



4.1

INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento Acadêmico de Sistemas, Processos e Controles Industriais

Engenharia Mecânica

FERNANDA GONÇALVES OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE PLANO DE MANUTENÇÃO PARA O SETOR DE  
MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA**

Recife

2024

FERNANDA GONÇALVES OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA O SETOR DE  
MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Departamento Acadêmico de Sistemas, Processos e Controles Industriais em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa

Recife

2024

Ficha elaborada pela bibliotecária Maria do Perpétuo Socorro Cavalcante  
Fernandes CRB4/1666

O48e  
2024 Oliveira, Fernanda Gonçalves.

Elaboração de plano de manutenção para o setor de manufatura aditiva na indústria.

--- Recife:

O autor, 2024.

124f. il. Color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Pernambuco, 2024.

Inclui Referências e apêndices.

Orientador: Professor Dr, José Ângelo Peixoto da Costa.

1. Engenharia Mecânica. 2. Impressora 3D. 3. SAP. 4. Fabricação de Filamento. 5. Filamento Fundido I. COSTA, José Ângelo Peixoto da (orientador). II. Instituto Federal de Pernambuco. III. Título.

CDD 532 (21ed.)

FERNANDA GONÇALVES OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA O SETOR DE  
MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA**

Trabalho aprovado. Recife, 09 / 01 / 2024.

---

Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa  
Professor Orientador

---

Prof. Dr. Héber Cláudius Nunes Silva  
Avaliador Interno

---

Prof. Dr. Alex Elton de Moura  
Avaliador Externo

Recife

2024

Às casualidade e causalidade da vida....

## **AGRADECIMENTOS**

De acordo com o Google, “Os agradecimentos de TCC consistem em uma página em que o autor do trabalho tem a oportunidade de mostrar sua gratidão a tudo e todos os que o ajudaram ao longo do processo de aprendizado”.

Então me pergunto: como agradecer a TUDO E TODOS que contribuíram nesses quase 8 anos de faculdade em UMA PÁGINA?

Para mim parece uma missão impossível, pois nesse período tive: as instituições de ensino no qual estudei; os meus familiares; os colegas que conheci; a equipe de docentes que me formaram; os grupos de pesquisas que participei; os profissionais da área que encontrei; as empresas que estagiei e trabalhei; os servidores e terceirizados que fazem serviços tão importantes, mas são muitas vezes esquecidos; as experiências de internacionalização e extensão ao qual participei; e claro, a mim.

Enfim, muita gente.

Então, pensando com meus botões, decidi que para não ser injusta com a maioria e citar apenas alguns nomes, vou ser injusta com todo mundo e não vou especificar ninguém.

Assim, meus agradecimentos vão às casualidades e causalidades da vida, as quais me permitiram chegar até aqui e ter toda essa trajetória, ao qual também dedico esse trabalho.

*“Manutenção é isto...  
Quando tudo vai bem, ninguém lembra que existe;  
Quando algo vai mal, dizem que não existe;  
Quando é para gastar, acha-se que não é preciso que exista;  
Porém, quando realmente não existe,  
Todos concordam que deveria existir.”*

Arnold Sutter

## RESUMO

A Manufatura Aditiva tem ajudado a impulsionar o setor de manutenção como um diferencial competitivo na indústria, ao possibilitar a fabricação interna de peças de reposição aliada com o abatimento das despesas com frete e estoque, permitindo que a área atue com a metodologia *Just in time*. Porém, os maquinários com tecnologia de fabricação aditiva não estão sendo incorporados como um ativo incluso na gestão da manutenção. Há uma lacuna nas pesquisas em relação aos custos de manutenção e sua importância para as máquinas de Manufatura Aditiva, assim como, quais as rotinas de diagnósticos, e suas periodicidades, que devem estar presentes para aumento da vida útil com máxima efetividade e taxa de utilização possível desses equipamentos. Este trabalho apresenta a elaboração de planos de manutenção com postura preventiva para o setor de Manufatura Aditiva na indústria de modo a se tornar atividades padronizadas presentes na rotina dos mantenedores. Para isso, a metodologia é implementada em uma máquina com tecnologia de Fabricação de Filamento Fundido (FFF), método com maior democratização e que popularizou o termo impressão 3D. A ferramenta de gestão utilizada para implantação é o software SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*) que gera as Ordens de Serviços de maneira periódica. Como resultados foram elaborados os seguintes planos preventivos sistemáticos: (I) planos de inspeções visuais, os mantenedores e operadores utilizam a subjetividade dos cinco sentidos para detectar mudança nas características e preenchem um lista de checagem de situação conforme ou não conforme; (II) roteiros de lubrificação, para reduzir o atrito e desgaste entre os ajustes dos elementos mecânicos com movimento relativo; (III) planos de troca preventiva, execução da troca de componentes desgastados e itens de sacrifício para conservar componentes mais valiosos dos maquinários. O registro dos dados a serem obtidos a partir da execução dos planos elaborados no SAP torna possível, em trabalhos futuros, comparar e avaliar o custo com manutenção corretiva planejada, corretiva emergencial e preventiva nas máquinas de manufatura Aditiva. Além disso, o histórico criado com a abertura das notificações permitirá aferir se há a necessidade da criação de um plano de intervenção preventiva para cada conjunto do equipamento e a periodicidade média para evitar a ocorrência de pane ou quebra.

Palavras-chave: impressora 3D; SAP; fabricação de filamento fundido.

## ABSTRACT

Additive Manufacturing has played a significant role in advancing the maintenance sector as a competitive differentiator within the industry. It enables the in-house manufacturing of spare parts while simultaneously reducing shipping and inventory expenses, thereby facilitating the adoption of the Just-in-Time methodology. However, machinery incorporating additive manufacturing technology is often not considered an asset within maintenance management. This research gap overlooks the critical aspect of maintenance costs and their relevance for Additive Manufacturing machines. Moreover, there is a lack of understanding regarding diagnostic routines and their optimal frequency to maximize the useful life and utilization rate of these devices. This study addresses the development of preventive conservation plans tailored for the Additive Manufacturing sector, with the aim of standardizing keeping activities in the routines of maintainers. To achieve this, a methodology is implemented focusing on a machine utilizing Fused Filament Manufacturing (FFF) technology, a method that has significantly contributed to the democratization of 3D printing. The implementation utilizes SAP software (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*) to generate Service Orders periodically. Consequently, systematic preventive plans have been devised: I. Visual inspection plans: Maintenance personnel and operators employ subjective assessments using the five senses to detect changes in characteristics. They then complete a checklist detailing compliant or non-compliant situations. II. Lubrication routes: These are established to reduce friction and wear between mechanical elements with relative movement. III. Preventive exchange plans: This involves executing the replacement of worn components and sacrificial items to preserve the integrity of the machinery's critical pieces. Recording the data obtained from the execution of these plans in SAP enables future comparison and evaluation of the costs associated with a planned corrective, emergency, and preventive maintenance on additive manufacturing machines. Additionally, the historical data derived from notification records will facilitate assessing the necessity for creating preventive intervention plans for each equipment set and determining the optimal frequency to prevent breakdowns or malfunctions.

Keywords: 3D printing; SAP; fused filament manufacturing.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Exemplos de transações do SAP PM.	62
Tabela 2. Exemplos de tipos de notificação e ordens de manutenção no SAP.	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação dos processos de fabricação e alguns exemplos.	28
Figura 2. Classificação dos processos de MA e alguns exemplos.	30
Figura 3. Representação da tecnologia MEX.	31
Figura 4. Exemplos de princípios de alimentação das tecnologias MEX.	31
Figura 5. Impressoras 3D: (a) Sermoon D3, estrutura enclausurada; (b) Ender-3 V3 SE, estrutura aberta.	33
Figura 6. Exemplos de extrusoras: (a) Engrenagem e polia; (b) dupla engrenagem; (c) dupla engrenagem com redução.	33
Figura 7. Extrusora (a) <i>Direct Drive</i> e (b) Bowden.	34
Figura 8. Impressoras com extrusores em paralelo: (a) BCN3D SIGMAX, independentes; (b) 3D Printbot Metal Plus, semi-independente; (c) bq prusa i2 Hephestos com <i>Diamond Hotend</i> , combinador ou misturador	34
Figura 9. <i>Hotend</i> e seus componentes.	35
Figura 10. Tipos de <i>Hotend</i> e gargantas: (a) <i>all-metal</i> ; (b) metal do PEEK; (c) metal com PTFE.	36
Figura 11. Bloco aquecedor isolado com (a) silicone e (b) fibra de cerâmica.	36
Figura 12. Exemplos de materiais usados na construção de bicos: (a) latão, padrão; (b) aço inoxidável; (c) aço temperado; (d) titânio; (e) vanádio; (f) tungstênio; (g) latão com ponta de rubi.	37
Figura 13. Modelos de bico: (a) CHT; (b) Volcano; (c) MK8; (d) MK10; (e) V6.	37
Figura 14. Plataforma de impressão: (a) vidro ou vidro temperado; (b) espelho; (c) Aço mola com PEI.	38
Figura 15. Nivelamento com mola e espaçador de silicone, respectivamente.	38
Figura 16. Sistema de movimentação CoreXY e Cartesiana, respectivamente.	39
Figura 17. Sistema de movimentação delta.	40
Figura 18. Itens responsáveis pela movimentação dos eixos.	40
Figura 19. Comparativo entre sistemas de movimentação linear vertical.	41
Figura 20. Sistema V-SLOT e seus componentes.	42
Figura 21. Sensor <i>endstop</i> e sistema fim de curso.	42
Figura 22. Sensor (a) de fim de filamento e (b) para auto nivelamento.	43
Figura 23. Ciclo de melhoria constante da manutenção.	47
Figura 24. Impressora 3D CR-5060 PRO.	49
Figura 25. Componentes da impressora 3D CR 5060 Pro.	51
Figura 26. Sistema de renovação e filtragem de ar.	52
Figura 27. (a) Extrusora CR-6 desmontada e (b) Motor de passo Creality 42-40.	52
Figura 28. Extrusora CR-6 montada.	53
Figura 29. Extrusora <i>Titan</i> e <i>Bowden</i> , respectivamente.	53
Figura 30. <i>Hotend</i> da CR-5060 Pro	54
Figura 31. Plataforma de construção <i>CR-5060 Pro</i> .	55
Figura 32. Eixo X da impressora 3D CR-5060 Pro.	55
Figura 33. Guia linear HIWINN MGWR12H e patim HIWINN MGW12H.	56

Figura 34. Estrutura H do eixo Y.	56
Figura 35. Motor de passo do eixo Y.	57
Figura 36. Correias e polias sincronizadoras do eixo Y.	57
Figura 37. Rolamento FL000 e limitadores dos fusos trapezoidais.	58
Figura 38. Sistema de transmissão de torque do eixo Z.	58
Figura 39. Guias lineares do eixo Z.	59
Figura 40. Sensor (a) fim de filamento e (b) auto nivelamento.	59
Figura 41. Fluxograma do processo de manutenção no SAP PM.	61
Figura 42. Visualização da impressora 3D na árvore de equipamento do SAP.	61
Figura 43. Lista técnica de conjuntos da impressora 3D CR 5060-PRO.	64
Figura 44. Lista técnica do Conjunto Eixo X 3D-01.	65
Figura 45. Lista técnica do Subconjunto <i>Hotend</i> 3D-01.	66
Figura 46. Lista técnica do Subconjunto Extrusora <i>Titan</i> 3D-01.	66
Figura 47. Lista técnica do conjunto extrusora <i>Bowden</i> 3D-01.	67
Figura 48. Lista técnica dos Conjuntos Eixo Y e Z 3D-01.	68
Figura 49. Lista técnica do conjunto filtragem de ar 3D-01.	69
Figura 50. Lista técnica do conjunto estrutural 3D-01.	69
Figura 51. Exemplo do manual fotográfico da lista técnica.	70
Figura 52. Página inicial da IP42.	70
Figura 53. Exemplo de nomenclatura do plano na IP41.	71
Figura 54. Segunda seção do IP41.	72
Figura 55. Check List de pré-manutenção gerada no SAP.	72
Figura 56. Check List de pós-manutenção gerada no SAP.	73
Figura 57. Exemplos de etiquetas.	74
Figura 58. Fluxograma ao encontrar não-conformidades.	76
Figura 59. Página 1 do plano de inspeção sensitiva.	77
Figura 60. Página 2 do plano de inspeção sensitiva.	78
Figura 61. Roteiros de inspeções programadas pelo SAP.	79
Figura 62. Exemplo de patim com pino graxeiro.	80
Figura 63. Graxeira lubrificando patim.	80
Figura 64. Caderno de lubrificação relativo à impressora 3D CR-5060 PRO	82
Figura 65. Transação IA07 mostrando a periodicidade programada.	83
Figura 66. <i>Pick list</i> do plano de lubrificação.	84
Figura 67. Lista de checagem da lubrificação dos conjuntos eixo X e Y 3D-01.	85
Figura 68. Lista de checagem da lubrificação do conjunto eixo Z 3D-01.	85
Figura 69. Carbonização de tubo PTFE no <i>Hotend</i> .	86
Figura 70. Comparação de um bico novo com um usado.	87
Figura 71. Interno do Bico de latão e aço, respectivamente, após operação.	87
Figura 72. Representação de correia de transmissão folgada	88
Figura 73. Engrenagem tracionadora desgastada.	88
Figura 74. Periodicidade das operações de troca programada.	89
Figura 75. Operação 030, para troca do tubo PTFE do <i>Hotend</i> .	89
Figura 76. Lista de material da operação 030 - troca do tubo PTFE do <i>Hotend</i> .	90
Figura 77. Agendamento para execução dos planos de manutenção preventiva.	91

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. <i>Gartner Hype Cycle</i> para Manufatura Aditiva e suas aplicações.	15
Gráfico 2. Artigos por revista.	20
Gráfico 3. Artigo por ano de publicação.	21
Gráfico 4. Artigo por tema.	22

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	17
<b>2.</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b>	<b>19</b>
2.1	PERIÓDICOS INTERNACIONAIS E A MANUFATURA ADITIVA	19
2.2	ACADEMIA BRASILEIRA E A MANUFATURA ADITIVA	24
<b>3.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>27</b>
3.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR ADIÇÃO DE MATERIAL	27
3.1.1	<i>Manufatura Aditiva por extrusão de material (MEX)</i>	31
3.1.1.1	Fabricação de Filamento Fundido (FFF)	32
3.2	MANUTENÇÃO	43
3.2.1	<i>Manutenção Corretiva</i>	44
3.2.2	<i>Manutenção Preventiva</i>	45
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>48</b>
4.1	MODALIDADE DE PESQUISA	48
4.2	CAMPO DE OBSERVAÇÃO	48
4.2.1	<i>Impressora 3D CR-5060 Pro</i>	49
4.2.1.1	Componentes Mecânicos	51
4.3	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	60
4.3.1	<i>SAP PM</i>	60
4.4	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA INVESTIGAÇÃO	61
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISE</b>	<b>63</b>
5.1	LISTA TÉCNICA	63
5.2	PLANOS PREVENTIVOS	70
5.2.1	<i>Inspeção sensitiva</i>	73
5.2.2	<i>Roteiro de Lubrificação</i>	79
5.2.3	<i>Troca de itens de desgastes</i>	86
5.2.4	<i>Plano de intervenção preventiva</i>	90
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>93</b>
<b>7.</b>	<b>PERSPECTIVAS</b>	<b>94</b>
	REFERÊNCIAS	95

<b>APÊNDICE A – LISTA TÉCNICA</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE B – LISTA DE CHECAGEM DIÁRIA</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE C – LPP PLANO M3D3D01-0002</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE D – OPERAÇÕES E <i>PICK LISTS</i> DO PLANO M3D83D01-0003</b>	<b>120</b>

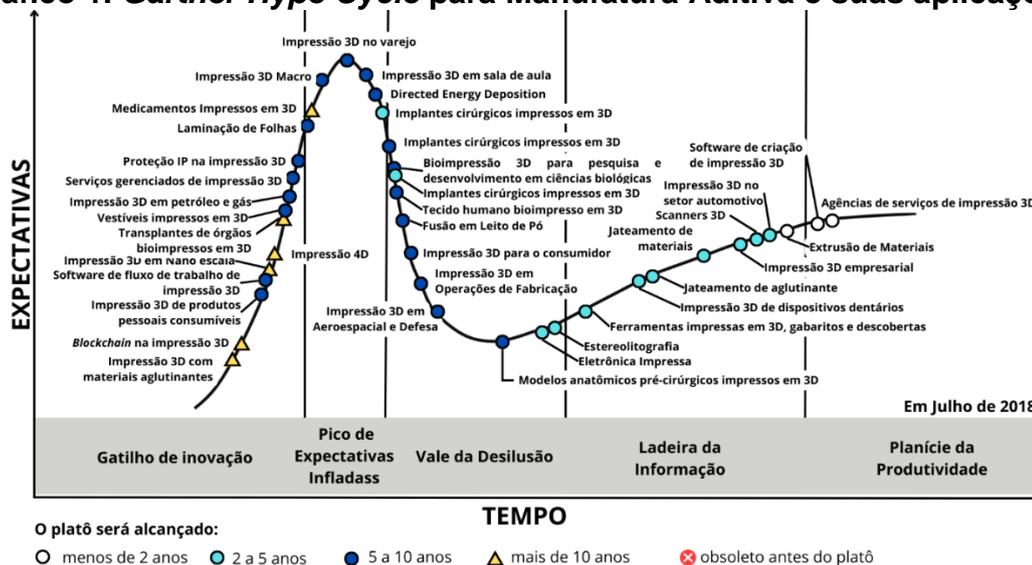
## 1. INTRODUÇÃO

US\$ 295,1 milhões, foi o valor apurado por WOHLERS (1996) em receita global gerada pela venda de produtos e serviços relacionados à Manufatura Aditiva em 1995. Vale destacar que, o processo de fabricação por adição de material existia apenas há 14 anos e ainda recebia a denominação de Prototipagem Rápida, devido à aplicação estar voltada para uma primeira materialização de ideias, ou para itens de mostruário. Outro ponto a ser destacado, é que ainda não tinha se estabelecido o mercado das máquinas desktop – impressora 3D de mesa.

Duas décadas depois, o evento *Global Agenda Council On The Future Of Software & Society* (2015) classifica a Impressão 3D como uma das seis megatendências tecnológicas que geram e gerarão mudanças significativas na sociedade, não só em relação a Indústria 4.0 (fabricação e produtos de consumo), mas também em relação a saúde humana e meio ambiente.

Essa alegação é ainda mais nítida na metodologia *Gartner Hype Cycle* (Gráfico 1), publicada em 2018, que representou graficamente o ciclo de vida das tecnologias e aplicações relacionadas à Manufatura Aditiva. É possível constatar que, as agências de serviço de impressão 3D e os *softwares* de criação de impressão 3D já estavam no patamar de produtividade, ou seja, sendo amplamente aplicada no mercado, apresentando grande relevância e atendendo as necessidades nos negócios (Basiliere; Shanler, 2018).

**Gráfico 1. Gartner Hype Cycle para Manufatura Aditiva e suas aplicações.**



Fonte: Adaptado de Basiliere e Shanler, 2018.

Porém, a Manufatura Aditiva não atingiu seu apogeu, pois há tecnologias em todos os estágios de desenvolvimento. Segundo o Gráfico 1, por exemplo, na etapa “Ladeira da Informação” estavam os usos da impressão 3D em dispositivos odontológicos e no setor automotivo, com expectativa de atingir a produtividade até 2023. Na fase de “Vale da Desilusão”, estava a impressão 3D em operação de fabricação e no seu uso diretamente pelo próprio consumidor. No “Pico das Expectativas Inflamadas” estavam o uso da impressão 3D no varejo e nas salas de aula. E, em estados embrionários, no “Gatilho de Inovação”, o novo conceito de impressão 4D, a qual já tinha dado seus passos iniciais (Basiliere; Shanler, 2018).

A desaceleração da inovação na Manufatura Aditiva não é algo vislumbrado, principalmente, no uso para fabricação de peças funcionais. A grande variedade de equipamento com custos acessíveis que surgiu no mercado mundial, a partir da iniciativa “RepRap”, a qual incentivou que as indústrias de pequeno e médio porte também incorporassem essa tecnologia (Sampaio, 2017).

A área de manutenção, em particular, tem utilizado a Manufatura Aditiva como uma ferramenta da gestão otimizada na manutenção das indústrias, através da internalização de peças de reposição e ferramentas. Esta permite que o setor atue com a metodologia *Just in time*, se beneficiando, assim, da redução de custo com frete e estoque (Matias, 2022).

Assim sendo, a presença de equipamentos cada vez mais sofisticados na indústria, tem compelido que as empresas tratem a manutenção industrial como um diferencial competitivo de modo que, suas intervenções, garanta o aproveitamento máximo do ativo, aliada a melhoria constante e zero defeitos (Viana, 2022).

Com as máquinas de Manufatura Aditiva não é diferente, pois são exigidos desses equipamentos alta produtividade e disponibilidade, porém, notasse uma negligência nas empresas em relação ao seu planejamento e controle da manutenção. Há ainda lacunas nas pesquisas em relação as rotinas diagnosticas, as quais devem estar presente no plano de manutenção desses equipamentos para aumento da sua vida útil com máxima efetividade e taxa de utilização possível.

## 1.1 Justificativa

Assim, o presente estudo se justifica ao contribuir com o processo de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) dos itens físicos relativos aos setores de Manufatura Aditiva na indústria.

A primeira etapa para se adicionar o ativo de maneira eficiente no sistema de gerenciamento de manutenção da empresa é determinar os seus requisitos de manutenção. Ou seja, analisar as diversas formas de como os seus componentes pode vir a falhar, visualizando, por meio disso, as medidas de bloqueio pertinentes a serem tomadas (Viana, 2022).

O recolhimento dos dados pode partir de recomendações do fabricante, de pesquisas bibliográficas e de informações reunidas pelo histórico de manutenção do equipamento na empresa, sendo o uso de sistemas de gerenciamento é essencial para se ter uma rastreabilidade das intervenções mantenedoras (Viana, 2022).

A partir dessa premissa, o cunho prático do estudo será incorporar o setor de Manufatura Aditiva no sistema de gerenciamento de manutenção da indústria, mais especificamente no *software* SAP (*Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung*), através da criação de planos de manutenção preventivos.

A execução das Ordens de Serviços (OS) de maneira periódica, permitirá o levantamento e condensação das informações sobre o equipamento de Manufatura Aditiva de modo que venha se identificar as funções e falhas funcionais, seguido da análise de modos de falhas e definições das intervenções preventivas específicas para aquele ativo naquelas condições de trabalho.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é elaborar planos de manutenção sistemática, com caráter preventivo, para o setor de Manufatura Aditiva na indústria de modo a minimizar falhas funcionais nos ativos do setor e potencializar a sua vida útil.

Para isso, os seguintes objetivos específicos são contemplados:

- Verificar o estado da arte em relação a Manufatura Aditiva;
- Fazer a revisão de literatura envolvendo a problemática trabalhada;
- Alocar um equipamento de Manufatura Aditiva no sistema SAP;

- Elaborar planos de manutenção preventivos pertinentes as máquinas de Manufatura Aditiva;
- Alocar esses planos no sistema de gestão de manutenção SAP;
- Desenvolver instruções de trabalhos, lista de checagem ou Lição Ponto a Ponto (LPP) para auxiliar na execução das atividades mantenedoras;

## 2. ESTADO DA ARTE

No relatório *3DP Survey*, a organização *EY global*<sup>1</sup>, ao entrevistar 900 companhias de nove setores industriais diferentes, de 13 países, no período de 2016 para 2019, constatou que quase dobrou o número de empresas a aplicar a Manufatura Aditiva em peças funcionais (Karevska *et al.*, 2019).

Não só isso, nesse mesmo período, passou de 24% para 65% o número de empresas que aplicavam as tecnologias de Manufatura Aditiva e de 4% para 20% o número de companhias que afirmaram que tinham planos de integrá-las em seus negócios como um diferencial estratégico (Karevska *et al.*, 2019).

A Wohlers Associates, em 2022, constata que 30,5% das tecnologias de Manufatura Aditiva são aplicadas para produção de peças de uso final (Campbell, *et al.*, 2023), um cenário inexplorável quando o primeiro relatório foi publicado há 26 anos.

Nesse mesmo ano, globalmente, o valor da receita apurado pelos produtos e serviços relacionados a Manufatura Aditiva foi de US\$ 18,01 bilhões (Nova One Advisor, 2023). O aumento do interesse do mundo empresarial na Manufatura Aditiva é refletido nos investimentos das pesquisas acadêmicas.

### 2.1 Periódicos internacionais e a Manufatura Aditiva

A editora digital Emerald Publishing, em 1995, publicou o primeiro volume do *Rapid Prototyping Journal*<sup>2</sup>, revista internacional especializada em Manufatura Aditiva e Impressão 3D, com o total de quatro edições no ano. Na edição nº 1, de março, houve a publicação de apenas quatro artigos e todos usavam o termo “Prototipagem Rápida”.

A partir do volume nº 7, publicado em 2001, começou a ser produzido cinco edições ao ano, mas ainda se usava o termo “Prototipagem Rápida”. No ano de 2010, o termo Manufatura Aditiva já estava sendo utilizado e se publicava seis edições ao ano.

---

<sup>1</sup> EY refere-se Ernst & Young Global Limited, uma empresa do Reino Unido.

<sup>2</sup> ISSN: 1355-2546.

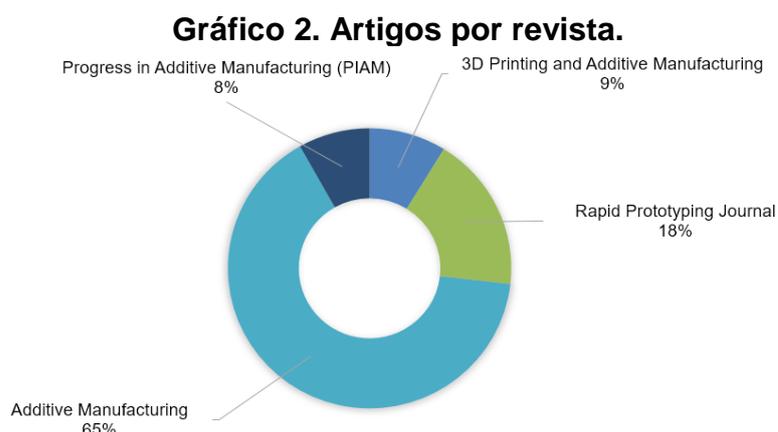
Com o reconhecimento da inovação que a Manufatura Aditiva estava gerando em múltiplas aplicações, mais revistas foram surgindo focadas exclusivamente nas suas tecnologia e aplicabilidade. Em março de 2014, a empresa Mary Ann Liebert, Inc. publicou no seu portfólio as boas-vindas para a revista *3D Printing and Additive Manufacturing*<sup>3</sup>.

Em outubro desse mesmo ano, a editora Elsevier incluiu na *ScienceDirect*, sua base de dados multidisciplinar de livros e periódicos, a revista revisada por pares *Additive Manufacturing*<sup>4</sup>, com uma edição inaugural contendo treze artigos.

Cerca de dois anos depois, em junho de 2016, a editora global Springer Nature também adicionou no seu portfólio a revista *Progress in Additive Manufacturing (PIAM)*<sup>5</sup>, a qual contém artigos completos e de revisão sobre tópicos associados a Manufatura Aditiva.

É curioso observar, que no surgimento dessas três últimas revistas as tecnologias de fabricação aditiva progrediram e se difundiram de tal maneira que seu uso não se restringia mais a criação de protótipos, caindo em desuso o termo “Prototipagem Rápida”, substituído pelos vocábulos “Manufatura Aditiva” e “impressão 3D”, já bastante popular nos artigos.

Ao total 4199 artigos foram levantados nessas quatro revistas. Destes, 2731 pertencem à *Additive Manufacturing*, seguido de 756 artigos da *Rapid Prototyping Journal*, 369 artigos da *3D Printing and Additive Manufacturing* e 343 da PIAM (Gráfico 2).



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

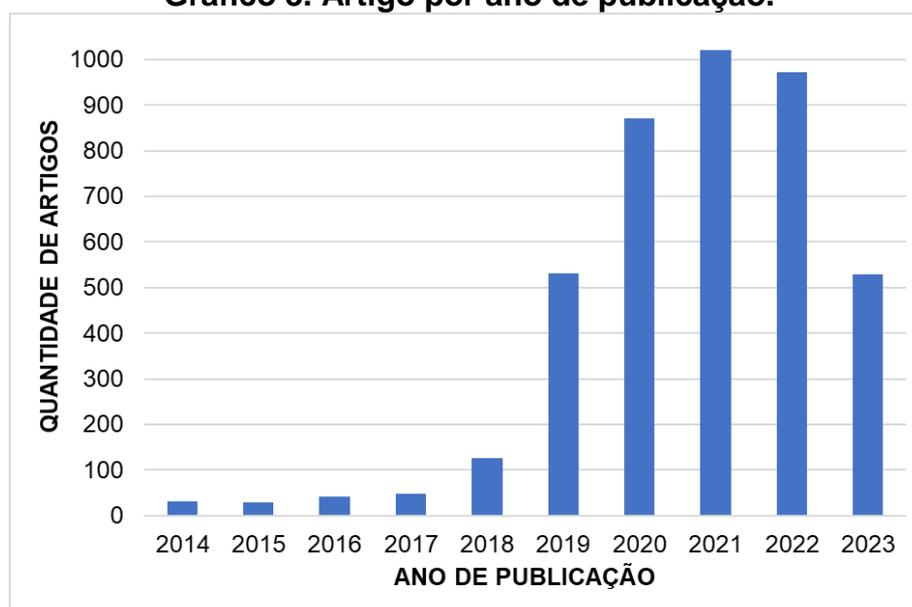
<sup>3</sup> ISSN: 2329-7662; Online ISSN: 2329-767.

<sup>4</sup> ISSN: 2214-8604; Online ISSN: 22144-7810.

<sup>5</sup> ISSN: 2363-9520; Online ISSN: 2363-9512.

Avaliando por Ano de publicação, em 2021 foram encontrados 1021 artigos, seguido de 2022, 2020 e 2019 com 972, 872 e 531 artigos, respectivamente. Entre janeiro e setembro de 2023 – ano de desenvolvimento desse capítulo – foram tratados 529 artigos. Já no período de 2014 a 2018, o quantitativo de artigo foi de 274 (Gráfico 3).

**Gráfico 3. Artigo por ano de publicação.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

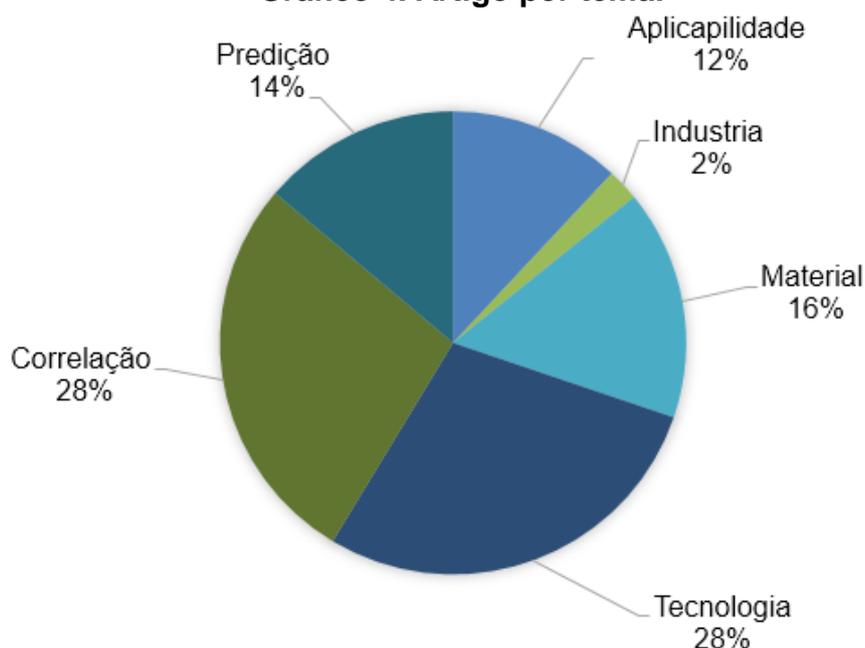
Vale ressaltar que, a exploração dos artigos nas revistas *3D Printing and Additive Manufacturing* e *PIAM* foi realizada a partir das suas primeiras edições. Já o apuramento nas revistas *Additive Manufacturing* e *Rapid Prototyping Journal* começou na publicação em 2019, ambos no volume N° 25.

Como os tópicos usados pelas revistas para classificar os artigos publicados são discrepantes, para fins desse trabalho, os artigos focados na Manufatura Aditiva são classificados em uma das cinco categorias a seguir (Gráfico 4):

- Aplicabilidade, quando o foco principal é no uso da Manufatura Aditiva para atender alguma demanda na sociedade;
- Correlação, observações de causa e efeito realizado entre a Manufatura Aditiva e a peça final fabricada;
- Indústria, estudos com atenção entre a relação da Manufatura Aditiva com a Indústria;
- Material, enfoque no desenvolvimento ou melhoria de matéria prima para uso nas máquinas de Manufatura Aditiva;

- Predição, interesse em desenvolver modelagem que possa prever o resultado da Manufatura Aditiva;
- Tecnologia, trabalhos centrados em descrever as características ou o desenvolvimento de uma tecnologia ou sub tecnologia na área da Manufatura Aditiva.

**Gráfico 4. Artigo por tema.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O tópico com maior dedicação é de Tecnologias com 1193 artigos. As tecnologias desenvolvidas na Manufatura Aditiva ocorrem em qualquer uma das três fases do processo. Por exemplo, na fase digital, Xiong e colaboradores (2020) propõe uma técnica de otimização estrutural que leva em consideração as restrições de fabricação Aditiva baseada em pó.

Na fase de Fabricação, propriamente dito, pode ser citado Dávila e coautores (2022) que adaptaram um cabeçote de seringa em uma impressora 3D de código aberto para ampliarem sua utilização para géis, pastas e tintas. Já Wunner *et al.* (2019) construiu uma impressora 3D de tecnologia eletro escrita por fusão (MEW - *Melt-electrowriting*) com oito cabeçotes para fabricação em larga escala.

Na finalização, também há pesquisas em desenvolvimento como Huber, Stich e Fischer (2021) que desenvolveram uma nova abordagem de pós-processamento, através do tratamento térmico, para as peças de aço inox produzido pela tecnologia de impressão 3D de Jato de ligante (BJAM - *Binder Jet Additive Manufacturing*). Em questão de controle de qualidade, Williams, Lear e Shokouhi (2023) utilizam testes

ultrassônicos lineares e não lineares como teste não destrutivo para avaliar as propriedades mecânicas de aço inoxidável produzida pela tecnologia de Manufatura Aditiva por Fusão em Leito de Pó (PBF – *Powder Bed Fusion*).

