

FILA MEN TOS 3D

POLÍMEROS
E APLICAÇÕES



impresso3D

FILA MEN TOS 3D

POLÍMEROS
E APLICAÇÕES



impresso3D

ÍNDICE



7

Prefácio



8

O mundo quântico dos polímeros



38

Escolhendo o material para impressão 3D



49

DRYWISE: o futuro da DryBox!



59

Torre de Temperatura



78

Radiação Solar: a vilã invisível das peças plásticas



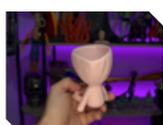
83

PLA não é tudo igual!



92

PLA: o melhor amigo do Maker?



96

Análise: PLA HT



105

ABS! Afinal, qual é a polêmica?



110

5 dicas para imprimir com filamento flexível



116

POLICAPROLACTONA. Calma! Apenas o nome é complicado



118

Explorando o HIPS: conheça as principais características deste filamento



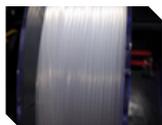
126

O guia completo dos filamentos resistentes a altas temperaturas



134

Uma visão geral do PP na manufatura aditiva



146

Habemus Polipropileno (PP)!



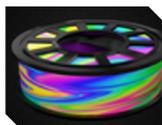
154

O Poder das Poliamidas



166

Primeiras experiências com NYLON (PAHT)



170

Filamentos Compósitos

• A CASA DA •
IMPRESSÃO 3D

A CASA DE SOLUÇÕES QUE VIABILIZA O SEU PROJETO

TUDO O QUE VOCÊ PRECISA PRA SOLUCIONAR,
PRODUZIR E MATERIALIZAR SEU PROJETO.

CONHEÇA AS SOLUÇÕES
DA NOSSA CASA:

01 IMPRESSORAS E FILAMENTOS



02 SERVIÇO DE IMPRESSÃO 3D



03 MANUTENÇÃO DE IMPRESSORAS



04 SERVIÇO DE ESCANEAMENTO 3D



3DX



123D
3D PRINTING

RVS3D

NÓS SOMOS A CASA
DA IMPRESSÃO 3D

PREFÁCIO

Caro leitor,

É com grande satisfação que apresento este eBook sobre os polímeros utilizados na impressão 3D e sua utilização na manufatura aditiva. Nesta obra, reunimos artigos escritos por diversos autores especialistas em tecnologia e produção, com o objetivo de fornecer informações relevantes e atualizadas sobre os materiais utilizados na impressão 3D.

A manufatura aditiva é uma técnica que vem revolucionando a indústria e proporcionando novas possibilidades de produção. Os polímeros utilizados na impressão 3D são um dos principais elementos dessa técnica, permitindo a criação de peças complexas e customizadas.

Neste eBook, você encontrará informações sobre os diferentes tipos de polímeros utilizados na impressão 3D, suas propriedades e características, bem como exemplos de sua utilização em diversos setores, como saúde, automotivo, aeroespacial e mais.

Esperamos que este eBook seja uma fonte útil de conhecimento para todos aqueles interessados em manufatura aditiva e nos materiais utilizados nessa técnica.

Desejamos uma boa leitura!

Emanuel Campos e Ayrton Araújo



O MUNDO QUÂNTICO DOS POLÍMEROS



POR **EMANUEL CAMPOS**

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

📧 @e2campos



Antes de começarmos, devo esclarecer alguns pontos. Esse artigo leva, claro, muito da minha vivência no mercado como um engenheiro de aplicação de manufatura aditiva para a indústria pela Stratasys, empresa que representei pela Sisgraph lá em 2000, mas sobre tudo pela LWT Sistemas, onde tive a chance de viajar o mundo e fazer cursos incríveis nos Estados Unidos, no QG da empresa em Minnesota, em Israel, na cidade universitária de Rehovot e de alguma forma, até para Punta Cana, na República Dominicana acharam uma forma de me dar um curso por lá...

Agora, uma coisa que eu não sou, é formado em plásticos e polímeros. No início, lá em 2000, era fácil trabalhar com impressoras 3D, tínhamos uns 4 plásticos, ABS, Elastômero, Polifenilsulfona (PPSF) e um material solúvel em água, com ajuda de soda cáustica, chamado de P400, usado para suporte solúvel nas impressoras. Nesse tempo, minha formação pela FATEC como projetista mecânico me ajudava no que importava: onde usar a impressora 3D na indústria. Porém, o tempo passou, o número de polímeros se multiplicou feito coelhos, e minhas formações logo eram poucas para acompanhar as mudanças. Pior, com a chegada de materiais de terceiros, logo eu precisava saber mais do que simples parâmetros já criados pela Stratasys para imprimir esses polímeros, eu precisava entender os parâmetros, para criar meus próprios!

Ciente que esse pode não ser um problema só meu, mas que muita gente ainda se forma agora em 2020, 2021, 2022 sem ver polímeros na sua carreira, decidi criar esse artigo, que nasceu de uma tradução e união de conceitos do YouTuber Estefan, do canal CNC Kitchen, mas que culminou na utilização da própria bibliografia que Stefan usa e cita em seus vídeos, para guiar meu próprio aprendizado e criação deste material.

A bibliografia dos vídeos do Stefan revelou ser uma fonte imensa de conhecimento que li, e antes de simplesmente traduzir qualquer coisa, martelei a parede com minha cabeça repetidas vezes até ter certeza de que eu entendia e concordava com o que era traduzido. Sempre que possível, busquei mais conceitos e posso afirmar que passei algumas madrugadas lendo link, do link, do link de algum artigo, até me perder na loucura. Seja como for, muito do que está aqui, quando não for citado em contrário, se deve ao Frans Johansson e seu maravilhoso trabalho de mestrado, que ele gentilmente me compartilhou.

Links:

- Canal do Youtube do CNC Kitchen: <https://www.youtube.com/c/CNCKitchen>
- Vídeo: Qual altura de camada dá a maior resistência: <https://youtu.be/fbSQvJJjw2Q>
- O efeito do tamanho da peça na resistência mecânica https://en.wikipedia.org/wiki/Size_effect_on_structural_strength
- O efeito do preenchimento, velocidade, altura da camada e tipo do preenchimento sobre a peça: <https://web.archive.org/web/20160711032728/http://my3dmatter.com/influence-infill-layer-height-pattern/>
- Optimizing Fused Filament Fabrication 3D printing for durability: <https://drive.google.com/file/d/0Bxo6VdyjA6VPdTbtajJWR2lHcFU/view>
- The Effects of PLA color on Material Properties of 3D Printed Components https://www.academia.edu/19536314/The_Effects_of_PLA_Color_on_Material_Properties_of_3_D_Printed_Components

Colaboraram com leituras e sugestões: Ayrton Araújo, Bruno Oliveira (Additive3D), Thiago Medeiros (Lehvoss), Claudio Soares (ENTEC/RAVAGO) e Adilson Campos (sim, somos parentes).

Parte 1 – motivação a conhecer seus materiais

A pandemia gerou um novo fluxo de impressoras 3D ao país, da chegada da Creality3D por vias oficiais, e em grande escala, à procura de pessoas em Lockdown por meios de ganhar um dinheiro extra sem ter que vender perfumes de porta em porta, afinal, em tempos de pandemia, ainda pior do que um estranho tocando sua campainha, só um estranho que ainda quer literalmente “gastar saliva” tentando te vender algo.

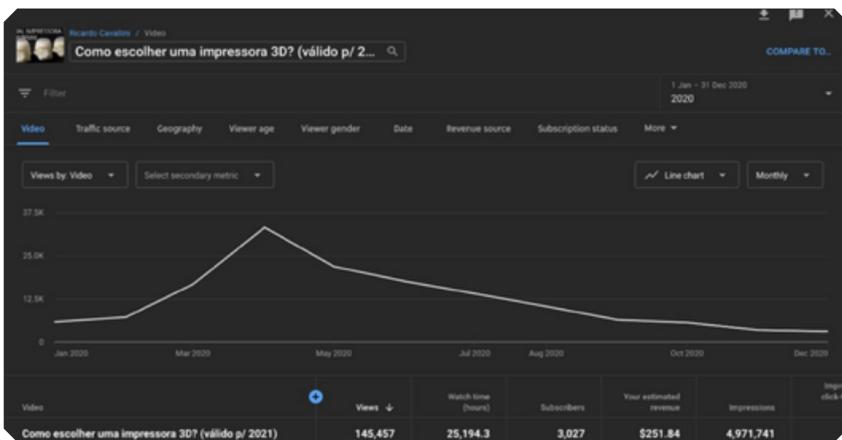


Figura 1. Trend por “Como escolher uma impressora 3D” feita por Ricardo Cavallini.

Mas não precisa acreditar em mim, o Ricardo Cavallini, que acaba de ingressar no hall da fama do Marketing brasileiro já publicou o trending da impressão 3D no país. Em março de 2020 foi quando a coisa toda explodiu nas buscas da internet “Como escolher uma impressora 3D”.

O resultado disso é que entramos na pandemia com 200.000 máquinas instaladas no país, e saímos dela com uma população de 300.000 máquinas. A população de impressoras 3D aumentou em apenas 2 anos 50% de todas as impressoras que chegaram ao país de 2000 a 2020, e os números são da receita federal, através do NCM - Nomenclatura Comum do Mercosul, que registra tudo que entra ou sai do país.

É claro que esses números explosivos se refletem em outros fatores, o crescimento da oferta de cursos de impressão 3D, o número de fabricantes de filamentos no país, crescimento de empresas especializadas em assistências técnicas dessas impressoras, cursos de modelagem 3D, e acima de tudo isso, o que realmente mais cresceu nesses 2 anos foi a concorrência de objetos impressos em 3D passaram a enfrentar, com o crescimento da oferta de prestadores. Talvez seja chegada a hora de dar mais um passo na evolução da trajetória das impressoras 3D no país, talvez, seja a hora de dar um passo definitivo em novos materiais.

Para full-disclaimer, agora sou consultor da ENTEC no Brasil, fornecedora de matérias primas para fabricantes de filamentos no país, mas essa consultoria não é casualidade, todos que me conhecem há mais de 3 meses já sabem o quanto e há quanto tempo prego a necessidade de usos mais nobres da impressora 3D, com muita margem de lucro para quem fornece o serviço, com mais vantagens para quem compra o serviço, e tirando o fabricante brasileiro de filamentos da batalha por preço com fabricantes estrangeiros.

É do casamento dessas ideias que nasce um projeto para nosso mercado, trazer melhores materiais, mais nobres, para aplicações mais específicas da manufatura aditiva. Menos vasos, mais peças de reposição para carros históricos, menos decorações (a menos que sejam a Ops3D, sério, o Valmir é de outro mundo) e mais peças para o chão de fábrica! Mas para isso, não basta só trazer novos materiais, é importante divulgar, alto, repetidas vezes, até ficar rouco e cansar, como, quando e por que utilizar esses materiais, para clientes diretos, indiretos, para a indústria, para o mercado final, para todos.

Esse não será mais um artigo sobre o que é o PLA ou o ABS, mas sobre os princípios básicos que formam todos os polímeros, sua estrutura mais essencial, para que possamos entender os porquês de tantas escolhas que fazemos com os materiais. Por que o ABS imprime com o cooler desligado? Por que o PLA tem pontes tão grandes sendo tão mais denso que o ABS? Por que alguns materiais podem ser reaquecidos e remodelados, enquanto outros uma vez resfriados não? É o que esperamos responder nesse artigo. Vem com a gente?

Parte 2 – Tudo que você sempre quis saber sobre polímeros

Para começar nossa missiva, quero aproveitar uma caixa de perguntas que abri no Instagram da revista, onde o [@gabriel souzs](#) perguntou se Filamentos são Macromoléculas ou Monômeros? Bom, filamentos são feitos de polímeros, que são monômeros arranjados nas formas de macromoléculas. Ou seja, os três termos estão corretos. Mas a ordem das coisas é essa.

É interessante saber um pouco sobre estruturas dos polímeros para entender melhor as propriedades dos materiais, afinal o encadeamento das moléculas da estrutura dos polímeros terá grande influência nas propriedades mecânicas dos produtos feitos com elas. O fato que a união química entre moléculas é muito mais fraca que a união das próprias moléculas nos lembra do fato que nenhum material é mais forte que sua ligação mais fraca.

Os polímeros podem ser classificados em 3 tipos:

- **Polímeros naturais ou biopolímeros**, como materiais à base de celulose ou de fibras, como o PLA – Políácido láctico ou Policaprolactona.
- **Polímeros semissintéticos**: biopolímeros modificados quimicamente. Por exemplo a borracha vulcanizada.
- **Polímeros sintéticos**: Por exemplo ABS ou PET.

Além dessa classificação, é importante saber que os polímeros possuem diferentes estruturas moleculares na sua forma. Algumas das estruturas básicas dos polímeros são: lineares, em galhos ou em encadeadas.

Os **plásticos arranjados de formas lineares ou em galhos** são chamados de termoplásticos, a chamada força de atração de van der Waals, ou força de atração molecular é fraca. Se o material for aquecido, estas forças se enfraquecem, tornando o material maleável. **Teoricamente termoplásticos podem ser aquecidos e resfriados indefinidamente**, porém existe uma degradação química que termina por estabelecer um limite. Por isso na reciclagem de materiais para filamentos, é necessário adicionar um

percentual de material virgem junto ao reciclado, restaurando a degradação dos materiais que são reciclados.

