

---

# **APOSTILA APLICADA EM IMPRESSÃO 3D**



## **PROGRAMA DE APLICAÇÃO TÉCNICA EM IMPRESSÃO 3D FDM/FFF**

**Duração:** 8 horas

**Data de Publicação:** Outubro de 2025

**Versão do Documento:** 1.0

---

## 2. SUMÁRIO

módulo 1: fundamentos técnicos da impressão FDM/FFF

- 1.1 o que é impressão FDM/FFF
- 1.2 princípios físicos do processo
- 1.3 anatomia completa da impressora FDM
- 1.4 materiais termoplásticos

módulo 2: preparação e configuração no Orca Slicer

- 2.1 introdução ao software Orca Slicer
- 2.2 importação e manipulação de modelos 3D
- 2.3 parâmetros críticos de impressão
- 2.4 geração e visualização do G-code

módulo 3: processo de impressão e monitoramento

- 3.1 preparação da impressora
- 3.2 monitoramento da primeira camada
- 3.3 acompanhamento durante a impressão
- 3.4 finalização e remoção da peça

módulo 4: acabamento, manutenção e biossegurança

- 4.1 processos de acabamento pós-impressão
- 4.2 protocolo de manutenção preventiva
- 4.3 diagnóstico e solução de problemas comuns
- 4.4 biossegurança no ambiente Fleury

avaliação prática final

elementos pós-textuais

- Glossário técnico
- Bibliografia e referências

### **3. APRESENTAÇÃO**

Bem-vindo(a) à sua jornada de capacitação em Manufatura Aditiva no Grupo Fleury.

O setor de saúde é um campo fértil para a inovação, e a impressão 3D (Manufatura Aditiva) é uma das ferramentas mais disruptivas para otimizar processos, criar ferramentas customizadas e produzir protótipos em tempo recorde. Ao dominar a tecnologia FDM/FFF, você se torna um agente de transformação, contribuindo diretamente para a eficiência e a qualidade do nosso ambiente laboratorial e hospitalar.

#### **Objetivos do curso:**

Ao final deste curso, você será capaz de:

- Identificar a anatomia e o funcionamento dos componentes de uma impressora FDM.
- Dominar o software de fatiamento (Orca Slicer) e configurar parâmetros para impressões de alta qualidade.
- Executar procedimentos de pré-impressão, monitoramento e pós-processamento de peças.
- Aplicar rotinas de manutenção preventiva e diagnosticar falhas comuns.
- Entender e aplicar o protocolo de **Biossegurança** em todas as etapas do processo.

#### **Metodologia de aprendizagem:**

Este curso é baseado no princípio da "mão na massa". A apostila guia a sua experiência em 4 horas de aula presencial, alternando entre teoria concisa (o **porquê** das coisas) e exercícios práticos (o **como** fazer). A didática é estruturada para que, ao sair da sala, você tenha o conhecimento imediatamente aplicável no seu dia a dia profissional.

#### **Como usar esta apostila:**

- **Leia com atenção:** Os textos são concisos e focam no essencial.
- **Pratique os Exercícios:** A prática é fundamental. Utilize a impressora e o Orca Slicer para aplicar imediatamente o que foi aprendido. Pense em como cada conceito se aplica na sua rotina no Fleury. Se estivermos falando de **qualidade da primeira camada**, pense na **precisão** de um guia cirúrgico ou um suporte de bancada.

# MÓDULO 1: FUNDAMENTOS TÉCNICOS DA IMPRESSÃO FDM/FFF



## 1.1 O Que é Impressão FDM/FFF

A impressão 3D por FDM/FFF é o método mais comum e acessível de manufatura aditiva.

- **Definição Técnica:** A Modelagem por Deposição de Filamento Fundido (FDM - Fused Deposition Modeling) ou Fabricação por Filamento Fundido (FFF - Fused Filament Fabrication) é um processo onde um material termoplástico, armazenado em forma de filamento (o "fio"), é aquecido até seu estado semilíquido e extrudado através de um bico (nozzle) para construir objetos tridimensionais, camada por camada(layer-by-layer).
- **Diferença entre FDM e FFF:** Na prática, os termos são sinônimos. FDM é o termo original e marca registrada da Stratasys. FFF é o termo de código aberto, geralmente usado por toda a comunidade e impressoras desktop.
- **Histórico e Relevância no Setor Médico:** A tecnologia surgiu nos anos 80, mas popularizou-se na última década. No setor médico, ela permite a produção de protótipos de baixo custo, modelos anatômicos de estudo, guias cirúrgicos de precisão, substituição de peças para máquinas e, crucialmente para o Fleury, ferramentas customizadas (jigs, fixtures) para bancadas de trabalho e equipamentos de laboratório, otimizando fluxos e ergonomia.
- **Aplicações específicas no laboratório:**
  - **Suportes e Berços (Jigs/Fixtures):** Criação de suportes para tubos de ensaio, bandejas customizadas para equipamentos de análise e berços para fixação de amostras.
  - **Prototipagem Rápida:** Modelos físicos de peças que precisam de reposição ou adaptação, reduzindo o tempo de espera de fornecedores.
  - **Componentes Ergonômicos:** Adaptações em alças, *grips* ou botões para melhorar a manipulação em rotinas específicas.

## 1.2 Princípios Físicos do Processo

A qualidade de uma impressão depende do entendimento de como o material se comporta.

- Como plástico derrete e solidifica:

O filamento sólido é empurrado por uma engrenagem (extrusor) para dentro do Hotend (extrusora quente). Lá, ele passa pelo bloco aquecedor (heating block) e atinge a temperatura de transição vítreia ( $T_g$ ), tornando-se maleável e sendo forçado a sair pelo bico (nozzle). Ao ser depositado na camada anterior, ele resfria e solidifica rapidamente.