Dada a complexidade e o potencial de variabilidade, os quais componentes fabricados por Manufatura Aditiva apresentam nas suas propriedades, a segunda temática mais abordada foi a de correlação, com 1157 artigos. Como a referência de Shoukr *et al.* (2023) que relacionam o parâmetro de espessura de camada da tecnologia de Fusão em Leito de Pó a Laser (L-PBF - *Laser-powder Bed Fusion*) com as propriedades mecânicas e microestruturas finais obtidas nas peças produzidas.

A criação de uma tinta radiopaca para Manufatura Aditiva de dispositivos médicos e fantasmas, desenvolvido por Shannoin e coautores (2020), é um dos 675 artigos com alvo em inovação de Materiais para a Manufatura Aditiva. Também são verificadas pesquisas para caracterizar materiais já consolidados na Manufatura Aditiva, como o estudo de Alhallak, Tirkes e Tayfun (2020) que focou no Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS) preenchido com Bentomina para determinar suas características mecânicas, térmicas e morfológicas.

Em relação aos estudos de Predição (580 publicações), há dois grupos: (I) Modelagem Computacional; e (II) Modelagem analítica. Para peças fabricadas por modelagem de deposição fundida (FDM), Choran e colaboradores (2022) demonstraram um algoritmo que prevê o acabamento superficial, dureza e precisão dimensional delas após tratamento químico com suavização de vapor. Já Cerda-Avila; Medellín-Castillo e Lim (2021) focaram em modelos analíticos para prever o seu comportamento mecânico estrutural.

Planejamento Cirúrgico (Jacobson *et al.*, 2022), órteses (Wojnarowska *et al.*, 2022) e próteses (Savsani, Singh e Mali, 2023), Indústria Civil (Plessis *et al.*, 2021), eletrônicos (Espera Jr. *et al.*, 2019), Equipamento de Proteção Individual (Clifton; Damon; Archer, 2020), Moldes de injeção (Kapil *et al.*, 2020), Aviação (Wang *et al.*, 2022), odontologia (Park, Cheong, *et al.*, 2022), são alguns dos setores em que a Manufatura Aditiva tem sido aplicada. O tópico de aplicabilidade apresentou 501 artigos.

E por último, o tópico de indústria que apresentou, irrisoriamente, apenas 93 artigos. É dado destaque para Lee, Pei e Um (2019) que realizam uma revisão de literatura sobre os documentos de padronização na área de Manufatura Aditiva.

Savolainen e Callan (2020) demonstram as mudanças incrementais e disruptiva da utilização da Manufatura Aditiva nos negócios. Já Sonar, Khanzode e Akarte (2020), encontraram quatorze fatores-chave no setor manufatureiro indiano que influenciam no sucesso da implementação da Manufatura Aditiva. Além disso, Klahn *et al.* (2020) desenvolveu uma ferramenta para realizar mapeamento prévio de peças passíveis de serem fabricadas por Manufatura Aditiva.

Ren, Choi e Schneider (2022), assim como Liu, Zhu e Ye, (2020), criaram uma metodologia para selecionar a tecnologia de Manufatura Aditiva, ideal de acordo com as necessidades dos negócios. O cálculo da Eficácia Global dos Equipamento (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*) de Manufatura Aditiva é abordado por Basak e colaboradores (2022) que indicam como usá-lo para aumentar a eficácia da produção de peças com customização em massa.

Para auxiliar na estimativa do custo de investimento para implementação da Manufatura Aditiva, Griffin, Hale e Jin (2022) desenvolveram um *framework*, o qual faz a estimativa de acordo com a tecnologia pretendida a partir de indicadores de desempenho de lucro, rendimento e tempo de equilíbrio.

Para o amadurecimento contínuo do processo, Rahman *et al.* (2022) propõem um processo integrado que capture dados durante toda cadeia de processo da Manufatura Aditiva unido ao feedback de cadeia fechada. Parvanda e Kala (2023) tratam sobre as tendências, oportunidades e desafios na integração da fabricação Aditiva com a Indústria 4.0.

## **2.2 Academia brasileira e a Manufatura Aditiva**

Na comunidade acadêmica Brasileira, também há publicações com foco na Manufatura. Por exemplo, No Catálogo de Teses & Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foram encontrados 575 trabalhos entre dissertações (431) e teses (144) publicados de 1998 a 2023.

Em repositórios de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foram encontrados 164 documentos dentro da temática. Entre os repositórios pesquisados estão: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC); universitário

da Ânima (RUNA); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); e Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

O tópico mais abordado nos trabalhos levantados é de aplicabilidade, com 271 trabalhos de conclusão. As áreas são semelhantes às encontradas nas revistas internacionais, como: Acessibilidade (Rodrigues, 2019); Ginecologia (Chrispin, 2020), Instrumentos musicais (Tossini, 2021); Oftalmologia (Barczewski, 2021); Educação (Raposo, 2021); Farmacêutica (Junqueira, 2023); Moda (Brito, 2022); Automobilística (Gaulio, 2022); Produção de Alimentos (Stringari; Schiesl, 2022); Joias (Grisci, 2022).

Como a Manufatura Aditiva também está sendo aplicada no ambiente doméstico, principalmente as tecnologias baseadas em extrusão termoplástica (MEX - *Material EXtrusion*), Buhagiar (2022) fez um levantamento da relação entre os usuários e o uso dessa tecnologia para confecção de artefatos caseiros.

Já com a temática indústria, 59 trabalhos foram encontrados. Em 2019, o alvo de várias pesquisas foram os impactos nos modelos de negócio com a adoção da Manufatura Aditiva e das demais práticas da indústria 4.0 (Franco, 2019; Fernandes, 2019). Neste mesmo ano, Calderaro (2019) desenvolveu uma ferramenta de suporte para seleção adequada da tecnologia de Manufatura Aditiva, levando em consideração objetivos empresariais e os critérios competitivos.

Um passo a passo para introduzir as novas tecnologias da indústria 4.0, o que inclui a Manufatura Aditiva, nos processos industriais é apresentado por (Franco, 2020). Um levantamento realizado por Almeida (2020) identificou os principais desafios para a implementação das tecnologias de Manufatura Aditiva no Brasil, tema também abordado por Pereira (2022).

Nogueira (2021) focado também na indústria brasileira, desenvolveu um sistema para mensurar os impactos da aplicação da Manufatura Aditiva, através da análise e medição de desempenho pelos Indicador-chave de desempenho (KPI - *Key Performance Indicators*).

Aplicado a indústria de alimentos e bebidas, Matias (2022) demonstra o passo a passo da implementação de um centro técnico de impressão 3D como área de suporte para o setor de manutenção da empresa, ou seja, para produzir peças de reposição, ferramentas e protótipos.

Não há dúvidas, que a Manutenção Indústria será impulsionada com a implementação da Manufatura Aditiva, uma vez que, permite a internalização de peças de reposição aliada com abatimento das despesas com frete e estoque (Matias, 2022). Porém, e a manutenção das máquinas de Manufatura Aditiva?

Nota-se que as máquinas de Manufatura Aditiva são abordadas sempre como uma ferramenta para gestão otimizada nas indústrias e não como um ativo incluso na gestão da manutenção. Há uma lacuna nas pesquisas em relação aos custos da gestão de manutenção e sua importância para as máquinas de Manufatura Aditiva, assim como, quais as rotinas de diagnósticos que devem estar presentes para aumento da vida útil com máxima efetividade e a taxa de utilização possível desses equipamentos.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo é apresentado a base teórica para fundamentar a elaboração dos planos de manutenção preventivo para o setor de Manufatura Aditiva na indústria. A abordagem deste trabalho não inclui: a escolha da tecnologia ou do modelo (Calderaro, 2019); a análise de viabilidade da aplicação na empresa (Mançanares, 2016); o passo a passo para implementação do setor (Matias, 2022); ou os impactos no modelo de negócio com sua adoção (Franco, 2019).

#### 3.1 Processo de Fabricação por Adição de Material

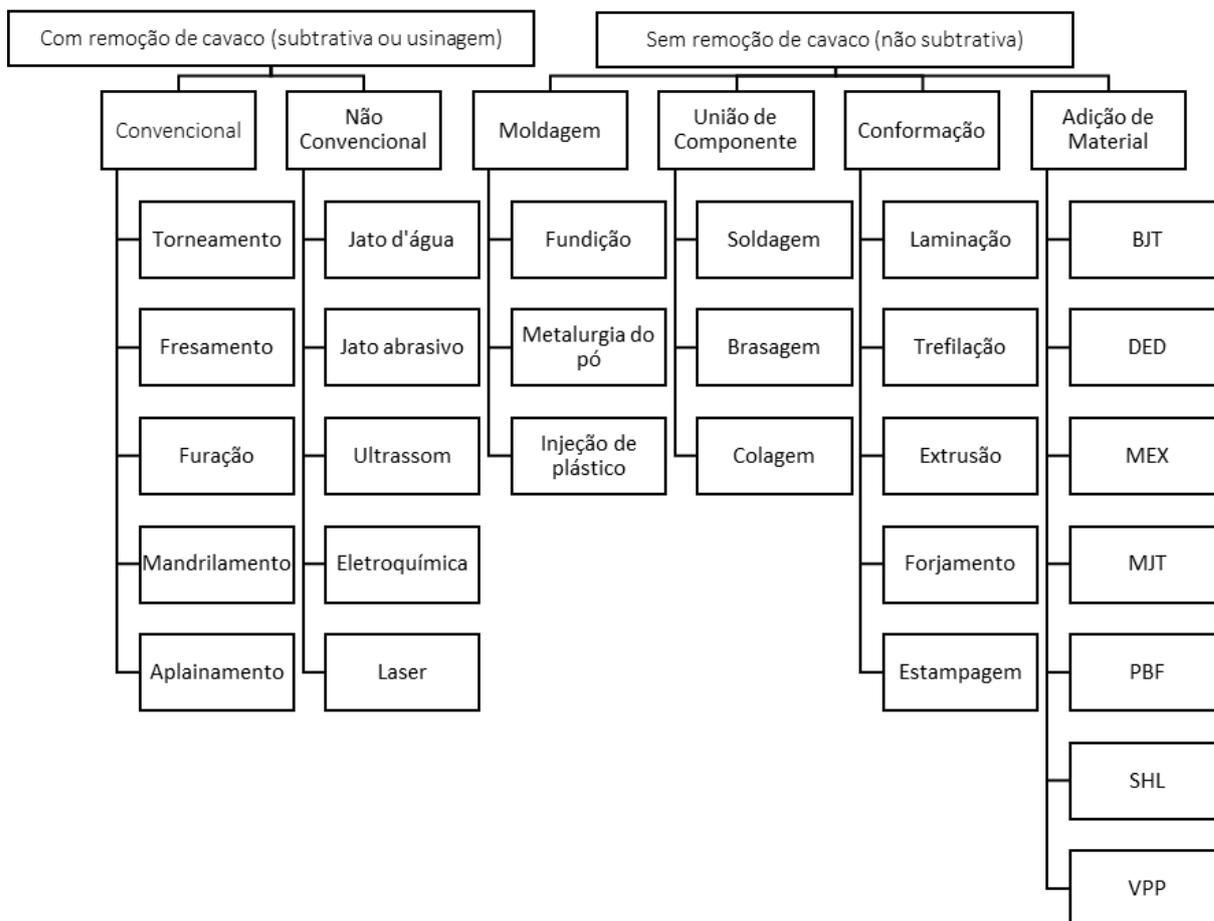
A seleção dos métodos empregados para fabricação de um bem de consumo depende da análise de uma série de fatores, entre eles estão: Tipo de material; propriedades finais desejadas; tamanho, forma e complexidade do componente; tolerância e acabamento superficial exigido; taxa de produção; e competitividade no mercado (Machado *et al.*, 2015).

Assim, métodos de fabricação vêm sendo desenvolvidos para atender as oportunidades do mercado, os quais foram surgindo ao longo das revoluções industriais. Uma das possíveis classificações é usando como divisor a geração do cavaco, porção de material com geometria irregular retirada pela ferramenta (Machado *et al.*, 2015).

Os processos mais conhecidos são com remoção de cavacos, também chamados de processos subtrativos ou, o nome mais comum, processos de usinagem. Os demais estão categorizados como sem remoção de cavaco ou processos não subtrativos (Volpato, 2017; Machado *et al.*, 2015). Esses dois grandes grupos, por sua vez são subdivididos, como pode ser visto no organograma da Figura 1.

Vale destacar que processos Sem Remoção de Cavaco (Não Subtrativo) não é sinônimo de que haverá adição de material, pois, verifica-se outros princípios dentro desse grupo, como o de massa constante, chamado de conformação.

**Figura 1. Classificação dos processos de fabricação e alguns exemplos.**



Fonte: Adaptado de Volpato, 2017; Machado *et al.*, 2015.

Diversos nomes são aplicados na literatura para se referir aos processos de fabricação por adição de material (Volpato, 2017). Na concepção, a nomenclatura com maior manifestação na academia era Prototipagem Rápida (RP - *Rapid Prototyping*), já que, inicialmente, a aplicação principal era no desenvolvimento de produto na fase da produção de protótipos físicos (Volpato, 2006).

Como as aplicações e as tecnologias foram se diversificando ao longo do tempo, a comunidade científica propôs outros nomes que representassem melhor o método após essas transformações (Volpato, 2017). Desses, o termo que se estabeleceu nos ambientes industriais e de pesquisa foi Manufatura Aditiva (AM - *Additive Manufacturing*), inclusive, sendo consolidado pela norma ISO/ASTM 52900 (2015).

Nota-se que o termo “Fabricação” foi substituído por “Manufatura” uma vez que o primeiro se restringe a técnica usada para produzir a peça. Enquanto o segundo, engloba todos os aspectos do projeto, deste a concepção até a entrega do

produto acabado. Inclusive, a fabricação é uma das etapas dentro da manufatura (LIRA, 2021; Volpato, 2017). Ou seja, o vocábulo Manufatura Aditiva retrata propriamente o processo, uma vez que, obrigatoriamente, ele é composto por, ao menos, duas fases sucessivas: Digital e Fabricação (Volpato, 2017).

Outra nomenclatura bastante célebre, principalmente pela mídia e sociedade, é Impressão 3D. Ao associar os princípios fundamentais da Adição de Material com a impressão em papel convencional facilitou a transmissão dos conceitos da técnica angariando, inclusive, mais interessados para a área (Lira, 2021). Porém, convencionou-se o uso deste termo ao se referir a utilização de equipamentos *desktop* (Volpato, 2017).

Deste modo, o princípio da Adição de Material consiste no acréscimo sucessivo da matéria prima na forma de camadas, uma aderida a outra de maneira sobreposta, seguindo um Comando Numérico Computadorizado (sigla CNC, do inglês *Computer Numeric Control*), gerado a partir de informações obtidas diretamente da representação computacional tridimensional (3D) da peça objetiva (Lira, 2021; Volpato, 2017).

Modelo 3D significa que o objeto tem volume, ou seja, altura, largura e comprimento. A concepção desse arquivo pode vir do desenvolvimento da geometria em softwares de Desenhos Assistidos por Computador (sigla CAD, do inglês *Computer Aided Design*); da engenharia reversa pela captação de objetos físicos via digitalização 3D, fotogrametria; ou de varreduras radiológicas 2D, como imagens de ressonância magnética ou tomografia computadorizada (Lira, 2021; Volpato, 2017).

O armazenamento do desenho digital ocorre em formatos ditos neutros, extensões padrões usadas para o reconhecimento dos dados em sistema CAM (o termo em inglês *Computer Aided Manufacturing*). São nesses *softwares* que o operador determina a orientação e posicionamento da peça, a escala de proporção da peça a ser fabricada com o modelo importado, as estruturas de base ou de suporte e os parâmetros das máquinas para produção (Lira, 2021; Volpato, 2017).

Assim, o aplicativo realiza o fatiamento digital da peça junto com os cálculos de trajetória, transformando todas as informações em um código executável para o sistema de controle do equipamento. Até aqui, a etapa compreendida do processo é a digital (Lira, 2021; Volpato, 2017).

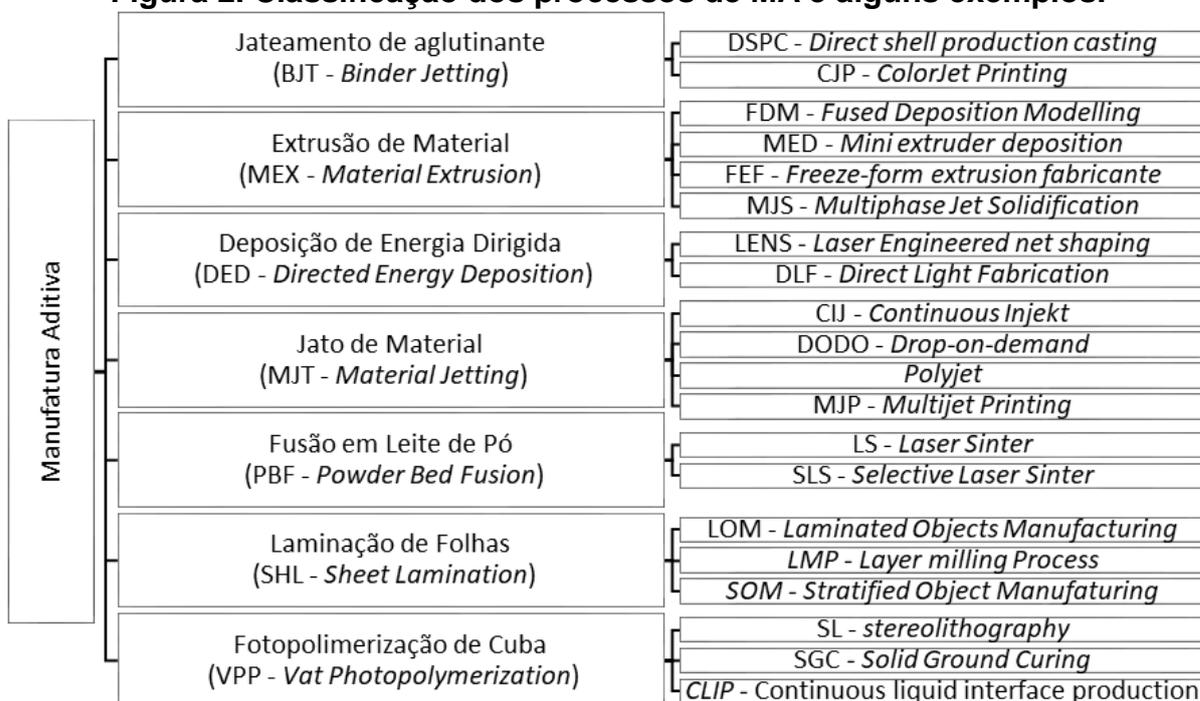
Na etapa de fabricação, ao receber a sequência planejada, o equipamento confecciona o modelo físico de modo automatizado e desassistido seguindo o

princípio da Adição de Material. A atuação do operador está restrita a preparação do equipamento, como o abastecimento da matéria prima, e na fase de finalização (pós-processamento, verificação dimensional e de qualidade) (Lira, 2021; Volpato, 2017).

Os equipamentos de Manufatura Aditiva trabalham com os quatro grupos de materiais (metais, cerâmicos, polímeros e compósitos) e o formato inicial da matéria-prima pode ser líquido, sólido e pó. Cada tecnologia apresenta um mecanismo de construção para adição, transformação e adesão do material (Lira, 2021; Volpato, 2017).

Conforme apresentado pela ISO (*International Organization for Standardization*) em parceria com a ASTM (*American Society for Testing and Materials*), na edição de 2021 da ISO/ASTM 52900, sete são as tecnologias base de Manufatura Aditiva que origina marcas registradas e processos específicos (Figura 2). Dessas, a pesquisa se delimitará a tecnologia Extrusão de Material (MEX - Material Extrusion).

**Figura 2. Classificação dos processos de MA e alguns exemplos.**

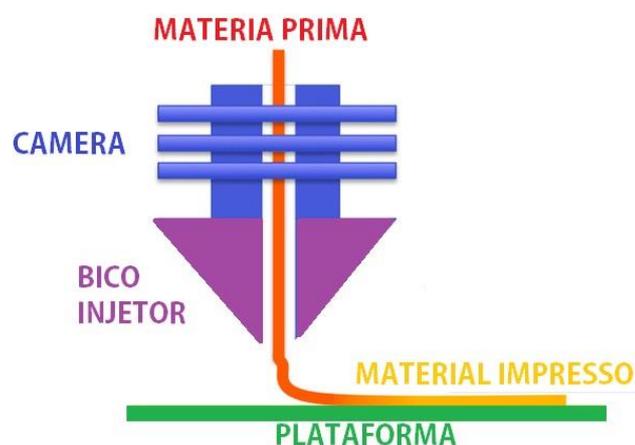


Fonte: Adaptado de ISO/ASTM, 2021; Lira, 2021; Volpato, 2017.

### 3.1.1 Manufatura Aditiva por extrusão de material (MEX)

A tecnologia MEX (Figura 3) é caracterizado por uma câmara que confina e fluidifica a matéria prima de modo a alimentar seletivamente um cabeçote extrusor que, na primeira camada, deposita o material na plataforma de construção, através do bico injetor, com orifício na ordem de décimos de milímetros, seguindo movimentos controlados que formem a geometria de cada camada (ISO/ASTM, 2021; Lira, 2021; Volpato, 2017).

**Figura 3. Representação da tecnologia MEX.**

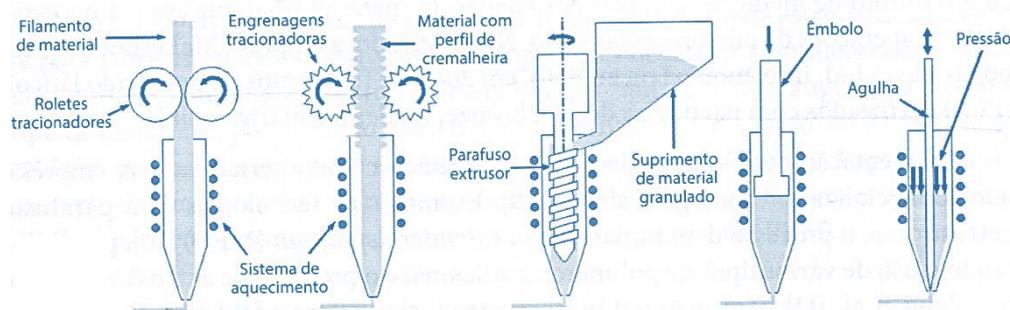


Fonte: Adaptado de Enginprinters (2023c)

Ao término da camada, há uma movimentação no eixo Z, equivalente a espessura da camada, e o processo é repetido. Ou seja, o material posto, a partir da segunda camada, se solidifica e adere no material previamente depositado até a conclusão da peça (ISO/ASTM, 2021; Lira, 2021; Volpato, 2017).

Para alimentação do processo de extrusão diversos princípios foram desenvolvidos a depender do tipo e formato do material e da aplicação, como pode ser visto na Figura 4 (ISO/ASTM, 2021; Lira, 2021; Volpato, 2017).

**Figura 4. Exemplos de princípios de alimentação das tecnologias MEX.**



Fonte: Volpato, 2017.

Para polímeros termoplásticos é dado destaque a técnica Fabricação de Filamento Fundido (FFF), mais citada pelas referências como Modelagem de Deposição Fundida (FDM - *Fused Deposition Modelling*) - nomenclatura patenteada pela empresa Stratasys em 1992 nos Estados Unidos (ISO/ASTM 52924, 2023; Volpato, 2017)

### 3.1.1.1 *Fabricação de Filamento Fundido (FFF)*

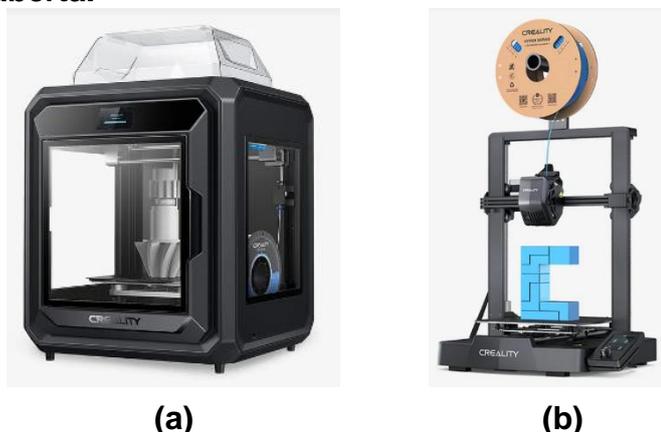
O registro da propriedade intelectual do princípio FDM ocorreu em 1989, por S. Scott Crump, sendo o primeiro equipamento comercializado em 1992, nos Estados Unidos. Essa tecnologia ficou restrita a empresa Stratasys até a expiração da patente em 2009 (Sampaio, 2017; Volpato, 2017).

A nomenclatura FFF surgiu da iniciativa RepRap (acrônimo do inglês *Replicator for Rapid Prototyping*), como uma forma de evitar conflitos legal com a empresa *Stratays*. O projeto objetivava desenvolver máquinas de Manufatura Aditiva com componentes mais acessíveis para produzir peças que fabricassem outras impressoras 3D's. Porém, foi além, a produzir *firmware*, fatiadores *open-source*, além de criar plataformas para disponibilizar modelos 3D gratuitamente (Sampaio, 2017).

Essa democratização da tecnologia foi responsável pela grande variedade de equipamentos com custo acessível surgida no mercado mundial, o que permitiu a popularização da impressão 3D (Sampaio, 2017).

Os equipamentos com o princípio FFF são encontrados com estruturas enclausuradas (com ou sem renovação de ar) ou de câmara aberta (Figura 5). A câmara aberta restringe o uso de materiais que precisam estar em um ambiente em que o resfriamento seja lento e uniforme. Para confecção das estruturas das impressoras 3Ds, os materiais mais utilizados na sua estrutura são MDF (do inglês, *Medium-Density Fiberboard*), acrílico, perfis de alumínio, aço (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 5. Impressoras 3D: (a) Sermoon D3, estrutura enclausurada; (b) Ender-3 V3 SE, estrutura aberta.**

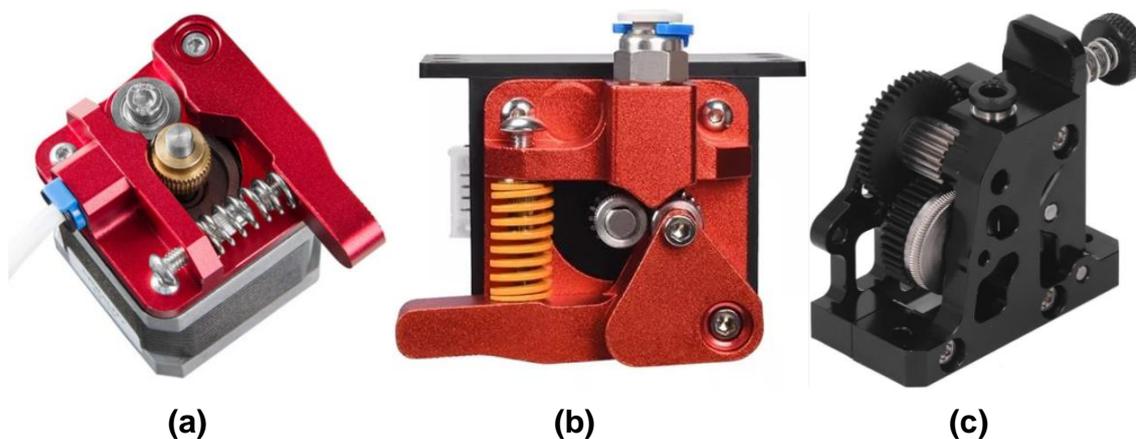


Fonte: Creality, 2023c.

O material a ser extrudado no princípio da FFF é disponibilizado para a máquina em forma de filamento contínuo (fio em diâmetro específico enrolado em carretel). O principal insumo nesse processo são os termoplásticos e seus compósitos. Porém, é encontrado na literatura seu uso também para produção de peças em cera e produtos alimentares, áreas que não serão exploradas nesse trabalho (Volpato, 2017).

A alimentação do processo se dá pela tração do filamento por uma engrenagem motora (ou com redução), com auxílio de uma mola tensionadora, a qual prende firmemente o material contra uma polia ou uma engrenagem movida puxando-o para si (Figura 6). Os projetos de extrusora variam de linha de equipamento, porém são classificadas de acordo com a distância que apresenta até o sistema de aquecimento do filamento, chamado de *Hotend* (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

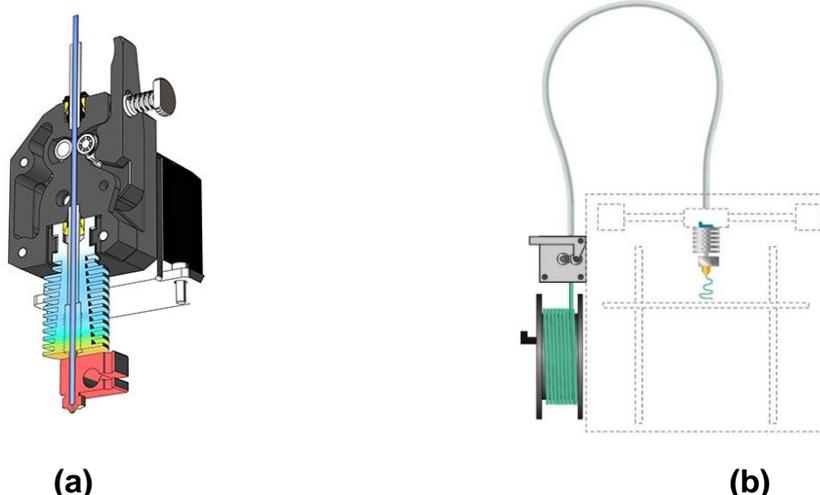
**Figura 6. Exemplos de extrusoras: (a) Engrenagem e polia; (b) dupla engrenagem; (c) dupla engrenagem com redução.**



Fonte: Creality, 2023c; TWO TRESS, s.d.

As extrusoras *Direct Drive*, ou monolítico, são aquelas acopladas diretamente ao *Hotend*. Já os tipos *Bowden*, o filamento é empurrado por um caminho, em geral guiado por um tubo, até o *Hotend* (Figura 7). Há máquinas, as quais utilizam os dois sistemas em séries (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

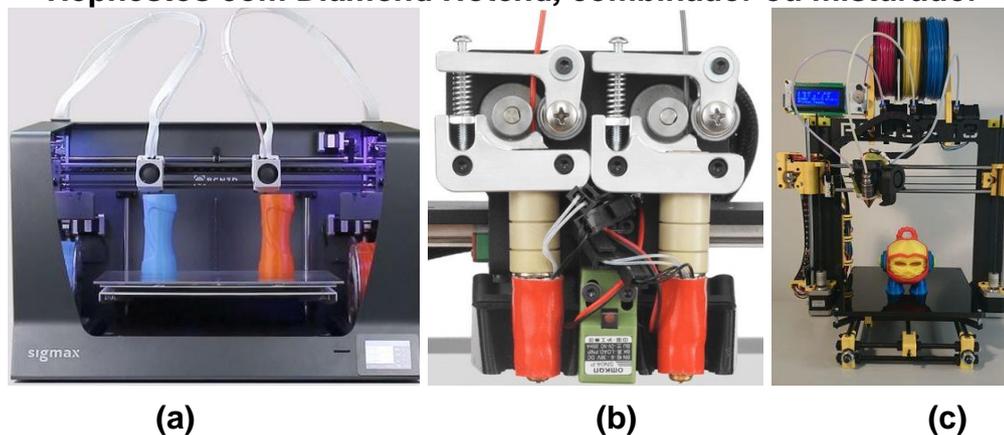
**Figura 7. Extrusora (a) *Direct Drive* e (b) *Bowden*.**



Fonte: Recreus, 2021; Razgriz, 2020.

O uso de múltiplas extrusões em paralelo é observado, principalmente, em projetos que utilizam mais de uma cor ou material em uma mesma produção (Figura 8). Podem estar em: Eixos independentes inter cruzados, cada qual com seu *Hotend* e movimentação no eixo X individual; Semi-independentes, cada qual com seu *Hotend* compartilhando o mesmo eixo; combinador ou misturador, um único *Hotend* recebe o material de todas as extrusoras que pode tracionar os filamentos em momentos diferentes (extrusão combinada), ou ao mesmo tempo, combinando os filamentos (extrusão misturada) (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

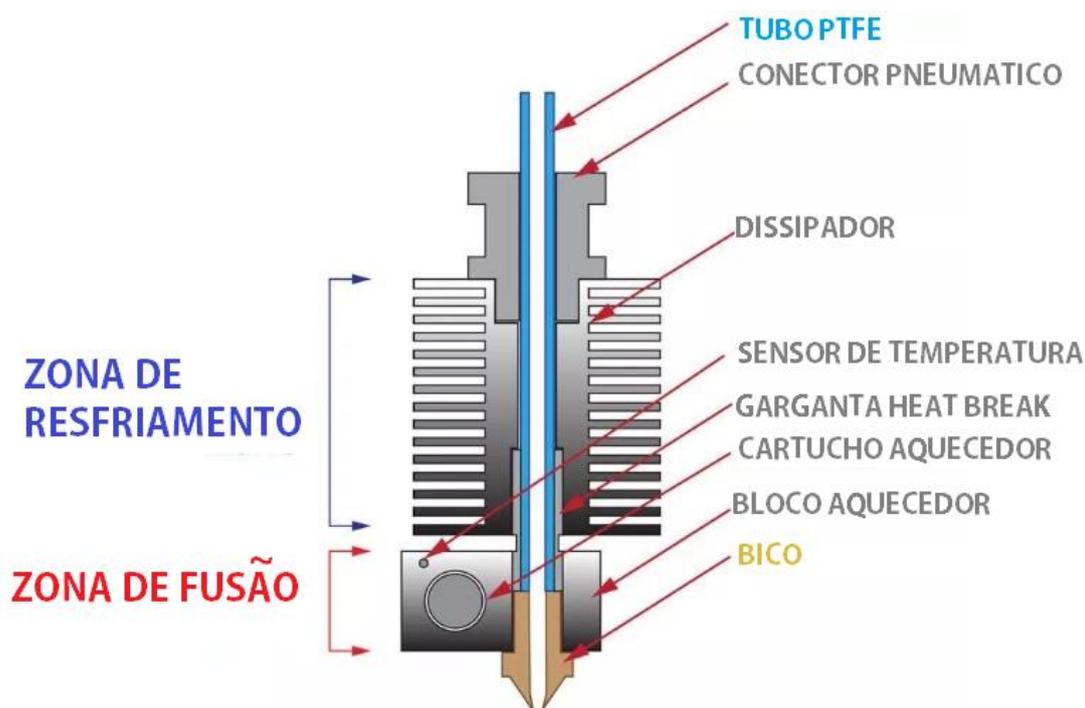
**Figura 8. Impressoras com extrusores em paralelo: (a) BCN3D SIGMAX, independentes; (b) 3D Printbot Metal Plus, semi-independente; (c) bq prusa i2 Hephestos com *Diamond Hotend*, combinador ou misturador**



Fonte: BCN3D, 2023c; RepRap, 2018; Impresoras3d.com, 2016.

