

## Fabricação Aditiva - Regras básicas de projeto para fusão de pó metálico a laser

No processo de impressão por fusão de pó metálico a laser é muito importante ter em consideração algumas regras de desenho, que podem contribuir para uma impressão bem sucedida e devem ser do conhecimento de projetistas e engenheiros.

Este artigo faz uma abordagem às principais regras de projeto que devem ser tidas em conta durante a conceção de peças que se destinam a ser produzidas por este processo.

### 1. REGRAS BÁSICAS DE PROJETO

Quando se projetam peças para a impressão de metal há uma série de recomendações que devem ser tidas em conta que, quando seguidas, ajudam a obter peças com melhor qualidade. Algumas dessas diretrizes de projeto dependem dos parâmetros do metal e do laser, mas há outras recomendações de âmbito geométrico que contribuem para o sucesso da impressão, como vamos ver em seguida.

#### 1.1 Espessura das Paredes

A espessura mínima das paredes para garantir uma impressão bem-sucedida com a maioria dos materiais é de 0,4 mm (Figura 1).

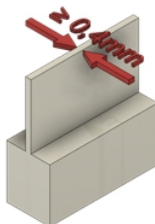


Figura 1 - Espessura mínima das paredes.

#### 1.2 Diâmetro dos Pinos

O diâmetro mínimo dos pinos deve ser de 1 mm. É possível fazer pinos com diâmetros mais pequenos, mas a nitidez da forma poderá perder-se (Figura 2).



Figura 2 - Diâmetro mínimo dos pinos.

#### 1.3 Diâmetro dos Furos

Os furos podem ser impressos com um diâmetro entre 0,5 e 6 mm sem suportes. Os furos com diâmetro superior a 6 mm podem ou não precisar de suportes dependendo da sua orientação (Figura 3).

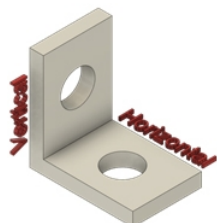


Figura 3 - Orientação dos furos.

Os furos horizontais podem ser impressos sem suportes, independentemente do seu diâmetro. Os furos verticais com diâmetro superior a 6 mm requerem estruturas de suporte (Figura 4).

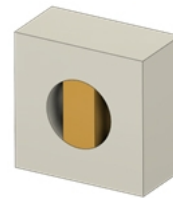


Figura 4 - Estruturas de suporte em furos verticais.

Os suportes podem ser evitados se os furos tiverem uma seção que se autossustente durante o processo de crescimento por camadas. As seções em forma de gota de água, de losango ou de elipse são algumas das formas possíveis (Figura 5).

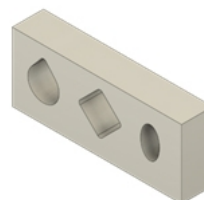


Figura 5 - Furos em forma de gota de água, losango e elipse.

#### 1.4 Furos de Escape

Uma peça que seja oca precisa de ter um furo com um diâmetro entre 2 a 5 mm para remover o pó metálico não fundido que fica no seu interior. Se a geometria da peça o permitir, devem ser efetuados vários furos para facilitar a remoção do pó (Figura 6).

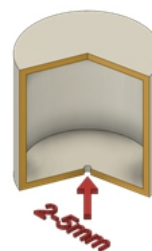


Figura 6 - Furo para remoção do pó metálico.

#### 1.5 Paredes Inclinadas

As paredes devem ter uma inclinação superior a 45° em relação ao plano horizontal. As paredes com ângulos inferiores a 45° podem precisar de suportes. É ainda possível fazer paredes com inclinações inferiores a 45°, sem suportes, em certas condições (figura 7).

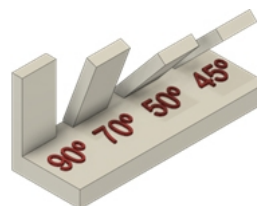


Figura 7 - Inclinação das paredes.

## 1.6 Superfícies Suspensas

A largura máxima de uma superfície suspensa e apoiada nos seus extremos é de 1 mm. Uma superfície horizontal saliente apoiada apenas numa das suas extremidades pode ter, no máximo, 0,5 mm de comprimento (Figura 8).

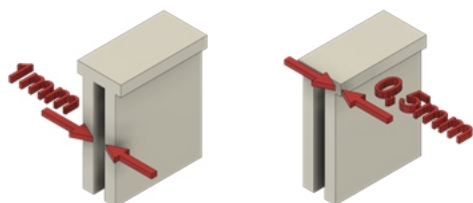


Figura 8 - Superfícies suspensas.