- Conceito de camadas (Layer-by-layer):

A peça é construída depositando uma camada sobre a outra, criando uma adesão (layer adhesion) que dita a resistência vertical. O slicer (software fatiador) transforma o modelo 3D em milhares de fatias (camadas).

- Temperaturas envolvidas (Hotend, Mesa):

O Hotend precisa estar na temperatura correta para derreter o filamento (ex: PLA a 200°C). A Mesa de Impressão (ou build plate) é frequentemente aquecida (ex: 60°C para PLA) para garantir que a primeira camada se fixe (bed adhesion) e evitar deformações (warping).

- Adesão entre camadas:

A fusão incompleta entre as camadas torna a peça frágil. Uma temperatura de extrusão adequada e uma velocidade de impressão controlada são cruciais para garantir que o material depositado esteja quente o suficiente para se fundir quimicamente com a camada de baixo.

## 1.3 Anatomia completa da impressora FDM

Conhecer os nomes e as funções exatas dos componentes permite um diagnóstico mais rápido.

Nome Técnico	Função Específica	Importância para o Resultado Final
<b>Extrusora (Hotend)</b>	Conjunto que aquece e derrete o filamento. Inclui o bico ( <i>nozzle</i> ) e o bloco aquecedor.	<b>Qualidade da Extrusão.</b> Dita o fluxo, a temperatura de fusão e o diâmetro da linha de plástico.
<b>Bico (Nozzle)</b>	Saída final do plástico. Seu diâmetro (ex: 0.4mm) define a largura da linha e a altura mínima/máxima da camada.	<b>Precisão e Resolução.</b> Um bico desgastado ou entupido compromete a qualidade e a resistência.
<b>Termistor</b>	Sensor de temperatura acoplado ao Hotend e à Mesa.	<b>Segurança e Controle Térmico.</b> Essencial para manter a temperatura estável e prevenir acidentes ( <b>Thermal Runaway</b> ).
<b>Motores Stepper</b>	Motores de passo que movimentam os eixos X, Y e Z com precisão micrométrica.	<b>Precisão Dimensional.</b> Responsáveis por posicionar o bico exatamente onde a camada deve ser depositada.
<b>Correias e Polias</b>	Transmitem o movimento dos motores Stepper para os eixos X e Y.	<b>Prevenção de Layer Shift.</b> Correias frouxas causam desalinhamento de camadas.
<b>Mesa de Impressão</b>	Superfície onde a peça é construída. Pode ser aquecida (Heated Bed).	<b>Adesão e Formato.</b> Uma mesa nivelada e limpa evita que a peça descole ( <i>warping</i> ).
<b>Sistema de Alimentação</b>	Engrenagem que empurra	<b>Fluxo Consistente.</b> Falhas

	o filamento (Bowden ou Direct Drive) para o Hotend.	no sistema causam Sub ou Sobre-extrusão.
<b>Firmware e Interface</b>	Software interno da impressora (o "cérebro") e tela de controle.	<b>Controle e Calibração.</b> Permite o comando dos motores e o ajuste fino de temperaturas e <i>offsets</i> .
<b>Ventiladores (<i>Cooling Fans</i>)</b>	<b>Hotend Cooling Fan:</b> Mantém o "pescoço" do Hotend frio para evitar entupimento. <b>Part Cooling Fan:</b> Resfria o plástico recém-depositado.	<b>Resfriamento e Qualidade.</b> O resfriamento rápido evita deformações, mas o resfriamento inadequado (do Hotend) causa falhas.

**Observação:** A **Extrusora** pode ser de dois tipos principais: **Bowden** (motor distante do Hotend) ou **Direct Drive** (motor diretamente acoplado ao Hotend). O *Direct Drive* é melhor para filamentos flexíveis (TPU).

## 1.4 Materiais termoplásticos

Material	Propriedades Físicas	Aplicações no Fleury	Vantagens / Limitações	Cuidados de Armazenamento
<b>PLA</b> (Ácido Polilático)	Derivado de recursos renováveis. Baixa temperatura de fusão (.). Frágil, baixa resistência a calor.	<b>Prototipagem Rápida, Modelos Visuais.</b> Peças que não exigem resistência mecânica ou térmica no ambiente.	<b>Vantagens:</b> Fácil de imprimir, baixa contração. <b>Limitações:</b> Derrete/deflora a , baixa resistência a impactos.	Seco e longe da luz. Absorve pouca umidade.
<b>PETG</b> (Polietileno Tereftalato Glicol)	Boa resistência química, mais flexível que o PLA. Alta resistência a impactos.	<b>Ferramentas de Bancada, Suportes, Peças de Uso Frequentes.</b> Ideal para o ambiente	<b>Vantagens:</b> Boa resistência, <b>boa resistência química</b> (a detergentes e	<b>Seco (crítico).</b> Absorve muita umidade, o que gera bolhas e degrada a peça.

	Temperatura de fusão mais alta ( ).	hospitalar por ser mais resistente e ter boa inércia química.	desinfetantes suaves). <b>Limitações:</b> Propenso a <i>stringing</i> (fios finos), mais difícil de imprimir.	
<b>ABS</b> (Acrilonitrila Butadieno Estireno)	Elevada resistência mecânica e térmica ( ).	<b>Aplicações Limitadas/Estruturais.</b> Somente onde a resistência térmica é crucial e o uso de exaustão é obrigatório.	<b>Vantagens:</b> Resistente. <b>Limitações:</b> Forte emissão de COVs ( <i>Volatile Organic Compounds</i> ) e <b>Warpage</b> (deformação na mesa). <b>Não recomendado para ambientes sem exaustão dedicada.</b>	Seco.
<b>TPU/TPE</b> (Elastômeros Termoplásticos)	Flexível, tipo borracha. Dureza medida em <i>Shore</i> .	<b>Vedações, Juntas, Grips Ergonômicos, Amortecedores.</b>	<b>Vantagens:</b> Absorve choque, flexível. <b>Limitações:</b> Lento para imprimir, requer extrusor <i>Direct Drive</i> e configuração avançada.	Seco.