Essa classificação também serve para os *Hotend*, mas o principal agrupamento ocorre pela configuração da sua construção, que será visto a frente. Este compreende o conjunto de componentes que são expostos à temperatura elevadas. É composto por sete peças (Figura 9): O corpo dissipador, ventoinha, garganta *Heatbreak*, bloco aquecedor, sensor de temperatura, cartucho aquecedor e bico (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 9. Hotend e seus componentes.**



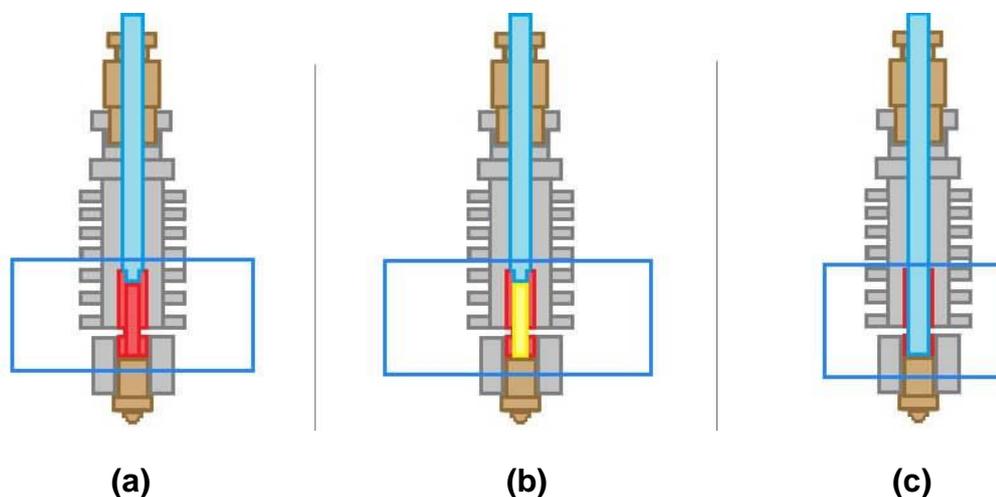
Adaptado: CULTS, s.d.

O dissipador de calor é composto de aletas, o qual aumenta a área de superfície em contato com o fluxo de ar forçado, gerado pela atuação da ventoinha e direcionado por um duto, de modo a realizar uma dissipação mais rápida do calor que chega até a garganta *Heatbreak*. O objetivo é otimizar a troca de calor, de modo que, a alta temperatura para fluidificar o material esteja apenas no bloco aquecedor e no bico (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

A garganta *Heatbreak* é a peça que guia o filamento até o bico e age como uma barreira térmica, dificultando a passagem do calor do bloco aquecedor para o filamento. Sua construção limita a temperatura de trabalho e classifica os *Hotend* nas seguintes categorias (Figura 10): *All-metal*, o filamento passa entre paredes metálicas; metal com PTFE (*polytetrafluorethylene*), o qual permite a entrada do pedaço do tubo politetrafluoretileno que o filamento percorre; metal com PEEK (*Poli*

*ether ether Ketone*, um tubo de metal revestido internamente com poli (éter-éter-cetona) por onde o filamento desloca-se (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 10. Tipos de *Hotend* e gargantas: (a) *all-metal*; (b) metal do PEEK; (c) metal com PTFE.**



Fonte: LORENZO, 2019.

A garganta *Heatbreak* se une ao bico com bloco aquecedor, que é responsável por abrigar o sensor de temperatura, que em geral é um termistor e, o cartucho aquecedor, comum o uso de resistências. Para isolar e aumentar a eficiência do aquecimento, o bloco aquecedor é revestido com capa de silicone ou fibra de cerâmica resistente a altas temperaturas (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 11. Bloco aquecedor isolado com (a) silicone e (b) fibra de cerâmica.**



Fonte: Creality, 2023c.

A última etapa para o filamento ser depositado na mesa de impressão é o bico (Figura 12). O material padrão para confecção é latão, devido ao baixo coeficiente de atrito. Porém, ao utilizar filamentos abrasivos é necessário o uso de bicos de materiais mais resistentes como aço inoxidável, aço temperado, Titânio,

vanádio, tungstênio, latão com ponta de níquel ou rubi (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

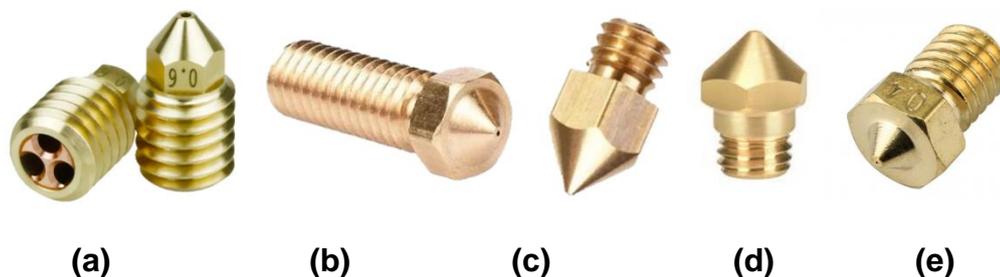
**Figura 12. Exemplos de materiais usados na construção de bicos: (a) latão, padrão; (b) aço inoxidável; (c) aço temperado; (d) titânio; (e) vanádio; (f) tungstênio; (g) latão com ponta de rubi.**



Fonte: Compilação da autora (2023)<sup>6</sup>

Não há um modelo padronizado para o bico. Cada fabricante determina um modelo de acordo com o equipamento (Figura 13). Já o diâmetro do orifício tem poucas variações (0,2 mm a 1 mm) e é escolhida pelo usuário de acordo com o nível de detalhamento solicitado pelo projeto (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 13. Modelos de bico: (a) CHT; (b) Volcano; (c) MK8; (d) MK10; (e) V6.**



Fonte: Compilação da autora (2023)<sup>7</sup>

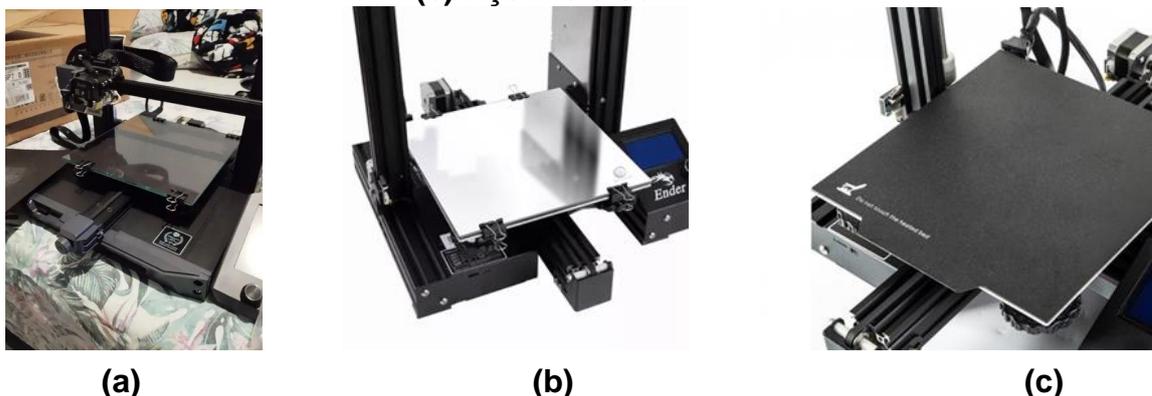
Para auxiliar na deposição do filamento, alguns modelos apresentam ventoinhas radiais ou centrífugas que emite um fluxo de ar estreito e direcionado diretamente para o bico e o filamento depositado (Sampaio, 2017).

A plataforma de construção, ou mesa de impressão, recebe o filamento do bico, sendo responsável por oferecer estabilidade a peça enquanto é produzida. São encontrados modelos de vidro, vidro temperado, espelho, aço mola inoxidável com superfície de Polieterimida (PEI) (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

<sup>6</sup> Montagem a partir de imagens coletadas nos sites da Amazon, AliExpress e Mercado Livre.

<sup>7</sup> Montagem a partir de imagens coletadas nos sites da Bambu Lab, GTMAX3D, Creality e E3D.

**Figura 14. Plataforma de impressão: (a) vidro ou vidro temperado; (b) espelho; (c) Aço mola com PEI.**



Fonte: Creality, 2023c.

A mesa de impressão fica apoiada em um sistema de nivelamento mecânico da base de movimentação. Esse sistema consiste em molas ou espaçador de silicone nas extremidades, anteparada por parafusos, que ao rotacionar o manípulo aumenta ou diminui a altura (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 15. Nivelamento com mola e espaçador de silicone, respectivamente.**



Fonte: Creality, 2023c.

Para ajudar na manutenção térmica do filamento, após depositado, alguns modelos adicionam elementos de aquecimento na base de movimentação, aliado a isolantes térmicos, para que se tenha uma mesa aquecida. Na superfície, que ocorrerá a primeira camada de impressão, é comum adicionar métodos de aderência para impedir qualquer deslocamento da peça (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

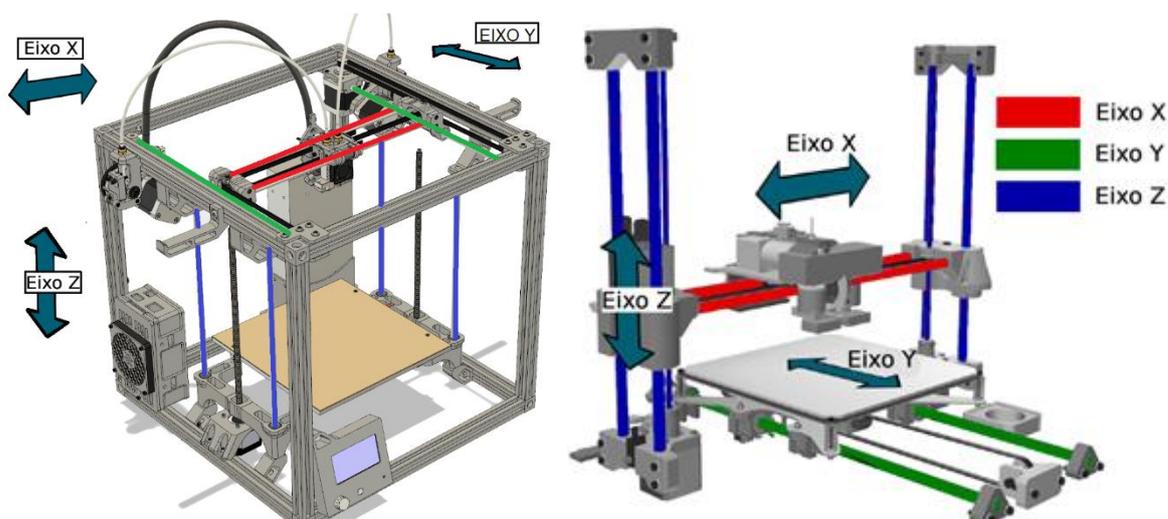
O sistema de movimentação da mesa de impressão, em relação aos eixos, não só influencia diretamente na velocidade e qualidade de produção mais também é utilizada para classificação das linhas dos maquinários FFF (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017). A apresentação dessa classificação será restrita, nesse trabalho,

aos equipamentos que trabalham com três eixos, ou seja, não há movimento de rotação no *Hotend* ou na mesa.

Além disso, pela variedade de sistemas existentes e propostos, será tratado das três principais linhas de equipamento onde o eixo X trata da largura da peça, eixo Y do comprimento e eixo Z da altura.

Quando a altura da fabricação é originada pela movimentação linear vertical da plataforma de base é chamado de CoreXY. Já quando, a plataforma realiza a movimentação linear horizontal (sendo a altura da peça dado pelo deslocamento do *Hotend*) é classificada como cartesiana (Figura 16). Em ambos os modelos, a movimentação do eixo X fica a encargo do *Hotend* (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

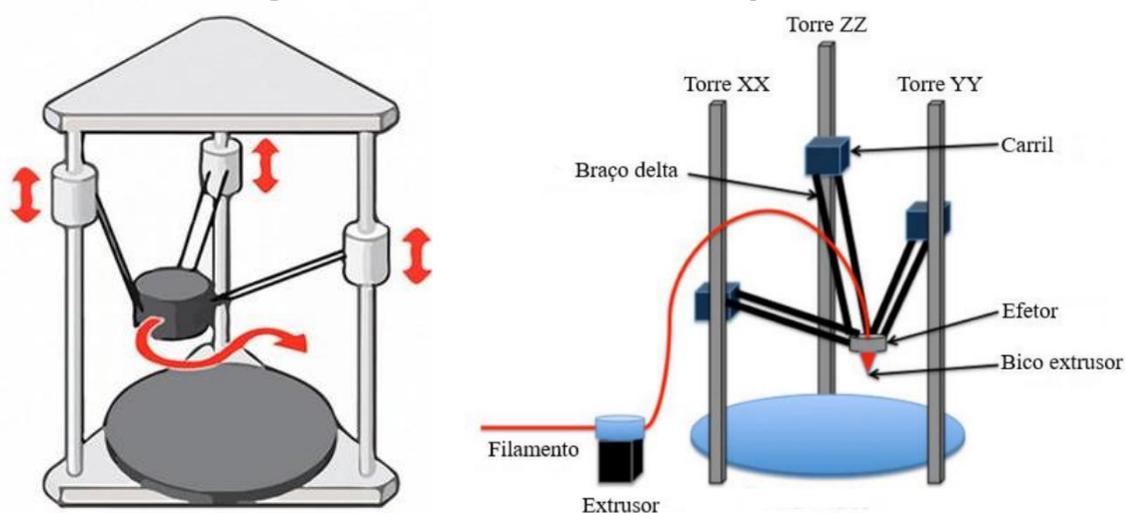
**Figura 16. Sistema de movimentação CoreXY e Cartesiana, respectivamente.**



Fonte: Adaptado de 3D Printing Explained, 2023c; Neto, 2018.

Se a mesa for fixa, não realiza nenhum movimento, e o deslocamento nos três eixos ser conjugado no *Hotend* é designado como Delta (Figura 17). Uma diferença notável é que as coordenadas de posicionamento são calculadas partir de três pontos triangulares. Na Delta, o volume de impressão é cilíndrico e a origem está no centro da mesa, enquanto nas demais é cúbica com o ponto (0,0,0) no vértice (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

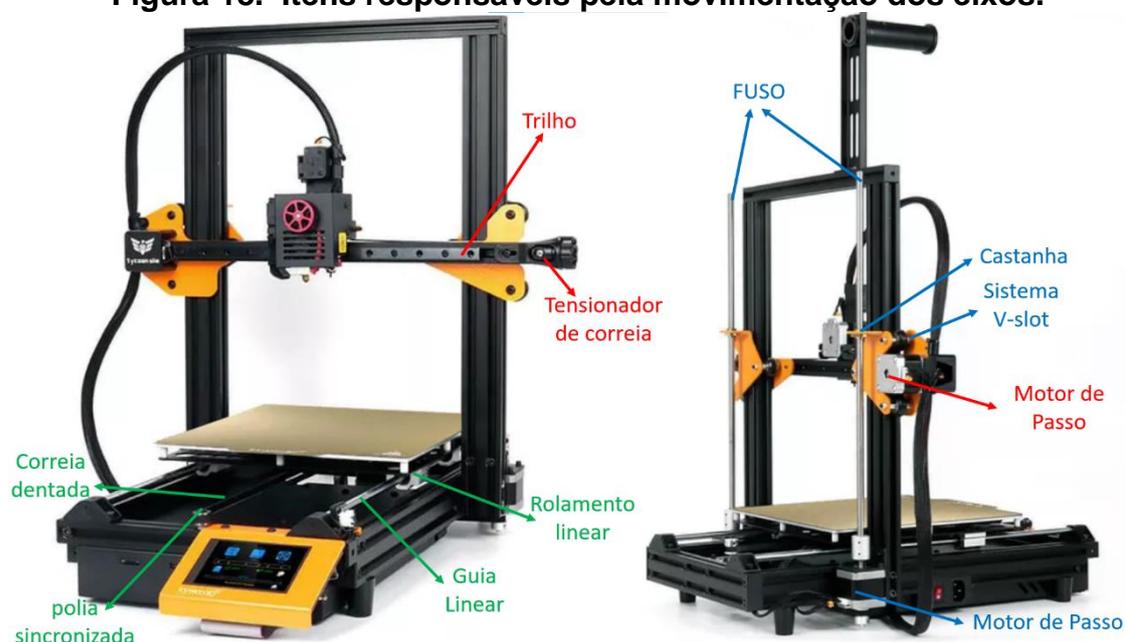
**Figura 17. Sistema de movimentação delta.**



Fonte: Engprinters, 2023c; Bell, 2015.

O posicionamento dos eixos em impressoras 3D acontece pelo trabalho em conjunto de rolamentos, buchas, patins, polias, barras lisas ou trilhos, fusos trapezoidais, correias, castanhas, parafusos, arruelas, porcas, sensores fim de curso e motores, como mostrado na Figura 18 (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 18. Itens responsáveis pela movimentação dos eixos.**



Fonte: Adaptado de Kywoo3d, 2020c.

Os motores utilizados na Manufatura Aditiva são elétricos, produzem energia mecânica a partir de energia eletromagnética. Mais especificamente, são empregados os motores de passo, os quais permitem a rotação em ângulos exatos para ambos os sentidos (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

Como a energia gerada é cinética rotacional, para converterem translacional e transmitir força, para movimentação dos eixos, é acoplado na haste do motor de passo uma polia sincronizada que, ao ser interligada à correia dentada, fazem o *Hotend* ou a plataforma de impressão se movimentar na mesma direção, sentido e tempo da rotação do motor (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

Uma alternativa, é através do uso de fuso trapezoidais, no caso de impressoras desktop é comum uso de barra rosqueada, no lugar da haste do motor ou conectado a ela através de um acoplamento flexível (Figura 19). Essa peça transforma o movimento de rotação em torno do eixo (gerada pelo motor) em um movimento de translação de um elemento móvel seguindo esse eixo, porca ou a castanha (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 19. Comparativo entre sistemas de movimentação linear vertical.**



Fonte: Sampaio, 2017.

O uso de fuso trapezoidais é observado comumente para movimentação linear vertical, seja para impressora Cartesiana, CoreXY ou Delta. Ficando assim, o uso de polia e correia sincronizada para transmissões horizontais (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

Para estabilizar a movimentação e assentar os eixos, são usados guias lineares (barras retas lisas combinadas com rolamentos lineares ou buchas que deslizam sob toda a barra lisa), ou trilhos - perfis retos de encaixes para que peças com elementos rolantes internos encaixem e deslizem livremente no seu comprimento, item denominado de Patim (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

Há em algumas impressoras 3D *desktop*, um sistema de trilho denominado V-SLOT (Figura 20). A denominação vem do perfil de alumínio estrutural usado na construção do equipamento, que, para reduzir o peso, utiliza os próprios sulcos do perfil como trilho para roldanas em V (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

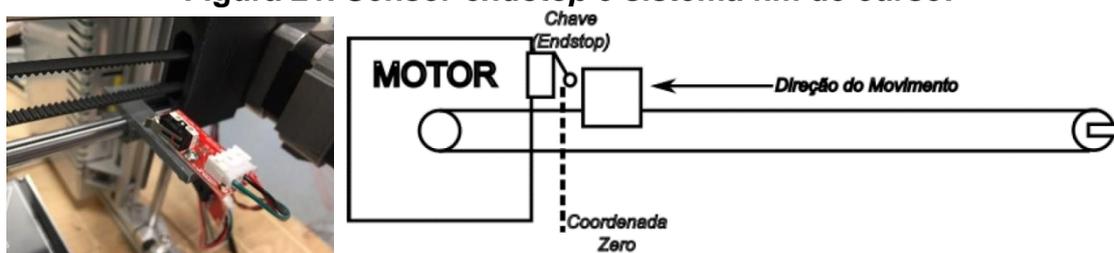
**Figura 20. Sistema V-SLOT e seus componentes.**



Adaptado: Creality, 2023c.

Para garantir a coordenada na movimentação são usados sensores fim de curso (*endstop*) em um dos extremos do eixo, representando ou a coordenada mínima ou máxima (Figura 21). Quando um dos elementos do eixo pressiona o *endstop*, o controlador para o motor e identificar que sua posição está no limite do envelope de impressão. Assim, reinicia e segue as instruções de acordo com o G-code (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 21. Sensor *endstop* e sistema fim de curso.**



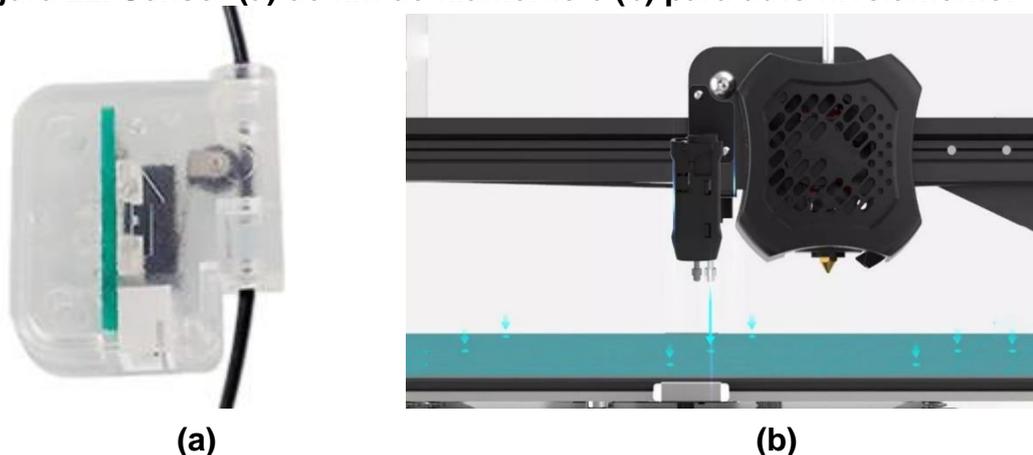
Fonte: Creality, 2023c.; Sampaio, 2017.

Sensores são dispositivos que após receber um estímulo, emitem um sinal que é convertido e interpretado pela placa controladora que, conseqüentemente, envia comandos ao sistema. O princípio de funcionamento dos sensores de posição pode ser mecânico, óptico, magnético, indutivo e capacitivo (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

Sua aplicação nos equipamentos FFF não está restrita apenas como fim de curso. Também podem ser usados como sensor de fim de filamento (Figura 22), quando para de ser acionado interrompe o trabalho de modo a aguardar a reposição

de filamento ou para o auto nivelamento da mesa. Nesse caso, a operação de aproximação da mesa é realizada em vários pontos de modo a obter a medida de inclinação do plano, que é compensado durante a movimentação das coordenadas (Razgriz, 2020; Sampaio, 2017).

**Figura 22. Sensor (a) de fim de filamento e (b) para auto nivelamento.**



Fonte: Creality, 2023c.

Todos os componentes que compõem os equipamentos FFF estão interligados, ressaltando que, melhor performance só é obtida com o bom desempenho simultâneo dos conjuntos mecânicos, eletrônicos e eletromecânicos.

Como todo equipamento que opera com forças mecânicas e térmicas, ao longo do uso, ocorre desgastes naturais que se manifestam como perdas de desempenho, produção de má qualidade e paradas. A manutenção, então, surge como um elemento chave para evitar a degradação desses componentes ou para recuperar sua condição básica.

### **3.2 Manutenção**

A manutenção na indústria é o pilar estratégico responsável por manter os ativos da fábrica em bom funcionamento para que se possa ter seu aproveitamento máximo. O objetivo é atingir “zero defeitos”, prevendo e prevenindo paradas de máquinas com perdas de produção por falhas eventuais durante o cotidiano (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

Por isso, há uma busca constante por melhorias que aumentem a vida útil, o rendimento e a disponibilidade dos equipamentos de modo a impactar positivamente

na confiabilidade, manutenibilidade, qualidade, produtividade e segurança da empresa (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

Os conceitos relacionados à manutenção são definidos na NBR 5462 (ABNT, 1994). Por fazer o monitoramento ao longo da vida útil dos ativos, a manutenção é um dos elementos que compõe o Sistema de Gestão de Ativo Físicos, abrangida por outras três normas distintas: ABNT NBR ISO 55000 (ABNT, 2014a); ABNT NBR ISO 55001 (ABNT, 2014b); ABNT NBR ISO 55002 (ABNT, 2018).

O Sistema de Gestão de Ativo garante que a manutenção gerencie o processo de falha equilibrando o desempenho com o custo, tornando o setor um diferencial competitivo para o negócio. Assim, garante que os objetivos da Gestão de Manutenção estejam integrados com o planejamento de todas as áreas da empresa (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

Para a definição das estratégias de manutenção e ações proativas durante o período do ciclo de vida do ativo, considera-se as implicações que a falha ocasionará no meio ambiente, saúde, segurança e custo. Podendo, inclusive, se exigir a substituição por evoluções mais tecnológicas devido à deterioração ou à obsolescência (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

Diversas são as técnicas descritas pelas literaturas para sistematizar ações a serem implementadas nas atividades de manutenção dos equipamentos para que estejam aptos a desempenhar suas funções quando necessário. Essas intervenções apresentam ou características corretivas, busca o cerne do problema e repara, ou uma postura preventiva, originada de estudo e memória das atividades de manutenção da organização (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

### **3.2.1 *Manutenção Corretiva***

Quando as tarefas dos mantenedores são executadas com o objetivo de recolocar o ativo em condições de atender suas funções, ou seja, acontece após a ocorrência da falha ou pane é denominada de manutenção corretiva (Viana, 2022).

Na vida prática da manutenção, como a ocorrência é imprevista, são exigidas intervenções imediatas com soluções em curtíssimo prazo. A execução da corretiva emergencial fica restrita aos materiais e mãos de obras disponíveis naquele momento, muitas vezes ficando refém de improvisações (Viana, 2022).

Diante do serviço de emergência, é habitual que o mantenedor executante, além de ser responsável pela execução, também abra a Ordem de Serviços (OS) e faça a apropriação correta dos custos concernentes aos serviços (Viana, 2022).

O reporte dessas informações é imprescindível para gerar o histórico do equipamento. Acompanhar a trajetória de falha permite que decisões para melhoria da manutenibilidade sejam tomadas com base em fatos mensuráveis como, por exemplo, estudo de possíveis trocas de fornecedores de sobressalentes (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

Caso a solução executada seja temporária ou a resolução necessite de recursos não disponível no momento da ocorrência, a demanda se torna uma corretiva com intervenção planejada e programada. Também pode ocorrer, quando a demanda da corretiva surge e existe uma redundância na linha do maquinário e, por isso, é decidido que a ação mantenedora ocorrerá em data futura após a elaboração de um planejamento (Viana, 2022).

A determinação de que tipo de manutenção será aplicada depende de fatores organizacionais. De modo geral, a manutenção deve ter o intuito de erradicar dos ativos de maior criticidade do processo produtivo as atividades de corretiva, seja emergencial ou planejada. Para esses ativos, são priorizadas técnicas preventivas (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

### **3.2.2 *Manutenção Preventiva***

A manutenção preventiva é caracterizada por ações mantenedoras antecipadas a falha, com o intuito de reduzir a probabilidade de defeitos e anomalias nos ativos. Podem ocorrer em intervalos predeterminados (preventiva sistemática) ou das observações das condições dos parâmetros de funcionamento da máquina que pode indicar a falha ou pane (preventiva condicional) (Viana, 2022).

Ambas as atividades surgem de OS's planejadas. A determinação do intervalo correto, seja para realizar o monitoramento ou a intervenção, vem de uma pré-análise dos dados de acompanhamento da degradação do equipamento pela periodicidade ou por tempo de utilização (Viana, 2022).

Por serem atividades presentes na rotina dos mantenedores, apresenta a vantagem de ter planos com instruções bem definidas de desmontagem e

montagem, o que reduz as improvisações, padroniza a execução e aumenta o índice de qualidade do serviço (Viana, 2022).

Além disso, apresenta em seu conteúdo outros itens importantes, como: Lista de Equipamentos de Proteção Individual (EPI), redução de acidentes; lista de ferramentas, aumento da produtividade da manutenção; e materiais de consumo, permite um almoxarifado mais enxuto (Viana, 2022).

Os planos de manutenção são criados a partir da estratégia da companhia e da criticidade para produção do equipamento a ser vistoriado. Como forma de evitar o desmonte desnecessário de componentes, são feitas rotas de inspeções (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

No plano de inspeções visuais, também chamado de sensitiva, os mantenedores utilizam da subjetividade dos cinco sentidos para detectar mudança nas características e preencher uma lista de checagem de situação conforme ou não conforme Viana (2022).

Essa busca por anomalias, também pode ocorrer por meio de ensaios não destrutivos, os quais coletam as medições a partir de instrumentos e, através de uma análise estatística, verifica a previsibilidade da vida útil (inspeção preditiva). O monitoramento também pode ser contínuo por meio de sensores conectados a uma central de dados (Viana, 2022).

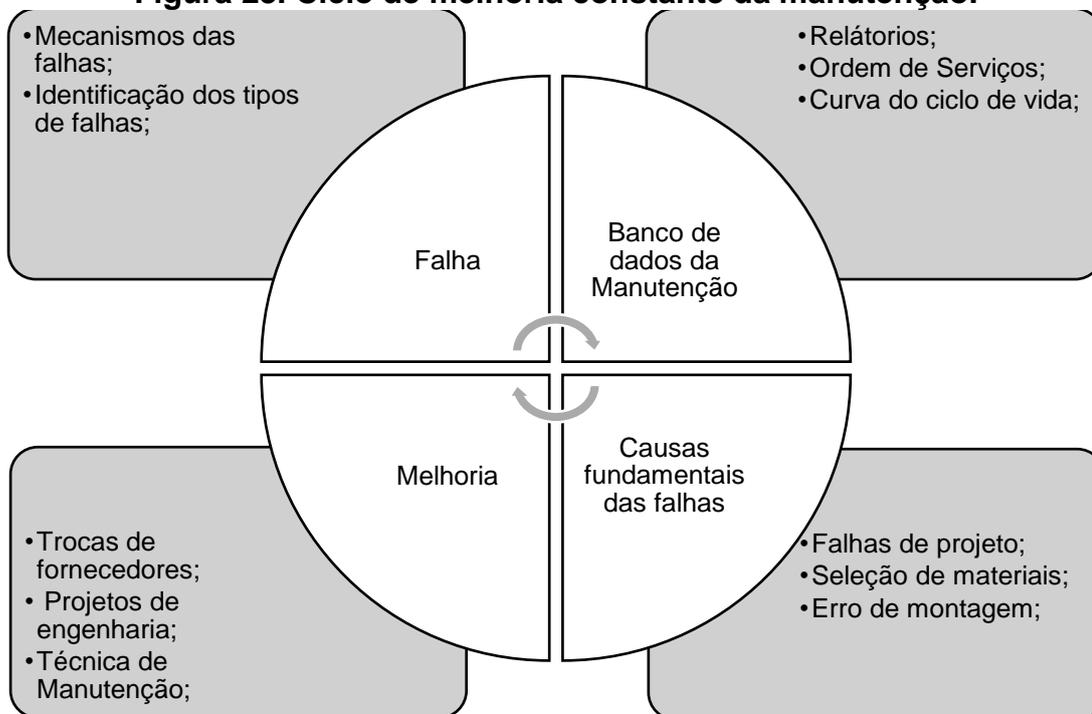
A depender das condições observadas na investigação, pode ser planejado a execução da troca de componentes desgastados. Em itens de sacrifício, principalmente, é comum que a troca ocorra preventivamente, sem que tenha chegado ao fim da sua vida útil, conservando, desse modo, componentes mais valiosos dos maquinários (Viana, 2022).

Outro modo para conservação dos elementos mecânicos dos equipamentos com partes móveis é aplicar roteiros de lubrificação para reduzir o atrito entre os ajustes. Neles, são discriminados onde serão aplicados cada tipo de óleo ou graxas e o método de utilização (Viana, 2022).

As informações levantadas na execução das OS's planejadas devem ser condensadas e armazenadas, para que possam ser usadas como base de revisão dos planos para melhoria constante (Figura 23). Além disso, os dados coletados apresentam potencial para determinar ações de defesa de possíveis causas e de efeitos de falhas em componentes e sistemas fundamentais ao processo de

produção, denominado de Manutenção Centrada em Confiabilidade (Viana; 2022; Tavares, Calixto; Poydo, 2005).

**Figura 23. Ciclo de melhoria constante da manutenção.**



Fonte: Adaptado de Tavares; Calixto e Poydo, 2005.

## **4. METODOLOGIA**

De modo a contribuir para preencher a lacuna no conhecimento encontrada durante o desenvolvimento do Estado da Arte, a metodologia a seguir foi desenvolvida reunindo os conhecimentos expostos na revisão de literatura referente aos componentes mecânicos padrão que compõem as máquinas de manufatura aditiva com tecnologia por extrusão de material de fabricação de filamento fundido e as estratégias de manutenção e ações proativas adotadas pelas empresas durante o período do ciclo de vida dos ativos.

### **4.2 Modalidade de pesquisa**

A modalidade da pesquisa é básica estratégica com caráter exploratório (Gil, 2017), tendo em vista que não só proporciona maior familiaridade com o problema, como também fornece uma metodologia para confecção de ferramentas que contribuam com a construção de hipóteses que prevejam e previnam paradas das máquinas de Manufatura Aditiva por falhas eventuais durante o cotidiano.

Os resultados serão mediante apresentação dos roteiros de inspeções e planos de manutenção desenvolvidos, ou seja, de natureza qualitativa (Gil, 2017).

A grande área de conhecimento pela classificação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), principal agência destinada ao fomento da pesquisa científica e tecnológica e à formação de recursos humanos para a pesquisa no Brasil, é Engenharia com subclassificação em Processos de fabricação (Gil, 2017).

### **4.3 Campo de observação**

O foco do estudo serão os setores de Manufatura Aditiva na indústria. Neles, é comum encontrar três tipos de equipamentos: ( I) a máquina de Manufatura Aditiva, propriamente dita; (II) caixa secadora de filamento, usado para preservar os filamentos da umidade e poeira durante o uso; (III) estufa, remove a umidade dos filamentos de forma controlada e uniforme. Além, dos equipamentos administrativos

(computadores, impressoras) e maquinários que apoie a etapa de confecção dos desenhos CAD, como scanner 3D.

Em questão de criticidade, para cadeia produtiva do setor de Manufatura Aditiva, a interrupção das atividades da impressora 3D tem o maior impacto, pois é o único a parar a produção sem nenhuma alternativa a curto prazo, caso não se tenha duas ou mais máquinas disponíveis.