## 1.7 Proporção Altura/Seção

A proporção máxima entre a altura de impressão vertical e a seção da peça é 8:1 para garantir a estabilidade da peça impressa na placa de impressão (Figura 9).

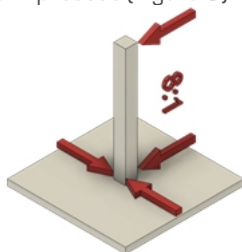


Figura 9 - Proporção entre a altura e a seção.

## 1.8 Tolerâncias

A tolerância da peça na direção da impressão é de  $\pm 1$  camada de espessura. No plano XY, a tolerância é de  $\pm 0,1$  mm (Figura 10).

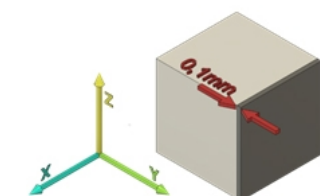


Figura 10 - Tolerância de fabrico.

## 2. ORIENTAÇÃO DAS PEÇAS

No fabrico aditivo, as peças são construídas camada por camada, resultando numa enorme liberdade de *design*. Em qualquer impressora 3D, as peças começam por crescer a partir de uma superfície onde está a primeira camada e as camadas seguintes são depositadas em cima da superfície anterior. Este processo de crescimento é particularmente importante na fusão de pó metálico a laser e a maneira como a peça é orientada nessa superfície e a forma como cresce na direção vertical condiciona todo o processo de crescimento. É, por isso, muito importante que os projetistas e engenheiros saibam qual é a melhor orientação para as peças e perceber as consequências das suas decisões.

Na figura 11 vemos uma peça orientada de três maneiras diferentes, sendo XY o plano de impressão e Z a direção de construção. A orientação *a* é mais desfavorável porque, em cada passagem, o laser funde mais material simultaneamente, provocando um maior stress térmico. As orientações *b* e *c* são mais favoráveis que a anterior.

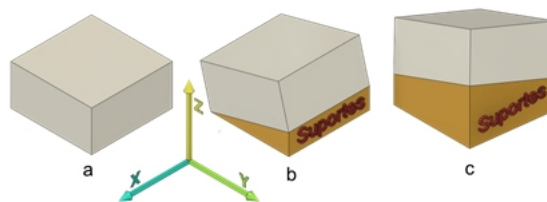


Figura 11 - Orientação das peças.

## 3. FACES DE BAIXO

As faces de baixo, ou *downskins*, são as faces da peça que, tendo em conta a sua orientação, ficam na sua parte inferior (Figura 12).

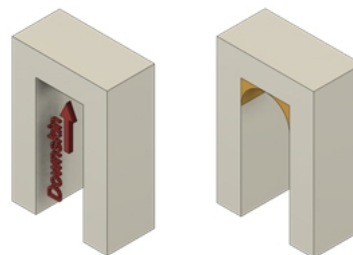


Figura 12 - Downskins e alteração da geometria.

O resultado de uma impressão será sempre inferior, em termos de qualidade de superfície e tolerância, numa superfície voltada para baixo do que numa superfície autossustentada. Tal acontece por efeito da gravidade, uma vez que a densidade do pó não é suficiente para aguentar a camada impressa por cima deste. A camada cede através do pó solto que se encontra por baixo, resultando na formação de escória.

As *downskins* podem ser evitadas repensando a orientação das peças ou alterando o seu design, de forma a que as superfícies consigam crescer de uma forma sustentada, sem necessidade de criação de suportes.

Se as *downskins* não puderem ser evitadas, poderão ser colocados suportes para ajudar a dissipar o calor gerado durante a impressão (Figura 13).



Figura 13 - Colocação de suportes.

## 4. DINÂMICA DA MÁQUINA

Pelas razões já descritas, as peças poderão ter tolerâncias e acabamento das superfícies que podem variar com a direção, mas não apenas por esse motivo. A própria dinâmica da máquina pode influenciar essas propriedades. Uma impressora de fusão de pó metálico possui um sistema de controlo do laser muito preciso (de alguns microns) e o plano de impressão (XY) será sempre mais preciso que a direção de construção Z, devido às deformações térmicas e ao crescimento das *downskins* (Figura 14). A rugosidade será sempre pior nas superfícies viradas para baixo devido à formação de escória, comparado com a rugosidade das superfícies verticais e as da parte de cima das peças (*upskins*).