O uso de **ABS** deve ser restrito (não aconselhamos) e ou supervisionado devido à alta emissão de COVs e partículas ultrafinas. Priorize **PLA** e **PETG** em áreas sem ventilação forçada.

## EXERCÍCIO MÓDULO 1

**Atividade prática:** Identifique os componentes da impressora à sua frente e preencha a tabela.

Componente	Função Primária	Importância (1 a 5, sendo 5 o mais crítico)
Hotend		
Mesa de Impressão		
Termistor		
Correia do Eixo X		
Motor de Passo Z		
Ventilador de Peça		
Bico (Nozzle)		
Placa Controladora		
Filamento		
Sensor de Filamento		

**Fluxo do filamento:** Desenhe o fluxo do filamento (usando setas) desde a bobina até a peça impressa.

### Questões dissertativas:

1. Um colega imprimiu uma peça em PLA para um ambiente que atinge e ela deformou. Explique **a causa física** e sugira a **troca de material** mais adequado, justificando com as propriedades.
2. Qual a principal diferença entre FDM e FFF?
3. Qual o componente responsável por **medir** a temperatura do bico? Por que ele é fundamental para a **segurança** da impressora?



# MÓDULO 2: CONFIGURAÇÃO NO ORCA SLICER

## 2.1 Introdução ao software Orca Slicer

- O que é um software Slicer e sua Importância:  
Um slicer (fatiador) é o software que transforma o seu modelo 3D digital (arquivo .STL ou .OBJ) no código que a impressora entende: o G-Code. Ele fatia o modelo em milhares de camadas e calcula o caminho exato que o bico deve seguir, a velocidade e a temperatura. Sem o slicer, a impressora é inútil.
- Por que o Orca Slicer foi escolhido:  
O Orca Slicer é uma ferramenta open source (código aberto) robusta e poderosa, baseada em softwares aclamados. Ele oferece controles avançados, perfis prontos e uma interface clara, permitindo o ajuste fino dos parâmetros críticos com excelente visualização do resultado.
- Interface gráfica explicada passo a passo:  
A interface se divide em: (A) Área de Modelagem 3D (onde a peça é visualizada e manipulada), (B) Painel de Configurações (onde os parâmetros de impressão são ajustados, como Altura de Camada, Infill, etc.) e (C) Botão Fatiar (Slice) e Pré-Visualização (Preview).

---

## 2.2 Importação e Manipulação de modelos 3D

- Formatos de arquivo suportados:  
O padrão é o .STL (Stereolithography), mas o Orca também suporta .OBJ e o moderno .3MF (que armazena dados de cor, material e suporte na mesma embalagem).
- **Como importar e manipular:**
  1. Clique em *File > Import* ou use o botão + (Adicionar).
  2. Use as ferramentas de manipulação:
    - **Mover (X, Y, Z):** Posicione a peça na mesa. O ideal é no centro.
    - **Rotacionar (ângulos estratégicos):** A **orientação da peça** é crítica. A área de maior contato com a mesa melhora a adesão. A orientação também dita a resistência (se a peça precisa ser forte verticalmente, imprima-a deitada).
    - **Escalar (dimensões proporcionais):** Evite escalar, a menos que as dimensões da peça original não sejam críticas.
    - **Espelhar:** Crie a versão esquerda/direita de um par de peças.
  - **Posicionamento Ideal:** Priorize a **estabilidade** da peça e a **menor área de suporte** possível.

---

## 2.3 Parâmetros críticos de impressão

O domínio destes parâmetros é a chave para a qualidade da impressão.

### A) Altura de camada (*Layer Height*)

- **Definição:** A espessura de cada camada depositada.
- **Impacto visual:** Quanto menor a altura de camada, mais suave e detalhada a superfície, pois as linhas horizontais são menos visíveis.
- **Relação qualidade vs. Velocidade:** Uma camada de **0.1mm** oferece alta qualidade e é mais lenta. Uma camada de **0.3mm** é mais rápida, mas com degraus visíveis.
- **Regra Prática:** Deve ser entre **20% e 80%** do diâmetro do bico (*nozzle*). Para um bico de **0.4mm**, a faixa ideal é a . **Recomendado para o Fleury:** **0.2mm** (bom equilíbrio entre qualidade e velocidade).

### B) Velocidade de impressão

- **Velocidade de perímetros externos:** Deve ser **lenta** (ex: 40 mm/s) para garantir um acabamento superficial suave e preciso.
- **Velocidade de preenchimento (*Infill*):** Pode ser mais **rápida** (ex: 80 mm/s), pois a qualidade interna não afeta a superfície.
- **Velocidade da primeira camada: CRÍTICA.** Deve ser muito **lenta** (ex: 20 mm/s) para maximizar a adesão à mesa.
- **Trade-off:** Mais velocidade economiza tempo, mas reduz a qualidade. No Fleury, priorize a **qualidade e a resistência**.

### C) Temperatura de extrusão

- **Como determinar:** O fabricante do filamento fornece uma faixa (ex: para PLA). O valor ideal dentro da faixa depende da **velocidade** (quanto mais rápido, mais quente).
- **Testes de temperatura (*Temperature Tower*):** Imprima uma torre de teste que muda de temperatura a cada poucos milímetros para encontrar o ponto ideal.
- **Sintomas de temperatura incorreta:**
  - **Muito baixa:** Subdextrusão, *layer adhesion* fraca, entupimento.