Assim, será dado foco nesse trabalho para elaboração do plano de manutenção preventiva exclusivamente para a máquina de Manufatura Aditiva. O que não elimina a importância de avaliar a criticidade dos demais equipamentos, não só para o setor como também para todo processo produtivo, e determinar se é necessário a aplicação também de planos de manutenção preventiva.

#### **4.2.1 Impressora 3D CR-5060 Pro**

No presente trabalho foi elaborado o plano de manutenção preventiva, previsto no escopo do projeto para a impressora 3D CR-5060 PRO da marca Creality (Figura 24). A escolha do modelo ocorreu, por se tratar de uma máquina de nível industrial, voltada à produção de grandes formatos, mas com o sistema mecânico equivalentes as máquinas *desktop*. Assim, a metodologia aqui desenvolvida poderá ser replicada para ambas as categorias.

**Figura 24. Impressora 3D CR-5060 PRO.**



Fonte: Creality, 2023c.

O equipamento acompanha um manual de operação, na versão 1.2, que se encontra no idioma inglês e mandarim, o que está em desacordo com o item

12.13.2.a da Norma Regulamentadora 12 (ABNT, 2022), a qual determina que todos os manuais de máquinas em território nacional devem ser disponíveis na língua portuguesa (Brasil).

As informações técnicas do equipamento trazidas pelo manual são dispostas abaixo (CREALITY, 2021):

- Modelo: CR-5060 PRO;
- Volume de impressão: 500 mm x 500 mm x 600 mm;
- Tecnologia de moldagem: FFF;
- Quantidade de bicos: 1;
- Diâmetro do bico: padrão: 0.4mm; opcional: 0,2/0,3/0,6/0,8 mm;
- Precisão:  $\pm 0,2$  mm
- Diâmetro do filamento: 1,75 mm;
- Filamentos compatíveis: PLA/ABS
- Formato de arquivo: STL/OBJ/AMF;
- Entradas: USB ou cartão SD;
- Fatiador: 3D Creator Slicer, Repetier-Host, Cura, Simplify3D;
- Fonte de energia: Entrada: 200-240 volts 50/60 Hz, Saída: 24 volts corrente contínua;
- Fonte nominal de energia: 900 Watts;
- Temperatura da mesa:  $\leq 110^{\circ}\text{C}$ ;
- Temperatura do bico:  $\leq 300^{\circ}\text{C}$ ;
- Sensor de filamento: sim;
- Haste de parafuso de eixo Z duplo: sim;
- Interface de operação: Suporte em 8 idiomas (CN/EM/JP/KR/DE/FR/RU/ES);
- Sistema operacional de computador: Windows XP/Vista/7/8/10/MAC/Linux;
- Velocidade de impressão:  $\leq 180$  mm/s, 30-60 mm/s normalmente.

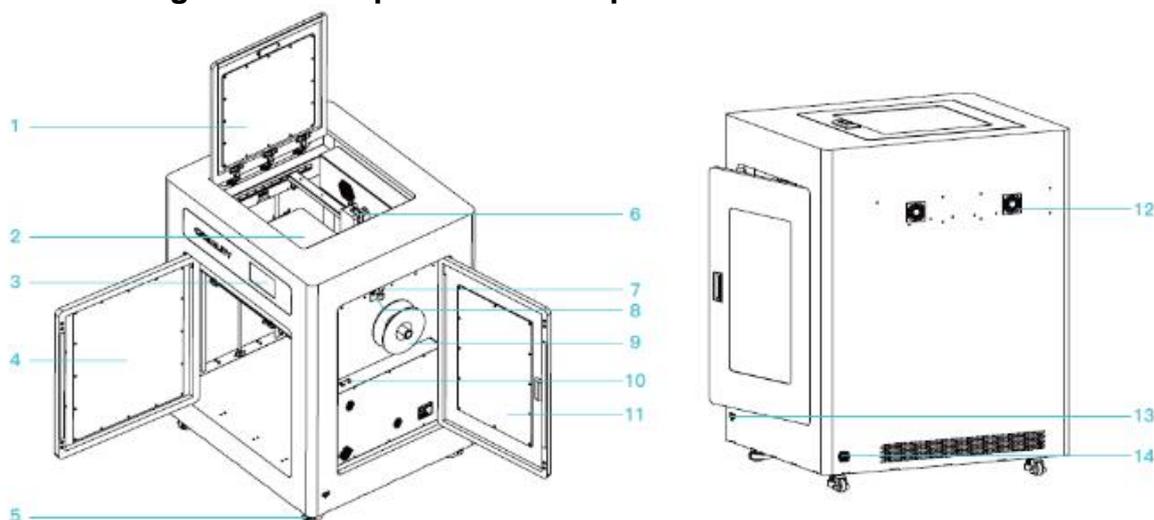
Outras informações relevantes que são encontradas no site do fabricante são (CREALITY, 2023c):

- Tamanho da máquina: 905 mm x 800 mm x 1150 mm;
- Peso da máquina: 140 kg;
- Display: tela sensível ao toque de 7 polegadas;

- Espessura da camada: 0,1 mm – 0,3 mm;
- Tipo da mesa: Vidro *carborundum*;

Os componentes deste equipamento descritos no manual são (Figura 25): (1) porta superior; (2) mesa aquecida; (3) tela sensível ao toque; (4) porta frontal (5) rodízios; (6) kit *Hotend* e extrusora; (7) extrusora; (8) sensor de filamento; (9) porta-carretel; (10) *slot* para cartão de armazenamento/porta USB; (11) Porta direita; (12) Sistema de filtragem de ar; (13) Interruptor de alimentação; (14) Entrada de energia (CREALITY, 2023c).

**Figura 25. Componentes da impressora 3D CR 5060 Pro.**



Fonte: Creality, 2021.

Como a descrição dos componentes mecânica no manual de operação é escassa, no capítulo seguinte será dado um destaque maior a eles.

#### 4.2.1.1 Componentes Mecânicos

A infraestrutura da impressora *CR-5060 Pro* é composta principalmente por perfil estrutural em alumínio 40 mm x 40 mm V-LOT. A estrutura é enclausurada com renovação e filtragem de ar (Figura 26), os quais podem ser desligados caso necessário.

O sistema é composto por dois Micro ventiladores (Cooler) 120 mm x 120 mm x 25 mm; tensão nominal 24 volts; corrente contínua; corrente nominal de 0,15 Amperes; Fluxo de ar 79.0 CFM; e velocidade média de 2200 RPM. Por se tratar de parte rotativa, conta com proteção na parte interna e externa.

**Figura 26. Sistema de renovação e filtragem de ar.**



Fonte: Creality, 2023c.

A alimentação do processo ocorre pela extrusora de filamento mão única, modelo CR-6 (Figura 27.a). Nesse modelo, a engrenagem motora de bronze, com 40 dentes é encaixada no eixo de  $\varnothing 5$  mm do motor de passo Creality 42-40 (Figura 27.b) –, equivalente ao NEMA 17, com flange 42 mm, comprimento da carcaça 40 mm e passo em ângulo  $1,8^\circ$  –, e fixador no cubo da engrenagem por dois parafusos de sextavado interno M3 x 2 mm sem cabeça.

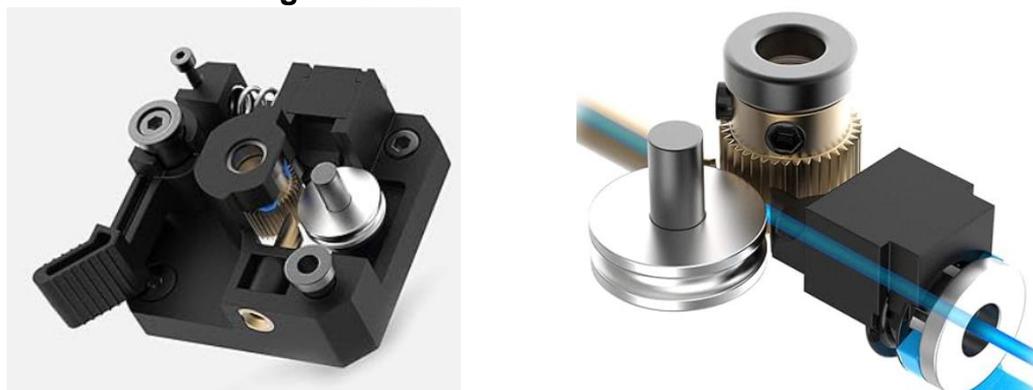
**Figura 27. (a) Extrusora CR-6 desmontada e (b) Motor de passo Creality 42-40.**



Fonte: Creality, 2023c.

O filamento perpassa entre essa engrenagem e o rolamento U604ZZ, o qual faz o papel de polia. Para regular o ajuste de pressão no filamento é usado a mola helicoidal cilíndrica de pressão/compressão  $\varnothing 1$  mm x  $\varnothing 5$  mm x 15 mm DIN 2098 (Figura 28).

**Figura 28. Extrusora CR-6 montada.**



Fonte: Creality, 2023c.

Apresenta um único *Hotend*, com duas extrusoras em série, ambos *Bowden*. Porém, a empresa fabricante denomina a extrusora mais próxima do *Hotend* de Extrusora *Titan* (Figura 29).

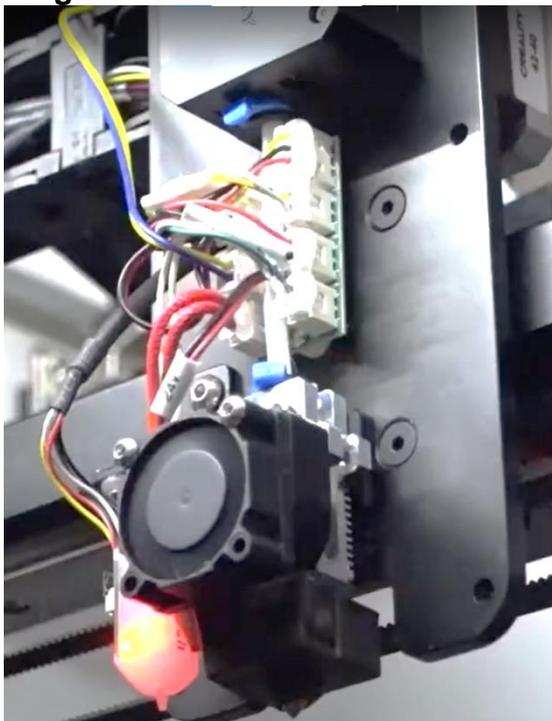
**Figura 29. Extrusora *Titan* e *Bowden*, respectivamente.**



Fonte: Creality, 2023c.

A garganta *Heatbreak* é do tipo metal com PTFE, modelo MK8 (rosca M6). O modelo de dissipador de calor é exclusivo da marca; e é acompanhado por um duto de ar que direciona para as aletas a ventilação forçada de fluxo  $5.6 \text{ CFM} \pm 10\%$  gerada por uma ventoinha  $30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ , tensão nominal 24 volts; corrente contínua; corrente nominal de 0,06 Amperes; e velocidade média de 12000 RPM (Figura 30).

**Figura 30. Hotend da CR-5060 Pro**



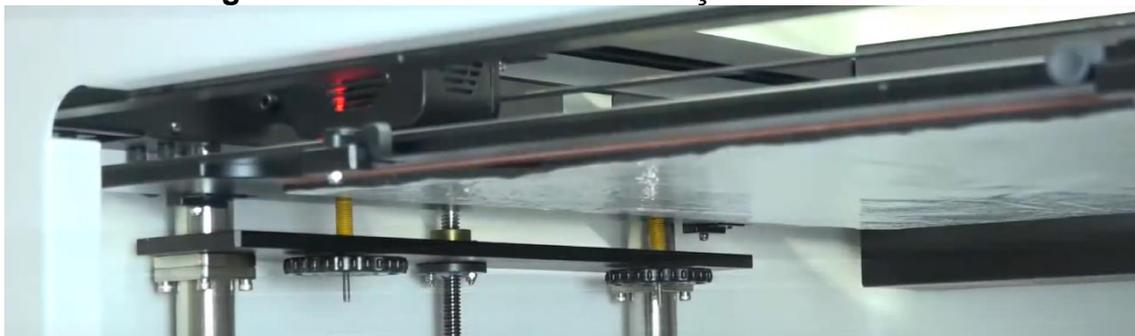
Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O bloco aquecedor é de alumínio, modelo MK8, e abriga um termistor 100 K OHM 3960B encapsulado em aço inoxidável com dimensões de  $\varnothing$  3 mm x 15 mm e uma resistência  $\varnothing$  6 mm x 20 mm, tensão nominal 24 volts e potência de 40 watts. O isolamento térmico é dado por uma capa de silicone (Figura 30).

O bico padrão que acompanha a impressora é de latão, modelo MK8 (rosca M6), com diâmetro do orifício de 0,4 mm. Apresenta um soprador composto por um cooler radial quadrado 40 mm x 40 mm x 10 mm de tensão nominal 24 volts, conectado a um duto de ventilação, que caso necessário, pode ser ligado para emitir um fluxo de ar estreito e direcionado diretamente para o bico e o filamento depositado (Figura 30).

A plataforma de construção é de mesa de vidro temperado revestimento de nano moléculas de carbono (*carborundum* –, Carbono Microporoso). Sua dimensão é de 670 mm x 540 mm. A mesa de impressão fica apoiada em quatro molas de compressão, com superfície planas nas dimensões  $\varnothing$ 8 mm x  $\varnothing$ 4,5 mm x 25 mm. A regulagem é feita pela interação dos manípulos com os parafusos M4, os quais sustentam as molas. A base de movimentação é aquecida em uma área de 500 mm x 500 mm, com manta de espuma na mesma medida para isolamento térmico (Figura 31).

**Figura 31. Plataforma de construção CR-5060 Pro.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O sistema de movimentação é CoreXY. O eixo X (Figura 32) é movimentado pelo motor de passo ML23HS8P4220, equivalente ao NEMA 23, com flange quadrada de 56,4 mm, comprimento da carcaça 55 mm e passo em ângulo 1,8°. É usado uma polia sincronizada GT2 (passo 2 mm), em alumínio, com 32 dentes, fixados no eixo de  $\varnothing 6,35$  mm (1/4") do motor por dois parafusos de sextavado interno M4 x 5 mm sem cabeça, localizados no cubo da polia.

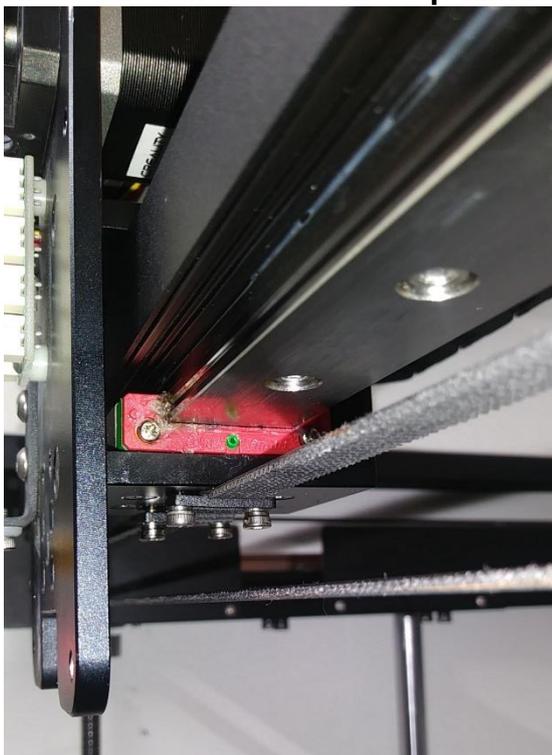
**Figura 32. Eixo X da impressora 3D CR-5060 Pro.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A correia, conseqüentemente, também é no modelo GT2 com largura de 10 mm e composição de poliuretano com núcleo de aço. Para estabilizar e guiar o eixo durante a movimentação, a Extrusora *Titan* e o *Hotend* são acoplados no patim HIWINN MGW12H que desliza no guia linear HIWINN MGWR12H com 580 mm de comprimento (Figura 33).

**Figura 33. Guia linear HIWINN MGWR12H e patim HIWINN MGW12H.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O eixo Y possui uma estrutura em H (Figura 34) para deslocar o conjunto do eixo X que está sob patins HIWIN MGN15, o qual desliza no trilho linear HIWIN MGNR15R. Toda essa estrutura é fechada por proteções.

**Figura 34. Estrutura H do eixo Y.**



Fonte: Creality, 2023c.

A movimentação do eixo Y ocorre pelo motor de passo C23HSA401, equivalente também ao NEMA 23, com flange quadrada 56,4 mm, comprimento da carcaça 77 mm e passo em ângulo 1,8° (Figura 35). Porém, o eixo é de  $\varnothing$  8 mm, com extensões para ambos os lados. Seu torque é transmitido para dois eixos de  $\varnothing$  10 mm x 330 mm através de acoplamentos rígido tipo abraçadeira modelo D25L40 8-10, de liga de

alumínio, que também amortece as vibrações e acomoda possíveis desalinhamento do sistema.

**Figura 35. Motor de passo do eixo Y.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

As outras extremidades dos eixos  $\varnothing 10$  mm, estão apoiadas em dois mancais com rolamento rígido de esfera F6800-2RS. Entre os mancais, os eixos são fixados por dois parafusos de sextavado interno M4 x 5 mm sem cabeça a uma polia sincronizada GT2 (passo 2 mm), em alumínio, com 38 dentes, que movimenta o eixo X através da correia modelo GT2 com largura de 10 mm, composição de poliuretano com núcleo de aço (Figura 36).

**Figura 36. Correias e polias sincronizadoras do eixo Y.**

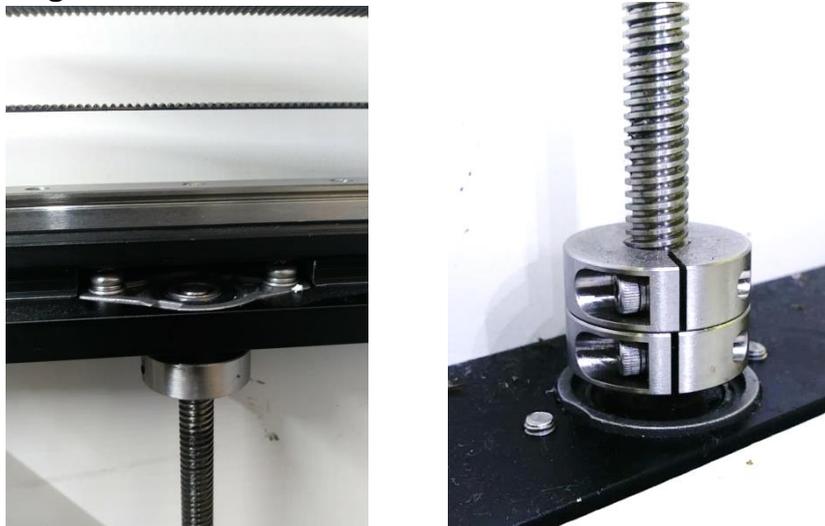


Fonte: Elaboração Própria, 2023.

No eixo Z são usados dois fusos trapezoidais TR10 passo de 2 mm, com 1 entrada. A plataforma de elevação está conectada aos fusos pelas castanhas de

latão. Para estabilizar os fusos, em ambas as extremidades, há blocos de flange com rolamento automático FL000. Também se encontra limitadores de range do deslocamento (Figura 37).

**Figura 37. Rolamento FL000 e limitadores dos fusos trapezoidais.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A transmissão da rotação para os fusos vem de um sistema polias e correias sincronizadoras GT2, as quais recebem o torque de um único motor de passo ML23HSAP4300 - também equivalente ao NEMA 23, com flange 56,4 mm, comprimento da carcaça 77 mm e passo em ângulo  $1,8^\circ$  (Figura 38). As polias sincronizadas são iguais a utilizada na movimentação do eixo X.

**Figura 38. Sistema de transmissão de torque do eixo Z.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Cada extremidade da plataforma está fixada a dois rolamentos lineares de esferas com flange quadrada LMK16UU (Figura 39), que desliza em eixos  $\varnothing$  16 mm retificados (guias lineares). O range de deslocamento no eixo Z é de 600 mm.

**Figura 39. Guias lineares do eixo Z.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A CR-5060 Pro possui os seguintes sensores: fim de curso, no eixo X e Y; fim de filamento (Figura 40.a), antes das duas extrusoras Bowden; e auto nivelamento da mesa (Figura 40.b), o qual também serve como fim de curso para o eixo Z.

**Figura 40. Sensor (a) fim de filamento e (b) auto nivelamento.**



(a)



(b)

Fonte: Creality, 2023c.

## 4.4 Instrumento De Coleta De Dados

Para administrar os planos preventivos elaborados nesse trabalho será utilizado o *software* de gerenciamento de dados chamado de SAP, sigla em alemão *Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung* (em português, Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados).

O SAP trabalha em módulos específico para cada área. Esses módulos se comunicam, de modo a integrar os dados e as informações de todos os setores da empresa. Assim, facilita que a empresa monitore e controle seus recursos, como mão de obra, ativos e materiais. Entre os módulos há o SAP Planejamento da Manutenção (sigla PM, do inglês *Plant Maintenance*) (Reis, 2000).

### 4.3.1 SAP PM

O módulo PM é responsável pelo gerenciamento de toda e qualquer ocorrência de manutenção que envolva a parte fabril. Controla itens, como número de OS's, indicadores, custos de manutenção e planos de manutenção (Reis, 2000).

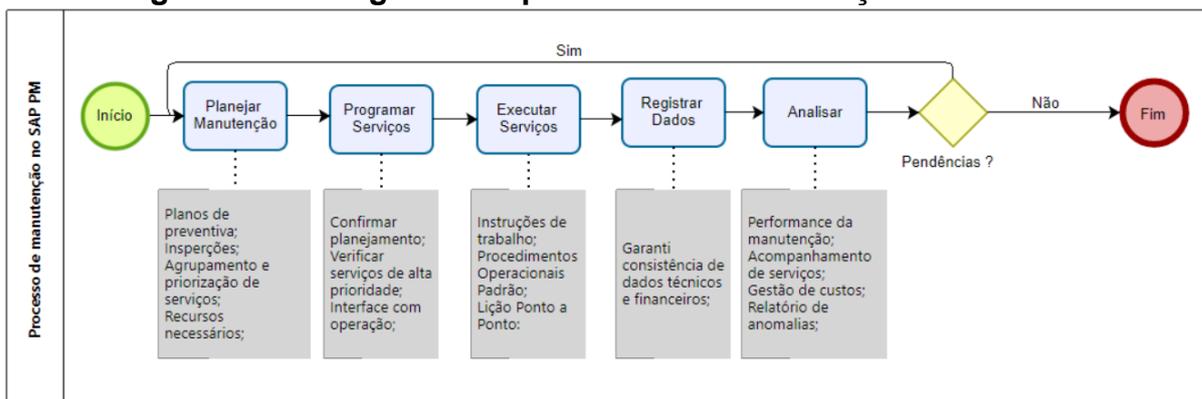
A ferramenta auxilia a realização das programações de manutenção ao gerar automaticamente, dentro das periodicidades pré-estabelecidas pelo usuário, as OS's de manutenções preventivas e preditivas previamente criadas e cadastradas, evitando um esquecimento ou uma falha na programação (Reis, 2000).

Assim, ao saber a data previamente, permite que a empresa se programe melhor para as devidas intervenções e disponibilize todos os recursos para garantir o perfeito funcionamento dos equipamentos, inclusive os Procedimentos Operacionais Padrões (POP) (Reis, 2000).

Os mantenedores executantes registram os dados que são organizados e armazenados para análise. São usados, por exemplo, para acompanhar a performance da manutenção, gerir os custos e como base de revisão dos próprios planos para melhoria constante (Reis, 2000).

Os fluxos das etapas do processo de manutenção incluem: planejamento, programação, execução dos serviços, registro de dados e análise sistêmica e operacional, como pode ser observado na Figura 41 (Reis, 2000).

**Figura 41. Fluxograma do processo de manutenção no SAP PM.**



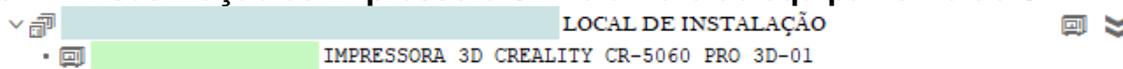
Fonte: Adaptado de REIS, 2000.

O acesso ao SAP é feito através de um *login* e senha individual, assim há uma rastreabilidade de qualquer alteração, criação ou exclusão que ocorra dentro do software, que também registra a hora da movimentação. Para cada operação há uma transação (código composto de letras e números) específica que as contemple (Reis, 2000).

#### 4.5 Descrição das etapas da investigação

A premissa para o desenvolvimento desse trabalho será que o equipamento de Manufatura Aditiva já foi criado dentro do SAP, com tagueamento, criticidade, centro de trabalho e local de instalação definidos (Figura 42).

**Figura 42. Visualização da impressora 3D na árvore de equipamento do SAP.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Porém, sem a lista técnica definida (conjunto, subconjuntos e peças que compõem o maquinário). Assim, as transações utilizadas para a elaboração dos planos de manutenção preventivos e da lista técnica são as descritas na

Tabela 1.

Não há um manual de manutenção preventiva previsto pelo fabricante. Logo, serão desenvolvidos os planos de manutenção, com base nas *expertises* dos mantenedores e em recomendações encontradas na literatura. Será feita uma separação das ações, quanto às situações que podem ser feitas pelo operador e aquelas que devem ser executadas por um técnico qualificado.

**Tabela 1. Exemplos de transações do SAP PM.**

<b>TRANSAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>IH01</b>	Árvore de ativo
<b>IB01</b>	Criar Lista Técnica para Equipamento
<b>IB02</b>	Modificar Lista Técnica para Equipamento
<b>IB03</b>	Exibir Lista Técnica para Equipamento
<b>IP42</b>	Criar Planos de Manutenção
<b>IP02</b>	Modificar Plano de Manutenção
<b>IP03</b>	Exibir Plano de Manutenção
<b>IP19</b>	Síntese e Simulação das Datas dos Planos de Manutenção
<b>IP24</b>	Síntese de Datas de Manutenção em Lista
<b>IW21</b>	Criar Etiqueta
<b>IW22</b>	Modificar Etiqueta
<b>IW23</b>	Visualizar Etiqueta
<b>IW31</b>	Criar Ordens de Serviço
<b>IW32</b>	Modificar Ordens de Serviço
<b>IW33</b>	Visualizar Ordens de Serviço
<b>IA05</b>	Criação de Task List

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Para a determinação das frequências de execuções dos planos será considerado o artigo nº58 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), que prevê que a duração normal da jornada de trabalho para funcionários da rede privada não deve exceder 8 horas diárias (BRASIL, 1943). Ou seja, inicialmente, será planejado para uma máquina que só esteja em funcionamento com a presença de um operador, em um ciclo de oito horas durante os dias úteis da semana.

## 5. RESULTADOS E ANÁLISE

Como resultado da catalogação da impressora 3D CR-5060 Pro, três planos de manutenção, com caráter preventivo, foram elaborados: plano de inspeção sensitiva; roteiros de lubrificação; e manutenção de troca de itens de desgastes. Desses, somente o plano de inspeção possui ações preventivas destinadas aos operadores, ou seja, manutenção autônoma.

A elaboração dos planos e inspeções de manutenção destinado ao corpo técnico ocorreu no SAP, junto às listas de checagem de pré-manutenção e pós-manutenção. Para consulta dos mantenedores, foi desenvolvido a lista técnica na árvore de ativo do *software*.

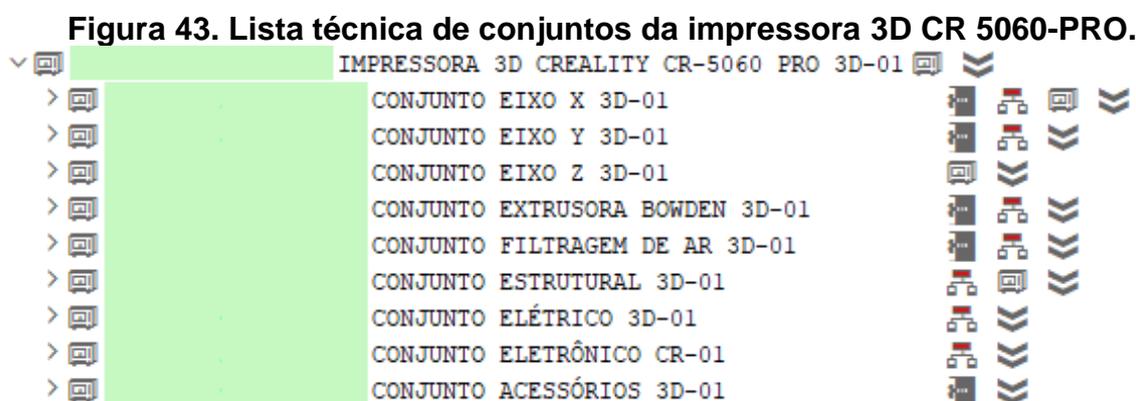
### 5.1 Lista técnica

Para a elaboração dos planos de manutenção preventiva, é necessário conhecer previamente os conjuntos que serão inspecionados e seus componentes. O mapeamento e armazenamento dessas informações, permite otimizar a execução da equipa mantenedora. Comumente, essas informações são acrescentadas na árvore de ativos (Viana , 2022).

É válido ressaltar que é padronizado, na maioria das indústrias, que todos os conjuntos e subconjuntos de uma máquina na árvore de ativo tenha a mesma TAG final do equipamento, de modo que, em uma busca, diferente da transação IH01, possam ser encontrado todas as listas técnicas associadas. Para esse trabalho, foi utilizado a TAG 3D-01. 3D seria usado para todas as impressoras 3D da fábrica e 01 indicando a ordem de aquisição.

Na lista técnica da Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01, foram criados nove conjuntos (Figura 43): (1) conjunto eixo x 3D-01, que possui movimentação da direita para a esquerda; (2) conjunto eixo y 3D-01, o qual possui movimentação para frente e para trás; (3) conjunto eixo z 3D-01, cuja movimentação é para cima e para baixo; (4) conjunto extrusora *Bowden* 3D-01, que empurra o filamento para o bico; (5) conjunto filtragem de ar 3D-01, que renova o ar dentro da estrutura enclausurada; (6) conjunto estrutura 3D-01, alicerce para os demais

conjuntos; (7) conjunto elétrico 3D-01, promove a passagem de corrente elétrica; (8) conjunto eletrônico 3D-01, circuito que faz o equipamento funcionar; (9) conjunto acessório 3D-01, componentes que não pertencem ao equipamento, mas que são usados durante a operação.



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

No SAP, ao acrescentar uma peça na lista técnica, é necessário definir a qual categoria de custo que o item pertence. De acordo com a seleção, informações específicas são solicitadas sobre o item. Para esse trabalho apenas duas categorias foram utilizadas: *Stock item*, representado pela letra L, e *Text item*, representado pela letra T (SAP, 2023c). A escolha se deu, pois ambas as categorias só requerem apenas descrição do item e o quantitativo, informações mais relevantes aos planos de manutenção preventiva.

O uso da categoria *Stock item* é restrita a peças já cadastradas no almoxarifado da empresa. A elas são associadas um código de material. Vale ressaltar que, não é reservado a itens de estoque, mas, as peças que já possuem referências comerciais especificadas, como fornecedor e valores definidos. As demais peças não cadastradas são categorizadas como *Text itens*. Ao longo da vida útil do ativo, os *Text itens* vão sendo substituídos por *Stock itens*.

No conjunto eixo X 3D-01 (Figura 44), além dos componentes responsáveis pela movimentação, há dois subconjuntos: subconjunto *Hotend* 3D-01 (Figura 45) e subconjunto extrusora *Titan* (Figura 46). Como no *Hotend* é possível utilizar bicos de orifícios e materiais diversos, foram reunidos em um bloco denominado peça bico 3D-01 (Figura 45).

**Figura 44. Lista técnica do Conjunto Eixo X 3D-01.**

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM T			1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X10MM L			15 EA
PATIM HIWIN MGW12H T			1 EA
PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3X10MM L			4 EA
MOTOR NEMA 23 L			1 EA
PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12 T			4 EA
ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM L			4 EA
POLIA GT2 Z32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM T			1 EA
PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM L			2 EA
CORREIA GT2 10MM L			1 EA
PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8 T			4 EA
ARRUELA DE PRESSAO INOX 3MM L			4 EA
MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ T			1 EA
MICRO ROLAMENTO 625 ZZ T			1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM L			1 EA
PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM L			1 EA
ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM L			1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X20MM L			2 EA
PLACA PARA HOTEND E EXTRUSORA TITAN T			1 EA
PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 4X20MM L			4 EA
SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO T			1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM L			2 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM L			2 EA
SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO BL-TOUCH L			1 EA
SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO CR-TOUCH L			1 EA
PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN T			1 EA
PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM L			5 EA
ESTEIRA PORTA CABO 18X25 MM L			1 EA
SUB CONJ HOTEND 3D-01			
SUB CONJ EXTRUSORA TITAN			

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

**Figura 45. Lista técnica do Subconjunto Hotend 3D-01.**

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
SUB CONJ HOTEND 3D-01			
TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75MM (4X2)	L		1 EA
GARGANTA MK8	L		1 EA
DISSIPADOR DE CALOR CR 5060-PRO	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X20MM	L		2 EA
CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO	L		1 EA
BLOCO AQUECEDOR MK8 LINHA CR	L		1 EA
CAPA ISOLANTE TÉRMICO DE SILICONE MK8	L		1 EA
CAPA ISOLANTE TÉRMICO DE ALGODÃO MK8	L		1 EA
TERMISTOR 100K 3950B	L		1 EA
RESISTENCIA CARTUCHO HOTEND 24V 40W	L		1 EA
SOPRADOR 4010R 24V	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM	L		2 EA
COOLER 3010 24V	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X25MM	L		2 EA
CONECTOR JST 2,54 MM 2 VIAS	L		6 EA
PLACA DE CIRCUITO 94V HQPCB-2 E469747	T		1 EA
PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM	L		2 EA
PEÇA BICO 3D-01			
BICO MK8 0,2 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 0,3 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 0,4 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 0,5 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 0,6 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 0,8 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 1,0 MM LATÃO	L		1 EA
BICO MK8 0,2 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 0,3 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 0,4 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 0,5 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 0,6 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 0,8 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 1,0 MM AÇO INOXIDAVEL	L		1 EA
BICO MK8 0,2 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA
BICO MK8 0,3 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA
BICO MK8 0,4 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA
BICO MK8 0,5 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA
BICO MK8 0,6 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA
BICO MK8 0,8 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA
BICO MK8 1,0 MM AÇO ENDURECIDO	L		1 EA

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

**Figura 46. Lista técnica do Subconjunto Extrusora Titan 3D-01.**

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
SUB CONJ HOTEND 3D-01			
SUB CONJ EXTRUSORA TITAN			
MOTOR DE PASSO NEMA 42-40	L		1 EA
KIT EXTRUSORA DE FILAMENTO MÃO UNICA	L		1 EA
CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X20MM	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X25MM	L		1 EA
CONECTOR JST 2,54 MM 6 VIAS	L		1 EA
TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75MM (4X2)	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X10MM	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M3 X 12 MM	T		2 EA
ENGRENAGEM EXTRUSORA MK8 Z40 BRONZE	L		1 EA
ENGRENAGEM EXTRUSORA MK8 Z40 INOX	L		1 EA
ROLAMENTOS U604ZZ	L		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X10MM	L		1 EA
MOLA DE PRESSAO 1MM X 5MM X15MM	L		1 EA
BLOCO CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO	T		1 EA
PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X25MM	L		2 EA

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O conjunto extrusora *Bowden* 3D-01, se iguala com os itens do subconjunto extrusora *Titan*, com exceção do sensor fim de filamento e o filtro de limpeza do filamento (Figura 47).

