrar cantos vivos.	Desenhado por: LUCAS	Escala: 1 : 2	Data: 09/10/2020
	Tampa da Camara de Baixa Pressao			
Material		Edição		Folha
				7 / 8



















Fonte: Manivela (2020)

APÊNDICE A











APÊNDICE B

Estrutura metálica	Peça/processo	Referência/ Especificação	Observação	Atividade de controle	Status
Estrutura de alumínio perfil quadrado	Dimensões do desenho técnico com a tolerância especificada	Folha 1 desenho técnico	Verificar dimensões	 	
Estrutura de alumínio perfil redondo	Dimensões do desenho técnico com a tolerância especificada	Folhas 2 e 3 desenho técnico	Verificar dimensões	 	
Montagem da estrutura metálica completa	Dimensões do desenho técnico com a tolerância especificada	Folhas 1,2 e 3 desenho técnico	Verificar dimensões e aperto de parafusos	 	
Fixação da tela de proteção	Dimensões do desenho técnico com a tolerância especificada	Folhas 1,2 e 3 desenho técnico	Verificar dimensões e aperto de parafusos	 	
Assinatura do operador: Data e hora:					

Estrutura PVC 20mm/40mm	Peça/processo	Referência/ Especificação	Observação	Atividade de controle	Status
Cortar tubos com esquadro	Seguir tabela de quantidades, dimensões e tolerâncias para os tubos PVC	Folha 1 desenho técnico	Verificar dimensões	 	
Lixar com lixa d'água 100 as extremidades dos	A superfície lixada deve ter o mesmo tamanho da bolsa das conexões	Bolsa tubo de 20mm: Bolsa tubo de 40mm:	Encaixar sem adesivo o tubo em um joelho e verificar se chega até o fim da bolsa	 	
Montagem das estruturas com adesivo PVC	A estrutura montada deve encaixar dentro do gabarito de montagem PVC	Encaixar o tubo até o fim da bolsa	Testar dimensão da estrutura com gabarito	 	
Testar soldas	O operador não deve conseguir separar as partes soldadas com as mãos	Esperar período de cura da solda para realização do teste	Verificar qualidade das soldas	 	
Assinatura do operador: Data e hora:					

Continua

Câmara de baixa pressão	Peça/processo	Referência/Especificação	Observação	Atividade de controle	Status
Cortar tubo de 300 mm	Comprimento: 250,00 mm Tolerância: ±1,00 mm	Folha 6 desenho técnico Utilizar gabarito de furação para marcar o tubo	Verificar dimensões	✓	
Realizar furações no tubo	Os furos devem seguir o gabarito de furação	Envolver tubo com gabarito e marcar posições com caneta	Verificar dimensões e posicionamento dos furos	✓	
Manômetro	Deve mostrar variação na pressão interna da câmara quando o motor for ligado	Testar com 1 motor funcionando e depois com 2 motores funcionando	Instalar manômetro em máquina de referência e verificar funcionamento	✓	
Válvula antiretorno	Deve ser aberta quando o saco for acoplado e fechada assim que o saco for descolado	Utilizar uma válvula de referência para verificar atuação das molas	Verificar se a válvula está atuando como projetado	✓	
Tampa da câmara de baixa pressão	A abertura e fechamento hermético devem estar de acordo com a máquina de referência	Os ímãs devem atuar para garantir o fechamento	Realizar operação de fechamento e abertura da tampa	✓	
Componentes de vedação	Com os motores funcionando, os manômetros devem mostrar variações semelhantes às da máquina de referência	-	Verificar variação aferida pelo manômetro	✓	
Dispositivo de acoplamento de saco	O acoplamento e desacoplamento devem funcionar de acordo com a máquina de referência	Observar polaridade dos ímãs	Testar acoplamento e desacoplamento	✓	
Assinatura do operador: Data e hora:					

Peças em FDM	Referência/Especificação	Observação	Atividade de controle	Status
Peça/processo	Calibrar impressora	Seguir manual de calibragem da Prusa	Realizar calibragem	 
Preparação da impressora	Mesa limpa	Limpar a mesa com álcool isopropílico antes de cada impressão, realizar tarefa com a mesa fria	Preparar impressora	 
Estoque de filamento	Filamentos com a ponta presa em caixas fechadas com sílica gel	A sílica gel deve ser assada na medida em que mudar cor, assar até retomar colocação transparente	Verificar armazenamento de filamento	 
Arquivos de impressão	Utilizar os arquivos especificados	Manter somente os arquivos mais atualizados no cartão de memória	Organizar cartão de memória	 
Assinatura do operador: Data e hora:				





Continua

Peças de policarbonato					
Peça/processo	Referência/ Especificação	Observação	Atividade de controle	Status	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Conferência das peças recebidas	As peças devem seguir o mesmo padrão de furação das peças modelo e não apresentar danos superficiais	Tolerância dimensional: 0,2mm	Conferir peças recebidas		
Assinatura do operador: Data e hora:					

Continua

Motorização e parte elétrica	Referência/ Especificação	Observação	Atividade de controle	Status
Peça/processo				
Motores	Motor funcionando	-	Testar motores	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Instalação elétrica	Passagem de corrente sem curto-circuito	-	Testar instalação com multímetro	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Assinatura do operador: Data e hora:				

Continua

Sacos costurado		Status
Peça/processo	Atividade de controle	Status
Dimensões	Comparar com saco de referência	 
Zipper	Testar funcionamento do zipper	 
Referência/Especificação	Observação	
Saco de referência	-	
O zipper deve abrir e fechar completamente com facilidade	-	
Assinatura do operador: Data e hora:		