- **Muito alta:** *Stringing* (fios finos), excesso de brilho, perda de detalhe.

## D) Temperatura da mesa

- **Função:** Garantir a adesão da primeira camada e reduzir o **Warping** (levantamento de canto).
- **Valores por material:** PLA ; PETG .

## E) Estruturas de suporte (*Support Structures*)

- **Quando necessários:** Para imprimir **áreas em balanço (overhangs)** que não têm camada inferior para apoiar (geralmente ângulos acima de graus).
- **Tipos:** **Linear** (mais rápido e forte) ou **Tree Support** (suporte em formato de árvore, mais fácil de remover, recomendado para formas orgânicas).
- **Facilidade de remoção:** Configure a **Distância Z (Z-distance)** para ter um pequeno vão entre o suporte e a peça.

## F) Densidade de preenchimento (*Infill Density*)

- **Definição:** O percentual de material dentro da peça.
- **Percentuais típicos e impacto:**
  - **10-20%:** Peças leves e rápidas. Boa para protótipos de baixa carga.
  - **40-60%:** Alto impacto na resistência mecânica. **Recomendado para ferramentas e suportes.**
  - **100%:** Peças sólidas.
- **Padrões:** **Gyroid** (melhor resistência isotrópica, recomendado), **Honeycomb** (resistente, mas lento).

## G) Perímetros (*Walls/Shells*)

- **Definição:** O número de linhas que formam a parede externa da peça.
- **Relação com resistência:** São a principal fonte de resistência da peça (mais que o *Infill*).

- **Recomendação:** Use **3 a 4 perímetros** para peças de trabalho no Fleury. Isso é mais confiável que aumentar o *Infill*.

#### H) Adesão à mesa (*Bed Adhesion*)

- **Brim:** Extensão de camadas finas ao redor da peça. O mais comum e recomendado para reduzir **Warping** com PETG.
  - **Raft:** Base descartável que cobre toda a área, ideal para mesas de impressão difíceis ou filamentos que deformam muito.
  - **Skirt:** Linha de contorno (sem tocar a peça), serve apenas para purgar o bico e garantir que o fluxo comece uniforme.
- 

## 2.4 Geração e visualização do G-Code

- O que é G-Code (Linguagem da Impressora):  
É a linguagem de programação de controle numérico (CN). Cada linha de código (ex: G1 X10 Y20 E0.5) é uma instrução para a impressora (mover o eixo X para 10, o Y para 20 e extrudar 0.5mm de filamento).
  - Processo de fatiamento (Slicing):  
Após configurar os parâmetros, o Orca Slicer executa o fatiamento, transformando o modelo em G-Code.
  - Pré-Visualização (Preview):  
**CRÍTICO.** Sempre use o modo Preview (Pré-visualização) para checar a espessura das paredes, a distribuição do Infill, a colocação dos suportes e o fluxo de movimento. Você pode visualizar a impressão camada por camada para confirmar a lógica.
  - **Estimativa de tempo e material:** O *slicer* fornece o tempo de impressão e o consumo estimado de material em gramas.
  - **Exportação:** Salve o arquivo **.gcode** no Cartão SD/USB para transferir para a impressora.
-

## EXERCÍCIO DO MÓDULO 2

### Atividade Prática no Orca Slicer:

- Importe o arquivo **STL** fornecido (*suporte\_medico\_generico.stl*).
- Configure o Material: PETG.
- **Parâmetros Específicos (Fleury - Resistência e Qualidade):**
  - Altura de Camada: 0.2mm
  - Perímetros (Walls): 4
  - Densidade de Preenchimento (Infill): 40%
  - Padrão de Preenchimento: Gyroid
  - Adesão à Mesa: Brim (5 linhas)
  - Temperatura Hotend:
  - Temperatura Mesa:
- **Tarefa:** Gere o G-Code, capture um *print screen* da tela de configurações e do modo *Preview* mostrando o *Infill*.

### Questionário:

1. Por que a **orientação** da peça na mesa de impressão (Rotação) é mais importante para a **resistência final** do que o *Infill* em muitos casos?
  2. Justifique a escolha de **4 perímetros** e **40% Infill Gyroid** para uma peça de uso frequente em laboratório.
  3. Qual é a principal função do **G-Code** e qual componente da impressora ele comanda?
-

# MÓDULO 3: PROCESSO E MONITORAMENTO

## 3.1 Preparação da Impressora

A preparação é **80%** do sucesso da impressão.

### Checklist Pré-Impressão:

#### 1. Limpeza da mesa de impressão:

- **Material adequado:** Álcool Isopropílico 70% ou 90% (evitar álcool 70% que deixa mais água).
- **Técnica correta:** Aplique o álcool em um pano de microfibra e faça movimentos circulares, garantindo a remoção de óleos de mão e resíduos de filamento anterior. **Limpeza insuficiente é a principal causa de falha de adesão.**

#### 2. Nivelamento da mesa (CRÍTICO):

- **Por que é Crítico:** O bico precisa estar à distância **exata** da mesa para a primeira camada (o chamado **Z-offset**). A distância correta é a espessura da altura de camada escolhida (ex: 0.2mm).
- **Métodos:**
  - **Manual:** Usando uma folha de papel dupla (método tradicional) nos cantos e no centro.
  - **Automático (ABL - Auto Bed Leveling):** A impressora utiliza um sensor para criar um mapa de nivelamento. Você ainda precisa configurar o **Z-offset** manualmente, mas a máquina compensa as imperfeições.
- **Frequência:** Diariamente ou sempre que houver falha de primeira camada ou movimentação brusca da impressora.