**Figura 47. Lista técnica do conjunto extrusora *Bowden* 3D-01.**

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
CONJUNTO EIXO Y 3D-01			
CONJUNTO EIXO Z 3D-01			
CONJUNTO EXTRUSORA BOWDEN 3D-01			
• SENSOR FIM DE FILAMENTO	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X20MM	L		2 EA
• MOTOR DE PASSO NEMA 42-40	L		1 EA
• KIT EXTRUSORA DE FILAMENTO MÃO UNICA	L		1 EA
• TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75MM (4X2)	L		1 EA
• CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X20MM	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X25MM	L		1 EA
• CONECTOR JST 2,54 MM 6 VIAS	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X10MM	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M3 X 12 MM	T		2 EA
• ENGRENAGEM EXTRUSORA MK8 Z40 BRONZE	L		1 EA
• ENGRENAGEM EXTRUSORA MK8 Z40 INOX	L		1 EA
• ROLAMENTOS U604ZZ	L		1 EA
• PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X10MM	L		1 EA
• MOLA DE PRESSAO 1MM X 5MM X15MM	L		1 EA
• FILTRO DE LIMPEZA DE FILAMENTO	L		1 EA

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O conjunto eixo Y 3D-01 não possui subconjunto. Já o conjunto eixo Z 3D-01, possui como subconjunto os itens que compõem a plataforma de impressão (Figura 48).

Figura 48. Lista técnica dos Conjuntos Eixo Y e Z 3D-01.

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
CONJUNTO EIXO Y 3D-01			
	TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGNR15 620 MM	T	2 EA
	PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X10MM	L	30 EA
	PATIM HIWIN MGN15	T	2 EA
	MOTOR NEMA 23	L	1 EA
	EIXO 10 MM X 330	T	2 EA
	ACOPLAMENTO RIGIDO ABRAÇADEIRA DXXLXX	T	2 EA
	MANCAL ROLAMENTO F6800 2RS	T	4 EA
	POLIA GT2 Z38 FURO 10 MM CORREIA 10 MM	T	2 EA
	PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM	L	4 EA
	CORREIA GT2 10MM	L	2 EA
	MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ	T	4 EA
	MICRO ROLAMENTO 625 ZZ	T	2 EA
	PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM	L	2 EA
	ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM	L	2 EA
	PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM	L	2 EA
	PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X20MM	L	4 EA
	ARRUELA PRESSAO 4MM INOX 304 QMD	L	4 EA
	PROTEÇÃO DO EIXO Y	T	2 EA
	PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 4X10MM	L	14 EA
	PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM	L	12 EA
CONJUNTO EIXO Z 3D-01			
	FUSO TR10 PASSO 2 MM 1 ENTRADA INOX	T	2 EA
	CASTANHA LATÃO	T	2 EA
	ROLAMENTO AUTOMÁTICO BLOCO FLO00	T	4 EA
	ANEL LIMITE BLOQUEIO EIXO 10 X 30 X #10	T	6 EA
	MOTOR NEMA 23	L	1 EA
	POLIA GT2 Z32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM	T	3 EA
	PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM	L	6 EA
	CORREIA GT2 10MM	L	1 EA
	EIXO RETIFICADO D16 MM	T	4 EA
	ROLAMENTO LINEAR ESFERA FLANGE LMK16UU	T	8 EA
	MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ	T	4 EA
	MICRO ROLAMENTO 625 ZZ	T	2 EA
	PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM	L	2 EA
	PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM	L	2 EA
CONJUNTO PLATAFORMA DE CONSTRUÇÃO 3D-01			
	MESA AQUECIDA 500 MM x 500 MM 24V	T	1 EA
	KIT DE MOLAS PLANAS PARA MESA AQUECIDA	L	4 EA
	KIT PORCA HOTBED M4 C/ 4 BLACK	L	1 EA
	MANTA DE ISOLAMENTO PARA MESA AQUECIDA	L	1 EA
	VIDRO CARBORUNDUM 600 MM X 600 MM	T	1 EA

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O Conjunto filtragem de ar 3D-01 também não possui subconjuntos (Figura 49). No conjunto estrutural 3D-01, cada porta é considerada como um subconjunto (Figura 50). Para detalhamento dos componentes dos conjuntos elétrico 3D-01 e eletrônico 3D-01, se faz necessário um profissional eletroeletrônico.

**Figura 49. Lista técnica do conjunto filtragem de ar 3D-01.**

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
CONJUNTO EIXO Y 3D-01			
CONJUNTO EIXO Z 3D-01			
CONJUNTO EXTRUSORA BOWDEN 3D-01			
CONJUNTO FILTRAGEM DE AR 3D-01			
COOLER 120 X 120 X 25 MM 24V 0,15A	T		2 EA
PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M4X40	T		8 EA
PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 4MM	L		8 EA
GAIOLA EXTERNA	T		2 EA
PROTEÇÃO EXTERNA	T		2 EA
PROTEÇÃO INTERNA	T		1 EA
PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 4X10MM	L		10 EA

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

**Figura 50. Lista técnica do conjunto estrutural 3D-01.**

IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01			
CONJUNTO EIXO X 3D-01			
CONJUNTO EIXO Y 3D-01			
CONJUNTO EIXO Z 3D-01			
CONJUNTO EXTRUSORA BOWDEN 3D-01			
CONJUNTO FILTRAGEM DE AR 3D-01			
CONJUNTO ESTRUTURAL 3D-01			
PORTA CARRETEL	T		1 EA
RODIZIO COM REGULADOR DE NIVEL GD-60F	T		4 EA
SUB CONJ PORTA DIREITA			
PLACA DE POLICARBONATO 370 MM X 590 MM	T		1 EA
PARAFUSO ALLEN CAB ABAULADA M3 X 6	T		12 EA
ARRUELA LISA 3MM INOX 304 QMD	L		12 EA
ARRUELA LISA ABA LARGA INOX M3	T		12 EA
ÍMÃ NEODÍMIO ANEL N35	T		4 EA
PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M3X8	T		4 EA
EMBORRACHADO EVA 20 MM X 500 MM X #2 MM	T		1 EA
ALÇA RETÂNGULAR PUXADOR EMBUTIDO	T		1 EA
SUB CONJ PORTA FRONTAL			
PLACA DE POLICARBONATO 510 MM X 615 MM	T		1 EA
PARAFUSO ALLEN CAB ABAULADA M3 X 6	T		16 EA
ARRUELA LISA 3MM INOX 304 QMD	L		16 EA
ARRUELA LISA ABA LARGA INOX M3	T		16 EA
ÍMÃ NEODÍMIO ANEL N35D	T		4 EA
PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M3X8	T		4 EA
EMBORRACHADO EVA 20 MM X 500 MM X #2 MM	T		1 EA
ALÇA PUXADOR PLÁSTICO 265 MM	T		1 EA
SUB CONJ PORTA SUPERIOR			
PLACA DE POLICARBONATO 440 MM X 440 MM	T		1 EA
PARAFUSO ALLEN CAB ABAULADA M3 X 6	T		16 EA
ARRUELA LISA 3MM INOX 304 QMD	L		16 EA
ARRUELA LISA ABA LARGA INOX M3	T		16 EA
DOBRADIÇA CURVA COM AMORTECEDOR	T		3 EA
ALÇA RETÂNGULAR PUXADOR EMBUTIDO	T		1 EA
EMBORRACHADO EVA 20 MM X 500 MM X #2 MM	T		1 PC

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

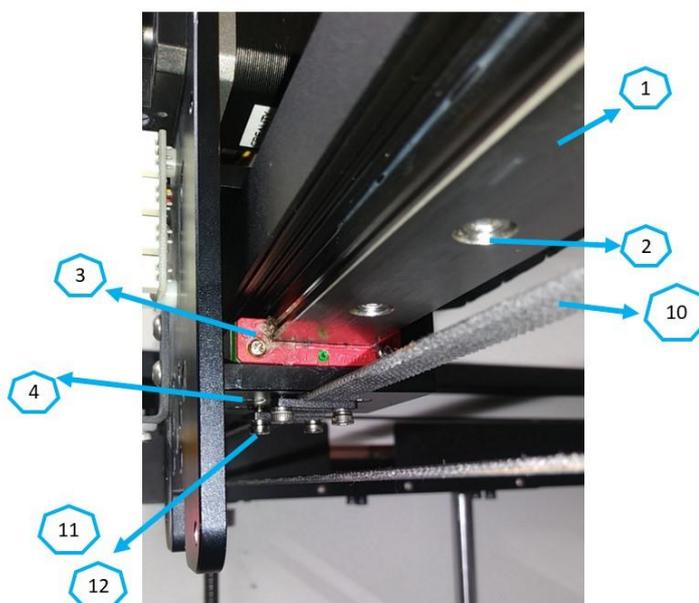
O manual fotográfico parcial da lista técnica (Figura 51) para consulta dos mantenedores desenvolvido está no APÊNDICE A – LISTA TÉCNICA. Segue a

ordem da árvore de equipamento e associa as principais peças descritas com uma imagem que facilite a identificação do item no equipamento. Além de ser usado no momento da realização das inspeções ou manutenções preventivas, também poderá assessorar as manutenções corretivas.

**Figura 51. Exemplo do manual fotográfico da lista técnica.**

### CONJUNTO EIXO X 3D-01

1. TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM
2. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 4X10 MM
3. PATIM HOWIM MGH12H
4. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3 X 10 MM
5. MOTOR NEMA
6. PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12
7. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
8. POLIA GT2 Z 32 FURO 6,35 MM CORREIA 10MM
9. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. CORREIA GT2 10 MM
11. PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8
12. ARRUELA DE PRESSÃO INOX 3 MM
13. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
14. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
15. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 5X35MM
16. PORCA AUTO TRAVANTE SEXTAVADA INOX 5 MM
17. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5 MM
18. PARAFUSO ALLEN CABECA CHARA 4X20MM
19. PLACA CONTROLADORA PARA HOTEND
20. SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO
21. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM
22. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM
23. SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO
24. PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN
25. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAILADA 3X10 MM
26. ESTEIRA PORTA CABO 18X25MM



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

## 5.2 PLANOS PREVENTIVOS

Para criação dos planos preventivos com periodicidade definida no SAP é utilizado a transação IP42 (Figura 52). A primeira informação solicitada é o código de identificação do plano. A padronização varia de empresa para empresa. Para esse trabalho foi padronizado: Setor (XXX) + Sigla do equipamento (XX00) - Numeração Crescente de acordo com a criação dos planos (0000).

**Figura 52. Página inicial da IP42.**

Create Maintenance Plan: Initial	
Maintenance plan	M3D3D01-0001
Maint. plan cat.	Maintenance order
Strategy	MONTH2
>>   IP42 v     OVR	

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O setor é o de Manufatura Aditiva, representado por M3D. A sigla do equipamento foi definida na criação do equipamento na árvore de ativo – 3D01. Assim, os planos criados são: M3D3D01-0001, inspeções sensitivas; M3D3D01-0002, plano de lubrificação; M3D3D01-0003, troca de itens de desgastes; M3D3D01-0004, intervenção preventiva.

Após a nomenclatura se faz necessário categorizá-los. Todos os planos estão classificados como *Maintenance Order*, o que significa que o sistema gerará uma Ordem de Serviço com a descrição das operações a serem realizadas. A estratégia de periodicidade (diário, semanal, mensal) será variável de acordo com o objetivo do plano.

Com a alteração da tela, novas informações são solicitadas. Uma delas é o nome do plano de manutenção, que também tende a ser padronizado (Figura 53). Foi utilizado a combinação: Setor (XXX) + Sigla do equipamento (XX00) + Sigla da Atividade (XXX) + Tipo de execução (XXX) + periodicidade (00X). As atividades serão Troca Programada (TRP), inspeção geral (ING) e Lubrificação (LUB). A execução de todos os planos será pela equipe dos mecânicos (MEC).

**Figura 53. Exemplo de nomenclatura do plano na IP41.**

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Nas demais abas da transação IP42, a maioria das informações são de acordo com a estruturação da empresa. Em comum, se encontra apenas: (I) seleção do equipamento em que o plano estará associado; (II) a prioridade de execução da Ordem de Serviço quando for gerada; (III) o tipo da ordem de serviço, YM02 indica plano preventivo. Para todos os planos criados foram utilizados os dados mostrados na Figura 54. O tipo de atividade de manutenção varia de acordo com o plano.

**Figura 54. Segunda seção do IP41.**

Item	Object list item	Item location	Cycle item 12/27/2023
<b>Reference object</b>			
Functional loc.			
Equipment			IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D...
Assembly			
<b>Planning Data</b>			
Planning plant		Maint. Planner Group	
Order Type	YM02 Preventive Maintenance Order	MaintActivityType	
Main WorkCtr	/ VSA Factory - Main...	Business Area	
Priority	Medium - 7 Days	Settlement Rule	
Sales Document	/		

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

A Lista de tarefas a ser executada no plano pode ser adicionado durante a criação no IP42 ou após, com a transação IA05. Como primeira operação padrão está a lista de verificação de pré-manutenção (Figura 55), esta consiste nas verificações a ser realizadas pelo mantenedor para garanti que as atividades do plano sejam executadas com segurança.

**Figura 55. Check List de pré-manutenção gerada no SAP.**  
Maintenance Job Ticket (WO ) Date:12/27/2023

Oper	Main Work Center:	Personnel	Work
0010			30
<b>Actual Start Time</b>		<b>Actual Finish Time</b>	<b>Complete (Y/N)</b>
<b>Purchase Requisition</b>			Yes No
ING-CHECK LIST DE MANUTENCAO PREVENTIVA			
ING-CHECK LIST DE MANUTENCAO PREVENTIVA			
-----			
CHECK LIST DE PRE MANUTENCAO			
-----			
01) ( )OK ( )NOK ( )N/A - BLOQUEAR TODAS AS FONTES DE ENERGIA DO EQUIPAMENTO(ELETRICAS, PNEUMATICAS E OUTRAS).			
02) ( )OK ( )NOK ( )N/A - UTILIZAR OS EPI'S E EPC'S ADEQUADOS PARA A EXECUCAO DA ATIVIDADE.			
03) ( )OK ( )NOK ( )N/A - REALIZAR ANALISE RAPIDA DE RISCO (ARR) E ANALISE DE RISCO DE QUALIDADE (ARQ).			
04) ( )OK ( )NOK ( )N/A - REALIZAR A ABERTURA DA LTR (LIBERACAO DE TRABALHO DE RISCO).			
05) ( )OK ( )NOK ( )N/A - ISOLAR E SINALIZAR ADEQUADAMENTE A AREA DA EXECUCAO DA ATIVIDADE, AFIM DE INFORMAR A RESTRICAO DE ACESSO AO LOCAL DE PESSOAS QUE NÃO ESTAO ENVOLVIDAS NA ATIVIDADE.			
06) ( )OK ( )NOK ( )N/A # UTILIZAR AS FERRAMENTAS ADEQUADAS PARA REALIZACAO DA ATIVIDADE.			
07) ( )OK ( )NOK ( )N/A # ELIMINAR INSTALACOES IMPROVISADAS QUE PROPORCIONAM ALGUM RISCO AS PESSOAS OU AO EQUIPAMENTO.			
08) ( )OK ( )NOK ( )N/A # DISPONIBILIZAR FISPQ PARA OS PRODUTOS QUIMICOS UTILIZADOS NA AREA.			
09) ( )OK ( )NOK ( )N/A # UTILIZAR AS FERRAMENTAS E UTENSILIOS NO PADRAODE CORES E REALIZAR LIMPEZA E SANITIZACAO			
10) ( )OK ( )NOK - AS FERRAMENTAS PRECISAM ESTAR EM BOM ESTADO DE CONSERVAÇÃO. SE NOK, NECESSARIO REALIZAR O REPARO OU DESCARTE.			

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

O mantenedor segue o roteiro, preenchendo “OK” para conformidade, “NOK” para não-conformidade e N/A para tópicos não aplicável a atividade a ser realizada. Caso alguma das opções esteja não conforme, a atividade de preventiva não poderá ser iniciada até a regularização. Após a lista de atividades do plano, há uma lista de verificação de pós-manutenção (Figura 56). A OS só é concluída quando está devidamente preenchida.

Em ambas, é possível verificar os campos: *Oper*, qual a ordem daquela atividade dentro da OS; *Main Work Center*, centro de custo que irá debitar o consumo de recursos; *Personnel*, que é preenchido pelo Planejador de Manutenção na transação IW32 indicando o profissional que irá realizar aquela atividade; *Work*, previsão da duração de execução em minuto; *Actual Start/Finish Time*, tempo de início e fim da execução.

**Figura 56. Check List de pós-manutenção gerada no SAP.**

Maintenance Job Ticket (WO ) Date:12/27/2023

Oper	Main Work Center:	Personnel	Work
0030			30
Actual Start Time		Actual Finish Time	
Purchase Requisition			Complete (Y/N)
			Yes No
ING-CHECK LIST DE MANUTENCAO PREVENTIVA			
ING-CHECK LIST DE MANUTENCAO PREVENTIVA			
-----			
CHECK LIST DE POS MANUTENCAO			
-----			
10) ( )OK ( )NOK ( )N/A # CONCLUIR TODAS AS ATIVIDADES DE MANUTENCAO.			
11) ( )OK ( )NOK ( )N/A # FECHAR TODOS OS PAINELIS ELETRICOS.			
12) ( )OK ( )NOK ( )N/A # DESBLOQUEAR TODAS AS FONTES DE ENERGIA DO EQUIPAMENTO (ELETRICA, PNEUMATICA ENTRE OUTRAS).			
13) ( )OK ( )NOK ( )N/A # INSTALAR TODAS PROTECOES QUE FORAM DESMONTADAS DURANTE AS ATIVIDADES.			
14) ( )OK ( )NOK ( )N/A # LIMPAR, SANITIZAR E ORGANIZAR O EQUIPAMENTO E O LOCAL DA EXECUCAO DA ATIVIDADE.			
15) ( )OK ( )NOK ( )N/A # LIMPAR E SANITIZAR AS FERRAMENTAS E UTENSILIOS UTILIZADOS APOS A MANUTENCAO.			
16) ( )OK ( )NOK ( )N/A # RETIRAR TODAS PECAS E PARAFUSOS SOLTOS NA SUPERFICIE DO EQUIPAMENTO.			
17) ( )OK ( )NOK ( )N/A # REALIZAR TODOS OS AJUSTES E TESTES NO EQUIPAMENTO APOS A MANUTENCAO.			

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Cada lista de atividade criada por plano será descrita nos capítulos a seguir. Caso necessário, para auxiliar na execução, poderá ser associado uma instrução de trabalho ou um LPP (Lição Ponto a Ponto).

### 5.2.1 Inspeção sensitiva

As inspeções sensitivas são atividades que devem ser realizadas rotineiramente para acompanhar as características do equipamento e identificar não-

conformidades antes da ocorrência da falha ou pane. Assim, permite planejar a Manutenção Corretiva para restaurar a condição básica do equipamento (Viana, 2022).

Como exemplo, há a Lista de checagem diária (*checklist*) de verificação do equipamento que o operador preenche antes do início de cada turno de modo a confirmar que o equipamento está operando corretamente. A lista de checagem da Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01 está no APÊNDICE B – LISTA DE CHECAGEM DIÁRIA.

Como utiliza primordialmente os cinco sentidos e o conhecimento prévio que o executante possui sobre as condições de funcionamento do maquinário, para a inspeção sensitiva da Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01, seja dos operadores ou mantenedores, foi utilizado também a metodologia da lista de checagem.

Ou seja, na lista de atividade o executante da OS inspeciona cada item preenchendo "OK" para conformidade e "NOK" para não-conformidade. Caso seja encontrado não-conformidades, serão identificadas *in loco* com etiquetas e aberto no SAP notificações do tipo N3.

Etiquetas são ferramentas utilizadas para evidenciar visualmente as não-conformidades no equipamento. São encontradas em três cores (Figura 57): azul, para problemas que os operadores possam resolver; vermelhas, para anomalias que necessitam da intervenção do corpo técnico especializado da manutenção; e amarela, quando envolve risco para segurança, saúde e meio ambiente (FERREIRA, 2016).

Figura 57. Exemplos de etiquetas.

The figure displays three distinct maintenance anomaly labels. Each label is a form with a header, a grid for severity and probability, and several text input fields.

- Red Label (Manutenção Progressiva):** Features a red header and a red grid. It includes fields for 'Detectada por', 'Máquina', 'Turno', 'Data', 'Local de Acesso', and 'Fonte de Sugerir'. The grid has columns for 'Baixa (B)', 'Média (M)', and 'Alta (A)', and rows for 'Baixa (B)', 'Média (M)', and 'Alta (A)'. It also has a 'PRORRIEDADE' section with categories A, B, and C.
- Yellow Label (SSMA):** Features a yellow header and a yellow grid. It includes fields for 'Detectada por', 'Máquina', 'Turno', 'Data', 'Local de Acesso', and 'Fonte de Sugerir'. The grid has columns for 'Baixa (B)', 'Média (M)', and 'Alta (A)', and rows for 'Baixa (B)', 'Média (M)', and 'Alta (A)'. It also has a 'PRORRIEDADE' section with categories A, B, and C.
- Blue Label (Manutenção Autônoma):** Features a blue header and a blue grid. It includes fields for 'Detectada por', 'Máquina', 'Turno', 'Data', 'Local de Acesso', and 'Fonte de Sugerir'. The grid has columns for 'Baixa (B)', 'Média (M)', and 'Alta (A)', and rows for 'Baixa (B)', 'Média (M)', and 'Alta (A)'. It also has a 'PRORRIEDADE' section with categories A, B, and C.

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

As notificações são as etiquetas registradas no SAP. São dívidas, assim como as OS's, em categorias para que possam ser usadas nos indicadores de manutenção. Há categorias padrão do próprio SAP e personalizadas de acordo com a necessidade da empresa (SAP, 2023c). Neste trabalho, são utilizadas, conforme relacionadas na Tabela 2.

**Tabela 2. Exemplos de tipos de notificação e ordens de manutenção no SAP.**

<b>Nota</b>	<b>Descrição</b>	<b>OS</b>	<b>Descrição</b>
<b>X1</b>	Corretiva programada, etiquetas vermelhas e amarelas;	<b>XX05</b>	Manutenção corretiva;
		<b>XX06</b>	Treinamentos, serviços de bancada, reuniões, Operações de equipamentos;
		<b>XX08</b>	Ordens de melhoria;
<b>X2</b>	Corretiva não programada, Intervenção imediata com ou sem quebras (Não há etiqueta);	<b>XX01</b>	Parada de máquina/equipamento com ou sem quebra;
<b>N3</b>	Anomalias encontradas durante execução de rotas de manutenção;	<b>YM05</b>	Manutenção corretiva;
<b>X4</b>	Etiquetas azuis e melhorias;	<b>YM05</b>	Manutenção corretiva;
		<b>XX06</b>	Treinamentos, serviços de bancada, reuniões, Operações de equipamentos;
		<b>XX08</b>	Ordens de melhoria;
<b>-</b>	<b>-</b>	<b>XX02</b>	Planos preventivos
		<b>XX03</b>	Planos preditivos
		<b>XX07</b>	Calibração de equipamento

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Assim, quando as OS's são originadas de anomalias encontradas durante execução de rotas de manutenção são classificadas como N3. A partir delas, são geradas OS do tipo YM05, que indica manutenção corretiva (Figura 58).

**Figura 58. Fluxograma ao encontrar não-conformidades.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

No plano de código M3D3D01-0001, na inspeção mecânica sensitiva, a lista de verificação foi dividida em onze grupos. Os dois primeiros são referentes aos sistemas de segurança da impressora 3D CR-5060 PRO 3D-01 (Figura 59).

O disjuntor NXBLE-32 C10 230V 50HZ 6000A, o qual atua combatendo as sobrecargas e curtos-circuitos. Recomendado a realização do teste de simulação interna de fuga de corrente uma vez no mês, ou se houver intervenção na parte elétrica do equipamento (Mattede, 2016).

Já o sistema de segurança *Thermal Runaway Protection* intervém quando se detecta um descontrole térmico, ou seja, quando o termistor ler uma temperatura divergente da real e o microcontrolador, este continuaria aumentando a potência de aquecimento da resistência até resultar em incêndios ou explosões. Para evitar isso, quando há uma resposta ao aquecimento inadequada ao programado, o sistema de segurança para a máquina e todos os seus aquecimentos, segundo Sampaio (2017).

**Figura 59. Página 1 do plano de inspeção sensitiva.**

Maintenance Job Ticket (WO ) Date:12/27/2023

Oper	Main Work Center:	Personnel	Work
0020			210
Actual Start Time		Actual Finish Time	Complete (Y/N)
Purchase Requisition			Yes No
ING-M-INSPEÇÃO SENSITIVA			
ING-M-INSPEÇÃO SENSITIVA			
*			
INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUIR, PREENCHER "OK" PARA CONFORMIDADE E "NOK" PARA NÃO CONFORMIDADE			
PARA TODAS AS NÃO CONFORMIDADES DEVEM SER ABERTAS NOTIFICAÇÕES NO SAP DO TIPO N3			
*			
1) SISTEMA DE SEGURANÇA DA CHAVE GERAL DO LOTO: ( )OK ( )NOK			
- SIMULAR FUGA DE CORRENTE ATRAVÉS DO BOTÃO TESTE DO DDR;			
*			
2) SISTEMA DE SEGURANÇA THERMAL RUNAWAY PROTECTION:			
( )OK ( )NOK			
- VERIFICAR SE O EQUIPAMENTO ESTÁ ATINGINDO E MANTENDO SUA TEMPERATURA LIMITE;			
- VERIFICAR SE O EQUIPAMENTO CORTA A ENERGIA DOS AQUECEDORES QUANDO A TEMPERATURA NÃO AUMENTA;			
*			
3) ESTRUTURA ENCLAUSURADA: ( )OK ( )NOK			
- VERIFICAR TRAVAMENTO DOS RODÍZIOS			
- VERIFICAR POSSÍVEIS TRINCAS NAS PROTEÇÕES;			
- VERIFICAR FALTA DE PARAFUSO;			
- VERIFICAR LIMPEZA;			
*			
4) ILUMINAÇÃO: ( )OK ( )NOK			
- VERIFICAR O FUNCIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO INTERNA;			
*			
5) MOVIMENTAÇÃO DO EIXO X: ( )OK ( )NOK			
- VERIFICAR FOLGAS E DESGASTES NA CORREIA;			
- VERIFICAR FOLGAS E DESGASTES NA POLIA;			
- VERIFICAR MOVIMENTAÇÃO NO EIXO;			
- VERIFICAR AJUSTE DOS PARAFUSOS;			
- VERIFICAR VIBRAÇÕES E RUÍDOS INCOMUM NO MOTOR;			
- VERIFICAR FUNCIONAMENTO DO SENSOR FIM DE CURSO;			
- VERIFICAR LIMPEZA;			
- VERIFICAR LUBRIFICAÇÃO NOS TRILHOS LINEARES;			
*			
6) HOTEND: : ( )OK ( )NOK			
- VERIFICAR FUNCIONAMENTO DA VENTONHA;			
- VERIFICAR OBSTRUÇÕES NA GARGANTA HEATBREAK;			
- VERIFICAR DESGASTE BICO;			
- VERIFICAR CONDIÇÃO DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS;			
- VERIFICAR LIMPEZA;			

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Os demais grupos são em relação aos conjuntos e subconjuntos da lista técnica desenvolvida. Na Figura 60 é possível visualizar que ao fim da OS YM2, gerada pelo plano de inspeção sensitiva, há um campo para assinatura do executante e do supervisor, ou planejador, e espaço para adicionar observações durante a execução, o que auxilia na melhoria constante dos planos.

## Figura 60. Página 2 do plano de inspeção sensitiva.

Original/Copy

Maintenance Job Ticket (WO ) Date:12/27/2023

* 7) MOVIMENTAÇÃO DO EIXO Y: : ( )OK ( )NOK - VERIFICAR POSSIVEIS TRINCAS E FALTA DE PARAFUSO NAS PROTEÇÕES - VERIFICAR AJUSTE DOS PARAFUSOS; - VERIFICAR MOVIMENTAÇÃO; - VERIFICAR FUNCIONAMENTO DO SENSOS FIM DE CURSO; - VERIFICAR LIMPEZA; - VERIFICAR LUBRIFICAÇÃO NOS TRILHOS LINEARES; * 8) MOVIMENTAÇÃO DO EIXO Z: ( )OK ( )NOK - VERIFICAR DESGASTE NOS FUSOS; - VERIFICAR DESGASTE NOS GUIAS LINEARES; - VERIFICAR FUNCIONAMENTO DO SENSOS FIM DE NIVELAMENTO; - VERIFICAR AJUSTE DOS PARAFUSOS; - VERIFICAR MOVIMENTAÇÃO; - VERIFICAR LIMPEZA; - VERIFICAR LUBRIFICAÇÃO NOS FUSOS E GUIAS LINEARES; * 9) TRACIONAMENTO DO FILAMENTO: ( )OK ( )NOK - VERIFICAR O FUNCIONAMENTO DAS EXTRUSORAS; - VERIFICAR O AJUSTE DA TRACÇÃO DAS EXTRUSORAS; - VERIFICAR A MOVIMENTAÇÃO DO FILAMENTO NO TUBO PTFE; - VERIFICAR LIMPEZA; * 10) FILTRAGEM DE AR : ( )OK ( )NOK - VERIFICAR O FUNCIONAMENTO DOS MICROVENTILADORES; - VERIFICAR A PRESENÇA DE RUÍDOS INCOMUM; - VERIFICAR LIMPEZA; * 11) PLATAFORMA DE CONSTRUÇÃO: ( )OK ( )NOK - VERIFICAR O NIVELAMENTO DA MESA; - VERIFICAR AJUSTE DAS MOLAS; - VERIFICAR CONDIÇÃO DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS; - VERIFICAR LIMPEZA;

Requester/Technician

Supervisor/Planner

Notes:



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Não há lista de ferramentas e componentes, pois o monitoramento é subjetivo, ou seja, realizado pela visão, audição, olfato e tato. A periodicidade está vinculada a faixa de tempo, e não de utilização. Como o fabricante recomenda o teste da corrente de fuga do DDR uma vez por mês, essa foi a frequência programada para que o SAP gere Ordem de Serviço via Inspeção da Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01.

Após a criação do plano, pela transação IP24, este é visualizado as datas programadas automaticamente pelo SAP para aberturas das OS's de execução do plano (Figura 61).

**Figura 61. Roteiros de inspeções programadas pelo SAP.**

Maintenance Plan Order	Created On	Start date	Planned date	Type MAT	Strategy	Equipment	Description of Technical Object	Maintenance item description	Call No.	Completion	ABC ind.	Last order
M303D01-0001	12/27/2023	01/26/2024	01/26/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	1	12/27/2023	A	
M303D01-0001	12/27/2023	02/25/2024	02/25/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	2		A	
M303D01-0001	12/27/2023	03/26/2024	03/26/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	3		A	
M303D01-0001	12/27/2023	04/25/2024	04/25/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	4		A	
M303D01-0001	12/27/2023	05/25/2024	05/25/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	5		A	
M303D01-0001	12/27/2023	06/24/2024	06/24/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	6		A	
M303D01-0001	12/27/2023	07/24/2024	07/24/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	7		A	
M303D01-0001	12/27/2023	08/23/2024	08/23/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	8		A	
M303D01-0001	12/27/2023	09/22/2024	09/22/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	9		A	
M303D01-0001	12/27/2023	10/22/2024	10/22/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	10		A	
M303D01-0001	12/27/2023	11/21/2024	11/21/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	11		A	
M303D01-0001	12/27/2023	12/21/2024	12/21/2024	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	12		A	
M303D01-0001	12/27/2023	01/20/2025	01/20/2025	YM02 C01	MONTH2		IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	13		A	

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Ao atingir essa data, a ordem via inspeção é gerada com todas as informações padronizadas pelo plano. Fica a cargo do Planejador de Manutenção liberar a ordem na transação IP10 e associá-la a matrícula do mantenedor executante. Quando a OS é dada como concluída tecnicamente, o SAP utiliza a data de conclusão para recalculas as datas das próximas OS's, de modo a respeitar a periodicidade do plano.

### 5.2.2 Roteiro de Lubrificação

Todos os rolamentos radiais e lineares que compõe a Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01 possuem vedação em ambos os lados (2RS), não necessitando de lubrificação adicional. Quando apresentam atrito, é realizado a troca. Assim, os elementos mecânicos passíveis de lubrificação são guia linear, fuso trapezoidal e trilhos. Para cada parte é necessário distinguir o tipo de lubrificante a ser utilizado.

Na indústria, existem lubrificantes gasosos, sólidos, semissólidos e líquidos (VIANA, 2022). Os mais utilizados em máquina de Manufatura Aditiva são os semissólidos, chamados de graxas lubrificantes e líquidos, equivale aos óleos lubrificantes (Sampaio, 2017).

Como o conjunto de trilhos e patins gera atrito por rolagem, é desestimulado o uso de lubrificantes sólidos. O recomendado, para trabalhos com cargas leves e altas velocidades, é ou o uso de graxas com viscosidade entre 30 e 150 centistokes (baixa viscosidade) ou óleo de máquina (Kalatec Automação, 2019).

Por padrão, para aumentar a eficiência e a vida útil dos conjuntos é recomendado uma inspeção seguida de relubrificação a cada 3 meses ou a 100

quilômetros de movimentação, ou o que ocorrer primeiros (Kalatec Automação, 2019).

Alguns modelos possuem ponto de lubrificação disponível no Patim (Kalatec Automação, 2019), sendo indicado pela presença de pinos graxeiros (Figura 62) - elementos de fixação que permitem a lubrificação interna do componente sem desmontá-lo, evitando a entrada de impurezas e o retorno da graxa (Crv Industrial, 2019).