Polímeros com estrutura molecular encadeada são chamados de termofixos, nesse caso a polimerização e o processo de endurecimento são iguais e é quando as cadeias moleculares se interconectam. **O processo de endurecimento de um termofixo é irreversível**, a diferença dos termoplásticos, como por exemplo nas borrachas, que uma vez vulcanizadas, não podem ser “desvulcanizadas”...

A terceira parte para uma introdução intensiva na compreensão sobre os polímeros é entender sua morfologia, ou seja, a forma como suas moléculas se arruma umas com as outras. **Se um encadeamento de moléculas é simples** ou se arrumam de forma simétrica umas às outras, **elas são chamadas de cristalinas**. Se se **arranjam de forma não simétricas, são chamadas de amorfas**. Alguns polímeros podem possuir regiões organizadas e outras não, e são chamados de, adivinhem, semicristalinos!

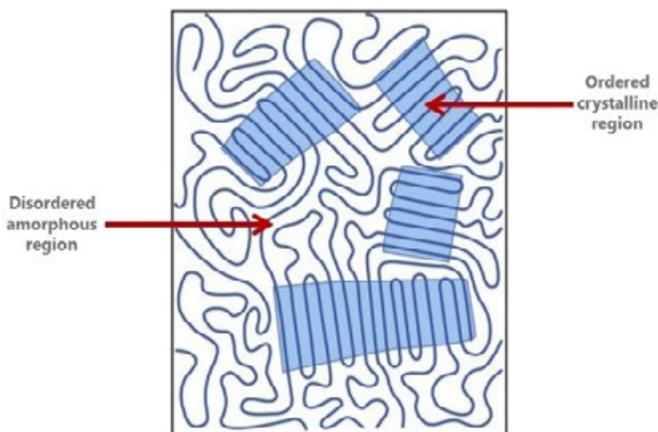


Figura 2 - arranjo semicristalino, fonte: Polymer Crystallinity
– HPP Explained (part 3) - Victrex.

Por fim, precisamos falar sobre o **peso molecular do polímero**. Este fator mede principalmente o comprimento das cadeias moleculares. O peso molecular é muito importante quando tratamos sobre formar o material. Se pensamos em processos de injeção,

um material de baixo peso molecular é preferível, pois isso nos oferece um material com menos viscosidade, e por consequência maior fluidez para preencher todas as cavidades de um molde. Materiais com maior peso molecular em geral serão mais difíceis de se imprimir e estarão mais sujeitas à tensões decorrentes do processo construtivo.

Segundo o site do revendedor da PolyMaker de Portugal, a Evolt, o peso molecular do polímero cria a diferenciação das Poliamidas, famosas por serem descritas como PA, PA6, PA66 ou PA12. O site descreve assim a diferença:

*A principal diferença entre PA12 e PA6 é a **estabilidade da umidade**. A cadeia polimérica mais longa de PA12 é muito mais resistente à absorção de humidade e atinge o equilíbrio da humidade a uma percentagem mais baixa do que os filamentos de PA6.*

Todas essas características resultam em propriedades bastante distintas quando comparamos mecanicamente um polímero com materiais como metais ou cerâmicos. Em geral, quando utilizados para resistir a esforços contínuos, como suportes, apoios, uma peça plástica já é naturalmente utilizada para que o esforço corresponda a até no máximo 25% de sua resistência máxima, ou seja, um coeficiente de segurança de 4 vezes. Veja mais sobre isso na característica “creep”, na sequência.

Nós traduzimos essas propriedades particulares dos polímeros em 4 características que lhes são intrínsecas:

Contração: Todos os polímeros sofrem contração quando resfriados. Alguns podem contrair-se muitas vezes mais que outros polímeros. Isso é particularmente conhecido no ABS, que tem alto fator de contração, e se for resfriado muito rápido, ele pode vir a soltar-se da mesa da impressora, e mesmo em um resfriamento lento, se o resfriamento for do ponto vítreo à temperatura da sala durante a impressão, o resultado será uma peça com trincas.

Tensões residuais: As estruturas moleculares dos polímeros podem sofrer alterações se forem resfriadas muito rapidamente, isso pode conduzir as cadeias moleculares dos polímeros a ficarem presas em posições fora de suas condições naturais,

causando tensões internas na peça, que podem conduzir ao surgimento de trincas e rachaduras na peça final, depois da impressão 3D ter ocorrido, além de afetar definitivamente as propriedades mecânicas da peça em relação às que lhe são esperadas numa impressão 3D bem conduzida.

Cristalinidade: A cristalinidade do polímero é dependente da temperatura, mas também dos aditivos colocados no material, tais como pigmentos para cor e outros aditivos. De maneira geral quanto mais pura for a cristalinidade do polímero, maior será sua resistência mecânica.

Deformação (creep): Mesmo sustentando cargas relativamente baixa, um polímero começa vagarosamente a se deformar, um fenômeno chamado de Creep. Você já deve ter visto ao comprar aquelas estantes de plásticos vendidas em grandes redes de mercados, e mesmo apoiando nelas apenas suas coleções de selos e carta em papel de seda, as prateleiras plásticas começam a “sorrir” depois de alguns meses, certo? Isso não é (apenas) culpa de dias muito quentes, ou uma exposição acidental à luz do sol, mas porque a fase de deformação elástica dos polímeros, aquela deformação que some uma vez retirado o esforço, é muito curta em relação a outros materiais. E por isso falamos há pouco que para resistir à carregamentos contínuos, geralmente utilizamos polímeros que sejam 4 vezes mais fortes que o carregamento previsto.

Parte 3 - E o quanto imprimir em 3D afeta os polímeros?

Podemos dizer com segurança que imprimir em 3D não é das coisas que os polímeros mais gostem. São diversas as variáveis em jogo, e para fim deste artigo vamos ignorar as características inerentes à impressora, como calibração, precisão, acurácia (sim, são diferentes), e vamos nos focar no que o processo de imprimir em 3D causa nos polímeros apenas.

Para fins práticos, imprimir em 3D é um processo de extrusão, um filamento passa por um bloco aquecido que eleva o material até seu limite vítreo. (Já falamos por aqui na revista, os plásticos

não possuem fase líquida, eles passam de sólido para gasoso sem atravessar uma fase líquida. Isso se chama sublimação, caso você esteja pensando em participar do próximo “Combate Maker”, é bom ter isso em mente!)

O que fazemos é imprimir com os plásticos quando eles estão no limiar de transição de estado, ou Glass-Melting Point (Tg). Nessa temperatura o material está com sua máxima fluidez, sendo possível empurrá-lo por um bico fininho (o filamento tem 1,75mm e sai por um bico de 0,4mm, já pensaram nisso?), e logo ao sair, um ventilador está lá esperando para retirar o calor do material e fazer ele ficar na posição que foi desenhado.

Não devemos confundir a temperatura vítrea com a temperatura de serviço do material. Polímeros têm o mal hábito de ter várias temperaturas de interesse. Eles tem o Glass-Melting Point, que é o ponto de transição, que não é o mesmo valor que usamos nas impressoras, afinal, o cooler próximo ao bico afeta a temperatura real que chega ao filamento. Filamentos tem um ponto vítreo ensaiado, que consiste em deixar uma peça no forno, incrementando a temperatura do forno de 2 em 2 graus célsius, até o material deformar ao próprio peso.

Essa segunda temperatura, onde à partir da qual, o material começa já a perder suas propriedades mecânicas e se tornar ainda mais maleável, esta temperatura é chamada de Heat Deflection Temperatura, ou temperatura de deformação, Tm. Claro que essa temperatura marca a deformação que um corpo de prova com formato específico se deforma, com uma exposição prolongada ao calor, e não reflete necessariamente outras geometrias, e outras formas de exposição ao calor.

O quanto um polímero é afetado pelo calor tem relação direta com sua estrutura molecular. Polímeros cristalinos ao atingirem a temperatura de derretimento, HdT ou Tm, suas estruturas simétricas perdem coerência, e o material se torna maleável. Quando um polímero semicristalino atinge o ponto de derretimento, sua parte simétrica se torna maleável, mas sua parte amorfa ainda resiste à esforços. Já os polímeros amorfos são vão perder coerência mecânica no ponto vítreo, mas sua estrutura amorfa torna o ponto vítreo muito variável, um material amorfo pode

manter suas propriedades mecânicas a até 10 °C do ponto vítreo ou a até 10 °C depois do ponto vítreo. Isso dependerá de qual pura é sua estrutura cristalina, massa, exposição à temperatura e diversos outros fatores, tornando o material imprevisível. O ABS como material amorfo, estritamente amorfo, por exemplo, não utiliza o cooler de bico da extrusora durante a impressão por exemplo. Além de ser um material que tem alta tendência ao empenamento, é um material com ponto de transição difícil de controlar.

Falei que o ABS é estritamente amorfo por que no fim, todos os polímeros de impressão 3D são amorfos de alguma forma. O PLA puro é cristalino, mas o PLA feito para extrusão em impressora 3D, como pigmentos de cores, aditivos, e outras coisas, se torna amorfo para impressão 3D, por exemplo.

Isto dito, agora é hora de explorar o efeito da impressão 3D sobre os polímeros.

O finado site 3D Matter ([What is the influence of infill %, layer height and infill pattern on my 3D prints? – 3D Matter \(archive.org\)](#)) nos trouxe em 2016 um profundo estudo sobre o tema, onde os autores relacionam o impacto da altura da camada, preenchimento, velocidades e qualidade geral da peça. Como índice geral dos seus achados eles compartilham as seguintes tabelas:

Requisitos desejados da peça				Configurações	
Resistência	Qualidade	Custo baixo	Velocidade	Infill %	Camada
X				100	0,25
	X			10	0,1
		X		10	0,1
			X	10	0,3
X	X			90	0,15
X		X		70	0,2
X			X	10	0,1
	X	X		10	0,1
	X		X	10	0,15
		X	X	10	0,3
X	X	X		80	0,15
X	X		X	90	0,2
X		X	X	70	0,3
	X	X	X	10	0,15
X	X	X	X	70	0,2



Figura 3 - Impacto das variações da resistência, qualidade, custo e velocidade conforme preenchimento - Fonte: 3DMatter.

Vale ressaltar o seguinte sobre estes achados: eles são de março de 2015, quando as impressões em FDM RepRap ainda mimitavam as máquinas industriais da Stratasys, por isso essa insistência das tabelas em preenchimento de 100% algo comum na Stratasys, impressoras que contavam com câmara aquecida.

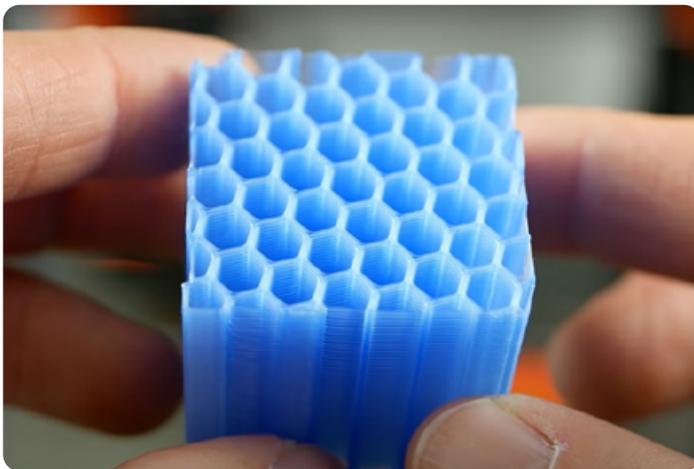


Figura 4 - Preenchimento colméia ou HoneyComb - Fonte: YouTube CNC Kitchen

Se você já usou uma impressora 3D alguma vez na vida sabe o quanto demora fazer uma camada preenchida com 100%. Essa demora imensa para fazer uma camada preenchida a 100%, numa impressora 3D aberta e open-source, ocasionará com certeza, uma união fria entre as camadas. Entre preencher toda uma camada e desenhar a de cima, a de baixo já estará fria e não se fundirá com a próxima camada. No jargão técnico de união fria, ou seja, uma camada não se solda na outra.

O estudo ainda concluía, lá em 2015, o que já é quase um consenso hoje em dia, que o preenchimento em colmeia agrega muito pouco na resistência mecânica em relação ao esforço que impõe na impressora. O constante zigzag do cabeçote para fazer a colmeia de preenchimento termina por aumentar o ciclo de manutenções da mesma, em troca de apenas 1% ou 2% à mais na resistência. Hoje o melhor padrão de preenchimento do mercado é o giróide, como também já concluiu o Stefan do CNC Kitchen: <https://youtu.be/upELI0HmzHc>.