#### 3. Verificação do Bico (Nozzle):

- **Inspeção Visual:** Verifique se há filamento carbonizado ou resíduos.
- **Limpeza Externa:** Use uma escova de latão (cuidado para não queimar as mãos) com o bico aquecido.

#### 4. Carregamento do Filamento:

- **Pré-Aquecimento:** Aqueça o Hotend para a temperatura de impressão do filamento.
- **Purge Inicial (Extrusão Manual):** Force a extrusão de 5 a 10cm de filamento para garantir que o material que saia seja novo, limpo e com fluxo uniforme.

#### 5. Transferência e Seleção do G-Code:

- Transfira o arquivo .gcode para o Cartão SD ou USB. Verifique o nome do arquivo na

interface da impressora e inicie a impressão.

---

### 3.2 Monitoramento da primeira camada

O sucesso ou falha de uma impressão de 4 horas é decidido nos **primeiros 5 minutos**.

- **Importância crítica:** A primeira camada é a base. Se falhar, toda a geometria falhará.
- **Sinais de primeira camada perfeita:**
  - **Aderência uniforme:** A linha de filamento está "esmagada" na mesa o suficiente para grudar, mas sem obstruir o fluxo.
  - **Linhas sem espaçamento:** O filamento está depositado de forma que as linhas adjacentes se tocam sem deixar vãos.
  - **Superfície lisa:** O plástico deve estar com um leve brilho.

Problemas Comuns	Causa Provável	Solução Imediata
<b>Mesa muito alta</b>	Bico muito longe da mesa.	Use o comando <b>Z-offset</b> para <b>reduzir</b> a distância (ex: -0.05mm).
<b>Mesa muito baixa</b>	Bico arrasta/arranha, som de "clique".	Use o comando <b>Z-offset</b> para <b>aumentar</b> a distância (ex: +0.02mm).
<b>Não gruda</b>	Limpeza insuficiente ou temperatura inadequada.	Limpar a mesa (parar impressão, limpar com álcool, reiniciar) ou verificar se a temperatura da mesa atingiu o alvo.

### 3.3 Acompanhamento durante a impressão

- **Verificações periódicas:**
  - **A cada 30 minutos** (nas primeiras 2 horas, principalmente).
  - Observe a formação das camadas, o funcionamento dos ventiladores e se a peça continua totalmente adherida à mesa.
- **Sinais de Alerta:**
  - **Ruídos anormais (*Grinding*):** O motor do extrusor faz barulho de "moer" o filamento. Causa: Entupimento ou filamento preso.
  - **Impressão descolando (*Lifting*):** Uma borda da peça está levantando da mesa.
  - **Subdextrusão:** A camada parece incompleta, com furos ou vazios. Causa: Bico entupindo.

- **Layer shift (Deslocamento de camadas):** A impressão "salta" de posição, criando uma falha horizontal. Causa: Correia frouxa ou colisão mecânica.

### **Intervenções permitidas (Somente se o Hotend estiver quente!):**

- **Ajuste fino de temperatura:** Ajustar a temperatura do Hotend em (via interface) para mitigar *stringing* ou *layer adhesion* fraca.
- **Reforço de adesão:** Se um canto começar a levantar, é possível aplicar cola bastão ou *spray* de adesão **nas bordas** (com extremo cuidado para não tocar no bico).
- **Ajuste de fluxo (Flow):** Reduzir ou aumentar o fluxo (em ) se houver um ligeiro excesso (sobre-extrusão) ou falta de material (sub-extrusão).

### **Quando abortar a impressão:**

- **Descolamento completo:** A peça se soltou e está sendo arrastada pelo bico.
  - **Erro estrutural grave:** Falha de **Layer Shift** que tornará a peça inutilizável.
  - **Falha mecânica/elétrica:** Queda de energia, correia solta ou fogo. **Desligue imediatamente a impressora.**
- 

## **3.4 Finalização e remoção da peça**

### **Aguardar resfriamento**

- **Regra de Ouro: NUNCA** force a remoção com a mesa quente.
- **Temperatura Ideal:** A maioria das superfícies de impressão (vidro, PEI) libera a peça automaticamente ao atingir a temperatura ambiente (cerca de ). A paciência preserva a peça e a mesa.

### **Técnicas de remoção segura**

- **Ferramentas:** Use a espátula fornecida (metal ou plástico).
- **Ângulo Correto:** Insira a espátula em um ângulo baixo () sob a borda da peça.
- **Movimentos:** Use movimentos suaves. Se a peça não sair, espere mais. **O uso de força excessiva pode entortar a mesa, danificá-la ou causar acidentes.**

## Cuidados com a mesa

- **Evitar arranhões:** A espátula só deve tocar a superfície **após** a peça ter descolado.
  - **Preservação:** O revestimento da mesa (PEI, BuildTak) é crucial. Arranhões profundos comprometem a adesão futura naquele ponto. Superfícies danificadas devem ser substituídas.
- 

## EXERCÍCIO MÓDULO 3

### Simulação escrita:

1. **Checklist personalizado para laboratório:** Crie um checklist de 5 passos obrigatórios que um operador deve seguir **antes de iniciar** a impressão, priorizando a segurança e a precisão dimensional.
2. **Identificação de problemas visuais:** Descreva, em no máximo 3 frases, o procedimento de correção (intervenção) para as seguintes falhas na primeira camada (Assuma que o Hotend está aquecido):
  - **Cenário A:** As linhas estão perfeitamente planas, mas a cada 2-3 linhas, há um pequeno vazio entre elas.
  - **Cenário B:** A linha está "esparramada" na mesa e o bico está arrastando sobre o plástico depositado, emitindo um som alto.
  - **Cenário C:** A linha de contorno (*Skirt*) é impressa perfeitamente, mas a peça principal não gruda de forma alguma (a falha ocorre após a *Skirt*).
3. **Cálculo de tempo:** O *slicer* estima que uma peça levará 8 horas para imprimir com 0.2mm de camada e 60mm/s. Se você decidir aumentar a qualidade para 0.1mm de camada (mantendo 60mm/s), o tempo final será **mais que o dobro, exatamente o**