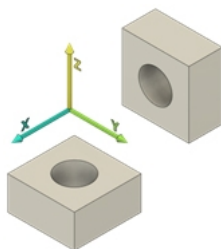


Figura 14 - Plano de impressão XY e direção de construção Z.

## 5. OTIMIZAÇÃO DE FORMA

No processo de fusão de pó metálico a laser, as peças maciças são mais difíceis de imprimir do que peças ocas ou de paredes finas. Essa dificuldade tem a ver com o stress térmico provocado pelo elevado calor gerado durante a fusão do material pelo laser que, se não for dissipado, poderá provocar o empeno das peças.

As peças maciças implicam também um maior gasto de matéria-prima que é bastante dispendiosa e requerem um maior tempo de impressão.

A complexidade do *design* é frequentemente considerada prejudicial, pois está associada a um custo elevado, mas não é o caso na impressão 3D de metal. Pelo contrário, as formas complexas podem ser a chave para aproveitar as vantagens desta tecnologia. Na impressão 3D, a complexidade geométrica não tem um custo associado, ao contrário da densidade das peças.

### 5.1 Treliças

As treliças (*lattices*), são estruturas reticuladas utilizadas para preencher o interior das peças ocas, que possuem características únicas como a capacidade de deformação, resistência mecânica, rigidez e beleza estética.

As treliças são estruturas muito diversas. Muitas são inspiradas nas estruturas cristalinas dos elementos químicos, outras em estruturas existentes em animais ou plantas e outras são modelos matemáticos. A utilização destas estruturas no interior de uma peça pode reduzir significativamente a sua massa, mantendo a sua funcionalidade (Figura 15).



Figura 15 - Exemplo da utilização de treliças no interior de peças.

A figura 16 mostra duas peças semelhantes, uma maciça e a outra com uma parede exterior fina e o seu interior preenchido com uma malha do tipo giróide, uma estrutura leve e resistente que se encontra na natureza, por exemplo, nas asas das borboletas. A estrutura giróide tem a vantagem de crescer de forma autossustentada, que pode ser utilizada em peças onde o baixo peso e a resistência são características importantes.

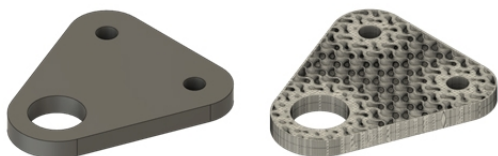


Figura 16 - Exemplo da utilização de uma malha reticulada do tipo giróide.

### 5.2 Optimização da Topologia

A otimização da topologia (*Topology Optimization*) é uma técnica que tem por objetivo a otimização da forma dos objetos tornando-a mais eficiente, mas mantendo as restrições e características iniciais. Este processo pode gerar formas bastante complexas que são difíceis ou mesmo impossíveis de se obter pelos processos tradicionais de fabrico, como é o caso da maquinação CNC mas que, no entanto, não são um problema para os processos de fabrico aditivo (Figura 17).



Figura 17 - Optimização da topologia ([www.vttresearch.com](http://www.vttresearch.com)).

### 5.3 Desenho Generativo

O desenho generativo (*Generative Design*) é um processo que explora o *design* das peças a partir de parâmetros iniciais como requisitos de forma, materiais, métodos de fabrico e restrições de custos. O software explora então todas as permutações possíveis, gerando várias alternativas de *design* (Figura 18).



Figura 18 - Resultado do estudo de um desenho generativo ([www.3dadept.com](http://www.3dadept.com)).

## 6. CONCLUSÃO

Existem regras de projeto de peças que se destinam a ser produzidas por fusão de pó metálico a laser que devem ser do conhecimento de engenheiros e projetistas. Embora sejam regras simples, o seguimento das mesmas é muito importante para o sucesso de uma impressão.

A complexidade das peças não é um problema para a impressão 3D. Pelo contrário, as estruturas complexas podem ser mais fáceis de produzir do que objetos maciços.

Existem três conceitos que devem ser tidos em conta na otimização da forma das peças, quando se pretende diminuir a densidade, mantendo a sua resistência: as treliças, a otimização de forma e o desenho generativo.

A otimização de forma e o desenho generativo são dois conceitos avançados de projeto de peças que iremos abordar em próximos artigos do CinFormando.

**Nuno Boavida** - Técnico de Formação do Núcleo do CENFIM da Marinha Grande