Tempo da impressão conforme o tipo de preenchimento:

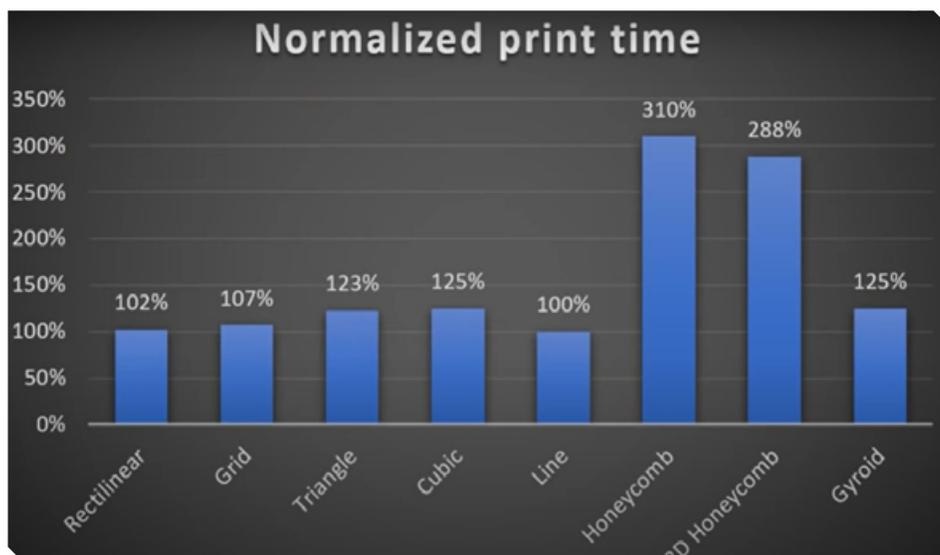


Figura 5 - Alteração no tempo de impressão segundo a forma do preenchimento - Fonte: youtube CNC Kitchen.

Impacto do preenchimento na resistência global da peça:

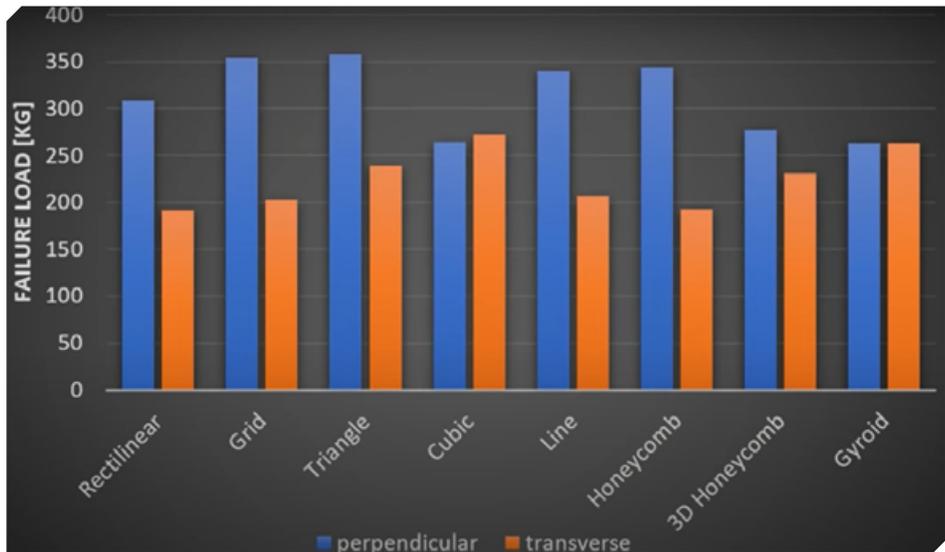


Figura 6 - Resistência mecânica conforme preenchimento - youtube CNC Kitchen

No frigar dos ovos, a melhor relação tempo x resistência é a impressão linear, largamente utilizada hoje, mas aquela que entrega uma resistência mais alta, mais isotrópica, ainda que com certo impacto no tempo total da impressão é a giróide (Gyroid).

Mas qual é o problema com impressoras abertas? Bem, para começar, a patente de câmaras aquecidas só caiu em junho de 2021, por isso não eram feitas antes. Mas mesmo assim, mais de um ano depois, ainda não apareceram impressoras de câmaras aquecidas no mercado, ao menos até agora, outubro de 2022. E olha que o Cura 5.1 tem lá a opção de câmara aquecida.

Agora que penso, as únicas impressoras além das próprias Stratasys que possuem câmara aquecida são as impressoras MakerBot Z18 e a família Method (Method, Method X e Method Carbon Fiber Edition), e nem elas, nem as Stratasys possuem mesa aquecida, e em 20 anos trabalhando nessa indústria vital, eu nunca vi uma peça em ABS feita na Stratasys ou MakerBot rachar ou trincar.

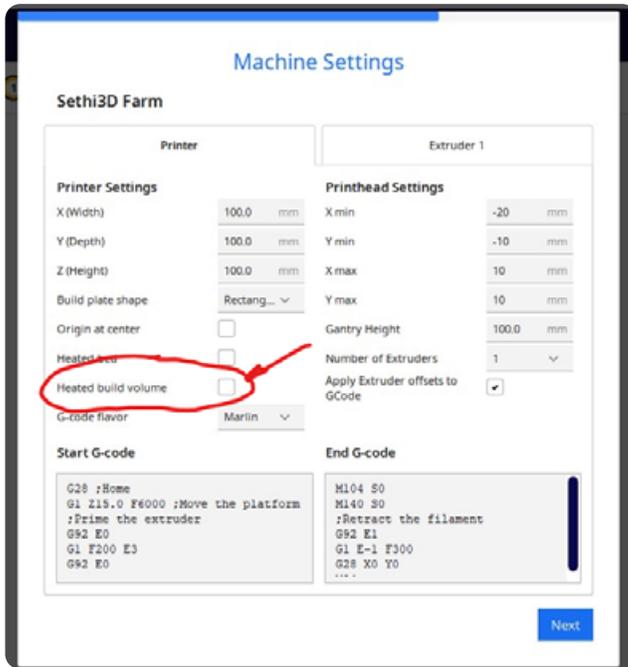


Figura 7 - Tela de configuração de impressora no software Cura.

O problema das impressoras 3D, mesmo que fechadas, sem a câmara aquecida, é que ela cria polos de temperaturas entre o bico e a mesa, que gera toda forma de problemas que já listamos com relação ao resfriamento repentino de partes da camada, as tenções geradas pela contração de parte do material enquanto outra parte ainda está aquecida e diversos outros problemas...

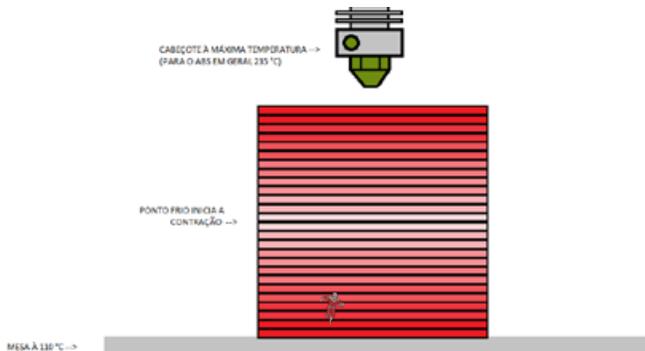


Figura 8 Polos de temperaturas, no melhor CAD do mundo, MS Paint

Tudo isso termina por reforçar outro problema que já abordamos aqui na revista, lá na edição 15, o fato de que as peças feitas por impressão 3D são anisotrópicas, ou seja, elas não possuem a mesma resistência em todos os eixos.

Senta que lá vem a história: Uma metáfora entre polímeros e cimentos!

Quando fiz FATEC, um livro vendido todo santo semestre para os alunos de edificações me chamou a atenção pela sua capa e título: Concreto armado, eu te amo!

Vale lembrar o princípio do cimento para construirmos casas no Brasil. O cimento pode resistir a forças impressionantes de compressão, fazendo-o resistir a toneladas na forma de caminhões passando sobre pontes todos os dias. Mas o concreto tem sua criptonita, seu calcanhar de Aquiles, forças de tração que tentem separar o cimento. Para solucionar esse problema, o mundo criou o concreto armado (que não envolve qualquer tipo de filiação partidária/filosófica), trata-se de concreto com uma estrutura de metal ajudando-o a ser reforçado.

Você já viu um desses filmes que um arqueólogo entra em um templo abandonado, de uma civilização perdida em alguma floresta tropical, certo? Sabe aquele momento em que uma armadilha é acionada, e uma porta de rocha bruta começa a descer lentamente, trancando nosso herói ou heroína lá dentro, e essa mesma pessoa agarra uma lança, um cedro, ou qualquer coisa parecida com um cabo de vassoura e arremessa contra a porta, ficando o objeto no chão e detendo por algum tempo a porta de baixar. Você assiste ao filme de ombros tensos quando esse objeto começa a fletir, envergar e entortar, ameaçando romper a qualquer instante, e assim que nossa personagem foge, a tal lança se rompe de forma abrupta. (veja os primeiros 3 minutos do primeiro episódio de Jack Chan na PlutoTV e você saberá do que estou falando – eu sei que ao menos o [Hugo Lopes](#) vai pegar essa referência).

Um vergalhão de metal não suporta muita compressão sem se deformar, mas ele pode aguentar muita força de tração, isto é, ser puxado até a exaustão, sem nem ao menos suar. Combinar a



Figura 9 - Animação Jackie Chan mostra uma lança segurando uma porta de pedra, S01E01
- Fonte: PlutoTV

forte resistência da compressão do concreto com a imensa resistência a tração do metal forma edifícios que são difíceis de acreditar que sejam possíveis. Tá no nome, é difícil/edifício...

Eu falei tudo isso para falar que nosso filamento tem um comportamento parecido uma vez impresso. Quando as forças se alinham às camadas que a peça foi impressa, o fila-

mento se comporta como o concreto na compressão, sua máxima resistência, mas quando as forças são perpendiculares às camadas, é como tracionar uma peça de concreto. Ainda vamos falar em outro artigo como os aditivos surgem para solucionar esses problemas, na forma de fibras de vidro, de carbono ou até de grafeno, mas já é informação demais para um só artigo. Vamos nos focar nos filamentos como são, ok?

Existe ainda a questão da altura da camada, que impacta profundamente na resistência das peças. Sempre temos a ilusão de que uma camada maior resultará em uma peça mais forte, mas isso não poderia ser maior fake News. A aderência entre camadas é o resultado de vários fatores, mas podemos destacar os principais: área de adesão entre as camadas, tempo de cura/esfriamento de uma camada antes da próxima ser depositada, e os fatores decorrentes disto, se a máquina é aberta ou fechada, com ou sem câmara aquecida etc.

Quem explicou isso muito bem foi o Stefan do canal do YouTube CNC Kitchen, no programa intitulado justamente: [Which LAYER HEIGHT gives you the STRONGEST 3D prints? - YouTube](#)

Agora, se ao menos todas as forças do mundo se resumissem à tração e compressão, a engenharia civil seria um curso de 6 meses ministrado pelo velho Instituto Universal (que vai até você). Mas as forças têm o mau hábito de se derivarem em forças adjacentes, forças de torção, e todo um largo espectro de diferentes vetores.

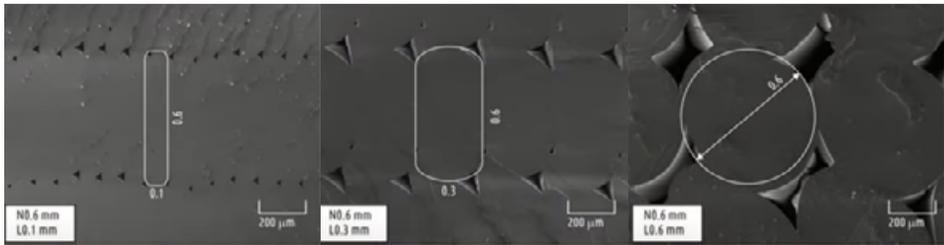


Figura 10 - Corte de um segmento longitudinal de peça impressa, conforme uso de diferentes alturas de camadas. Fonte: Johansson, Frans.

Por sorte a impressora tem mais algumas armas na manga.

Se você já teve 6 anos alguma vez na vida, você já deve ter colocado uma régua na borda da mesa e fingido que ela é uma prancha pirata, certo? Ela flete, vibra e faz toda a sorte de sons divertidos. Mas se ao invés de colocar o lado mais largo dela sobre a mesa, colocar o mais fino e comprido, e tentar fazê-la vibrar, você vai descobrir que isso não é possível, certo?

A massa do material é a mesma, a régua é a mesma, mas agora, toda sua largura ao longo do eixo Z é considerada como espessura, tecnicamente, a régua ganhou massa. Podemos obter o mesmo efeito na impressão 3D, é precisamente por isso que eu posso colocar mais paredes numa peça, ou fazê-la mais sólida, e estas duas ações não são a mesma coisa!

Por vezes, se o eixo do esforço se alinhar com o contorno da sua peça, você pode obter muito mais resistência apenas colocando mais contornos do que se a fizer a mesma peça sólida. Não apenas a construção de cada camada se torna mais rápida, mas também assim não há riscos de união fria de uma camada com a outro, como também se pode obter a peça mais rapidamente e gastando menos material.

Parte 4 – Entendendo as temperaturas dos polímeros

Como já deve ter ficado claro, polímeros tem alguns problemas com temperaturas. Existem muitas temperaturas de interesse. Temperatura Vicat, glass melting point, Melting temperature,

Service temperature. Não bastasse isso, parece que nenhuma dessas temperaturas coincide com as temperaturas que efetivamente usamos nas impressoras, a temperatura de bico, da mesa, da câmara...

Temperatura de transição vítrea e temperatura de fusão são dois termos químicos que muitas vezes são confusos. A temperatura de transição vítrea é discutida em química de polímeros porque essa transição pode ser observada em compostos poliméricos. Mas a temperatura de fusão pode ser observada em qualquer composto. A principal diferença entre a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão é que a temperatura de transição vítrea descreve a transição de um estado vítreo para um estado de borracha, enquanto a temperatura de fusão descreve a transição de uma fase sólida para outra forma sólida.