**dobro ou ligeiramente menos que o dobro? Justifique.**

# MÓDULO 4: ACABAMENTO, MANUTENÇÃO E BIOSSEGURANÇA

## 4.1 Processos de acabamento Pós-Impressão

- **A) Remoção de suportes:**
  - **Ferramentas:** Use alicates de corte e estilete de precisão.
  - **Técnica:** Corte o suporte em pequenos pedaços, sempre do lado de fora para dentro da peça, para evitar que a força rompa a superfície.
- **B) Lixamento progressivo:**
  - **Sequência:** Comece com uma gramatura baixa (ex: 120 ou 220) para remover as marcas mais grossas e vá subindo gradativamente (400 800 1200) para alisar a superfície.
  - **Lixamento úmido:** É o mais recomendado para plásticos, reduzindo o pó e melhorando o acabamento.

---

## 4.2 Protocolo de Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva **otimiza a vida útil do equipamento e reduz o Custo Total de Propriedade (TCO)**, conforme nossa estratégia na NEO 3D.

### CRONOGRAMA:

Frequência	Ações de Manutenção Preventiva
<b>Diariamente (antes de cada impressão)</b>	1. Limpeza da mesa de impressão (Álcool 70/90%). 2. Verificação visual de tensão das correias (teste de vibração). 3. Verificação de resíduos carbonizados no bico. 4. Teste manual de movimentação dos eixos (suavidade).
<b>Semanalmente (ou a cada 40h de impressão)</b>	1. <b>Lubrificação</b> das guias lineares (eixos X, Y, Z) com óleo PTFE de baixa viscosidade. 2. Limpeza completa dos ventiladores (ar

	comprimido). 3. Verificação de parafusos soltos (apertar com moderação). 4. Limpeza da engrenagem do extrusor.
<b>Mensalmente (ou a cada 160h de impressão)</b>	<p><b>1. Cold Pull Completo:</b> Procedimento de limpeza interna do bico para remover sujeira e filamento queimado. 2. Verificação de desgaste do bico (substituir a cada 3 a 6 meses de uso intenso). 3. Calibração completa de e-steps/mm (garantindo que o extrusor mova o filamento na distância exata solicitada).</p>
<b>Trimestralmente</b>	<p>1. Desmontagem e limpeza profunda do Hotend. 2. Substituição do tubo de PTFE (<i>bowden tube</i>) se estiver danificado/sujo. 3. Revisão elétrica (conexões do Hotend, Mesa e Fonte).</p>

### 4.3 Diagnóstico e Solução de problemas comuns

Problema	Causa Provável	Solução
<b>Warping</b> (Levantamento de cantos)	Mesa fria, falta de adesão, grande contração do material (ABS).	Aumentar temp. da mesa, usar Brim ou Raft, usar gabinete fechado.
<b>Stringing</b> (Fios finos na peça)	Temperatura de extrusão muito alta, Retração ( <i>Retraction</i> ) baixa.	Reducir a temperatura em , aumentar a distância de Retração.
<b>Layer Shift</b> (Deslocamento de camadas)	Correia frouxa, velocidade de impressão alta, colisão do bico.	Tensionar correia, reduzir velocidade, verificar obstáculos no caminho.
<b>Entupimento (Clog)</b>	Temperatura baixa, sujeira ou <i>Heat Creep</i> (calor	Fazer <i>Cold Pull</i> , limpar o bico, verificar o ventilador

	subindo para o tubo PTFE).	do Hotend.
<b>Subdextrusão</b> (Falta de material, camadas incompletas)	Fluxo ( <i>Flow</i> ) baixo, bico parcialmente entupido, filamento úmido.	Aumentar <i>Flow</i> em 5%, limpar bico, secar filamento em estufa ( <i>Dry Box</i> ).
<b>Sobreextrusão</b> (Excesso de material, bolhas)	Fluxo ( <i>Flow</i> ) alto demais, E-steps descalibrados.	Reducir <i>Flow</i> em 5%, calibrar E-steps (calibração do extrusor).
<b>Camadas Irregulares</b>	Filamento com umidade (principal causa no PETG), motor de passo Z com folga.	Secar filamento, verificar acoplamentos do eixo Z.

## 4.4 Biossegurança no ambiente do laboratório

O uso de Manufatura Aditiva em um ambiente laboratorial/hospitalar exige protocolos mais rigorosos (usar matéria prima específica, consultar datasheet do filamento previamente).

### A) Emissões e Ventilação

- **Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs):** Todos os plásticos emitem algum nível de VOCs e partículas ultrafinas (PUFs) durante a fusão.
- **Necessidade:** As impressoras devem operar em salas com boa **exaustão/ventilação** ou dentro de **gabinetes fechados** equipados com **Filtros HEPA/Carvão Ativado**.
- **Monitoramento:** É recomendado o monitoramento de qualidade do ar em ambientes de uso intenso.

### B) Higienização de peças impressas

Peças impressas em FDM/FFF são porosas. A esterilização é complexa.

Material	Métodos de Higienização Compatíveis
<b>PLA</b>	Álcool 70% ou 90% (por imersão curta), Luz UV-C.
<b>PETG</b>	Álcool 70% ou 90%, Quaternário de Amônio. <b>Melhor opção</b> para higienização no laboratório devido à resistência química.