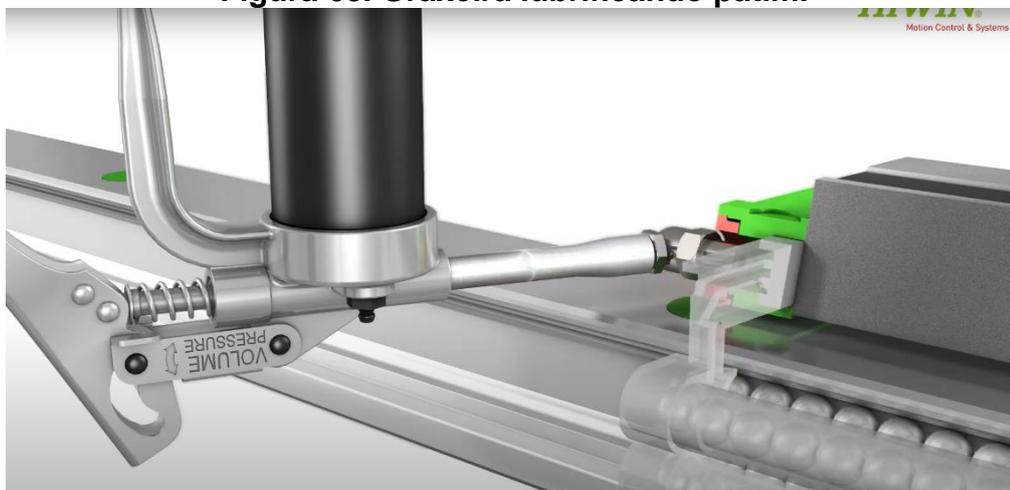
**Figura 62. Exemplo de patim com pino graxeiro.**



Adaptado: HIWIN, 2020.

Quando há a presença de pino graxeiro, se utiliza engraxadora para lubrificação (Hiwin, 2020), ferramenta que bombeia a graxa de maneira controlada para dentro do pino graxeiro (Abecom, 2022). Os demais, é comum se utilizar pincel, escova ou esponja para aplicação direta no trilho (Lumobras, 2023).

**Figura 63. Graxeira lubrificando patim.**



Fonte: HIWIN, 2020.

Nos patins HIWIN MGN15, do conjunto eixo Y 3D-01, se verifica a presença de pino graxeiro. Enquanto no patim HIWIN MGH12H, do conjunto eixo X 3D-01, não. Em ambos, a lubrificação original de fábrica verificada nos trilhos foi graxa com base em lítio.

Para fusos trapezoidais isolados e protegidos de partículas dos filamentos, é recomendado o uso de graxas específicas para esses elementos, uma vez que, além de proteger também amortece as folgas. Já em fusos expostos, cenário do conjunto eixo Z 3D-01, é comum que a graxa associada a poeira e ao plástico com o tempo forme um composto abrasivo. Sendo recomendado então, a aplicação de óleos para barra roscada.

Nas barras lisas, que formam os guias lineares do conjunto eixo Z 3D-01, também ocorre esse acúmulo, sendo recomendado limpeza e aplicação de óleo para proteger a peça de maneira mensal. Ainda assim, verifica-se que o óleo apresenta acúmulo de distritos.

Uma solução para evitar a ocorrência de travamento é o uso de lubrificante seco em *spray*. Ao ser aplicado, cria uma película que proporciona uma lubrificação leve, sem travamento e anticolante. Ou seja, ao toque ele é seco, mas fornece deslizamento e proteção ao conjunto. Não escorre, assim, não acumula poeira. Os lubrificantes a seco sintético com composição a base de PTFE são os mais recomendados para múltiplas aplicações, entre elas, guias e deslizadores.

Como atende todos os pontos de lubrificantes levantado na Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01 foi escolhido, o uso de lubrificante seco a base de PTFE. O método de aplicação será borrifado por *spray*. A periodicidade inicial definida será mensal para os pontos do conjunto eixo Z 3D-01 e trimestral para os demais conjuntos, seguindo a recomendação encontrada na literatura.

Caso, ao longo das inspeções realizadas no plano M3D3D01-0001 comece a surgir aberturas de OS para lubrificação complementar, a periodicidade para geração do plano, será diminuída. O oposto também é possível, se nas observações dos mantenedores, ao executar o roteiro de lubrificação, constatarem que está ocorrendo lubrificação excessiva.

No caderno de lubrificação não foi definido a marca do *spray* lubrificante seco a base de PTFE para múltiplas aplicações, mas, é importante que a empresa defina uma marca padrão, uma vez que, as marcas possuem aditivos e propriedades diferentes e a mistura é prejudicial ao equipamento.

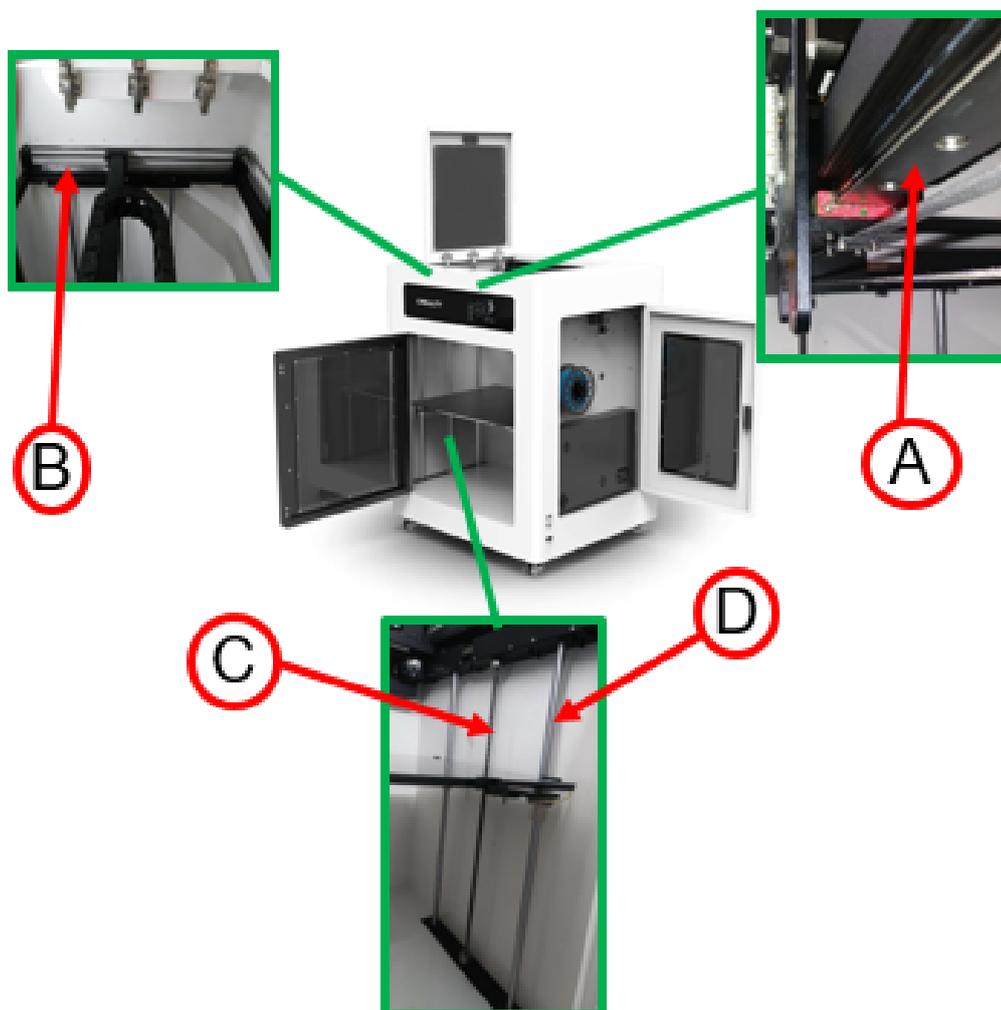
**Figura 64. Caderno de lubrificação relativo à impressora 3D CR-5060 PRO**

LOGO DA EMPRESA		CADERNO DE LUBRIFICAÇÃO	PLANO DE LUBRIFICAÇÃO M303001-0002
			LIÇÃO PONTO A PONTO 000000
MÁQ	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01		CÓD SAP: ATIVO:

PONTO	CONJUNTO	PEÇA A LUBRIFICAR	QT	LUBRIFICANTE		MÉTODO		PERÍODO	
				A SECO	PTFE	SPRAY	MENS	AIR	MESTRA
A	EIXO X	TRILHO	1	X		X			X
B	EIXO Y	TRILHO	2	X		X			X
C	EIXO Z	FUSO TRAPEZOID	2	X		X		X	
D		GUIA LINEAR	4	X		X		X	

**OBS.: A mistura de marcas e tipos, por terem aditivos e propriedades diferente, é prejudicial ao equipamento**

#### PONTOS DE LUBRIFICAÇÃO



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Com o roteiro de lubrificação identificado, foi criado o plano de lubrificação M3D-3D01-LUB-MEC-90D no SAP. Em um único plano foi programado duas atividades, ING-M-LUBRIFICAÇÃO EIXO X E Y, com periodicidade trimestral, e ING-M-LUBRIFICACAO EIXO Z, com periodicidade mensal (Figura 65). Concomitantemente com cada uma das atividades é gerada a lista de checagem de pré e pós manutenção.

**Figura 65. Transação IA07 mostrando a periodicidade programada.**

Operat. Overview Maint. Packages		1	2	3	4	6	9	12	18	24	36	48	60
Op.	SOp	Operation Description											
0010		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
0020		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
0040		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0050		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Para execução desse plano preventivo é necessário EPI's e materiais. Estes itens foram adicionados na *Pick List* do plano, associada apenas às duas operações de lubrificação (Figura 66). Então, sempre que gerar uma ordem, será gerado uma lista de requisição de material para que o mantenedor, caso necessário, possa retirar no almoxarifado da empresa. Nota-se que, a bota de segurança não foi acrescentada, pois, subentendesse que, é um EPI padrão para mecânico e operadores.

Para o plano de lubrificação, novamente, foi utilizado a metodologia da lista de checagem para guiar os mantenedores. Para execução dessas atividades também é necessário ter conhecimento prévio sobre a operação do equipamento, já que, se faz necessário movimentar os eixos para posições específicas antes de desligar o equipamento.

Uma Lição Ponto a Ponto (LPP) foi associada ao plano de modo a garantir que o técnico esteja devidamente treinado para exercer as atividades descritas na Figura 67 e Figura 68. LPP ou LUP (Lição de Um ponto), é uma ferramenta empresarial para repassar o conteúdo de um único tópico utilizando o método de

aprendizagem visual. Existe diversos tipos de LPP, o desenvolvido é Passo-a-Passo e está no APÊNDICE C – LPP PLANO M3D3D01-0002.

**Figura 66. Pick list do plano de lubrificação.**

Spare Parts Details									
Oper	Matl Num	Qty	UoM	Plant	SLOC	Bin	RSV#	Reg'd	
0010		1.000	CSE						
LUVA PROCEDIMENTO CIRURGICO AZUL P									
0020		1	EA						
RESPIRATOR, 8801, 3M, CUP DISPOSABLE SHELL									
0030		1	EA						
SPRAY ROCOL DRY PTFE 300ML									
0040		1	EA						
OCULOS AMPLA VISÃO VISION									
0050	52244601	1	CS						
PANO DE LIMPEZA WIPER WYPALL X50									

End of Pick List

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

**Figura 67. Lista de checagem da lubrificação dos conjuntos eixo X e Y 3D-01.**

Maintenance Job Ticket (WO           )            Date:12/29/2023

Oper	Main Work Center:	Personnel	Work
0030			60
Actual Start Time		Actual Finish Time	Complete (Y/N)
Purchase Requisition		Yes	No
30G-M-LUBRIFICAÇÃO EIXO X E Y			
30G-M-LUBRIFICAÇÃO EIXO X E Y			
* -----			
CHECK LIST DE LUBRIFICAÇÃO DO EIXO X E Y			
-----			
ATENÇÃO: NECESSÁRIO TREINAMENTO NA LUP 000000000			
* 01) LIMPEZA DOS TRILHOS NO EIXO X: (        )OK (        )NOK - PANO MULTIUSO			
* 02) LIMPEZA DOS TRILHOS NO EIXO Y: (        )OK (        )NOK - PANO MULTIUSO			
* 03) LUBRIFICAR TRILHO DO EIXO X: (        )OK (        )NOK - LUBRIFICANTE SECO A BASE DE PTFE PARA MÚLTIPLAS APLICAÇÕES - SPRAY - VERIFIQUE SE UMA PELÍCULA LUBRIFICANTE PODE SER VISTA NO TRILHO DE PERFIL. SE NÃO FOR ESSE O CASO, APLIQUE MAIS UMA CAMADA DE LUBRIFICANTE. - APLICAR 50% A MAIS DE LUBRIFICANTE, POIS O TRILHO ESTÁ EM CIMA			
* 04) LUBRIFICAR TRILHO DO EIXO Y: (        )OK (        )NOK - LUBRIFICANTE SECO A BASE DE PTFE PARA MÚLTIPLAS APLICAÇÕES - SPRAY - VERIFIQUE SE UMA PELÍCULA LUBRIFICANTE PODE SER VISTA NO TRILHO DE PERFIL. SE NÃO FOR ESSE O CASO, APLIQUE MAIS UMA CAMADA DE LUBRIFICANTE.			
*			

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

**Figura 68. Lista de checagem da lubrificação do conjunto eixo Z 3D-01.**

Maintenance Job Ticket (WO           )            Date:12/29/2023

Oper	Main Work Center:	Personnel	Work
0040			
Actual Start Time		Actual Finish Time	Complete (Y/N)
Purchase Requisition		Yes	No
30G-M-LUBRIFICAÇÃO EIXO Z			
30G-M-LUBRIFICAÇÃO EIXO Z			
* -----			
CHECK LIST DE LUBRIFICAÇÃO DO EIXO Z			
-----			
ATENÇÃO: NECESSÁRIO TREINAMENTO NA LUP 0000000000000			
* 01) LIMPEZA DOS FUSOS NO EIXO Z: (        )OK (        )NOK - PANO MULTIUSO			
* 02) LIMPEZA DOS GUIAS NO EIXO Z: (        )OK (        )NOK - PANO MULTIUSO			
* 03) LUBRIFICAR FUSOS NO EIXO Z: (        )OK (        )NOK - LUBRIFICANTE SECO A BASE DE PTFE PARA MÚLTIPLAS APLICAÇÕES - SPRAY - VERIFIQUE SE UMA PELÍCULA LUBRIFICANTE PODE SER VISTA NO TRILHO DE PERFIL. SE NÃO FOR ESSE O CASO, APLIQUE MAIS UMA CAMADA DE LUBRIFICANTE.			
* -----			

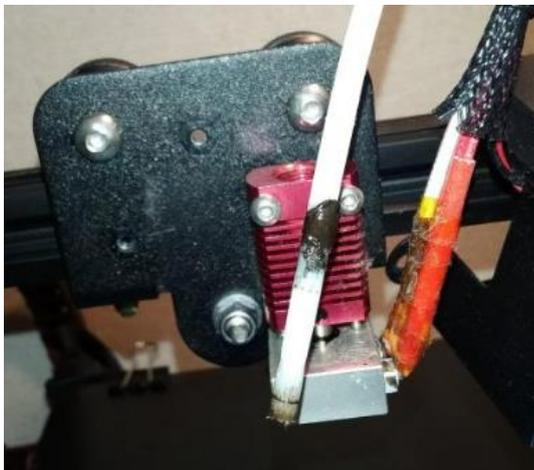
Fonte: Elaboração Própria, 2023.

### 5.2.3 Troca de itens de desgastes

Na Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01 existem itens que não é compensatório a sua recuperação, são descartados e trocados após atingir sua vida útil ou sofrerem desgastes. São eles: tubo PTFE, bicos, garganta *Heatbreak*, correia de transmissão e engrenagem da extrusora.

Para o tubo PTFE, principalmente do subconjunto *Hotend* 3D-01, é recomendado a troca a cada 6 meses, para evitar plástico derretido e carbonizado. Além disso, com o desgaste natural interno do tubo aumenta o atrito com o filamento, forçando mais as extrusoras da impressora 3D (Webmaster, 2023).

**Figura 69. Carbonização de tubo PTFE no *Hotend*.**



Fonte: Webmaster, 2023.

Para o bico de latão, se o equipamento estiver operando com filamentos comuns (não abrasivo como ABS, PLA), a troca é recomendada de a cada 3 meses (3DLAB, 2021). Na Figura 70 está a comparação de dois bicos do modelo V6 de orifício de mesmo diâmetro, o primeiro novo e o segundo com a extremidade desgastada e presença de filamento carbonizado. É possível observar que, o desgaste está tão elevado que a medida do orifício está maior do que original, indicando que atingiu o cone de extrusão.

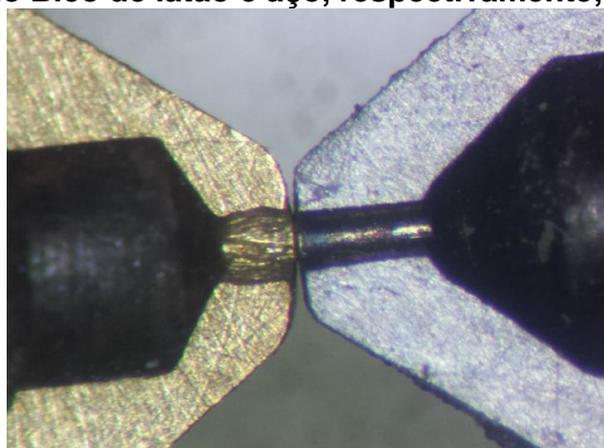
**Figura 70. Comparação de um bico novo com um usado.**



Fonte: Filament2print, 2019.

Caso seja filamento abrasivos ou o bico de material mais resistente essa periodicidade pode alterar. Como pode ser observado na Figura 71, que compara o interno do orifício de dois bicos de impressão 3D, latão e aço, após operar com material abrasivo.

**Figura 71. Interno do Bico de latão e aço, respectivamente, após operação.**

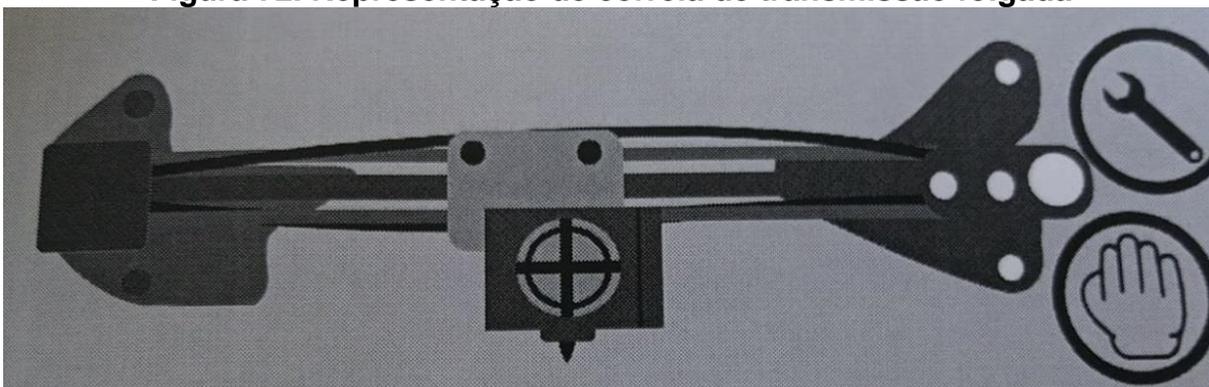


Fonte: 3DLAB, 2021.

A garganta *Heatbreak* mesmo sendo de aço inoxidável, tendem a sofrer desgastes como o bico, principalmente, a ser usado filamentos abrasivos. Além disso, ao sofrer pressão mecânica pode deformar ou se dobrar (Sampaio, 2017). Não foi encontrado na literatura periodicidade recomendada para troca.

No caso das correias de transmissão, a durabilidade esperada é de anos e a substituição é feita quando ocorre seu rompimento ou o desgaste das cristas, ocorrência mais comum. Para evitar, é necessário manter a tensão adequada das correias. As correias de impressora 3D não devem ficar flácidas (Figura 72), o que impossibilita mover os componentes, ou esticadas, o que causa alongamento excessivo (Ben, 2023).

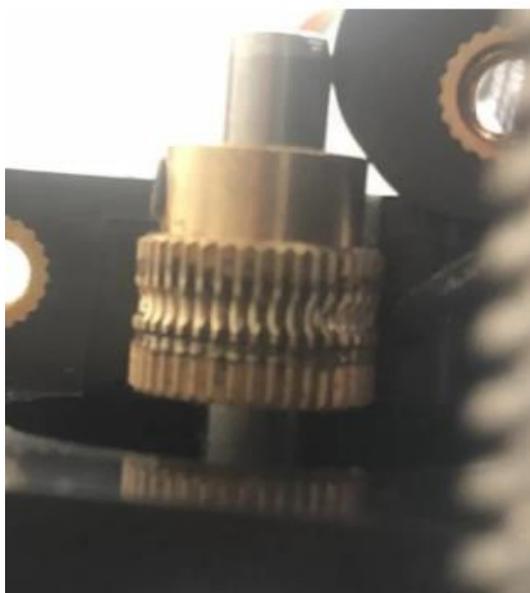
**Figura 72. Representação de correia de transmissão folgada**



Fonte: Razgriz, 2020.

As engrenagens das extrusoras ao tracionar o filamento tem seus dentes desgastados e com o tempo ocasiona sub extrusão na impressão (Figura 73). Para que não se troque todo conjunto da extrusora, é comum substituir apenas esse componente. O período não é definido na literatura, pois assim como o bico, depende do tipo de filamento usado e, além disso, do fluxo usado para produção das peças (Webmaster, 2023).

**Figura 73. Engrenagem tracionadora desgastada.**



Fonte: Webmaster, 2023.

Quando se tem a vida útil bem definida do componente, as OS geradas são de troca, sem a necessidade da avaliação do componente (Viana, 2022). Porém, para esse trabalho, será acrescentado uma inspeção antes da troca para que assim, através da rastreabilidade gerada pelo plano, seja possível o estudo das características técnicas de cada grupo da máquina e definir, devidamente, a

periodicidade média do fim da sua vida útil para que então, seja criado OS de apenas substituição.

O plano desenvolvido M3D3D01-0003 foi de troca programada. Além das operações padrões de lista de checagem pré e pós-manutenção, seis operações foram criadas. A periodicidade para geração das operações 030, 040 e 050 seguiu o recomendado pela literatura. Para os demais, foi estimado uma periodicidade pela experiência dos mantenedores, como pode ser observado na Figura 74.

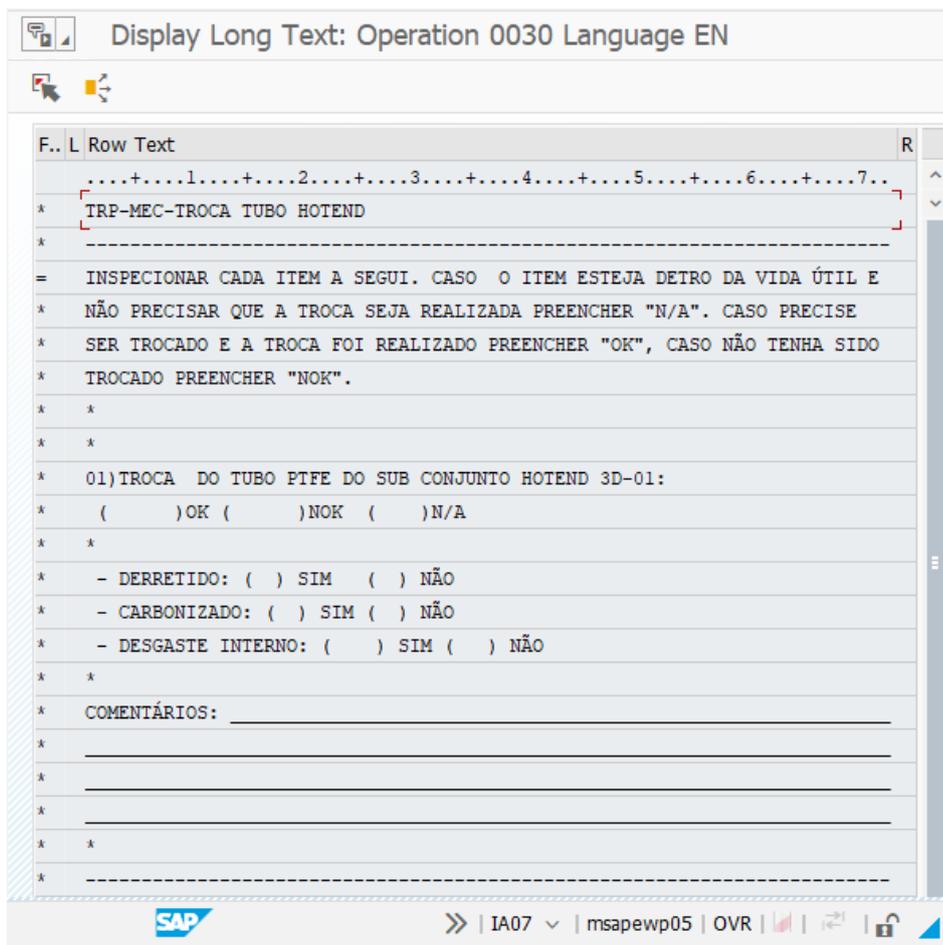
**Figura 74. Periodicidade das operações de troca programada.**

Op.	SOp	Operation Description	1	2	3	4	6	9	12	18	24	36	48	60
0010		ING-CHECK LIST PRE MANUTENCAO PREVENTIVA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
0030		TRP-MEC-TROCA TUBO HOTEND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0040		TRP-MEC-TROCA BICO HOTEND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0050		TRP-MEC-TROCA TUBO EXTRUSORA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0060		TRP-MEC-TROCA GARGANTA HOTEND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0070		TRP-MEC-TROCA CORREIA EIXO X Y Z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0080		TRP-MEC-TROCA ENGENHAGEM EXTRUSORA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0085		ING-CHECK LIST POS MANUTENCAO PREVENTIVA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

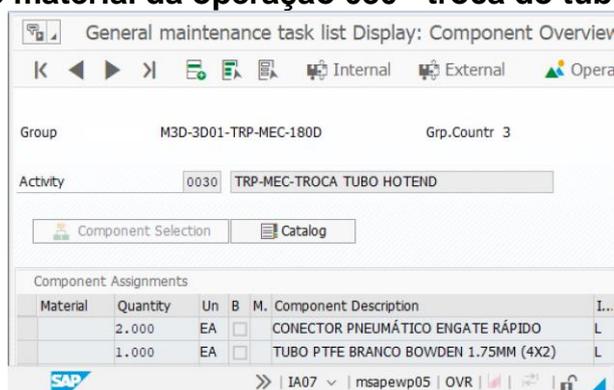
Diferente dos planos anteriores, na execução, é possível marcar “Não se aplica” (N/A), que se refere, nessas operações, a situação que é observado que o item está em boas condições e dentro da sua vida útil, sendo desnecessário a troca. Essa observação foi acrescida em cada uma das seis operações, como pode ser visto na Figura 75. Os demais textos das operações estão no APÊNDICE D – OPERAÇÕES E *PICK LISTS* DO PLANO M3D83D01-0003 acompanhado de suas respectivas *pick list* (Figura 76).

**Figura 75. Operação 030, para troca do tubo PTFE do *Hotend*.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

**Figura 76. Lista de material da operação 030 - troca do tubo PTFE do *Hotend*.**



Fonte: Elaboração Própria, 2023.

#### 5.2.4 Plano de intervenção preventiva

As atividades de intervenção preventiva devem ser executadas regularmente para manter o equipamento em seu melhor estado operacional. Porém, a realização de intervenções desnecessárias para manutenção preventiva deve ser evitada,

devido à existência do risco de danificar o equipamento durante as intervenções (Viana, 2022).

Para determinar a periodicidade correta para essas intervenções é necessário o levantamento de dados para estudar o equipamento e identificar pontos de falhas que podem ser evitados com uma ação preventiva. (Viana, 2022).

O levantamento dos dados para a Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01 será realizado pela execução das OS's periódicas, geradas de forma automática pelo SAP, dos três planos preventivos desenvolvido anteriormente (Figura 77).

**Figura 77. Agendamento para execução dos planos de manutenção preventiva.**

Scheduling overview list form: Maintenance Scheduling Overview List

MntPlan	Created On	Start date	Planned date	Description of Technical Object	Maintenance item description	Call N...	Completion	Item
M3D3D01-0002	12/29/2023	12/29/2023	12/29/2023	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	1	12/29/2023	4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	01/26/2024	01/26/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	1	12/27/2023	4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	01/28/2024	01/28/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	2		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	02/25/2024	02/25/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	2		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	02/27/2024	02/27/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	3		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	03/26/2024	03/26/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	3		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	03/28/2024	03/28/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	4		4711
M3D3D01-0003	12/30/2023	03/29/2024	03/29/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-TRP-MEC-180D	1		4696
M3D3D01-0001	12/27/2023	04/25/2024	04/25/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	4		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	04/27/2024	04/27/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	5		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	05/25/2024	05/25/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	5		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	05/27/2024	05/27/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	6		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	06/24/2024	06/24/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	6		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	06/26/2024	06/26/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	7		4711
M3D3D01-0003	12/30/2023	06/27/2024	06/27/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-TRP-MEC-180D	2		4696
M3D3D01-0001	12/27/2023	07/24/2024	07/24/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	7		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	07/26/2024	07/26/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	8		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	08/23/2024	08/23/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	8		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	08/25/2024	08/25/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	9		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	09/22/2024	09/22/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	9		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	09/24/2024	09/24/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	10		4711
M3D3D01-0003	12/30/2023	09/25/2024	09/25/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-TRP-MEC-180D	3		4696
M3D3D01-0001	12/27/2023	10/22/2024	10/22/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	10		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	10/24/2024	10/24/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	11		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	11/21/2024	11/21/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	11		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	11/23/2024	11/23/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	12		4711
M3D3D01-0001	12/27/2023	12/21/2024	12/21/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	12		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	12/23/2024	12/23/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	13		4711
M3D3D01-0003	12/30/2023	12/24/2024	12/24/2024	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-TRP-MEC-180D	4		4696
M3D3D01-0001	12/27/2023	01/20/2025	01/20/2025	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-ING-MEC-30D	13		4710
M3D3D01-0002	12/29/2023	01/22/2025	01/22/2025	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-LUB-MEC-90D	14		4711
M3D3D01-0003	12/30/2023	03/24/2025	03/24/2025	IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO 3D-01	M3D-3D01-TRP-MEC-180D	5		4696

Fonte: Elaboração Própria, 2023.

Através do SAP, com o registro dos *feedbacks* dos mantenedores após o cumprimento dos planos e a criação das OS de manutenção corretiva planejada e emergencial, será possível desenvolver gráficos de tendências para as não-conformidades e determinar o tempo médio de ocorrência. O que possibilitará o desenvolvimento de intervenção preventiva para cada conjunto do equipamento.

Outro cenário possível, é que os três planos de manutenção sistemática desenvolvidos nesse trabalho sejam suficientes para minimizar as manutenções

corretivas, tornando desnecessário a criação de um plano de manutenção de intervenção preventiva.

O registro pelo SAP também possibilita realizar o levantamento dos custos de mão de obra e materiais com cada manutenção. Assim, será possível equiparar os custos com a manutenção corretiva planejada x corretiva emergencial, para as máquinas de Manufatura Aditiva.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao verificar o estado da arte, em relação à Manufatura Aditiva, nota-se uma crescente no número de publicações em periódicos internacionais relacionado à temática. Porém, não foram encontradas publicações centradas na gestão da manutenção dos ativos de Manufatura Aditiva.

Na revisão de literatura, recomendações genéricas para manutenibilidade de impressoras 3D's foram encontradas, mas, ainda se verifica lacunas em relação aos custos da gestão de manutenção e sua importância para as máquinas de Manufatura Aditiva no meio industrial.

Para integrar a temática, a impressora 3D CR-5060 PRO, a qual utiliza a tecnologia de MEX FFF, foi alocada no sistema SAP. Através da literatura e da *expertise* dos mantenedores, foram identificados os itens, suas funções no equipamento e determinadas ações preventivas de inspeção, lubrificação e troca para evitar a ocorrência de falha ou pane.

As informações foram sintetizadas em planos de manutenção sistemáticas implementadas no SAP para controle. Cada plano possui um conjunto de operações que geram ordens de serviços periodicamente, as quais consiste na lista de checagem do plano preventivo e nas listas de checagem de pré e pós manutenção, assim como a lista de materiais da atividade a ser realizada.

No caso do plano de lubrificação, foi elaborado como documento complementar, uma Lição ponto a ponto que mostra o passo a passo para execução da atividade. Para a inspeção dos operadores foi desenvolvido uma lista de checagem diária que é disponibilizado na própria máquina. Ao trocar de operador nos turnos, a lista de checagem é realizada.

Com a impressora 3D CR-5060 PRO na árvore de ativo do SAP, qualquer não- conformidade encontrada pode ser lançada no SAP com classificação de corretiva não planejada/emergencial.

## 7. PERSPECTIVAS

Para garanti a correta execução do Plano de inspeção sensitiva dos mantenedores, da conferência dos itens da lista de checagem dos operadores e do Plano para troca dos itens de desgastes, como trabalho futuro, será desenvolvido instruções de trabalhos e Lições Ponto a Ponto, como o criado para o plano de lubrificação, a ser utilizado para treinamento e disponibilizado para consulta durante a execução das atividades.

A continuação desse trabalho se dará através do *feedback* fornecido pelos mantenedores após a execução dos planos. Será realizado a análise de modos de falhas e avaliado a viabilidade de intervenções preventivas específicas nos conjuntos do equipamento de Manufatura Aditiva e suas respectivas periodicidades. Além de permitir implementar melhorias nos próprios planos de manutenção sistemática já criados.

Por fim, com a rastreabilidade possibilitada pela abertura das notificações e o registro dos dados no SAP, será factível uma comparação entre os custos dos recursos implementados entre a manutenção corretiva planejada, encontrada nas inspeções dos mantenedores, e corretiva emergencial.

## REFERÊNCIAS

- 3D PRINTING EXPLAINED. **Printlay**, 2023c. Disponível em: <<https://printlay.in/how-it-works.php>>. Acesso em: 28 Novembro 2023.
- 3DLAB. Manutenção da Ender 3: aprenda agora a fazer esse serviço! **3DLAB**, 2021. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/manutencao-da-ender-3/>>. Acesso em: 30 Dezembro 2023.
- ABECOM. Engraxadeira manual: conheça 03 modelos SKF e compre a sua. **ABECOM**, 2022. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/engraxadeira-manual/#:~:text=A%20engraxadeira%20serve%20para%20garantir,mancais%2C%20engrenagens%2C%20entre%20outros.>>. Acesso em: 30 Dezembro 2023.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55000: Gestão de Ativos – Visão geral, princípios e terminologia**. Rio de Janeiro, p. 34. 2014.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55001: Gestão de Ativos – Sistemas de Gestão – Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 22. 2014.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55002: Gestão de Ativos - Sistemas de Gestão - Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001**. Rio de Janeiro, p. 85. 2018.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 12: SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**. Rio de Janeiro, p. 165. 2022.
- ALHALLAK, L. M.; TIRKES, S.; TAYFUN, U. Mechanical, thermal, melt-flow and morphological characterizations of bentonite-filled ABS copolymer. **Rapid Prototyping Journal**, 26, 24 Junho 2020. 1305-1312. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-12-2019-0321/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2021.
- ALMEIDA, A. M. D. **Principais barreiras para a implementação da manufatura aditiva no Brasil**. Universidade Nove de Julho. São Paulo, p. 83. 2020.
- BARCZEWSKI, B. F. **Manufatura aditiva: tecnologia emergente para a criação de aparatos de uso oftalmológico**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 55. 2021.
- BASAK, S. et al. Reducing production losses in additive manufacturing using overall equipment effectiveness. **Additive Manufacturing**, 56, Agosto 2022. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860422003013?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

BASILIERE, P.; SHANLER, M. Hype Cycle for 3D Printing, 2018. **Gartner Group**, 13 Jul 2018. Disponível em: <<https://www.gartner.com/document/3881825>>. Acesso em: 30 out. 2023.