O ponto de amolecimento Vicat ou dureza Vicat é a determinação do ponto de amolecimento para materiais que não possuem ponto de fusão definido, como os plásticos. É tomada como a temperatura na qual a amostra é penetrada a uma profundidade de 1 mm por uma agulha de ponta plana com seção transversal circular ou quadrada de 1 mm quadrado.

A temperatura de deflexão de calor ou temperatura de distorção de calor (HDT, HDTUL ou DTUL) é a temperatura na qual uma amostra de polímero ou plástico se deforma sob uma carga especificada. Esta propriedade de um determinado material plástico é aplicada em muitos aspectos do design de produtos, engenharia e fabricação de produtos usando componentes termoplásticos.

Como já falamos sobre os diferentes estados estruturais dos polímeros, cristalinos, semicristalinos ou amorfo, eles terminam por aumentar a confusão

A organização estrutural do polímero impacta sobre quais fases o mesmo polímero atravessa, um polímero amorfo não tem um ponto de amolecimento claro. Polímeros puramente cristalinos não possuem um ponto vítreo. Mas a maioria dos polímeros são semicristalinos, o que significa que eles vão ter tanto um ponto de derretimento quanto um ponto vítreo.

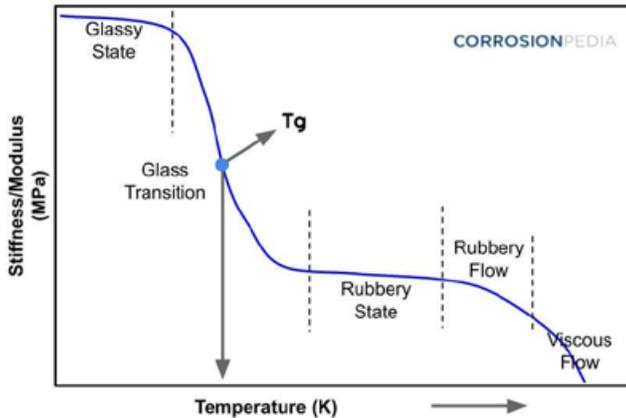


Figura 11 - Variações de estado dos polímeros ao longo das variações de tempera. Fonte: <https://www.corrosionpedia.com/definition/593/glass-transition-temperature-tg>

Encerra a confusão as questões de temperaturas de deposição e uso na impressora 3D. Para começo de conversa, a temperatura do cartucho, que é aferida pelo termopar, não é a temperatura real que está no bico, além das próprias perdas energéticas para o ambiente, o cooler voltado para resfriar o material que sai do bico também termina por resfriar o bloco aquecedor.

Parte 5 – Dominando os ensaios mecânicos

Até aqui tudo que aprendemos é que existem diferentes forças: forças de tração, compressão, torção e flexão. Esse esforço ainda pode acontecer de duas maneiras diferentes, ele pode ser abrupto, como um golpe, uma queda, ou ele pode ser constante, como uma viga sustentando um peso constantemente. Por sorte, há formas de se comparar estes esforços, chama-se ensaio normalizado.

O ensaio norm alizado consiste em se produzir um conjunto de peças iguais, em diferentes materiais, e aplicar sobre elas cada um desses esforços. Repete-se o processo diversas vezes, e assim, obtemos uma média dos valores que aquela peça resiste a aquele esforço, feita em tal material. O ensaio mais comum é o ASTM D638, que produz uma peça que se será castigada, puxada, esticada, dobrada, golpeada, para que possamos obter os valores de resis-

tência a cada uma dessas forças que podem atuar sobre a peça. Antes, mais alguma definições sobre ensaios:

- **Ensaio de tração:** é a força por unidade de área do corpo de provas;
- **Ensaio de tração Limite:** é a tensão máxima resistida durante o teste;
- **Alongamento por tração:** é o aumento do tamanho do corpo de prova durante o teste em relação ao seu tamanho inicial;
- **Ponto de deformação:** É a tensão que marca o início do surgimento de afunilamento no corpo de prova.



Figura 12 - corpo de prova utilizado por CNC Kitchen, não padronizado - fonte: YouTube CNC Kitchen

Para comparativo, seguem valores de referência, com materiais Stratasys. Observe que os valores já levam em consideração quando o esforço é perpendicular às camadas, e quando ele é paralelo, criando os pontos de mínima e máxima resistência, respectivamente.

Infelizmente eu só consegui os dados de compressão da Poliamida12, o que é meio inútil sem ter o que comparar. Mas esta tabela já nos mostra quão impressionante são os valores de resistência a impacto da Poliamida, também nos mostra como o

PLA é resistente à flexão e compressão, e com o ABS segue bastante intermediário nessas medidas. Claro, o grande trunfo do ABS é o quanto de esforço ele pode absorver, se deformando no processo, antes de romper-se. Esse ensaio se chama Alongamento antes da ruptura, e mede em percentual o quanto o material se esticou até, efetivamente, romper-se.

Estes valores reforçam a diferença que já falamos na revista 15, sobre a diferença de algo duro e de algo dúctil. Algo duro é como

	HdT (ASTM 648)	Temperatura de derretimento (Tm)	Temperatura de transição (Tg)	Resistência a tração máxima / mínima D638 (MPa)	Resistência a flexão máxima / mínima D790 (MPa)	Resistência a impacto IZOD com ponta / sem ponta D256 (J)	Alongamento até a ruptura (melhor eixo / pior eixo)
PLA	53° C	160 °C	55 °C	45 / 26	84 / 45	27 / NA 192 / NA	2,5% / 1%
ABS	96° C	NA	110 °C	33 / NA	58 / 35	28 / NA 55J / NA	6% / 6%
PA12	97° C	125 °C	125 °C	32 / 28	67 / 61	135 / 53 1656 / 200	30 % / 5,4 %
PETG	70° C	250 °C	75 °C	33,4 / 17,2	66,7 / 54,4	4,1 / NA 12,3 / NA	2,7% / 1,1%

a faca de cozinha, você não consegue acomodar deformações nela, ou ela resiste à sua tentativa de dobrá-la, ou quando ela desiste, ela estilhaça. A faca de cozinha é dura. Quando vamos para um clipe de papel, as tentativas de fazer o clipe de papel se romper podem fazer o material até esquentar, e você dobra, dobra, dobra, e ele simplesmente não se rompe. Ele é dúctil. Aqui vemos o quanto a Poliamida se destaca se no quesito dúctil em comparação com o PLA, que é extremamente duro.

Parte 6 - Mas para que saber tudo isso?

Conhecer bem os polímeros será um importante passo na tomada de decisões para aplicações mais nobres. O grande mercado de impressão 3D, o que melhor paga por hora, ao menos, é o mercado de aplicações industriais, criar para a indústria berços, gabaritos, porta ferramentas, dispositivos de montagem, controle e medição. A indústria está cortando custos, e mesmo aquelas que estão cogitando comprar uma impressora 3D ainda vão enfrentar problemas com o bom uso delas para suas aplicações. É um momento de ouro para quem presta serviços ser um consultor em Manufatura 4.0.

- **O que é a Manufatura 4.0?** É utilizar ferramentas tradicionais ao lado das ferramentas mais modernas, aplicar manufatura aditiva, vulgarmente conhecida por impressão 3D, mas também usar CNC, RouterCNC, gravadora a laser e outras ferramentas com a finalidade de auxiliar a indústria tradicional a produzir com menos custos um maior volume. Existe para isso também uma classificação mais acadêmica

do que a manufatura aditiva particularmente pode ajudar a indústria tradicional:

- **Manufatura Direta:** É quando a impressora 3D produz as peças finais, que serão diretamente aplicadas no produto final ou já são o produto final. São dos itens de decoração que vendemos, vasos, colecionáveis, ou brinquedos, ou até mesmo os tais FaceShields, lembrem deles, quaisquer coisas que saiam da impressora para o cliente final, com ou sem acabamento.
- **Manufatura Expandida:** É produzir ferramentas e outras máquinas para a indústria à partir da manufatura aditiva. Moldes de silicone, injeção, sopro, conformação para conformação por vácuo, moldes de cera, de silicone, até chocolate, por que não, formam parte desta classificação.
- **Manufatura Auxiliada:** É o uso dos produtos da manufatura aditiva lado a lado com a produção tradicional, e a versão mais clássica da impressão 3D na indústria atual. Consiste em fazer os supracitados gabaritos, berços, porta ferramentas, magazines ou mercados de partes de produtos à espera de serem montados no produto final.

Seja qual das 3 aplicações da manufatura aditiva que você irá utilizar, o conhecimento e o domínio dos polímeros são fundamentais para o sucesso da implementação, que abrirá portas à novas explorações da tecnologia, resultando num trabalho recorrente e crescente, mas não é só datasheet, folha de especificações que nos faltavam para criar essas aplicações mais extremas, mas o domínio do próprio plástico em si, como material, e com suas trocentas peculiaridades. Vejamos um exemplo:

Parte 7 – Exemplos de aplicações

Com o que aprendemos até aqui, já sabemos que essa é a pior posição para imprimir um suporte de violão ou guitarra. As camadas seriam cisalhadas pelo peso da guitarra, que atuaria tentando separá-las. O correto seria imprimir essa peça em outra posição, onde o esforço do peso se derive sobre todo o perímetro da peça.

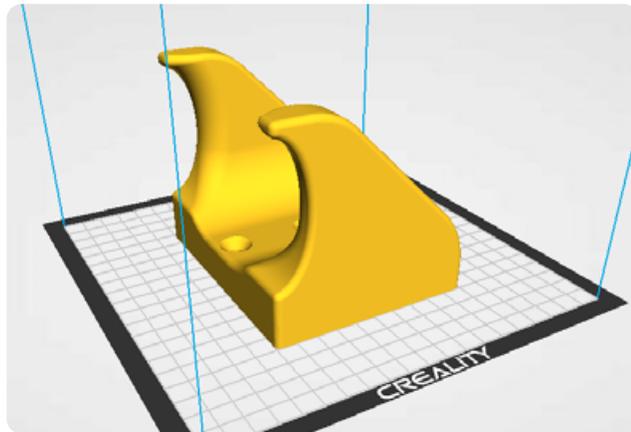


Figura 13 - Suporte de guitarra aberto na posição que o STL estava salvo.

Agora, vamos fingir que esse suporte não é para uma guitarra de 6kg, mas para uma peça de 100 quilogramas! Como seria o preenchimento, números de contornos e altura da camada perfeita?

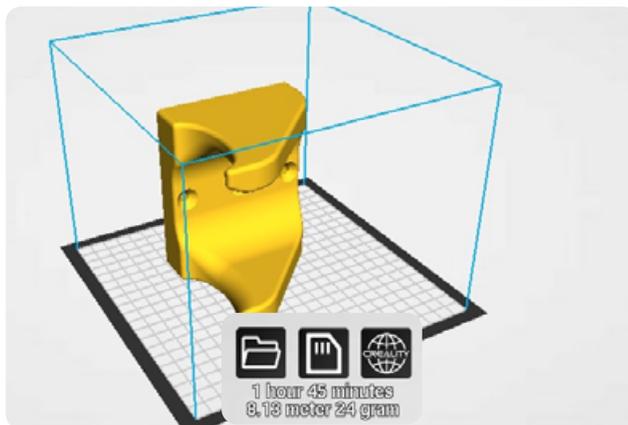


Figura 14 - Suporte de guitarra na posição a sofrer menos de anisotropia.

Não basta saber que determinada peça sofre uma carga, um carregamento contínuo de 1000 N, ou mais ou menos 100 Kgf/cm² ou 10 MPa, e escolher um material que aguarde a essa carga, por exemplo, o ABS.

Na tabela vemos que a resistência a tração do ABS é de 33 MPa na posição certa, isto é, lembrando que as peças impressas são anisotrópicas, e na mesma tabela vemos que na posição mais fraca o material nem foi ensaiado. Mas Emanuel, se o tal do ABS tem 33 MPa, e a carga é de 10 MPa, por que demônios não pode? Por causa desse belíssimo efeito dos polímeros chamado de “Creep” (não a música do RadioHead, mas deformação mesmo), que dita que os polímeros devem atender à 4 vezes ao carregamento solicitado, e 33 MPa do ABS é menor que os 40 MPa desejados teóricos, ou, a peça vai deformar com o tempo.

Para essa aplicação, se deformação não puder ocorrer de forma alguma, o PLA, veja só, atende plenamente a demanda. Mas claro, ainda precisa ver se a peça ficará exposta ao Sol, fonte de luz UV, contato direto ou em ambiente que contenham vapores de óleos, graxas, combustíveis e afins.

Produzir uma matriz em impressão 3D que servirá para moldar materiais conformados à vácuo?



Figura 15 Máquina de vácuo-formados. Fonte: Vídeo do YouTube da MakerBot.

Primeiro, quanto é 400° F? A conta simples é tirar 32 e dividir por 2 para chegar ao valor em Célsius, mais ou menos 180° C, mas você pode perguntar para o Google: $(400\text{ °F} - 32) \times 5/9 = 204,444\text{ °C}$.

Caramba, então para fazer essa matriz vamos precisar de algo com um HdT de pelo menos 205° C? Nope. Tudo depende na impressão 3D do tempo de exposição, dos volumes em questão, da massa para dissipar o calor...

Nesse caso, estamos falando de uma matriz de 8 contornos de PLA contra um filme de 0,75mm de espessura de Poliestireno!