**Alerta de segurança (Esterilização):** Para peças que entram em **contato direto com fluidos corporais ou ambientes estéreis**, a impressão 3D FDM **NÃO** deve ser usada como material final, a menos que o protocolo de esterilização e a **validação da porosidade** tenham sido rigorosamente estabelecidos. Para o Fleury, as peças são primariamente **ferramentas e suportes auxiliares**.

### C) Descarte de resíduos

- **Resíduos plásticos:** Peças falhadas, *supports* e *purges* devem ser coletados separadamente.
- **Conformidade:** O descarte deve seguir as normas de **Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)** para plásticos não contaminados. Resíduos contaminados (ex: que entraram em contato com amostras) devem seguir o protocolo de **Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) - RDC Anvisa**.

### D) EPI Obrigatório

- **Luvas descartáveis:** Ao manusear peças recém-impressas ou quentes e durante a limpeza.
- **Óculos de proteção:** Durante a remoção de suportes (risco de fragmentos) e durante o lixamento.
- **Máscara PFF2/Respirador:** Ao trabalhar com ABS ou em ambientes sem exaustão adequada.

### E) Documentação e rastreabilidade

- **Registro:** Manter um log de cada impressão (data, material, parâmetros, operador, lote do filamento).
  - **Rastreabilidade:** O **G-Code** utilizado deve ser arquivado junto com o lote de produção para garantir a replicação exata em caso de necessidade de substituição.
- 

## EXERCÍCIO MÓDULO 4

### Atividade Integrativa:

1. **Plano de manutenção:** Crie um plano de manutenção para a impressora que você usou hoje, focando nos próximos 3 meses, datas e a manutenção principal a ser executada.
2. **Solução de casos:** Um operador te liga com 3 problemas:
  - **Caso 1:** A peça em PETG está com fios finos por toda parte (*stringing*). Solução:
  - **Caso 2:** A impressão começou a andar bem, mas as camadas de cima estão todas desalinhadas (*Layer Shift*). Solução:
  - **Caso 3:** A peça final está muito frágil e quebra com um pequeno esforço na vertical. Solução:
3. **Protocolo de biossegurança:** Você precisa imprimir 10 suportes de tubos de ensaio em PETG. Descreva o **Fluxo completo de biossegurança** desde o carregamento do filamento até a entrega da peça ao laboratório, focando em PETG.
4. **Custo-benefício:** Em uma análise de Custo Total de Propriedade (TCO), qual das seguintes opções tem o maior benefício: (A) Aumentar a frequência da Manutenção Preventiva para Semanal, ou (B) Ter um estoque de peças de reposição (bicos, tubos PTFE, correias) para Manutenção Corretiva Imediata? Justifique.

# AVALIAÇÃO PRÁTICA FINAL

## DESAFIO: IMPRESSÃO REAL NO ORCA SLICER

**Peça Fornecida:** Arquivo STL de uma peça real utilizada no Grupo Fleury (ex: **suporte\_bandeja\_bioquimica.stl**).

**Material:** PETG (Fornecido)

Tarefas Obrigatórias	Tempo Estimado
<b>Análise do Modelo</b>	15 min
Identificar desafios de impressão, determinar orientação ideal, decidir necessidade de suportes.	
<b>Configuração no Orca Slicer</b>	30 min
Definir e justificar todos os parâmetros (Layer Height, Infill, Walls, Temps, Adhesion). Gerar G-Code. Estimar tempo e custo.	
<b>Preparação da Impressora</b>	15 min
Executar check list completo, Nivelar Mesa, Carregar Filamento, Selecionar Arquivo.	
<b>Execução da Impressão</b>	(Variável)
Iniciar a impressão, monitorar primeira camada, documentar.	
<b>Acabamento Básico</b>	30 min
Remover suportes e adesão (Brim), lixar levemente, limpar com Álcool.	
<b>Documentação</b>	20 min

Preencher Relatório Técnico (parâmetros usados, falhas, solução), Apresentar Resultados e Autoavaliação.	
--	--

**CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO:**

Critério	Pontos
Qualidade da Primeira Camada (Adesão, Z-offset)	20
Qualidade Geral da Impressão (Superfície, Ausência de falhas)	25
Precisão Dimensional (Medição com paquímetro)	15
Acabamento Pós-Impressão (Limpeza de suporte/brim)	15
Processo Documentado e Justificativa dos Parâmetros	15
Cumprimento de Prazos e Organização	10
<b>Total</b>	<b>100 pontos</b>
<b>Aprovação:</b> 70 pontos	