BCN3D. **Site da BCN3D**, 2023c. Disponível em: <<https://www.bcn3d.com/>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

BELL, C. **3D Printing with Delta Printers**. 1ª. ed. Berkeley: Apress Media LLC, 2015.

BEN. How Long Do 3D Printer Belts Last? 8 Important Facts. **printingit3d**, 2023. Disponível em: <<https://printingit3d.com/how-long-do-3d-printer-belts-last/>>. Acesso em: 30 Dezembro 2023.

BRASIL. **DECRETO-LEI Nº 5.452, DE 1º DE MAIO DE 1943: DECRETO-LEI Nº 5.452, DE 1º DE MAIO DE 1943**. São Paulo: Lex, v. 7, 1943.

BRITO, D. M. **A MODELAGEM DE ACESSÓRIOS DE MODA EM 3D: UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM PARA O ENSINO DA MANUFATURA ADITIVA PARA ALUNOS DE DESIGN DE MODA**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO. Bauru, p. 118. 2022.

BUHAGIAR, M.. **TECENDO CAMADAS: um estudo sobre o uso doméstico da impressão 3D**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Recife, p. 184. 2022.

CALDERARO, D. R. **Modelo de apoio à decisão para seleção de tecnologias de manufatura aditiva em sistemas produtivos**. UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS. São Leopoldo, p. 194. 2019.

CALDERARO, D. R. **Modelo de apoio à decisão para seleção de tecnologias de manufatura aditiva em sistemas produtivos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, p. 194. 2019.

CAMPBELL, I. et al. **Wohlers Report 2023: 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry**. Washington, D.C.: ASTM INTERNATIONAL, 2023. 404 p. ISBN 978-1-6220-4966-0.

CERDA-AVILA, S. N.; MEDELLÍN-CASTILLO, H. I.; LIM, T. Analytical models to estimate the structural behaviour of fused deposition modelling components. **Rapid Prototyping Journal**, 27, n. 7, 29 Março 2021. 658-670. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-07-2020-0145/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

CHORAN, J. S. et al. Predictive modeling of surface and dimensional features of vapour-smoothened FDM parts using self-adaptive cuckoo search algorithm. **Progress in Additive Manufacturing**, 7, n. 5, 2022. 1023-1036. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-022-00277-8>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

CLIFTON, W.; DAMON, A.; ARCHER, M. K. Considerations and Cautions for Three-Dimensional-Printed Personal Protective Equipment in the COVID-19 Crisis. **3D Printing and Additive Manufacturing**, 7, n. 3, 5 Junho 2020. 97-99. Disponível em: <<https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/3DP.2020.0101>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

CREALITY. **3D Printer User Manual: CR-5060 Pro**. Shenzhen: [s.n.], 2021.

CREALITY. Impressoras 3D. **Creality**, 2023c. Disponível em: <<https://www.creality.com/>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

CRV INDUSTRIAL. Conheça a Graxeira, seus principais tipos e aplicações. **CRV Industrial**, 2019. Disponível em: <<https://www.crvindustrial.com/blog/conheca-a-graxeira-seus-principais-tipos-e-aplicacoes#:~:text=A%20graxeira%20%C3%A9%20um%20elemento,da%20graxa%20para%20o%20reposit%C3%B3rio.>>. Acesso em: 29 Dezembro 2023.

CULTS. PSA HOT END CLEANING AND ASSEMBLY. **Cults3d**, s.d. Disponível em: <<https://cults3d.com/en/blog/articles/psa-hot-end-cleaning-assembly>>. Acesso em: 28 Novembro 2023.

DÁVILA, L. J. et al. Open-source syringe extrusion head for shear-thinning materials 3D printing. **Rapid Prototyping Journal**, 28, n. 8, 2 Agosto 2022. 1452-1461. Acesso em: 12 Novembro 2023.

ENGIPRINTERS. O que é e como funciona a impressão 3D FDM? **EDITORIAL ENGIPTERS**, 2023c. Disponível em: <<https://engiprinters.com.br/impressao-3d-fdm-o-que-e-e-como-funciona-d58/>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

ESPERA JR., A. H. et al. 3D-printing and advanced manufacturing for electronics. **Progress in Additive Manufacturing**, 4, 04 Fevereiro 2019. 245-267. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-019-00077-7>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

FERNANDES, F. R. **As mudanças provocadas pela Indústria 4.0 no mercado de trabalho**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2019.

FERREIRA, M. D. S. Lição Ponto a Ponto (LPP) e Etiquetas: Manutenção Autônoma. **Citisystems**, 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/licao-ponto-ponto-lpp-etiquetas-manutencao-autonoma/>>. Acesso em: 28 Dezembro 2023.

FILAMENT2PRINT. Tudo sobre nozzles de impressoras 3D (II): Quando mudar o nozzle. **Filament2print**, 2019. Disponível em: <[https://filament2print.com/pt/blog/57\\_guia-nozzles-quando-mudar.html](https://filament2print.com/pt/blog/57_guia-nozzles-quando-mudar.html)>. Acesso em: 20 Dezembro 2023.

FRANCO, D. **Impactos da manufatura aditiva no modelo de negócio**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologias, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 280. 2019.

FRANCO, W. F. **Modelo para introdução de novas tecnologias em processos industriais no contexto da indústria 4.0**. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINA. Campinas, p. 122. 2020.

GAULIO, B. O. **Estudo da viabilidade de aplicação de material polimérico utilizando otimização topológica e manufatura aditiva FDM em um componente automotivo**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 15. 2022.

GIL, C. A. **COMO ELABORAR PROJETOS DE PESQUISA**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GLOBAL AGENDA COUNCIL ON THE FUTURE OF SOFTWARE & SOCIETY. **Deep Shift: 21 Ways Software Will Transform Global Society**. Washington, p. 43. 2015.

GRIFFIN, C.; HALE, J.; JIN, M. A framework for assessing investment costs of additive manufacturing. **Progress in Additive Manufacturing**, 7, n. 5, 17 Fevereiro 2022. 903-915. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-022-00260-3>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

GRISCI, L. I. **Desenvolvimento de uma coleção de joias sob a temática da história da arte**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 165. 2022.

HIWIN. Profilschienenführung. **HIWIN GmbH**, 2020. Disponível em: <<https://www.hiwin.de>>. Acesso em: 30 Dezembro 2023.

HUBER, D.; STICH, P.; FISCHER, A. Heat Treatment of 17–4 PH Stainless Steel Produced by Binder Jet Additive Manufacturing (BJAM) from N<sub>2</sub>-Atomized Powder. **Progress in Additive Manufacturing**, 7, 18 Outubro 2021. 187-199. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-021-00224-z>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

IMPRESORAS3D.COM. A Printbot apresenta extrusora dupla para sua impressora 3D Metal Plus. **Site da https://www.impresoras3d.com/**, 2016. Disponível em: <<https://www.impresoras3d.com/pt/A-printbot-apresenta-extrusora-dupla-para-sua-impressora-3d-metal-plus/>>. Acesso em: 2023 Novembro 2023.

ISO, I. O. F. S.-; ASTM, I. N. O. F. S.-. Additive manufacturing General principles: Terminology, Dezembro 2015. ISSN ICS: 25.030 01.040.25. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69669.html>>.

ISO/ASTM. Additive manufacturing of polymers: Qualification principles, Classification of part properties. **ISO/ASTM 52924**, 2023. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/76909.html>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

JACOBSON, N. et al. Defining Soft Tissue: Bitmap Printing of Soft Tissue for Surgical Planning. **3D Printing and Additive Manufacturing**, 9, n. 6, 13 Dezembro 2022.

s461-472. Disponível em:

<<https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2021.0141>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

JUNQUEIRA, L. D. A. **Impressão 3D na área farmacêutica: novo método de incorporação de fármacos por modelagem por deposição fundida e a avaliação da percepção de mulheres e ginecologistas em relação a anéis vaginais impressos por 3D**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 204. 2023.

KALATEC AUTOMAÇÃO. **Guia de Lubrificação Guias Lineares**. KALATEC AUTOMAÇÃO. Campinas, p. 6. 2019.

KAPIL, S. et al. Hybrid layered manufacturing of a bimetallic injection mold of P20 tool steel and mild steel with conformal cooling channels. **Progress in Additive Manufacturing**, 5, n. 1, 18 Março 2020. 183-198. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-020-00129-3>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

KAREVSKA, S. et al. **3D PRINTING: Hype or game changer?** [S.l.]. 2019.

KLAHN, C. et al. Mapping value clusters of additive manufacturing on design strategies to support part identification and selection. **Rapid Prototyping Journal**, 26, n. 10, 24 Outubro 2020. 1797-1807. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-10-2019-0272/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

KYWOO3D. Tycoon Slim | A Direct Drive 3D Printer with Wildly Filament Compatibility. **Site da KYWOO3D**, c2020. Disponível em: <<https://www.kywoo3d.com/>>. Acesso em: 28 Novembro 2023.

LEE, B. N.; PEI, E.; UM, J. An overview of information technology standardization activities related to additive manufacturing. **Progress in Additive Manufacturing**, 4, 09 Junho 2019. 345-354. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-019-00087-5>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

LIRA, V. M. **Processos de fabricação por impressão 3D: Tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D**. São Paulo: Blucher, 2021.

LIU, W.; ZHU, Z.; YE, S. A decision-making methodology integrated in product design for additive manufacturing process selection. **Rapid Prototyping Journal**, 56, 27 Fevereiro 2020. 895-909. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-06-2019-0174/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

LORENZO, J. Guía Definitiva sobre Extrusores y Hotends para Impresora 3D. **Of3lia**, 2019. Disponível em: <<https://of3lia.com/guia-extrusor-y-hotend-impresora-3d/>>. Acesso em: 28 Novembro 2023.

LUMOBRAS. Lubrificantes para Guias Lineares Molykote: Deslizamento sem Trancos. **LUMOBRAS**. Disponível em: <<https://www.lumobras.com.br/lubrificantes-especiais/lubrificantes-especiais-para-guias-lineares/>>. Acesso em: 29 Dezembro 2023.

MACHADO, R. et al. **Teoria da usinagem dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MANÇANARES, C. G. **Modelo de processo de avaliação para adoção de manufatura aditiva na indústria de alto valor agregado**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 137. 2016.

MATIAS, G. L. **Implementação de um laboratório de manufatura aditiva para redução dos custos de manutenção em indústrias de alimentos e bebidas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 65. 2022.

MATTEDE, H. Como testar IDR? Como usar o botão de teste? **Mundo da Eletrica**, 2016. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-testar-idr-como-usar-o-botao-de-teste/>>. Acesso em: 28 Dezembro 2023.

NETO, F. Como Funciona Uma Impressora 3D. **3D Recycler**, 2018. Disponível em: <<https://3drecycler.blogspot.com/2018/04/como-funciona-uma-impressora-3d.html>>. Acesso em: 28 Novembro 2023.

NOGUEIRA, P. A. F. **Mensuração de desempenho para análise da estratégia competitiva na manufatura aditiva industria**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Santa Maria, p. 116. 2021.

NOVA ONE ADVISOR. Additive Manufacturing Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component, By Printer Type, By Technology, By Software, By Application, By Vertical, By Material, By Region- Global Industry Analysis, Share, Growth, Regional Outlook and Forecasts, 202. **NOVA ONE ADVISOR**, 2023. Disponível em: <<https://www.novaoneadvisor.com/report/additive-manufacturing-market>>. Acesso em: 30 out. 2023.

PARK, K.-M. et al. Accuracy of 3D printed dental casts for protective dental splints during general anesthesia. **Rapid Prototyping Journal**, 28, n. 7, 18 Fevereiro 2022. 1374-1381. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-04-2021-0092/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

PARVANDA, R.; KALA, P. Trends, opportunities, and challenges in the integration of the additive manufacturing with Industry 4.0. **Progress in Additive Manufacturing**, 8, n. 3, 25 Setembro 2023. 587-514. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-022-00351-1>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

PEREIRA, F. D. S. **Manufatura Aditiva: barreiras e oportunidades para a aplicação na indústria brasileira**. Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, p. 97. 2022.

PLESSIS, A. D. et al. Biomimicry for 3D concrete printing: A review and perspective. **Additive Manufacturing**, 38, Fevereiro 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860420311957?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

RAHMAN, et al. An integrated process and data framework for the purpose of knowledge management and closed-loop quality feedback in additive manufacturing. **Progress in Additive Manufacturing**, 7, n. 4, 22 Janeiro 2022. 552-. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-021-00246-7>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

RAPOSO, L. Q. **Projeto e fabricação de kit didático voltado a robótica educacional**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 71. 2021.

RAZGRIZ, G. **O guia definitivo sobre manutenção de impressoras 3D**. 1. ed. São Paulo: Instituto Newton C Braga, 2020.

RECREUS. Direct extrusion vs. bowden type. **Recreus**, 2021. Disponível em: <<https://recreus.com/gb/noticias/learn-with-recreus/direct-extrusion-vs-bowden-type>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

REIS, W. D. C. **Gerência da Manutenção com Módulo PM do SAP - R/3**. XIV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu: CEMIG. 2000. p. 15.

REN, D.; CHOI, J.-K.; SCHNEIDER, K. A multicriteria decision-making method for additive manufacturing process selection. **Rapid Prototyping Journal**, 28, n. 11, 28 Outubro 2022. 77-91. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-11-2021-0302/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

REPRAP. Diamond Hotend. **Site da RepRap**, 2018. Disponível em: <<https://reprap.org/>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

RODRIGUES, Y. A. **QR Code impresso em sinalizador de relevo para promover acessibilidade de informações aos deficientes visuais**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 78. 2019.

SAMPAIO, C. L. M. Guia Maker de Impressão 3D: Teoria e prática consolidadas, 2017. Disponível em: <<https://github.com/Patola/ebook>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

SAP. Help Portal (Documentation). **SAP Help Portal**, 2023c. Disponível em: <<https://help.sap.com/docs/>>. Acesso em: 25 Dezembro 2023.

SAVOLAINEN, J.; CALLAN, J. How Additive Manufacturing Technology Changes Business Models? – Review of Literature. **Additive Manufacturing**, 32, Março 2020. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860419312503>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

SAVSANI, ; SINGH, ; MALI, S. H. Additive manufacturing for prostheses development: state of the art. **Rapid Prototyping Journal**, 29, n. 4, 4 Abril 2023. 741-765. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-01-2022-0029/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

SHANNOIN, A. et al. Radiopaque Nanoparticle-Based Ink Using PolyJet 3D Printing for Medical Applications. **3D Printing and Additive Manufacturing**, 7, n. 6, 16 Dezembro 2020. 259-268. Disponível em: <<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/3dp.2019.0160?journalCode=3dp>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

SHOUKR, et al. Influence of layer thickness on the printability of nickel alloy 718: A systematic process optimization framework. **Additive Manufacturing**, 73, Julho 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860423002592>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

SONAR, ; KHANZODE, ; AKARTE, M. Investigating additive manufacturing implementation factors using integrated ISM-MICMAC approach. **Rapid Prototyping Journal**, 26, n. 10, 23 Outubro 2020. 1837-1851. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-02-2020-0038/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

STRINGARI, G.; SCHIESL, S. **Ensaio comparativo da produção de alimentos: chocolate, uma tecnologia do futuro, impressões em 3D**. Sociedade Educacional de Santa Catarina. Joinville, p. 24. 2022.

TAVARES, L.; CALIXTO, M.; POYDO, P. R. **Manutenção centrada no negócio**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 2005.

TOSSINI, R. B. **A construção de um chalumeau soprano infantil em impressão 3d: novas possibilidades para a iniciação instrumental**. Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 220. 2021.

TWO TRESS. 3D Printer. **two trees 3d**, s.d. Disponível em: <<https://twotrees3d.com/>>. Acesso em: 27 Novembro 2023.

VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e controle da manutenção**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2022.

VOLPATO, N. (. ). **Prototipagem rápida: Tecnologias e aplicações**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2006.

VOLPATO, N. (. ). **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

WANG, D. et al. Lightweight design of an AlSi10Mg aviation control stick additively manufactured by laser powder bed fusion. **Rapid Prototyping Journal**, 28, n. 10, 14 Outubro 2022. 1869-1881. Disponível em:

<<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-02-2022-0064/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

WEBMASTER. Aprenda como fazer a manutenção preventiva em impressoras 3D! **3DLAB**, 2023. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/tag/manutencao/>>. Acesso em: 30 Dezembro 2023.

WILLIAMS, C. L.; LEAR, M. H.; SHOKOUHI, P. On the utility of linear and nonlinear ultrasound for evaluating microstructure-property relationships in laser powder bed fusion 316 L stainless steel. **Additive Manufacturing**, 73, Julho 2023. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221486042300266X?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

WOHLERS, T. T. **Rapid Prototyping, State of the Industry: 1995-96 worldwide progress report**. Pennsylvania State University, p. 80. 1996. Colaborador: Rapid Prototyping Association of Society of Manufacturing Engineers.

WOJNAROWSKA, M. et al. Animal orthosis fabrication with additive manufacturing – a case study of custom orthosis for chicken. **Rapid Prototyping Journal**, 28, n. 5, 5 Maio 2022. 824-832. Disponível em:

<<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-03-2021-0054/full/html>>. Acesso em: 12 Novembro 2023.

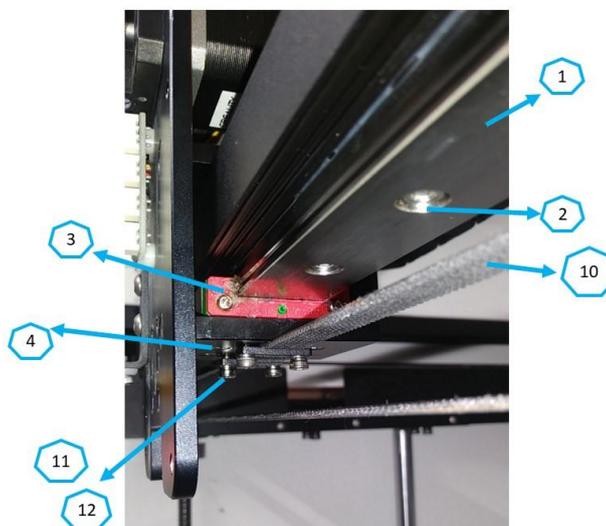
WUNNER, F. M. et al. Design and Development of a Three-Dimensional Printing High-Throughput Melt Electrowriting Technology Platform. **3D Printing and Additive Manufacturing**, 6, n. 2, 16 Abril 2019. 82-90. Acesso em: 12 nov. 2023.

XIONG, Y. et al. A new approach to eliminating enclosed voids in topology optimization for additive manufacturing. **Additive Manufacturing**, 32, Março 2020. Acesso em: 12 Novembro 2023.

## APÊNDICE A – LISTA TÉCNICA

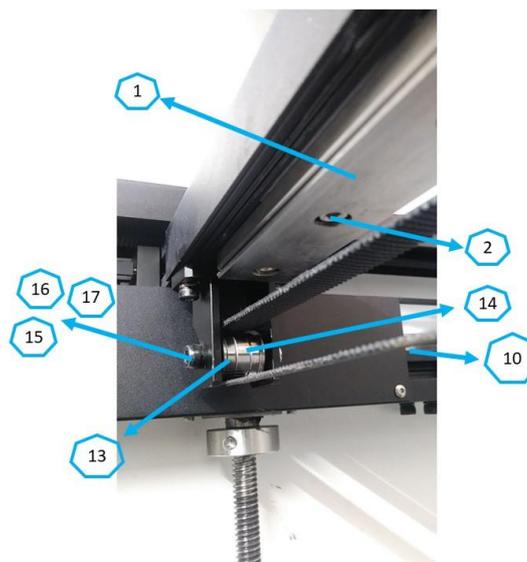
### CONJUNTO EIXO X 3D-01

1. TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM
2. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 4X10 MM
3. PATIM HOWIM MGH12H
4. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3 X 10 MM
5. MOTOR NEMA
6. PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12
7. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
8. POLIA GT2 Z 32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
9. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. CORREIA GT2 10 MM
11. PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8
12. ARRUELA DE PRESSÃO INOX 3 MM
13. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
14. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
15. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 5X35MM
16. PORCA AUTO TRAVANTE SEXTAVADA INOX 5 MM
17. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5 MM
18. PARAFUSO ALLEN CABECA CHARA 4X20 MM
19. PLACA CONTROLADORA PARA HOTEND
20. SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO
21. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM
22. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM
23. SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO
24. PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN
25. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10 MM
26. ESTEIRA PORTA CABO 18X25MM



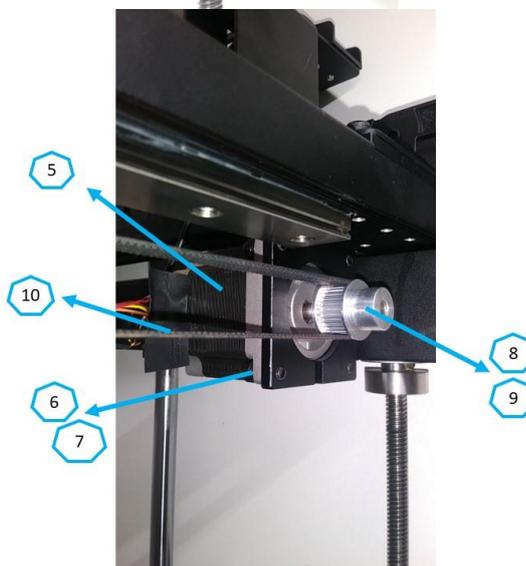
### CONJUNTO EIXO X 3D-01

1. TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM
2. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 4X10 MM
3. PATIM HOWIM MGH12H
4. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3 X 10 MM
5. MOTOR NEMA
6. PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12
7. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
8. POLIA GT2 Z 32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
9. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. CORREIA GT2 10 MM
11. PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8
12. ARRUELA DE PRESSÃO INOX 3 MM
13. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
14. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
15. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 5X35MM
16. PORCA AUTO TRAVANTE SEXTAVADA INOX 5 MM
17. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5 MM
18. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 4X20 MM
19. SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO
20. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM
21. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM
22. SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO
23. PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN
24. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10 MM
25. ESTEIRA PORTA CABO 18X25MM



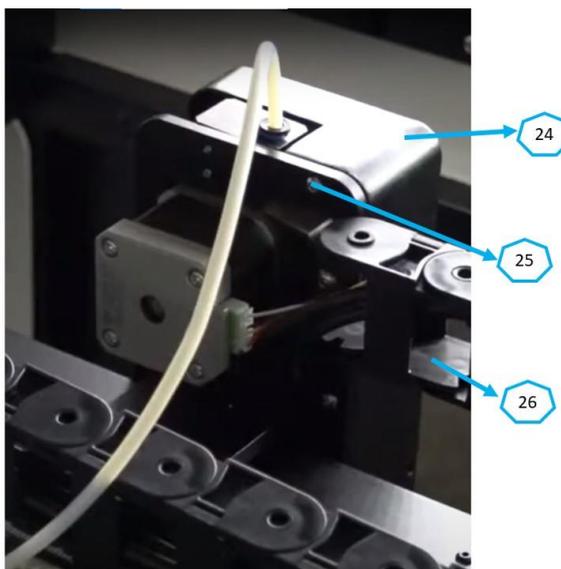
### CONJUNTO EIXO X 3D-01

1. TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM
2. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 4X10 MM
3. PATIM HOWIM MGH12H
4. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3 X 10 MM
5. MOTOR NEMA
6. PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12
7. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
8. POLIA GT2 Z 32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
9. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. CORREIA GT2 10 MM
11. PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8
12. ARRUELA DE PRESSÃO INOX 3 MM
13. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
14. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
15. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOZ 5X35MM
16. PORCA AUTO TRAVANTE SEXTAVADA INOX 5 MM
17. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5 MM
18. PARAFUSO ALLEN CABECA CHAA 4X20 MM
19. SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO
20. PLACA CONTROLADORA PARA HOTEND
21. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM
22. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM
23. SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO
24. PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN
25. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10 MM
26. ESTEIRA PORTA CABO 18X25MM



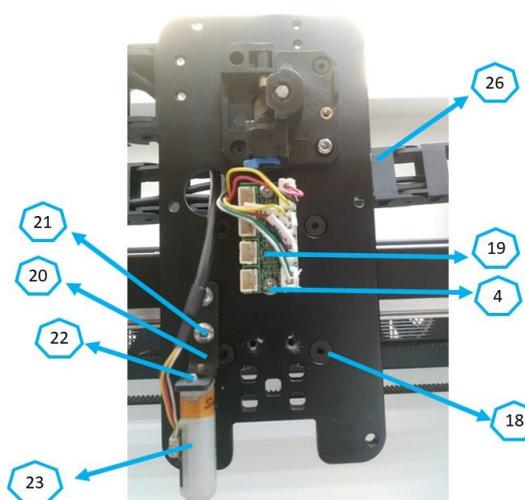
## CONJUNTO EIXO X 3D-01

1. TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM
2. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X10 MM
3. PATIM HOWIM MGH12H
4. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3 X 10 MM
5. MOTOR NEMA
6. PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12
7. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
8. POLIA GT2 2 32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
9. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. CORREIA GT2 10 MM
11. PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8
12. ARRUELA DE PRESSAO INOX 3 MM
13. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
14. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
15. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM
16. PORCA AUTO TRAVANTE SEXTAVADA INOX 5 MM
17. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5 MM
18. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 4X20 MM
19. PLACA CONTROLADORA PARA HOTEND
20. SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO
21. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM
22. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM
23. SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO
24. PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN
25. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10 MM
26. ESTEIRA PORTA CABO 18X25MM



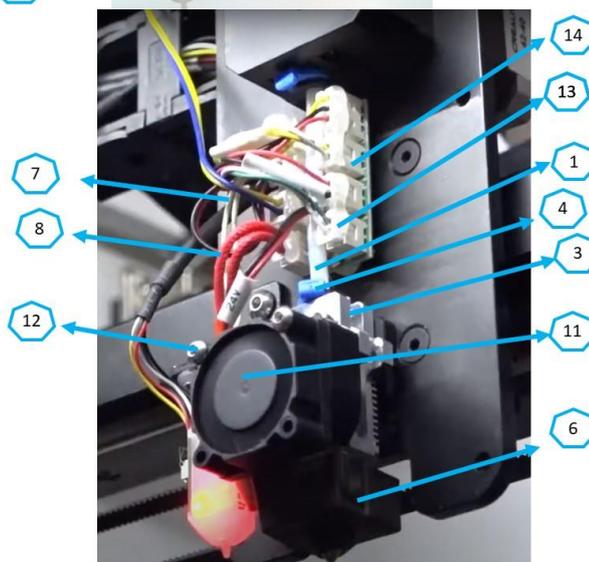
## CONJUNTO EIXO X 3D-01

1. TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGW12H 580 MM
2. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X10 MM
3. PATIM HOWIM MGH12H
4. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 3 X 10 MM
5. MOTOR NEMA
6. PARAFUSO ALLEN CAB CILINDRICA M5 X 12
7. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
8. POLIA GT2 2 32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
9. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. CORREIA GT2 10 MM
11. PARAFUSO COM CAB CILINDRICA M3 X 8
12. ARRUELA DE PRESSAO INOX 3 MM
13. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
14. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
15. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM
16. PORCA AUTO TRAVANTE SEXTAVADA INOX 5 MM
17. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5 MM
18. PARAFUSO ALLEN CABECA CHATA 4X20 MM
19. PLACA CONTROLADORA PARA HOTEND
20. SUPORTE PARA SENSOR DE NIVELAMENTO
21. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 4X6MM
22. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X6MM
23. SENSOR NIVELAMENTO AUTOMÁTICO
24. PROTEÇÃO DO HOTEND E DA EXTRUSORA TITAN
25. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10 MM
26. ESTEIRA PORTA CABO 18X25MM



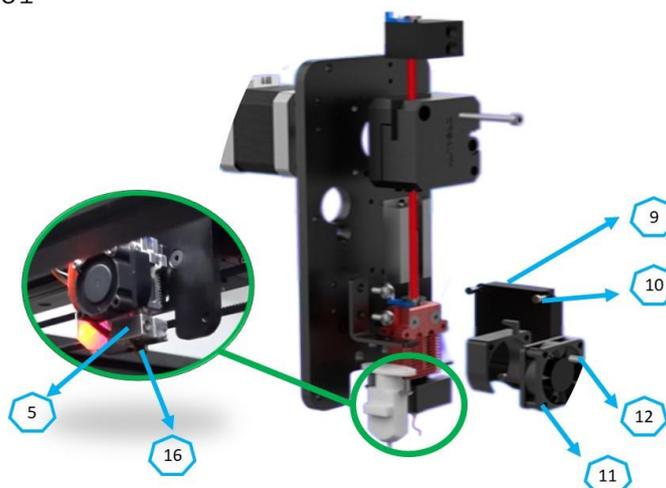
## SUB CONJ HOTEND 3D-01

1. TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75 MM
2. GARGANTA MK8
3. DISSIPADOR DE CALOR
4. CONECTOR PNEUMATICO ENGATE RAPIDO
5. BLOCO AQUECEDOR MK8
6. CAPA ISOLANTE
7. TERMISTOR
8. RESISTENCIA CARTUCHO
9. SOPRADOR 4010R 24V
10. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM
11. COOLER 3010 24V
12. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X25MM
13. CONECTOR JST 2,54 MM 2 VIAS
14. PLACA DE CIRCUITO 94 V
15. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM
16. BICO



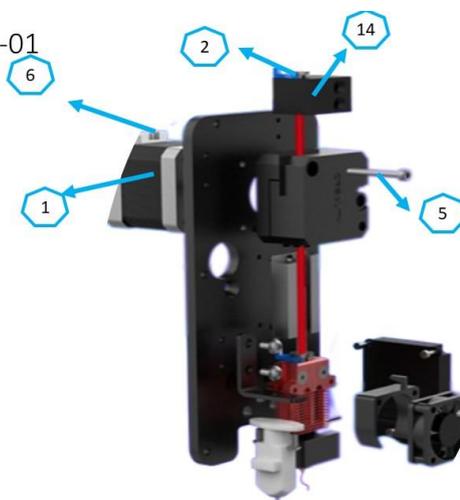
## SUB CONJ HOTEND 3D-01

1. TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75 MM
2. GARGANTA MK8
3. DISSIPADOR DE CALOR
4. CONECTOR PNEUMATICO ENGATE RAPIDO
5. BLOCO AQUECEDOR MK8
6. CAPA ISOLANTE
7. TERMISTOR
8. RESISTENCIA CARTUCHO
9. SOPRADOR 4010R 24V
10. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM
11. COOLER 3010 24V
12. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 3X25MM
13. CONECTOR JST 2,54 MM 2 VIAS
14. PLACA DE CIRCUITO 94 V
15. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM
16. BICO



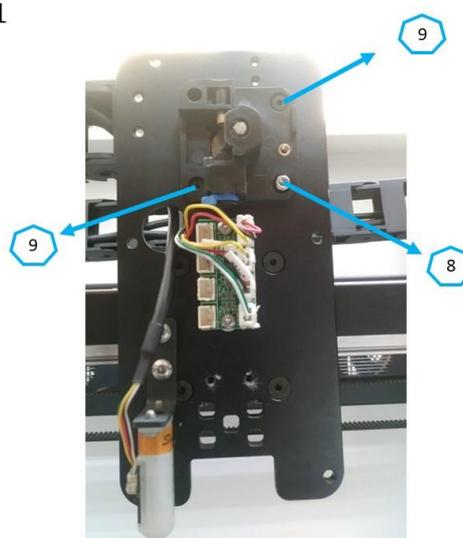
## SUB CONJ EXTRUSORA TITAN 3D-01

1. MOTOR DE PASSO NEMA 42-40
2. CONECTOR PNEUMATICO ENGATE RAPIDO
3. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM
4. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 3X20MM
5. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 3X25MM
6. CONECTOR JST 2,54 MM 6 VIAS
7. TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75 MM
8. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 3X10MM
9. PARAFUSO ALLEN CAB CHATA 3X12MM
10. ENGRANGEM EXTRUSORA MK8 Z40
11. ROLAMENTO U604ZZ
12. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 4X10MM
13. MOLA DE PRESSAO 1MM X 5MM X 15MM
14. BLOCO CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO



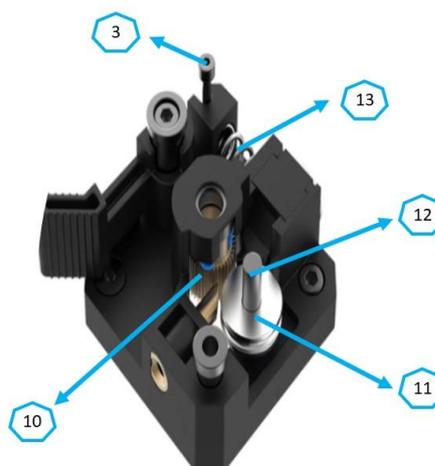
## SUB CONJ EXTRUSORA TITAN 3D-01

1. MOTOR DE PASSO NEMA 42-40
2. CONECTOR PNEUMATICO ENGATE RAPIDO
3. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 2X12MM
4. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 3X20MM
5. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 3X25MM
6. CONECTOR JST 2,54 MM 6 VIAS
7. TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75 MM
8. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 3X10MM
9. PARAFUSO ALLEN CAB CHATA 3X12MM
10. ENGRANGEM EXTRUSORA MK8 Z40
11. ROLAMENTO U604ZZ
12. PARAFUSO ALLEN COM CABECA 4X10MM
13. MOLA DE PRESSAO 1MM X 5MM X 15MM
14. BLOCO CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO