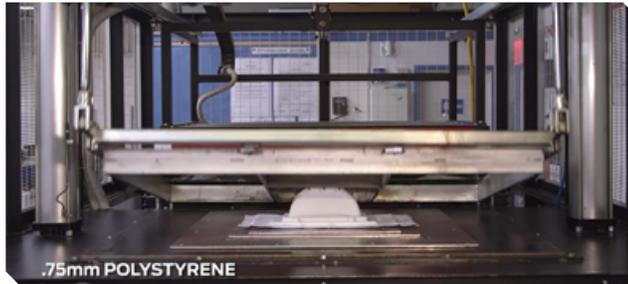


Figura 16 - Espessura do filme de Poliestireno ou Vinil média para vácuo-formados - fonte: YouTube MakerBot

Desta forma, mesmo que o PLA tenha um HdT bem baixinho, a massa é tão pequena que se conforma sobre ele, e por tão pouco tempo, que a matriz impressa em 3D não chega a “suar”, perdão pelo trocadilho...

Vocês podem ver esse caso na íntegra (em inglês) aqui: <https://youtu.be/r94oDj7CMRw>

Infelizmente, dinheiro fácil, só ganhando na loteria, e mesmo assim precisa ter sorte, mas se estiver disposto a estudar e a aprender, desenvolver aplicações industriais é onde estão os grandes ganhos da manufatura aditiva no Brasil, neste momento.

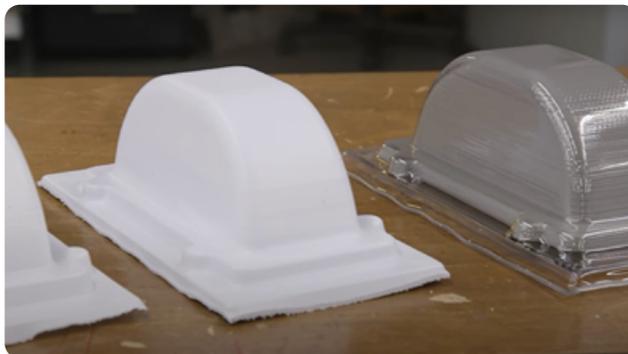


Figura 17 - peças vácuo-formadas antes do corte das aparas - o filme transparente revela a matriz impressa em 3D ainda dentro dela - Fonte: YouTube da MakerBot

Existia ainda um excelente software que rodava dentro do Cura que ajudava muito a quem precisava criar peças críticas através de manufatura aditiva, o software se chamava SmartSlicer, e já falamos dele aqui na revista, um software que de forma muito amigável, te perguntava a peça que desejava imprimir, qual força ela tinha que resistir, qual material seria utilizado, e o software não só simulava os esforços e resistências, como também criava um interior da peça personalizado. Criava regiões com 9 contornos, outras com 2, áreas com preenchimento a 100% e outras com 10%, garantindo não só a resistência da peça, mas também otimizando sua construção, por vezes para diminuir perdas, outras vezes porque simplesmente para melhor adesão de certas camadas, era melhor não fazer certa área sólida, ou teríamos uma união fria entre as camadas.

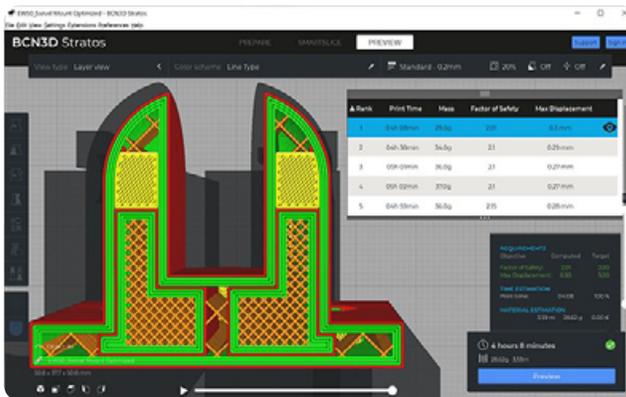


Figura 18 - Tela do software Teton Solution mostra preenchimento personalizado criado pelo mesmo após usuário informar esforços - Fonte: site da MarkForged.

Infelizmente para o resto de nós, [desde 5 de abril deste ano](#), a MarkForged comprou a solução integrando-a ao seu ecossistema de soluções. Mas o software era uma coisa impressionante e fácil de usar. Porém, já fazíamos engenharia de produto sem ele antes, e podemos continuar a fazer sem. Ou comprar uma Markforged, claro.

Segundo todos os indicadores apolíticos existentes, o Brasil perdeu o bonde da terceira revolução industrial. [Temos menos](#)

robôs que outros países, compramos menos também, formamos menos profissionais em tarefas de alta especialização, e o caminho para nosso país não é terminar a terceira revolução industrial para ir para a quarta, será saltar um degrau. Nessa tarefa consultiva que entramos, de auxiliar nossa indústria a assimilar de forma mais rápida, mais efetiva, novas tecnologias, com menor custo de aquisição, e sem o tempo de capacitação necessário para isso.

Para quem empreende no mercado, existe a velha matriz BCG de produtos/serviços versus o ganho para a empresa:

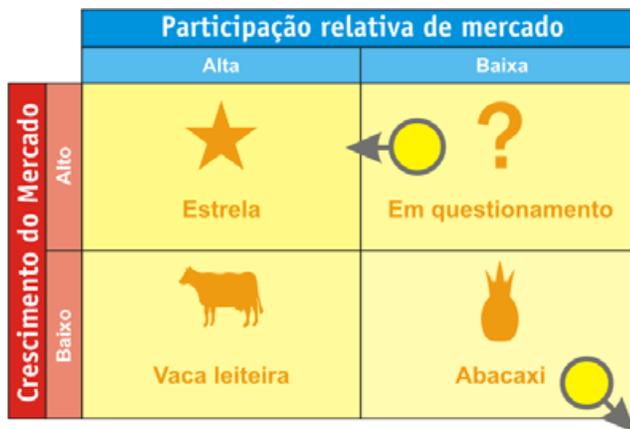


Figura 16 - Espessura do filme de Poliestireno ou Vinil média para vácuo-formados - fonte: YouTube MakerBot

É a velha piada do “eu sabia essa com esfihas do Habibs...” Pois então: Vaca Leiteira é o serviço ou produto que paga as contas, com baixas margens de lucro. Se você já viveu a época dos “nossos preços começam com 0”, numa analogia às esfihas de 0,99 reais, a vaca leiteira aqui é a esfiha, ninguém fica rico vendendo essas esfihas, mas elas fazem os clientes entrarem. Mesmo que só comprem a esfiha, a loja fica aberta, mas se pedirem sucos, ou melhor ainda, sobremesas, ai vão para a Estrela, o produto de maior margem de lucro. Você pode experimentar produtos novos entre a Vaca Leiteira e a Estrela, se o produto for bem, vira um dos dois, ou se for mal, custar mais para fazê-lo que você pode ganhar vendendo-o, ele se torna um abacaxi.

Você pode vender impressoras 3D e filamentos, prestar serviços simples de impressão 3D como um Bureau de impressão 3D. Pode ter alguém que pinte e de acabamento nas peças de aparência sob demanda (Estrela), e pode dar consultorias ao mercado sobre como usar a impressão 3D no mercado (Em questionamento, mas acreditem em mim, se puderem mover seus negócios para este segmento, a chance de ele se tornar sua vaca leiteira é enorme).

Em conclusão

Até aqui conhecemos ou reconhecemos diversos ensaios normalizados, como ler um datasheet, as peculiaridades dos polímeros e vimos esses dados aplicados aos principais polímeros do mercado, o PLA, ABS, PETG e PA. Mas há muito ainda para se aprofundar, se pensarmos não só nos super polímeros que temos assistido surgir, como o PPS, PEEK, PEKK (sim, são diferentes, os dois existem, eu não estou só digitando as letras P, E e K em diferentes combinações), mas ainda existe toda a gama dos nossos próprios polímeros “empoderados”, com cargas e aditivos especiais, que ainda podem tornar as coisas bem interessantes, como o PA com fibra de carbono, ou o PETG com fibra de carbono, ligas de PA mais fáceis de imprimir e pré-tratadas, e um sem número de ideias que podemos aplicar, e que serão foco dos próximos artigos.



ENTE^CTEC

Transformando sonhos em realidade

Somos um dos pioneiros na distribuição de polímeros biodegradáveis e trabalhamos há mais de três anos com o PLA. Além dos polímeros, estamos em constantes prospecções de compostos ou resinas que auxiliam na biodegradação acelerada em ambientes anaeróbios e marinhos.

Temos a distribuição exclusiva no Brasil do PLA da NatureWorks, considerado o melhor polímero para a impressão 3D, e da Levhoss, que traz os materiais com a mais moderna tecnologia existente para o mercado.

A nossa parceria com essas empresas trouxe agilidade na logística e contribuiu para o crescimento de inúmeros negócios.

Com portfólio completo, nós da ENTEC contamos com um time de especialistas técnicos que oferecem um suporte rápido e especializado para qualquer aplicação.

Distribuidor exclusivo



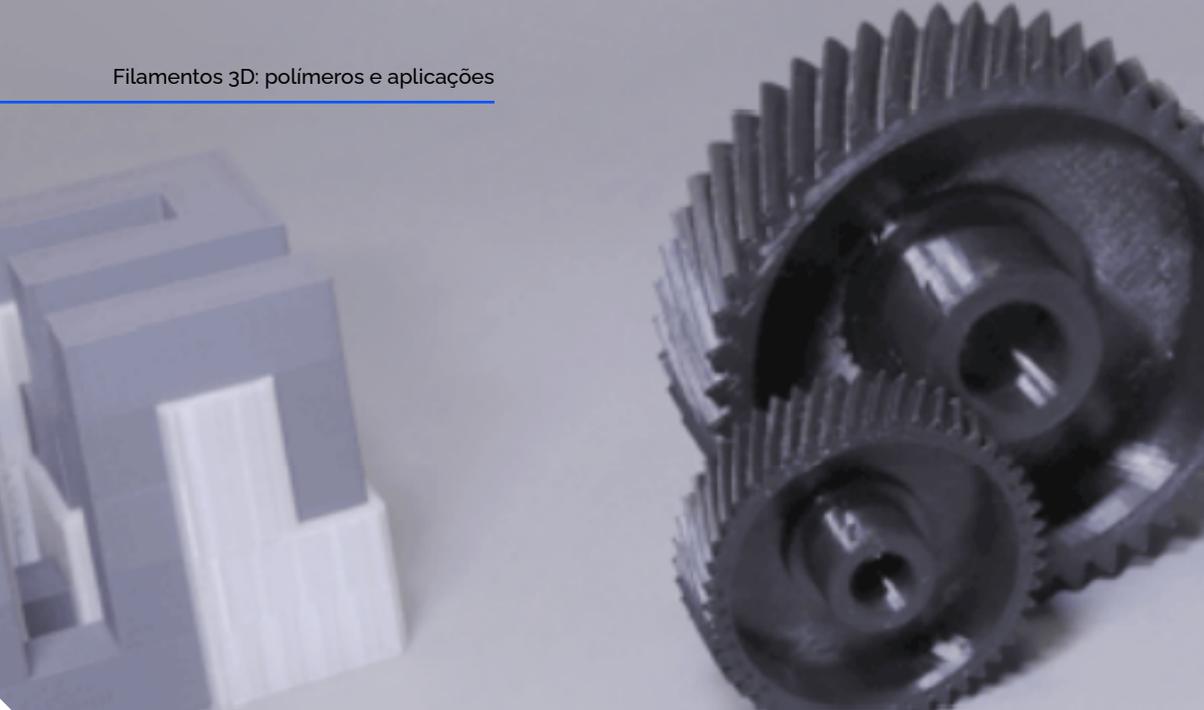
LEVOSS
Group

Distribuidor autorizado

INEOS
STYROLUTION

Conheça mais sobre a Entec:  entecpolymers.com.br





ESCOLHENDO O MATERIAL PARA IMPRESSÃO 3D

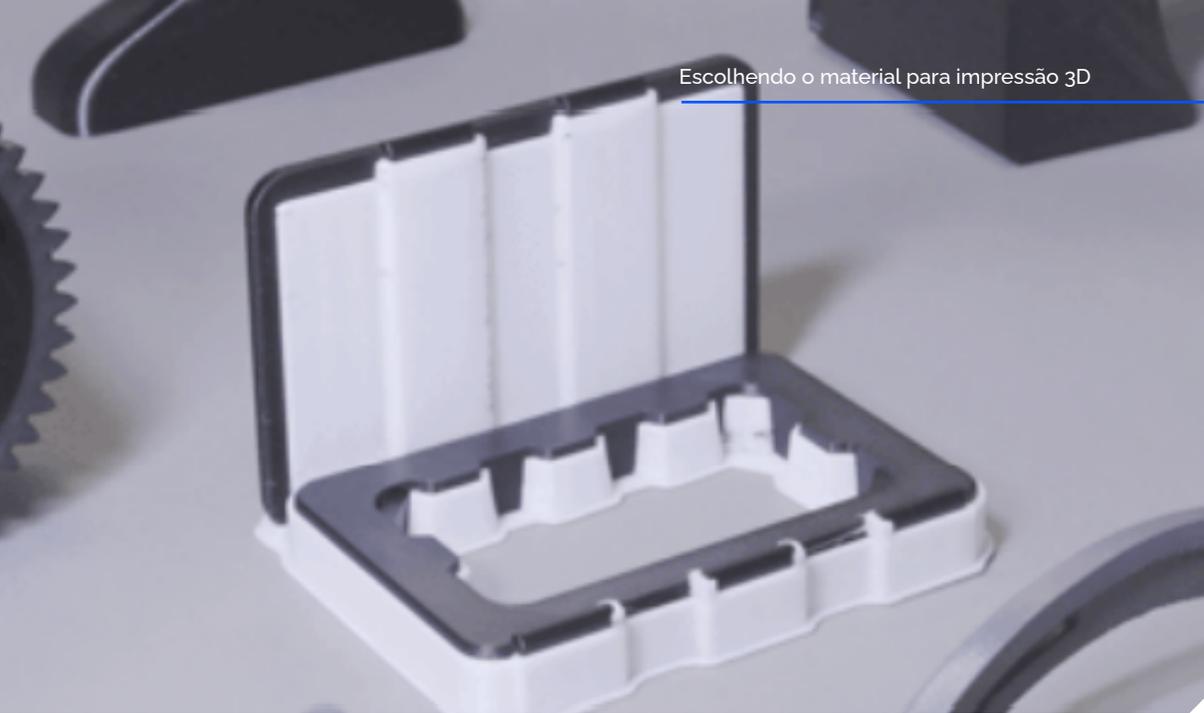


POR EMANUEL CAMPOS

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

 @e2campos

Como dissemos uma vez neste mesmo treinamento, o Processo de Manufatura Aditiva ainda é mais arte do que ciência. Para escolher o material certo, temos que escolher o processo de impressão 3D certo, uma vez que diferentes processos possuem diferentes materiais com os quais são capazes de manusear. O processo FDM é uma ferramenta muito poderosa para usar com polímeros, o SLS é um dos processos de impressão 3D de metais e,



claro, há muitas outras maneiras de se produzir em 3D além desses dois métodos.