# GLOSSÁRIO TÉCNICO

1. **ABL (Auto Bed Leveling):** Nivelamento Automático de Mesa. Uso de sensor para mapear a superfície.
2. **ABS:** Acrilonitrila Butadieno Estireno. Termoplástico resistente, mas com alta contração e emissão de VOCs.
3. **Adesão à Mesa (Bed Adhesion):** A força com que a primeira camada gruda na mesa de impressão.
4. **Bico (Nozzle):** A ponta final do Hotend por onde o filamento fundido é extrudado.
5. **Bloco Aquecedor (Heating Block):** O bloco de metal que aquece o Hotend.
6. **Bowden:** Sistema de extrusão onde o motor fica distante do Hotend, empurrando o filamento através de um tubo de PTFE.
7. **Brim:** Extensão de linhas plásticas finas ao redor da base da peça para aumentar a adesão e evitar *Warping*.
8. **Cold Pull:** Procedimento de limpeza interna do bico, onde o filamento é aquecido e puxado lentamente para remover resíduos.
9. **Extrusora (Extruder):** O mecanismo que alimenta e funde o filamento.
10. **E-steps/mm:** Etapas do motor de extrusão por milímetro de filamento. Parâmetro de calibração.
11. **FDM: Fused Deposition Modeling.** Termo original e comercial da tecnologia.
12. **FFF: Fused Filament Fabrication.** Termo de código aberto da tecnologia.
13. **Filamento:** O "fio" de plástico termoplástico, matéria-prima da impressão 3D.
14. **Firmware:** O software que controla a impressora (o "cérebro").
15. **Flow:** Parâmetro do *slicer* que controla o volume de material extrudado (fluxo).
16. **G-Code:** Linguagem de controle numérico que a impressora lê (comandos de movimento e temperatura).
17. **Gyroid:** Padrão de preenchimento (*Infill*) complexo com excelente resistência isotrópica.
18. **Hotend:** O conjunto de aquecimento e extrusão (bico, bloco e *heat break*).
19. **Infill:** Preenchimento interno da peça, em porcentagem (ex: 20%).
20. **Isotrópico:** Propriedades (como resistência) iguais em todas as direções (eixos X, Y, Z).
21. **Jig/Fixture:** Ferramenta auxiliar customizada para fixar ou guiar um item (uso no Fleury).
22. **Layer:** Camada. Unidade básica de construção da impressão 3D.
23. **Layer Height:** Altura de Camada. Espessura de cada fatia.
24. **Layer Shift:** Deslocamento de Camadas. Falha onde o eixo X ou Y se move para uma posição incorreta.
25. **MSLA: Masked Stereolithography.** Tecnologia de resina.
26. **Orca Slicer:** Software de fatiamento (*slicer*) utilizado neste treinamento.
27. **Overhang:** Balanço. Seção da peça que não possui suporte diretamente abaixo dela.
28. **Perímetros (Walls/Shells):** As paredes externas da peça.

29. **PETG:** Polietileno Tereftalato Glicol. Termoplástico de boa resistência química e mecânica.
  30. **PLA:** Ácido Polilático. Termoplástico fácil de usar, derivado de recursos renováveis.
  31. **PTFE (Tubo):** Politetrafluoretileno (*Teflon*). Tubo que guia o filamento no sistema Bowden.
  32. **Purge:** Extrusão inicial do filamento para limpar o bico antes da impressão.
  33. **Raft:** Base descartável que cobre toda a área de contato da peça (adesão robusta).
  34. **Retração (Retraction):** O movimento de puxar o filamento para trás para evitar *stringing* ao mover o bico.
  35. **Skirt:** Linha de contorno (não toca a peça) para purgar o bico.
  36. **Slicer:** Software Fatiador.
  37. **Subextrusão:** Falta de filamento, resultando em camadas incompletas.
  38. **Suporte (Support):** Estruturas temporárias para apoiar *overhangs*.
  39. **Termistor:** Sensor de temperatura do Hotend e da Mesa.
  40. **TPU:** Poliuretano Termoplástico. Termoplástico flexível (borracha).
  41. **Thermal Runaway:** Falha grave de segurança onde a impressora perde o controle da temperatura do Hotend ou da Mesa.
  42. **VOCs:** *Volatile Organic Compounds*. Compostos Orgânicos Voláteis emitidos durante a impressão.
  43. **Warping:** Deformação. O levantamento dos cantos da peça devido à contração do plástico.
  44. **Z-offset:** O ajuste fino da distância vertical entre o bico e a mesa (altura da primeira camada).
- 

## BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

### Livros Técnicos:

1. VOLPATO, Neri (Org.). *Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D*. São Paulo: Blucher, 2017. 400p.
2. REDWOOD, Ben; SCHÖFFER, Filemon; GARRET, Brian. *The 3D Printing Handbook: Technologies, Design and Applications*. Amsterdam: 3D Hubs, 2018. 304p.
3. LIPSON, Hod; KURMAN, Melba. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. Indianapolis: Wiley, 2013. 320p.
4. HAUSMAN, Kalani Kirk; HORNE, Richard. *3D Printing For Dummies*. 2nd Edition. New Jersey: For Dummies, 2017. 384p.

## **Normas Técnicas:**

5. ASTM F2792-12a. *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. ASTM International, 2012.
6. ISO/ASTM 52900:2015. *Additive manufacturing – General principles – Terminology*. International Organization for Standardization, 2015.
7. ANVISA. *Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) Nº 222/2018*. Regulamento Técnico sobre o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde. Brasília, DF, 2018.

## **Documentação de Software:**

8. Orca Slicer Official Documentation. Disponível em:  
<https://github.com/SoftFever/OrcaSlicer/wiki>. Acesso em: Outubro de 2025.
9. Prusa Knowledge Base: Print Quality Troubleshooting. Disponível em:  
<https://help.prusa3d.com>. Acesso em: Outubro de 2025.

## **Artigos Científicos:**

10. TURNER, B. N.; STRONG, R.; GOLD, S. A. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal*, v. 20, n. 3, p. 192-204, 2014.
11. CHUA, C. K.; LEONG, K. F. *3D Printing and Additive Manufacturing: Principles and Applications*. 5th Edition. Singapore: World Scientific, 2017.
12. HSU, S. K.; CHEN, T. Y. Mechanical properties and biocompatibility of 3D printed PCL scaffolds for tissue engineering. *Journal of Applied Polymer Science*, 2019.

## **Websites e Recursos Online:**

13. All3DP - *The World's #1 3D Printing Magazine*. Disponível em: <https://all3dp.com>. Acesso

em: Outubro de 2025.

14. Simplify3D Print Quality Troubleshooting Guide. Disponível em:  
<https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>. Acesso em: Outubro de 2025.
-