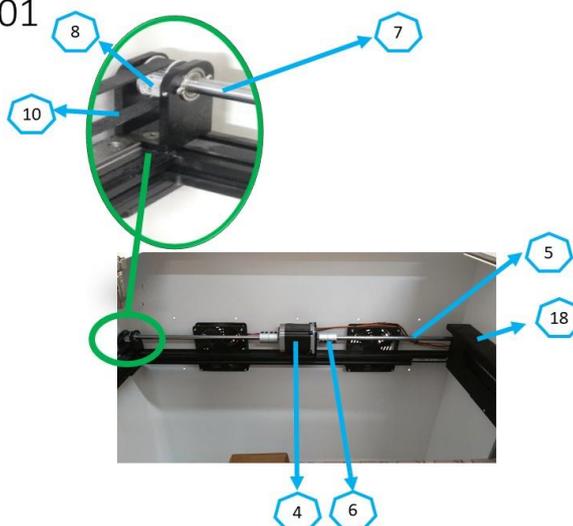
## SUB CONJ EXTRUSORA TITAN 3D-01

1. MOTOR DE PASSO NEMA 42-40
2. CONECTOR PNEUMATICO ENGATE RAPIDO
3. **PARAFUSSO ALLEN COM CABECA 2X12MM**
4. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA 3X20MM
5. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA 3X25MM
6. CONECTOR JST 2,54 MM 6 VIAS
7. TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75 MM
8. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA 3X10MM
9. PARAFUSSO ALLEN CAB CHATA 3X12MM
10. **ENGRANGEM EXTRUSORA MK8 Z40**
11. **ROLAMENTO U604ZZ**
12. **PARAFUSSO ALLEN COM CABECA 4X10MM**
13. **MOLA DE PRESSAO 1MM X 5MM X 15MM**
14. BLOCO CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO



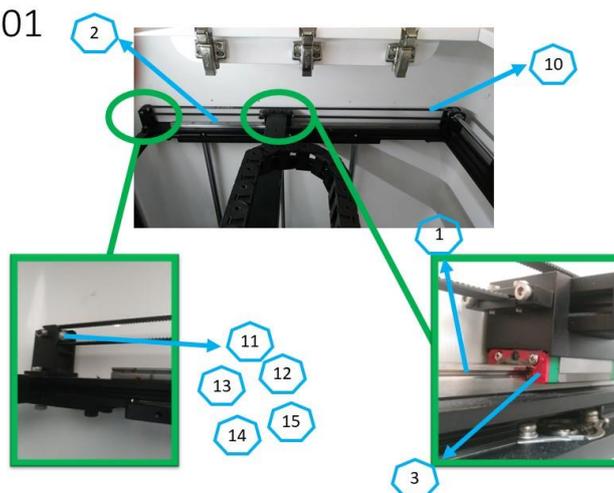
## CONJUNTO EIXO Y 3D-01

1. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA INOX
2. PATIM HIWIN MGN15
3. **MOTOR NEMA 23**
4. **EIXO 10 MM X 330**
5. **ACOPLAMENTO RIGIDO ABRAÇADEIRA DXLXX**
6. **MANCAL ROLAMENTO F6800 2RS**
7. **POLIA GT2 Z38 FURO 10 MM CORREIA 10 MM**
8. PARAFUSSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
9. **CORREIA GT2 10MM**
10. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
11. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ T
12. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM
13. ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM
14. PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM
15. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA INOX 4X20MM
16. ARRUELA PRESSAO 4MM
17. **PROTEÇÃO DO EIXO Y**
18. PARAFUSSO ALLEN CABECA ABAULADA 4X10MM
19. PARAFUSSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM



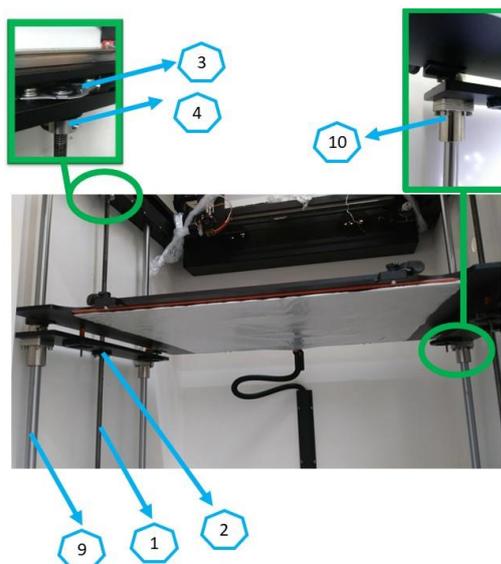
## CONJUNTO EIXO Y 3D-01

1. **TRILHO LINEAR PERFIL HIWIN MGNR15 620**
2. **PARAFUSSO ALLEN COM CABECA INOX**
3. **PATIM HIWIN MGN15**
4. **MOTOR NEMA 23**
5. **EIXO 10 MM X 330**
6. **ACOPLAMENTO RIGIDO ABRAÇADEIRA DXLXX**
7. **MANCAL ROLAMENTO F6800 2RS**
8. **POLIA GT2 Z38 FURO 10 MM CORREIA 10 MM**
9. PARAFUSSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
10. **CORREIA GT2 10MM**
11. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
12. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ T
13. **PARAFUSSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM**
14. **ARRUELA DE PRESSAO INOX 5MM**
15. PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM
16. PARAFUSSO ALLEN COM CABECA INOX 4X20MM
17. ARRUELA PRESSAO 4MM
18. **PROTEÇÃO DO EIXO Y**
19. PARAFUSSO ALLEN CABECA ABAULADA 4X10MM
20. PARAFUSSO ALLEN CABECA ABAULADA 3X10MM



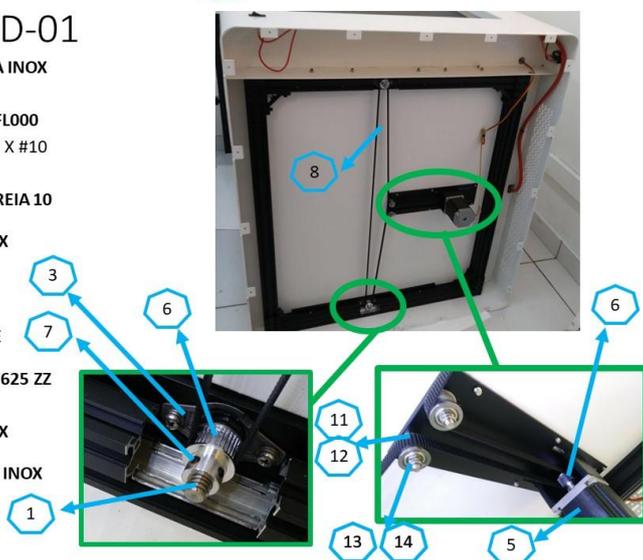
## CONJUNTO EIXO Z 3D-01

1. FUSO TR10 PASSO 2 MM 1 ENTRADA INOX
2. CASTANHA LATÃO
3. ROLAMENTO AUTOMÁTICO BLOCO FL000
4. ANEL LIMITE BLOQUEIO EIXO 10 X 30 X #10
5. MOTOR NEMA 23
6. POLIA GT2 Z32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
7. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
8. CORREIA GT2 10MM
9. EIXO RETIFICADO D16 MM
10. ROLAMENTO LINEAR ESFERA FLANGE LMK16UU
11. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
12. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
13. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM
14. PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM



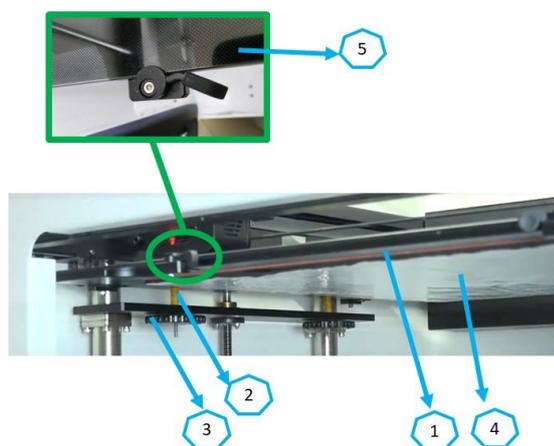
## CONJUNTO EIXO Z 3D-01

1. FUSO TR10 PASSO 2 MM 1 ENTRADA INOX
2. CASTANHA LATÃO
3. ROLAMENTO AUTOMÁTICO BLOCO FL000
4. ANEL LIMITE BLOQUEIO EIXO 10 X 30 X #10
5. MOTOR NEMA 23
6. POLIA GT2 Z32 FURO 6,35 MM CORREIA 10 MM
7. PARAFUSO ALLEN SEM CABECA INOX 4X5MM
8. CORREIA GT2 10MM
9. EIXO RETIFICADO D16 MM
10. ROLAMENTO LINEAR ESFERA FLANGE LMK16UU
11. MICRO ROLAMENTO COM FLANGE F625 ZZ
12. MICRO ROLAMENTO 625 ZZ
13. PARAFUSO ALLEN COM CABECA INOX 5X35MM
14. PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 5MM



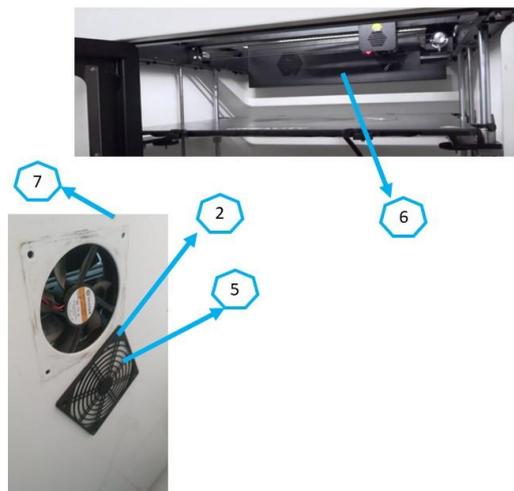
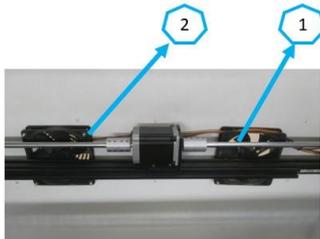
## SUB CONJ PLATAFORMA DE CONSTRUÇÃO 3D-01

1. MESA AQUECIDA 500 MM x 500 MM 24V
2. KIT DE MOLAS PLANAS PARA MESA AQUECIDA
3. KIT PORCA HOTBED M4 C/ 4 BLACK
4. MANTA DE ISOLAMENTO PARA MESA AQUECIDA
5. VIDRO CARBORUNDUM 600 MM X 600 MM

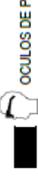
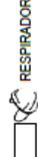


## CONJUNTO FILTRAGEM DE AR 3D-01

1. COOLER 120 X 120 X 25 MM 24V 0,15ª
2. PARAFUSO ALLEN CAB CHATA M4X40
3. PORCA AUTOTRAVANTE SEXTAVADA INOX 4MM
4. GAIOLA EXTERNA
5. PROTEÇÃO EXTERNA
6. PROTEÇÃO INTERNA
7. PARAFUSO ALLEN CABECA ABAULADA 4X10MM



## APÊNDICE B – LISTA DE CHECAGEM DIÁRIA

<b>CHECK LIST DIÁRIO - Impressora 3D Creality CR-5060 PRO 3D-01</b>		Código: _____																																	
		Data: 30/12/2023																																	
		Revisão: 00																																	
<b>OPERADOR</b>	1º TURNO	NOME: _____	Data da última manutenção: _____																																
	2º TURNO	NOME: _____		Área: _____																															
	3º TURNO	NOME: _____		Mês/Ano: _____																															
<p>• Todo equipamento deverá ser inspecionado através do check list pelo colaborador na primeira utilização do turno;</p> <p>• O check list realizado terá validade apenas naquele dia em que foi preenchido;</p> <p>• O colaborador que irá utilizar o equipamento após o preenchimento do check list deve ter atenção aos itens críticos e de segurança do equipamento, pois ao sinal de qualquer anomalia, o equipamento não poderá ser utilizado.</p>		<p><b>USO OBRIGATÓRIO DOS EPIS:</b></p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">               LUVAS DE CORTE         </div> <div style="text-align: center;">               LUVA DE ALTA TEMPERATURA         </div> <div style="text-align: center;">               LUVA NITRILICA         </div> <div style="text-align: center;">               LUVA DE RASPA         </div> <div style="text-align: center;">               OCULOS DE PROTEÇÃO         </div> <div style="text-align: center;">               VISERA         </div> <div style="text-align: center;">               ÓCULOS AMPLA VISÃO         </div> <div style="text-align: center;">               MÁSCARA DE SOLDA         </div> <div style="text-align: center;">               FERNEIRA         </div> <div style="text-align: center;">               CAPUZ DE SOLDA         </div> <div style="text-align: center;">               AVENTAL DE RASPA         </div> <div style="text-align: center;">               AVENTAL DE PVC         </div> <div style="text-align: center;">               RESPIRADOR PFF2         </div> <div style="text-align: center;">               BOTAS DE SEGURANÇA         </div> <div style="text-align: center;">               PROTETOR ORICULAR         </div> <div style="text-align: center;">               CAPACETE         </div> </div>																																	
<p><b>EQUIPAMENTO</b></p> 																																			
ITEM	ITENS PARA CHECAR:	DATA DIÁRIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	EPI'S & EPC'S	1º TURNO																																	
2	FERRAMENTAS ADEQUADAS	2º TURNO																																	
3	LIMPEZA DA MESA	3º TURNO																																	
4	LIMPEZA DO BICO	1º TURNO																																	
5	NIVELAMENTO DA MESA	2º TURNO																																	
6	FILAMENTO	3º TURNO																																	
7	AQUECIMENTO DA MESA	1º TURNO																																	
8	AQUECIMENTO DO HOTEND	2º TURNO																																	
9	EXTRUSORA	3º TURNO																																	
		<p>2º - CASO ALGUMA RESPOSTA SEJA "NC" NÃO CONFORME, ABRIR UMA ETIQUETA, O EQUIPAMENTO NÃO PODERÁ SER UTILIZADO ATÉ A SUA REGULARIZAÇÃO!</p> <p>LEGENDA: C - CONFORME    NC - NÃO CONFORME    N/A - NÃO APLICÁVEL    NUD - NÃO UTILIZADO NO DIA</p>																																	

## APÊNDICE C – LPP PLANO M3D3D01-0002

## IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO



PROCEDIMENTO OPERACIONAL  
PADRÃO (POP) DO ROTEIRO DE  
LUBRIFICAÇÃO DO PLANO DE  
MANUTENÇÃO M3D3D01.

**1º PASSO**  
USO DE EPI'S PARA RISCOS FÍSICOS

- ÓCULOS DE PROTEÇÃO;
- BOTA DE SEGURANÇA;
- CASQUETE

**2º PASSO**  
DISPONIBILIZAR FDS (FISPQ) DOS PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS

- LUBRIFICANTE SECO  
A BASE DE PTFE
- DESENGRAXANTE

**3º PASSO**  
**LIGAR A IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO**



**APERTAR BOTÃO "POWER SWITCH", LOCALIZADO NA PARTE LATERAL INFERIOR DA IMPRESSORA 3D, PARA LIGA-LA.**

**4º PASSO**  
**EIXOS X,Y E Z NA POSIÇÃO HOME**



**IR NA ABA "MACHINE" E SELECIONAR A OPÇÃO "CONTROL";**

**PRESSONAR O ÍCONE DA CASA;**

**AGUARDAR A IMPRESSORA 3D PARAR DE MOVIMENTAR OS TRÊS EIXOS.**

**5º PASSO**  
**EIXO Z NA POSIÇÃO 400 MM**



**SELECIONAR O CAMPO DO EIXO "Z";**

**PÔR O VALOR DE 400 MILÍMETROS;**

**ESPERAR O DESLOCAMENTO NO EIXO Z SER CONCLUÍDO.**

**6º PASSO**  
**DESLIGAR A IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO**



APERTAR BOTÃO "POWER SWITCH", LOCALIZADO NA PARTE LATERAL INFERIOR DA IMPRESSORA 3D, PARA DESLIGA-LA.

**7º PASSO**  
**BLOQUEAR FONTE DE ENERGIA ELETRICA DO EQUIPAMENTO**



- REALIZAR ANÁLISE RÁPIDA DE RISCO (ARR);
- IDENTIFICAÇÃO DE BLOQUEIO E CHECK-LIS DE BLOQUEIO DE ENERGIA
- APLICAR O LOTO NO DDR

**8º PASSO**  
**RETIRAR A PORTA FRONTAL**



RETIRAR A TRAVA SUPERIOR E DESENCAIXAR A PARTE INFERIOR PARA MOVER A PORTA FRONTAL

**9º PASSO**  
**RETIRAR A MESA DE IMPRESSÃO**



**TIRAR AS TRAVAS LATERIAS QUE FIXA A MESA DE IMPRESSÃO A PLATAFORMA DE AQUECIMENTO;**

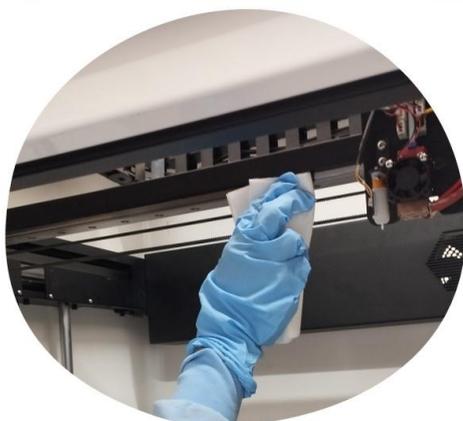
**RETIRAR, CUIDADOSAMENTE, O TAMPO DE VIDRO A 45º DA MESA;**

**10º PASSO**  
**USO DE EPI'S PARA RISCOS FÍSICOS E QUÍMICOS**



- ÓCULOS DE PROTEÇÃO;
- BOTA DE SEGURANÇA;
- CASQUETE;
- LUVA NITRÍLICA;

**11º PASSO**  
**LIMPEZA DO TRILHO NO EIXO X**



- LIMPE-O COM PANO MULTIUSO SECO ATÉ FICAR BRILHANTE E SEM POEIRA
- MOVA MANUALMENTE O PATIM PARA DIREITA E PARA ESQUERDA PARA LIMPAR TODA A EXTENSÃO DO TRILHO;

**12º PASSO**  
**LIMPEZA DOS TRILHOS NO EIXO Y**



- LIMPE-OS COM PANO MULTIUSO SECO ATÉ FICAR BRILHANTE E SEM POEIRA
- MOVA MANUALMENTE OS PATINS PARA DIREITA E PARA ESQUERDA PARA LIMPAR TODA A EXTENSÃO DOS TRILHOS;

**13º PASSO**  
**LIMPEZA DOS FUSOS E GUIAS NO EIXO Z**



- LIMPE-OS COM PANO DE ALGODÃO SECO ATÉ FICAR BRILHANTE E SEM POEIRA
- GIRE MANUALMENTE OS FUSOS PARA LIMPAR TODA A EXTENSÃO;

**14º PASSO**  
**USO DE EPI'S PARA RISCOS FÍSICOS E QUÍMICOS**



- ÓCULOS DE SOPREBOR;
- BOTA DE SEGURANÇA;
- CASQUETE;
- LUVA NITRÍLICA;
- MÁSCARA PFF;

**15º PASSO**  
**LUBRIFICAÇÃO DO TRILHO NO EIXO X**



- APLICAR O SPRAY A UMA DISTÂNCIA DE, APROXIMADAMENTE, 20 CM
- MOVA MANUALMENTE O PATIM PARA DIREITA E PARA ESQUERDA PARA ATINGI TODA A EXTENSÃO DO TRILHO;

**16º PASSO**  
**LUBRIFICAÇÃO DOS TRILHOS NO EIXO Y**



- APLICAR O SPRAY A UMA DISTÂNCIA DE, APROXIMADAMENTE, 20 CM
- MOVA MANUALMENTE O PATIM PARA DIREITA E PARA ESQUERDA PARA ATINGI TODA A EXTENSÃO DOS TRILHOS;

**17º PASSO**  
**LUBRIFICAÇÃO DOS FUSOS E GUIAS NO EIXO Z**



- APLICAR O SPRAY A UMA DISTÂNCIA DE, APROXIMADAMENTE, 20 CM
- GIRE MANUALMENTE OS FUSOS PARA ATINGI TODA A EXTENSÃO;

**18º PASSO**  
**HIGIENIZAR O EQUIPAMENTO**



- LIMPA AS SUPERFÍCIES ATINGIDAS EQUIVOCADAMENTE PELO SPRAY.
- UTILIZAR PANO EMBEBECIDO COM DESENGRAXANTE H7

**19º PASSO**  
**USO DE EPI'S PARA RISCOS FÍSICOS**



- ÓCULOS DE PROTEÇÃO;
- BOTA DE SEGURANÇA;
- CASQUETE

**20º PASSO**  
**RECOLOCAR A MESA DE IMPRESSÃO**



RECOLOCAR, CUIDADOSAMENTE, O TAMPO DE VIDRO A 45º DA MESA;

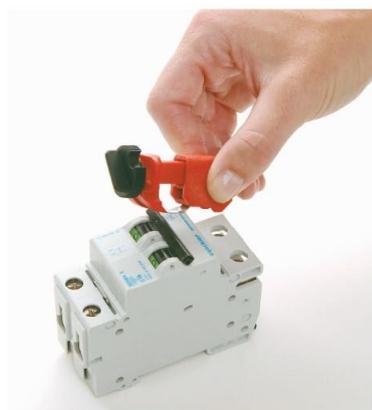
TRAVAR AS LATERIAS PARA FIXA A MESA DE IMPRESSÃO A PLATAFORMA DE AQUECIMENTO;

**21º PASSO**  
**RECOLOCAR A PORTA FRONTAL**



**ENCAIXAR A PARTE INFERIOR E  
POSICIONAR A TRAVA SUPERIOR;  
FECHAR A PORTAR**

**22º PASSO**  
**DESBLOQUEAR FONTE DE ENERGIA ELETRICA DO EQUIPAMENTO**



- RETIRAR O LOTO NO DDR;
- LIGAR O DISJUNTOR;
- FECHA A PORTA LATERAL;

**23º PASSO**  
**LIGAR A IMPRESSORA 3D CREALITY CR-5060 PRO**



**APERTAR BOTÃO "POWER SWITCH",  
LOCALIZADO NA PARTE LATERAL  
INFERIOR DA IMPRESSORA 3D, PARA  
LIGA-LA.**

**24º PASSO**  
**TESTES NO EQUIPAMENTO APÓS A MANUTENÇÃO.**



**IR NA ABA "MACHINE" E SELECIONAR A OPÇÃO "CONTROL";**

**PRESSONAR O ÍCONE DA CASA;**

**AGUARDAR A IMPRESSORA 3D PARAR DE MOVIMENTAR OS TRÊS EIXOS.**

**PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVO CONCLUÍDO!**

**VERSÃO: 00**

**DATA DE CRIAÇÃO:**  
**27/12/2023**

**DATA DA ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO:**  
**27/12/2023**

**NÃO ESQUEÇA:**

**- ORGANIZAR O LOCAL DA ATIVIDADE;**

**- ARMAZENAR OS QUÍMICOS CORRETAMENTE;**

**APÊNDICE D –OPERAÇÕES E PICK LISTS DO PLANO M3D83D01-0003**

Display Long Text: Operation 0030 Language EN

F..	L	Row Text	R
		.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..	
*		TRP-MEC-TROCA TUBO HOTEND	
*		-----	
=		INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUI. CASO O ITEM ESTEJA DETRO DA VIDA ÚTIL E	
*		NÃO PRECISAR QUE A TROCA SEJA REALIZADA PREENCHER "N/A". CASO PRECISE	
*		SER TROCADO E A TROCA FOI REALIZADO PREENCHER "OK", CASO NÃO TENHA SIDO	
*		TROCADO PREENCHER "NOK".	
*	*		
*	*		
*		01)TROCA DO TUBO PTFE DO SUB CONJUNTO HOTEND 3D-01:	
*		( )OK ( )NOK ( )N/A	
*	*		
*		- DERRETIDO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*		- CARBONIZADO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*		- DESGASTE INTERNO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*	*		
*		COMENTÁRIOS: _____	
*		_____	
*		_____	
*		_____	
*	*		
*		-----	

cal SAP IA07 msapewp06 OVR

General maintenance task list Display: Component Overview

Internal External Operation Header Task list

Group M3D-3D01-TRP-MEC-180D Grp.Countr 3

Activity 0030 TRP-MEC-TROCA TUBO HOTEND

Component Selection Catalog

Material	Quantity	Un	B	M	Component Description	I... Assembly	Sort
	2.000	EA	<input type="checkbox"/>		CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO	L	STANDARD
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>		TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75MM (4X2)	L	STANDARD

SAP IA07 msapewp06 OVR

Display Long Text: Operation 0040 Language EN

TRP-MEC-TROCA BICO HOTEND

INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUI. CASO O ITEM ESTEJA DENTRO DA VIDA ÚTIL ENÃO PRECISE QUE A TROCA SEJA REALIZADA PREENCHER "N/A". CASO PRECISE SER TROCADO E A TROCA FOI REALIZADO PREENCHER "OK", CASO NÃO TENHA SIDO TROCADO PREENCHER "NOK".

1)TROCA DO BICO DO SUB CONJ HOTEND 3D-01:

( )OK ( )NOK ( )N/A

- MATERIAL DO BICO ATUAL: ( )LATÃO ( )INOX ( )AÇO ENDURECIDO

- ORIFÍCIO DO BICO ATUAL: ( ) 0,2 ( ) 0,3 ( ) 0,4 ( ) 0,5 ( ) 0,6 ( ) 0,8 ( ) 1,0

- MATERIAL DO BICO NOVO: ( )LATÃO ( )INOX ( )AÇO ENDURECIDO

- ORIFÍCIO DO BICO ATUAL: ( ) 0,2 ( ) 0,3 ( ) 0,4 ( ) 0,5 ( ) 0,6 ( ) 0,8 ( ) 1,0

COMENTÁRIOS:

IA07 | msapewp06 | OVR

General maintenance task list Display: Component Overview

Group M3D-3D01-TRP-MEC-180D Grp.Countr 3

Activity 0040 TRP-MEC-TROCA BICO HOTEND

Component Selection Catalog

Material	Quantity	Un	B	M. Component Description	I.. Assembly	Sort	Item
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,8 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,8 MM AÇO ENDURECIDO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,4 MM AÇO ENDURECIDO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,2 MM AÇO ENDURECIDO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,3 MM AÇO ENDURECIDO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,5 MM AÇO ENDURECIDO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,6 MM AÇO ENDURECIDO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,2 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 1,0 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,3 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,5 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,6 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,8 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 1,0 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,2 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,3 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,4 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,5 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,6 MM LATÃO	L	STANDARD	
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	BICO MK8 0,4 MM AÇO INOXIDAVEL	L	STANDARD	

IA07 | msapewp06 | OVR

Display Long Text: Operation 0050 Language EN

F..	L	Row Text	R
		.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..	
*		TRP-MEC-TROCA TUBO EXTRUSORA	
*		*	
*		-----	
*		INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUI. CASO O ITEM ESTEJA DETRO DA VIDA ÚTIL E	
*		NÃO PRECISAR QUE A TROCA SEJA REALIZADA PREENCHER "N/A". CASO PRECISE	
*		SER TROCADO E A TROCA FOI REALIZADO PREENCHER "OK", CASO NÃO TENHA SIDO	
*		TROCADO PREENCHER "NOK".	
*		*	
*		*	
*		1)TROCA DO TUBO PTFE DO CONJUNTO EXTRUSORA 3D-01:	
*		( )OK ( )NOK ( )N/A	
*		*	
*		- DERRETIDO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*		- CARBONIZADO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*		- DESGASTE INTERNO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*		COMENTÁRIOS: _____	
*		_____	
*		_____	
*		_____	
*		*	
*		-----	

SAP >> | IA07 | msapewp06 | OVR

General Task List | Edit | Goto | Operation | Extras | Environment | System | Snack Help

General maintenance task list Display: Component Overview

Internal External Operation Header Task list

Group M3D-3D01-TRP-MEC-180D Grp.Countr 3

Activity 0050 TRP-MEC-TROCA TUBO EXTRUSORA

Component Selection Catalog

Material	Quantity	Un	B	M	Component Description	I... Assembly	Sort	Item
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>		CONECTOR PNEUMÁTICO ENGATE RÁPIDO	L	STANDARD	
	2.000	EA	<input type="checkbox"/>		TUBO PTFE BRANCO BOWDEN 1.75MM (4X2)	L	STANDARD	

SAP >> | IA07 | msapewp06 | OVR

Display Long Text: Operation 0060 Language EN

F..	L	Row Text	R
		.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..	
*		TRP-MEC-TROCA GARGANTA HOTEND	
*			
*		-----	
*		CHECK LIST DE TROCA GARGANTA HOTEND	
*		-----	
*		INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUI. CASO O ITEM ESTEJA DENTRO DA VIDA ÚTIL E	
*		NÃO PRECISE QUE A TROCA SEJA REALIZADA PREENCHER "N/A". CASO PRECISE SER	
*		TROCADO E A TROCA FOI REALIZADO PREENCHER "OK", CASO NÃO TENHA SIDO	
*		TROCADO PREENCHER "NOK".	
*		-----	
*		1) TROCA DA GARGANTA HEATBREAK DO SUB CONJ HOTEND 3D-01:	
*		( )OK ( )NOK ( )N/A *	
*			
*		- DESGASTE INTERNO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*		- DEFORMAÇÃO: ( ) SIM ( ) NÃO	
*			
*		COMENTÁRIOS: _____	
*		_____	
*		_____	
*	*		

SAP | IA07 | msapewp06 | OVR

General maintenance task list Display: Component Overview

Internal External Operation Header Task list

Group 8308STAT M3D-3D01-TRP-MEC-180D Grp.Countr 3

Activity 0060 TRP-MEC-TROCA GARGANTA HOTEND

Component Selection Catalog

Material	Quantity	Un	B	M. Component Description	I... Assembly	Sort	Item
	1.000	EA	<input type="checkbox"/>	GARGANTA MK8	L	STANDARD	

SAP | IA07 | msapewp06 | OVR

Display Long Text: Operation 0070 Language EN

F.. L Row Text

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..
* TRP-MEC-TROCA CORREIA EIXO X Y Z *
* -----
= INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUI. CASO O ITEM ESTEJA DETRO DA VIDA ÚTIL E
/: NÃO PRECISAR QUE A TROCA SEJA REALIZADA PREENCHER "N/A". CASO PRECISE
/= SER TROCADO E A TROCA FOI REALIZADO PREENCHER "OK", CASO NÃO TENHA SIDO
TROCADO PREENCHER "NOK".
* *
* *
* 1) TROCA DA CORREIA DE TRANSMISSÃO DO CONJUNTO EIXO X 3D-01:
* ( )OK ( )NOK ( )N/A
* *
* - ROPIMENTO: ( ) SIM ( )NÃO
* - FLÁCIDA: ( ) SIM ( ) NÃO
* - ESTICADA: ( ) SIM ( ) NÃO
* *
* COMENTÁRIOS: _____
* 2) TROCA DA CORREIA DE TRANSMISSÃO DO CONJUNTO EIXO Z 3D-01:
* ( )OK ( )NOK ( )N/A
* *
* - ROPIMENTO: ( ) SIM ( )NÃO
* - FLÁCIDA: ( ) SIM ( ) NÃO
* - ESTICADA: ( ) SIM ( ) NÃO
* *
* COMENTÁRIOS: _____
* 3) TROCA DA CORREIA DE TRANSMISSÃO DIREITA DO CONJUNTO EIXO Y 3D-01:
* ( )OK ( )NOK ( )N/A
* *
* - ROPIMENTO: ( ) SIM ( )NÃO
* - FLÁCIDA: ( ) SIM ( ) NÃO
* - ESTICADA: ( ) SIM ( ) NÃO
* *
* COMENTÁRIOS: _____
* _____
* _____
* *
* 4) TROCA DA CORREIA DE TRANSMISSÃO ESQUERDA DO CONJUNTO EIXO Y 3D-01:
* ( )OK ( )NOK ( )N/A
* *
* - ROPIMENTO: ( ) SIM ( )NÃO
* - FLÁCIDA: ( ) SIM ( ) NÃO
* - ESTICADA: ( ) SIM ( ) NÃO
* *
* COMENTÁRIOS: _____

```

SAP >> | IA07 | msapewp06 | OVR |

General maintenance task list Display: Component Overview

Internal External Operation Header Task list

Group M3D-3D01-TRP-MEC-180D Grp.Count 3

Activity 0070 TRP-MEC-TROCA CORREIA EIXO X Y Z \*

Component Selection Catalog

Material	Quantity	Un	B	M. Component Description	I... Assembly	Sort	Item
	3.000	EA	<input type="checkbox"/>	CORREIA GT2 10MM	L	STANDARD	

SAP >> | IA07 | msapewp06 | OVR |

Display Long Text: Operation 0080 Language EN

F.. L Row Text R

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7..
* TRP-MEC-TROCA ENGRENAGEM EXTRUSORA
* *
* -----
* INSPECIONAR CADA ITEM A SEGUI. CASO O ITEM ESTEJA DENTRO DA VIDA ÚTIL E
* NÃO PRECISE QUE A TROCA SEJA REALIZADA PREENCHER "N/A". CASO PRECISE SER
* TROCADO E A TROCA FOI REALIZADO PREENCHER "OK", CASO NÃO TENHA SIDO
* TROCADO PREENCHER "NOK".
* *
* 1) TROCA DA ENGRENAGEM TRACIONADORA DO CONJUNTO EXTRUSORA 3D-01:
* ( )OK ( )NOK ( )N/A
* *
* - MATERIAL DA ENGRENAGEM ATUAL ( )BRONZE ( )INOX
* - DESGASTE: ( ) SIM ( ) NÃO
* *
* - MATERIAL DA ENGRENAGEM NOVA: ( )BRONZE ( )INOX
* *
* COMENTÁRIOS: _____
* _____
* _____
* *
* *
* *
* 2) TROCA DA ENGRENAGEM TRACIONADORA DO SUB CON EXTRUSORA XTITAN 3D-01:
* ( )OK ( )NOK ( )N/A
* *
* - MATERIAL DA ENGRENAGEM ATUAL ( )BRONZE ( )INOX
* - DESGASTE: ( ) SIM ( ) NÃO
* *
* - MATERIAL DA ENGRENAGEM NOVA: ( )BRONZE ( )INOX
* *
* COMENTÁRIOS: _____
* _____
* _____
* *
* *
  
```

SAP >> | IA07 | msapewp06 | OVR | 🔍 | 🔄 | 🔒

General maintenance task list Display: Component Overview

Internal External Operation Header Task list

Group 8308STAT M3D-3D01-TRP-MEC-180D Grp.Countr 3

Activity 0080 TRP-MEC-TROCA ENGRENAGEM EXTRUSORA

Component Selection Catalog

Material	Quantity	Un	B	M.	Component Description	I.. Assembly	Sort	Item
	2.000	EA	<input type="checkbox"/>		ENGRENAGEM EXTRUSORA MK8 Z40 BRONZE	L	STANDARD	
	2.000	EA	<input type="checkbox"/>		ENGRENAGEM EXTRUSORA MK8 Z40 INOX	L	STANDARD	

SAP >> | IA07 | msapewp06 | OVR | 🔍 | 🔄 | 🔒