O site HUBS, antigamente chamado de 3D Hubs, tem produzido relatórios dos usos das impressoras 3D no mundo, quais materiais e processos são mais usados. Ao produzir isso, incidentemente produziram também uma verdadeira árvore genealógica dos processos de impressão 3D existentes, uma vez que cada novo processo de impressão 3D vem com uma nova empresa associada a ele, manter esse controle e esse olhar é fundamental para entender para onde a impressão 3D caminha.

Por outro lado, tantos processos realmente podem causar confusão na escolha do processo mais acertado para cada empresa, e óbvio, não existe um único processo certo para uma empresa adotar, é bem comum que empresas tenham múltiplas soluções em seu espaço de manufatura aditiva. Mas há sim de impressoras dedicadas a uma característica a impressoras que são mais genéricas. Quais são os extremos dessa régua de “dedicadas” ou “genéricas”? Bem, a impressão 3D nasceu em 1984 com o nome de Rapid Prototyping, e esse marca um extremo da régua, prototipagem rápida: peças para mera validação visual, certos testes de ergonomia, encaixe e montagem, desde que sem aplicar esforços. As impres-

soras 3D de resinas fotossensíveis são excelentes nesta atividade, reforçando que a SLA é ainda a primeira máquina e o primeiro processo de impressão à laser do mundo.

No outro extremo, produzir peças de uso direto da impressora para sua posição de trabalho, como a Bugatti tem feito com a impressão 3D em metal das pinças de seus freios, e vocês podem imaginar a pressão, temperatura, esforço de frear um esportivo famoso como a Bugatti! Assim, aplicações de alta demanda direto da impressora para o uso, são chamadas de “Uso Direto” ou “Direct Applications” e marcam o outro extremo dessa régua.

No meio termo entre esses dois polos há um mundo: peças de decoração, vasos, peças de auxílio médico como próteses e órteses, peças para uso escolar/pedagógico, peças de auxílio à indústria, como berços, porta ferramentas, máscaras de metrologia, moldes de injeção impressos e muito mais!

Mas nós vamos voltar a falar dessas aplicações em um módulo futuro, e por hora, para não criar grande confusão, vamos nos focar nos materiais que as impressoras podem produzir e suas aplicações, por impressora. É uma visão geral, e há ainda muita área cinza. A SLA, famosa por imprimir grandes peças de precisão e acabamento, perfeita para prototipagem rápida, hoje já tem resinas mais flexíveis, resinas que chegam a emular borrachas, o



plástico ABS e até mesmo o Policarbonato. A SLS pode sinterizar pós metálicos, mas também pode sinterizar pós de poliamida (vulgarmente conhecido como Nylon), produzindo também polímeros.

Por outro lado, toda vez que um sistema emula um polímero conhecido, podemos abordar esses polímeros, chamados também de ABS-like, Rubber-like, fotossensíveis ou sinterizados, como se fossem os próprios polímeros. Afinal, se uma aplicação demanda ABS, à princípio não importa se ele será sinterizado, fotossensível ou o plástico real, se ele emula o ABS, deve ser próximo o bastante do ABS para uma abordagem inicial.

SLA, DLP e processos baseados em laser

Laser e fotopolímeros são as melhores impressoras para obter resultados de alta precisão e precisão. Ele também faz ótimas peças estéticas impressas em 3D. A única coisa sobre as resinas é que elas não combinam com nenhum material conhecido. São materiais rígidos e frágeis. Claro que as empresas estão desenvolvendo materiais semelhantes a borracha e materiais semelhantes a ABS. Mas nesse caso, podemos simplesmente seguir com o Polímero que conhecemos e usá-lo como polímeros. Caso seja, se você acha que o ABS pode resolver sua necessidade, não importa se será resina ABS-Like ou ABS real FDM, para um estudo inicial.



Peças metálicas impressas em 3D

Podemos fazer peças metálicas impressas em 3D de várias maneiras, SLS, EBM, LMD. Em todos os casos, imprimir em 3D algo em metal é quase uma experiência ganha-ganha. Nós temos um processo similar na fabricação tradicional que utiliza pó metálico, é chamado de Sinterização. A única diferença aqui é que não preci-



samos de moldes, prensas, apenas imprimimos em 3D, temos muitos estudos, cases e também regulamentações para o uso de peças metálicas impressas em 3D em nosso país e muitos outros! Mas eu disse “quase” não disse? Nós temos um lado negativo nesse processo, é muito caro. Desde o metal que costumava ser impresso em 3D até as máquinas e seu alto índice de consumo de energia, é mais usado para aplicações médicas, onde o preço não pode ser comparado ao valor da vida.

Peças de pós unidos por cola

As impressoras 3D Powder Binders usam um cartucho HP com cola dentro. Com essa cola desenha o perfil sobre uma camada de pó que pode ser de vidro, cerâmica ou mesmo amido. Por ter um material barato e poder ter vários cartuchos HP, as impressoras



têm uma ótima relação custo/benefício para fazer peças coloridas impressas em 3D. Eles são usados para “selfies” impressos em 3D. Mas essas peças são boas apenas para fins de prototipagem, pois são extremamente quebradiças e começam a se desgastar com muita facilidade. É como tentar comer um biscoito no sofá sem deixar migalhas para trás.

Polímeros

O que torna os processos de manufatura aditiva por fabricação por filamento fundido (FFF) mais popular do mundo é o fato de usar polímeros reais. Resinas fotossensíveis precisam de diversos cuidados da resina líquida, para não curar, cristalizar ou estragar, além de ser irritante à pele no caso de contato direto. Pós, sejam metálicos, poliméricos ou de amido, também requerem cuidados para evitar umidade, devem ser manuseados com cuidado pois são muito sujos, ou como dizer lá fora, não são amigáveis para ambientes de escritórios. Já o plástico, como também diziam os mais antigos aqui do Brasil mesmo, “qualquer criança faz, todo adulto se diverte”. Requer alguns cuidados na armazenagem, são incrivelmente higroscópicos, mas são fáceis de manusear, não requerem cuidados especiais, e depois de impressos, tanto suas sobras quanto até mesmo peças que não são mais necessárias ainda podem ser recicladas.

Além de tudo isso, a engenharia já usa polímeros há muito tempo, de carcaças de notebooks e celulares ao painel de carros, paraquedas, geladeiras. tudo hoje tem plástico envolvido. Mas a manufatura aditiva se aproveitou dessa característica para introduzir diversos novos polímeros ao mercado, e claro, já não estamos mais limitados aos famosos Policarbonato, ABS ou Nylon.

PLA - Fácil, Rápido e Rígido

O PLA (ácido polilático) é um ótimo material para modelos de conceitos iniciais porque é fácil de usar, adequado para escritório e funciona bem com suportes de separação que imprimem mais rapidamente e podem ser removidos mais rapidamente do que suportes dissolvíveis. O PLA é um plástico à base de milho e é considerado biodegradável em processo industrial.



O PLA é forte em resistência à tração e módulo em relação a outros polímeros básicos, o que pode ser surpreendente para alguns, porque geralmente é visto como um material bastante básico. Uma desvantagem potencial do PLA é sua fragilidade - se falhar, ele fratura catastróficamente, enquanto alguns dos outros polímeros podem dobrar.

Parte: Scanner a Laser 3D

Suporte: Suporte Separador

Tempo de impressão: 23h 58m

PLA Tough/Plus/Mas - Fácil, Rápido e Durável

O PLA resistente/mais/máximo é uma categoria relativamente nova de material que possui base PLA com modificadores para aumentar seu módulo de tração para torná-lo mais resistente a impactos. A combinação de facilidade de uso, facilidade de uso no escritório e durabilidade / usabilidade o torna ótimo para protótipos de estágio inter-

mediário. Resistente tem um alongamento incrivelmente alto antes de quebrar, tornando-o altamente durável - isso pode ser visto ao imprimir dobradiças vivas extremamente finas, que podem ser dobradas para trás e flexionadas muitas vezes antes de quebrar. Embora altamente durável, o Tough pode não ter a superfície de alta qualidade e o acabamento detalhado do PLA e do ABS.



Parte: Mouse**Suporte:** PVA (suporte solúvel)**Tempo de impressão:** 26h 31m

PETG - Resistência química e durabilidade



A resistência química do PETG (polietileno tereftalato modificado com glicol) o torna um material de escolha para recipientes e garrafas de líquidos, o que também o torna ótimo para prototipagem desses tipos de produtos. Embora disponível em uma variedade de cores, a adição de glicol do PETG remove a turvação para dar uma boa translucidez. O glicol também aumenta a força e a resistência ao calor em comparação com o PET. Além dos recipientes, a resistência a líquidos/químicos pode beneficiar uma variedade de usos, desde a oficina mecânica até o laboratório.

Este bico de vácuo foi impresso como um acessório para um aspirador de loja para remoção de resíduos de uma máquina CNC. O PETG é uma ótima opção para esta aplicação devido à resistência química do material à refrigeração do CNC.

Parte: Bocal de Aspiração**Suporte:** PVA (suporte solúvel)**Tempo de impressão:** 11h 23m

ABS - Suave, durável e resistente à temperatura

O ABS (acrilonitrila butadieno estireno) é um dos materiais mais populares para produtos de consumo moldados por injeção devido ao seu acabamento superficial limpo, durabilidade e resistência ao calor.

Por esta razão, é frequentemente usado para prototipagem de produtos de



consumo que serão posteriormente moldados por injeção. Ao usar o ABS, é mais provável que o protótipo pareça, sinta e funcione como o produto final. A durabilidade do ABS e a alta temperatura de deflexão de calor também o tornam um bom material para uso em laboratório ou no chão de fábrica.

O ABS também é fácil de encontrar com aditivos como ESD (dissipação estática elétrica ou condutividade, compostos de fibra de carbono e outros recursos podem ser adicionados)

Parte: Termômetro de termopar

Suporte: Stratasys SR-30 (suporte solúvel)

Tempo de impressão: 16h 16m

ASA - Resistente à luz UV, ao clima e durável

ASA (acrilonitrila estireno acrilato) combina as qualidades do ABS com o benefício adicional de resistência aos raios UV e resistência adicional à umidade, tornando-o ideal para equipamentos expostos à luz solar e chuva por longos períodos de tempo - como produtos para agricultura, transporte e energia e indústrias de utilidades. Como o uso de ASA é bastante comum na produção de peças para essas indústrias, a prototipagem das mesmas peças em ASA permite que os engenheiros de teste entendam melhor como seus produtos se comportam em condições climáticas extremas. No campo, um trabalhador de serviço público ou um agricultor pode se beneficiar da impressão de peças de reposição conforme necessário para equipamentos quebrados.



Parte: Tampa da tomada elétrica

Suporte: Stratasys SR-30 (suporte solúvel)

Tempo de impressão: 4h 29m

Nylon - Resistente à abrasão e forte



A capacidade do nylon de suportar altas temperaturas e sua durabilidade se combinam para fornecer resistência à abrasão acima da média. Embora o armazenamento de peças de reposição possa ser caro, a capacidade de armazenar o arquivo CAD e imprimir as peças conforme necessário é uma alternativa que pode economizar espaço e fornecer flexibilidade. As engrenagens sofrem punições consistentes e alta abrasão, tornando o Nylon o material ideal para este tipo de peça.

Parte: Engrenagem do transportador

Suporte: PVA (Suporte Solúvel)

Tempo de impressão: 10h 19m

PC-ABS - Durável e resistente ao calor



O PC-ABS pode parecer um compósito, sendo que é uma mistura de dois polímeros (policarbonato e ABS), mas a definição clássica de um compósito para materiais de impressão 3D tende a se referir a um polímero que foi reforçado com uma partícula sólida (fibras, contas de vidro, etc.). Se você usa ABS, você pode querer verificar PC-ABS.

Ele tem muitas das propriedades que tornam o ABS desejável com força e resistência ao calor adicionais além da faixa do ABS comum e, portanto, é um material comum usado na indústria automotiva. Pode ser adicionado qualidades como retardante de chamas

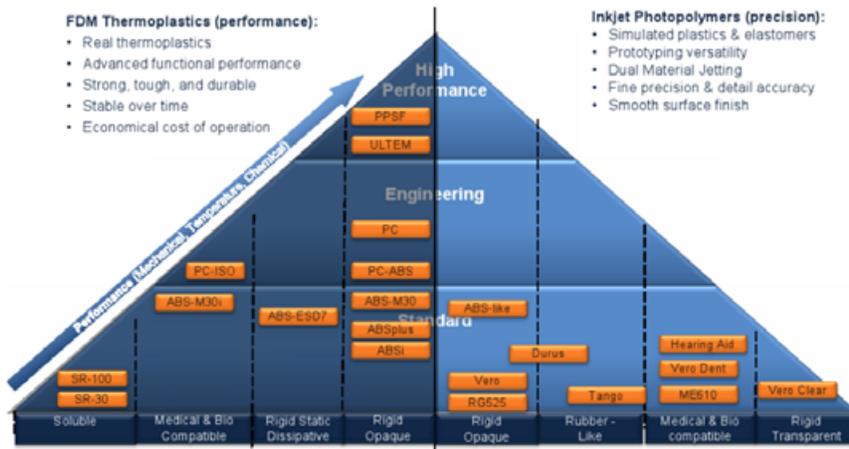
Parte: Alça de Vagão de Trem

Suporte: Stratasys SR-30 (Suporte Solúvel)

Horário de impressão: 14h 01m

Uma visão geral sobre as aplicações dos

Mais de 500 Materiais



materiais

Esta é uma visão geral sobre materiais impressos em 3D, e esperamos dar a todos algumas orientações. É importante dizer que novos materiais estão sendo desenvolvidos diariamente, pois os sistemas impressos em 3D estão chegando ao seu limite, os materiais possíveis estão apenas começando. Há muito mais para ver e conversar, voltaremos a este assunto na lição “materiais de engenharia” e algumas aplicações realmente difíceis.

DRYWISE

O futuro da DryBox!

Se você tem impressora 3D e não mora num deserto, já deve ao menos ter ouvido falar sobre as caixas seladas hermeticamente nas quais você pode manter seu filamento. Até recentemente essas caixas podem vir em dois formatos, uma mais simples, que objetiva meramente impedir que a umidade tenha efeito sobre um filamento já aberto, ou com aquecimento e recirculação de ar, que objetiva além de prevenir que a umidade afete o filamento também secar aqueles materiais já carregam a mácula da umidade em seu âmago! (poético, né?).

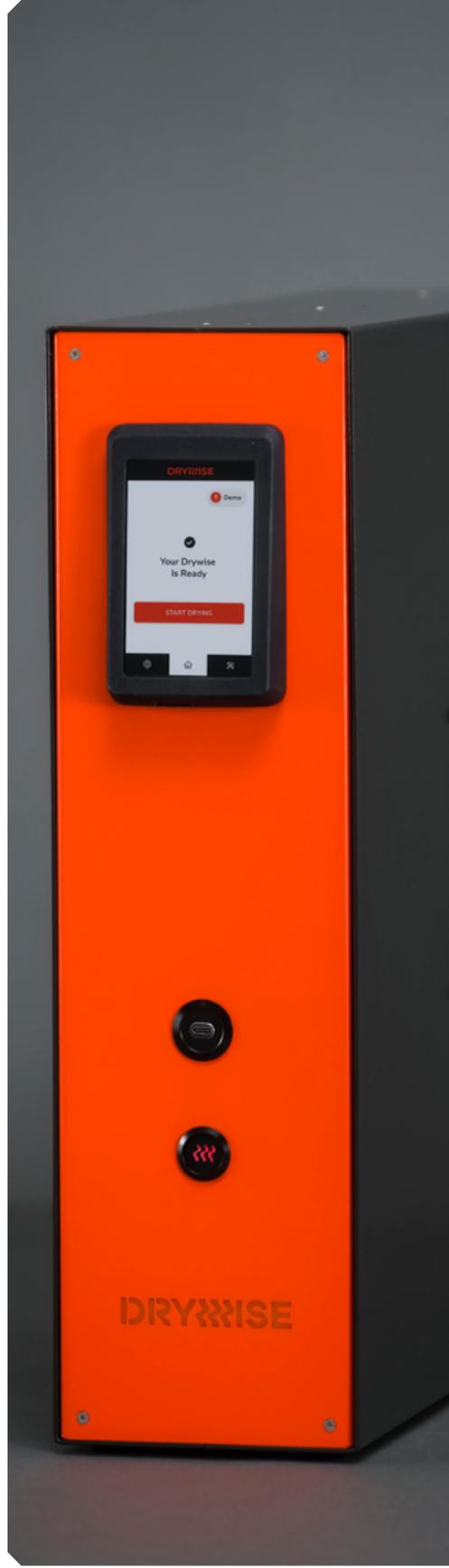
Agora, antes de falarmos sobre uma terceira e ainda mais eficiente forma de remover a umidade do filamento, vamos explorar por que é importante prevenir que os filamentos fiquem úmidos para começo de conversa, embora as razões práticas sejam conhecidas, tais como impressões ruins, falhas



POR **EMANUEL CAMPOS**

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

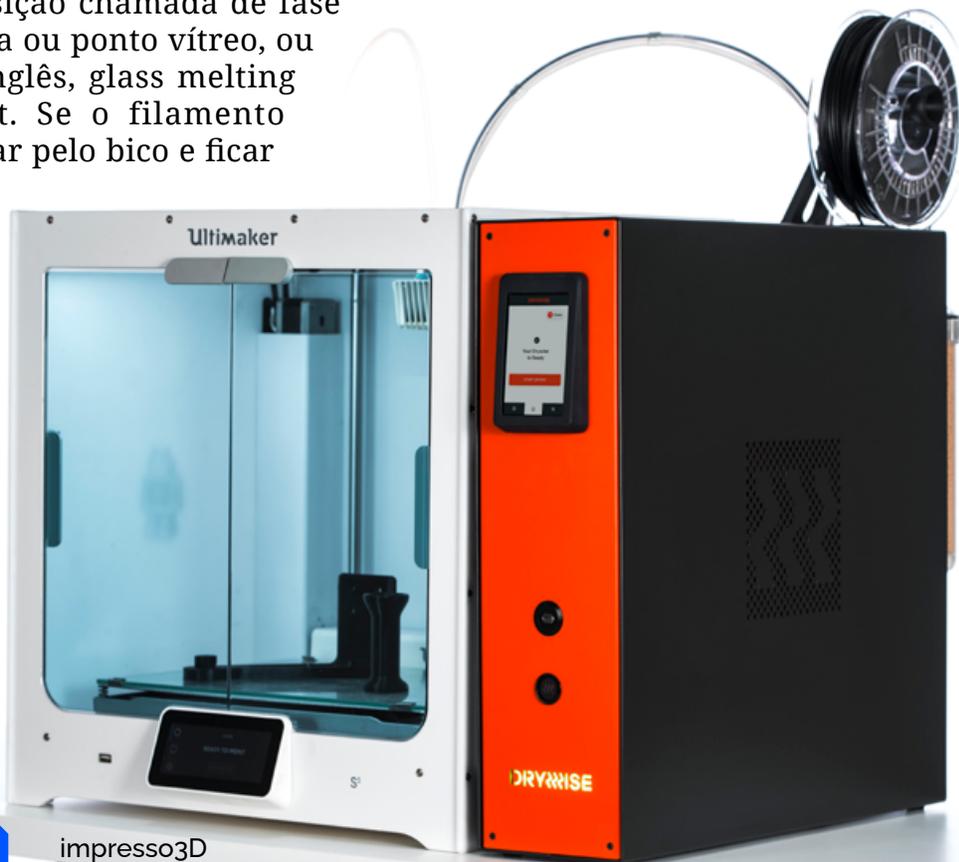
📧 @e2campos



de acabamento superficial, falta de preenchimento, peças frágeis, isso tudo quando a impressora não tem problemas ela própria, com bicos entupidos, filamentos presos dentro do cabeçote e eventualmente, um cabeçote inteiro pode ser perdido dessa forma. Mas por que esses problemas aparecem?

Para recapitularmos, tirem as crianças da sala, pois vamos te contar ~~como são gerados os bebês~~ como são impressas as peças: o filamento é empurrado através de uma garganta de metal até chegar a um bloco aquecedor, esse bloco tem como objetivo elevar o polímero na forma de um fio até sua temperatura de transição, quando o material se tornará viscoso o bastante para ser empurrado por um bico mais de 4 vezes menor que o diâmetro do fio (1,75mm de diâmetro do filamento e um bico de 0,4mm de diâmetro). Se tudo der certo, ao sair do bico, é necessário ter um controle absoluto de como esse material será refrigerado.

Primeiro, que os filamentos não tem fase líquida, eles pulam de sólidos para gasosos, e o máximo que temos é uma fase de transição chamada de fase vítrea ou ponto vítreo, ou no inglês, glass melting point. Se o filamento passar pelo bico e ficar



lá, recebendo calor, ele continuará a transicionar para gás, e não sobra uma peça para ser chamada de impressa. Por outro lado, se ele esfriar rápido demais, ou ele não irá se fundir com a camada de baixo, ou a camada de cima não irá grudar nele, mais provável que ambos.

Até aqui dá para imaginar que tudo precisa ser muito bem calculado, para se obter o máximo de adesão entre camadas, com mínima perda do material para a sublimação (nada como o cheiro do ABS queimando pela manhã), e para que a viscosidade seja tal que não desgaste nada pelo caminho, não esforce o motor, não desgaste o bico do cabeçote nem danifique o tubo de teflon pelo qual o filamento corre, certo?

Enquanto isso na sala de justiça, a água é uma coisinha bastante particular, já pararam para pensar nisso? Matéria mais abundante na superfície de nosso planeta, origem da vida e principal meio de manutenção da mesma, fundamental para nossa existência, e origem das escalas de temperaturas! Isto é, ao menos da escala Célsius. Criada em 1742 por Anders Celsius, a escala marca dois pontos: o ponto de congelamento da água, o 0 °C, e o ponto de ebulição da água, 100 °C, ambos no famoso CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão.

O problema é que a água é caprichosa, para começar, é um dos poucos líquidos que se expandem ao se congelar, e não se contraem, todos que já perdemos uma garrafa de refrigerante ou algo melhor no freezer, sabemos disso. E do outro lado da escala, aprendemos na quinta série por que é impossível queimar comida em banho maria, sabe quando você coloca uma panela com comida para esquentar sobre uma bacia de água sobre o fogo, e deixa que

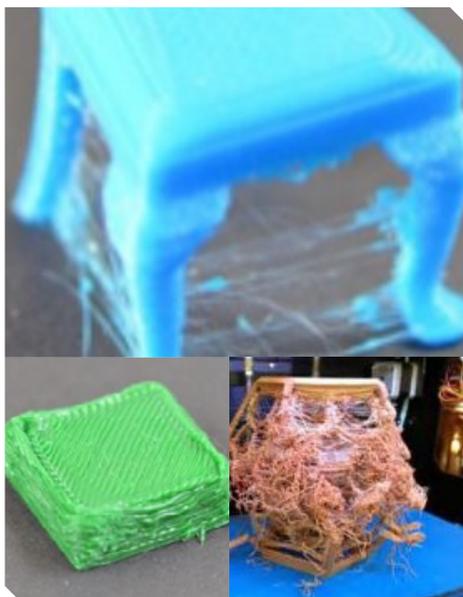


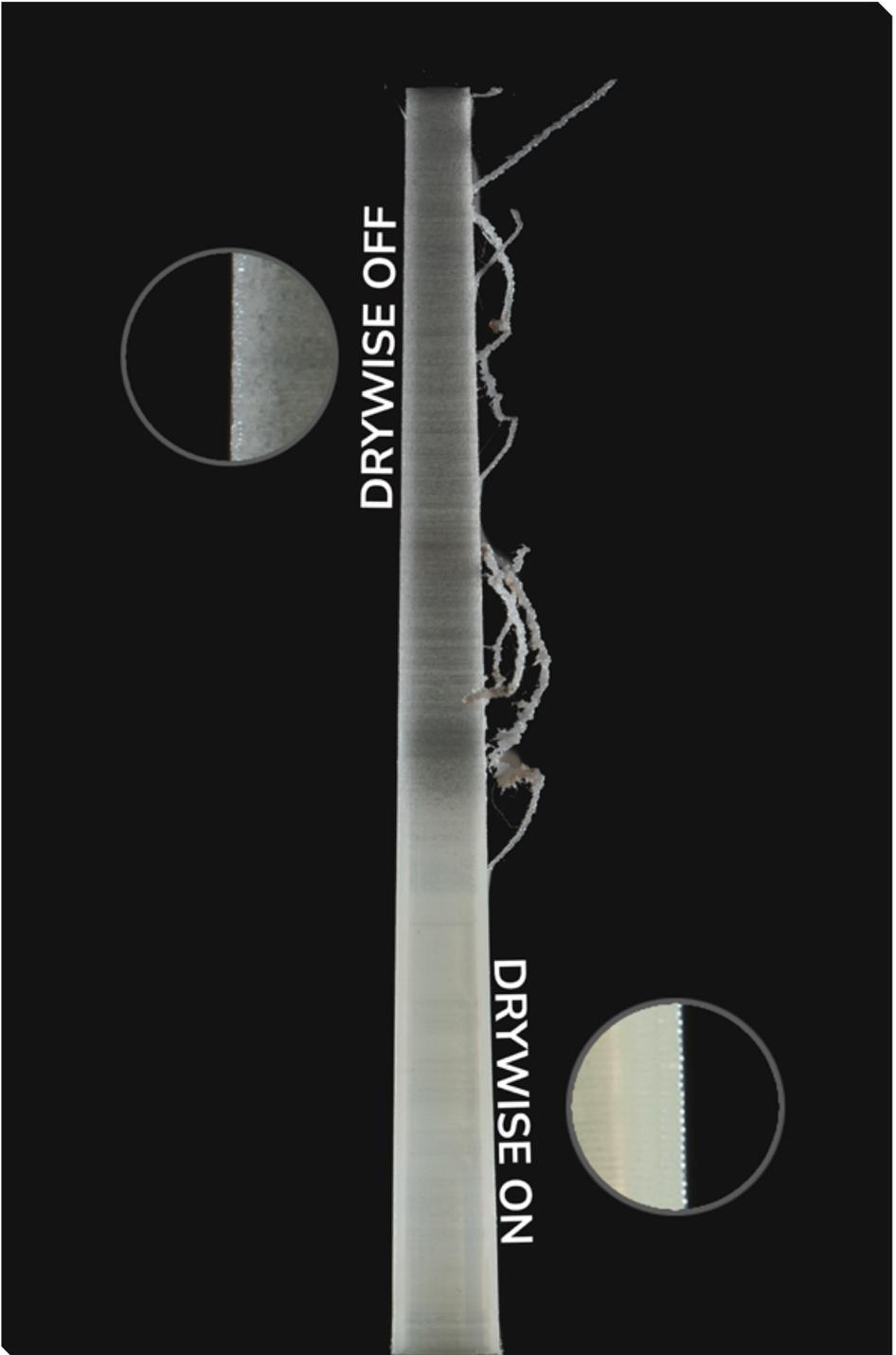
a água quente esquente a panela de sua comida? É assim que fazem em 11 de cada 10 restaurantes self-service, para a comida ficar lá, quentinha e sem queimar – a menos que a água acabe.

A água tem uma propriedade bastante particular chamada entalpia de evaporação – ela consiste na seguinte propriedade: quando a água atinge 100 °C e inicia o processo de troca de estado de líquida para gasosa ela preserva a temperatura nesse patamar, até que toda sua massa tenha trocado de estado. E isso para esquentar comida é ótimo, mas para a impressora 3D é um pesadelo.

Quando o filamento chega com partículas de água dentro aquecedor da extrusora, uma infinidade de coisas começa a acontecer, imaginemos o caso do ABS, por exemplo, que o cabeçote trabalha a 235 °C, a água salta a 100 °C, imediatamente, parte dela se evapora e os vapores começam a preencher a câmara de aquecimento, parte dos vapores começam a competir com o filamento para sair pelo bico, parte consegue, parte fica presa dentro dos filamentos, causando aquelas bolhas visíveis nos filamentos, ao evaporarem, elas roubam calor, causando o filamento a endurecer mais rápido ao sair do bico, diminuindo a adesão entre camadas, e as bolhas que ficaram presas nos filamentos vão causar pontos de falhas significativos. Mas pior ainda está por vir...

Parte dos vapores ficam se alternando entre vapor e água novamente, conforme novos trechos do filamento chegam à câmara aquecedora, se misturando à umidade fresca que vem nesses novos trechos. Como falamos, graças à entalpia de evaporação, a água retém a temperatura à 100 °C, isso interfere na impressora, que passa a mandar mais energia para manter o cabeçote a 235 °C, interfere no fluxo de material que passa pelo bico, gera, conforme a umidade no filamento varia,



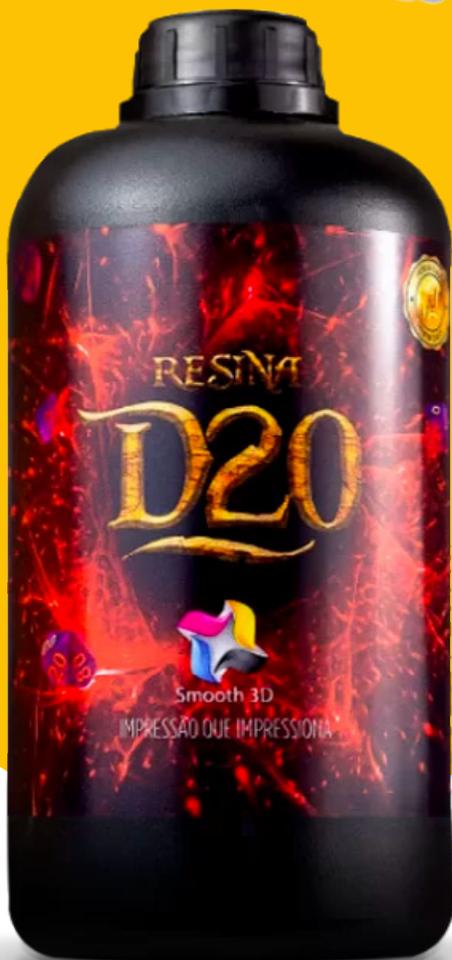


Cupom: Consumidor3D



8% OFF

Desconto em todo o site!



Baine Bloodhoof (@luftmensch_studio_stl)

**SUAS MINIATURAS NUNCA MAIS
SERÃO AS MESMAS COM A
RESINA D20.**



Smooth 3D

CONHEÇA O NOVO SITE

smooth3d.com.br

hora uma extrusão menor que o desejado, hora maior que o necessário. Esse problema se agrava quando entra a retração em cena, o material mais viscoso não retrocede tão fácil, strings, web, os tais fiozinhos se multiplicam pela peça, e dada a viscosidade do material, se a retração for muito grande, pode chegar a romper o filamento, o material mais viscoso se gruda agora na garganta da extrusora, longe do bloco aquecedor, e lá, esfria-se, travando todo o sistema, e produzindo ao usuário o efeito de gritar palavrões em volume e quantidades proporcionais ao que se imprimia.

Só para agravar a equação, secar um filamento úmido é ainda mais difícil, primeiro, não há uma fórmula universal, já que cada material é capaz de absorver uma quantidade maior ou menor de água até a saturação. Segundo, que os filamentos não ficam úmidos ou secos, assim, de forma binária, a umidade surge nos rolos pelas laterais e pelos fios que estão mais expostos, e depois vão gradualmente migrando para o interior do rolo. Por fim, rolos já abertos podem ter quaisquer quantidades de material restantes, se considerarmos um rolo como novo, recém saído da embalagem como 100%, o mesmo rolo pode ser guardado com qualquer quantidade, de 99% a 1%, quebrando a estratégia de quem tenta secar rolos de material no forno da cozinha, quanto tempo, a qual tempe-



ratura, para qual material, com quanto tempo aberto e quanto material restante no rolo? Demasiadas variáveis.

Por isso, prevenir a absorção de umidade é uma missão muito mais simples, e é onde entram em campo as Dry Box tradicionais, conhecidas nos marketplaces como estufas, secadores, desumidificadores etc. Como equipamentos de prevenção são fantásticos, fechados hermeticamente e com temperatura e umidade controladas em seu interior, é um refresco e uma salvação para usuários tradicionais, querendo proteger seu material (e seu tempo), quando o material for ABS, PLA, PET ou PETG. Agora, para secar um material, no final do dia, essas caixas sofrem das mesmas variáveis que o forno da cozinha, quanto tempo deixar um rolo aberto, com mais 600g de ABS, aberto há 3 meses, mas mantido na caixa, em São Paulo? E se for no Rio de Janeiro? E se for ASA em Caxias do Sul, aberto há 3 meses, mas só agora vimos que o ziplock da embalagem estava mal fechado?

Assim surge a Drywise, equipamento representado no Brasil pela 3DCRIAR, o aparelho vem para solucionar entre outros problemas, os que listamos acima, mas acima de tudo, vem para atender uma gama de materiais ainda mais exigente com a qualidade do material e da impressão 3D resultante: os materiais de engenharia como policarbonato, PEEK, PEKK e o mais terrível: nylon! No cenário de materiais de engenharia, com seus datasheets e simulações, não se pode permitir variações de qualidade, de resis-



tência, a repetibilidade é fundamental, e para isso a DryWise se utilizar de um processo único e revolucionário para efetivamente secar o filamento antes da impressão: fazer o filamento serpentear metros dentro uma máquina dedicada a secar o filamento, e não todo o carretel, e sem se preocupar com o tempo que o rolo esteja aberto, ou com a quantidade de material remanescente no rolo, a DryWise se foca em secar bem o filamento, com temperaturas e tempo de circulação pela máquina ajustáveis conforme o material, com tempos e condições exaustivamente testadas em laboratórios!

Repleto de sensores, o sistema constantemente homologa materiais de fornecedores de alta performance para garantir que as blendas particulares sejam tratadas com eficiência, evitando degradação com aquecimento em excesso. Tem sensores de presença e movimentação de filamento, de temperatura e de umidade, junto com um software que controla a rotina de carregamento de filamento, pré-secagem e desligamento automático quando a impressão termina. Filamentos compósitos, em geral mais duros e quebradiços, tem um pré-aquecedor antes de entrarem na serpentina de secagem para garantir que não há problemas de quebra.

Estão homologados até a última versão de firmware materiais de fabricantes co-mo UltiMaker, Covestro, BASF Ultrafuse, Lehvoss e Markforged, com previsão de homologação de muitos outros.



☎ (11) 4116-6177

🌐 3dcriar.com.br

✉ contato@3dcriar.com.br

📷 @3dcriar



TORRE DE TEMPERATURA

Como esse simples recurso pode te auxiliar a melhorar suas impressões



POR **VALMIR JUSTO**

CEO da Ops3D onde procura inovar, personalizar e atender o mercado de decoração com criatividade e irreverência, por meio da impressão 3D.

© @ops3d

Muitos de nós, makers, estamos em constante busca pela ótima impressão. Aquela impressão que demonstra com suavidade os contornos e detalhes da peça assim como realça a cor do filamento. Porém, existem diversas variáveis para chegar a uma ótima impressão, mas destaco três (3) que são super importantes para que essa excelência de qualidade seja alcançada: **velocidade, altura de camada e temperatura.**

A combinação destas três (3) variáveis pode potencializar e muito a qualidade das suas impressões. Mas, olhando para essas três variáveis, podemos sintetizar algumas perguntas: Qual seria a velocidade e temperatura ideais para uma altura específica? Ou qual seria a melhor temperatura considerando uma velocidade X e uma altura específica?

E se eu te contasse que existe um recurso muito simples para nos auxiliar a responder não somente as perguntas anteriores, mas uma infinidade de outras, você utilizaria esse recurso?

Tenho certeza que sua resposta foi SIM, e neste artigo iremos falar deste recurso chamado “**Torre de temperatura**” (Temp Tower)

Antes de entrarmos mais a fundo nos benefícios da torre de temperatura, vamos falar de alguns pontos importantes e muito relevantes relacionados à temperatura nas impressões.

Mas, por que a escolha da temperatura é tão importante para a impressão 3D?

Se considerarmos que, a grande maioria dos filamentos em uso são polímeros, poderíamos dizer que a temperatura poderia ser a mesma, porém cada tipo de filamento possui uma composição química muito diferente que influencia diretamente na temperatura de sua utilização. Como exemplo, o PLA tem sua base vinda do **amido de milho**, já o ABS têm a composição à base de **petróleo**.

A composição química de um filamento influencia diretamente sua temperatura de transição vítrea. Essa temperatura vítrea ocorre quando o filamento começa a se transformar em uma **substância maleável ou emborrachada** capaz de ser extrudada pelas impressoras, ou seja, é a partir desta temperatura que conseguimos realmente criar os objetos impressos. Com isto, se temos compostos diferentes para cada tipo de filamento, sem dúvidas, teremos temperaturas vítreas diferentes para cada um deles.

Além disso, a própria pigmentação/coloração do filamento, já potencializa a diferença de temperatura. Como exemplo, a temperatura de extrusão de um filamento do tipo PLA na cor branca pode ser de 200°, enquanto que um filamento PLA na cor preta, a temperatura ideal é 205°, mesmo sendo do mesmo fabricante.

Além da temperatura de extrusão, alguns tipos de filamento também necessitam de uma temperatura específica no aquecimento da mesa. Esse aquecimento é imprescindível primeiro para gerar a aderência sobre a mesa e segundo, para evitar as possíveis deformações (warping) no processo de resfriamento da peça. A mesa aquecida permite que eles resfriem mais lentamente quando extrudados, de modo que a deformação é minimizada e seus efeitos não sejam visíveis na peça. Vale salientar que a altura das peças impressas, também pode gerar os warping, principalmente em impressoras abertas, pois quanto mais alta a peça for, maior será a diferença da temperatura da primeira camada para as últimas. Para este contexto, em especial para os filamentos ABS e ASA, o ideal é trabalhar com impressoras fechadas ou utilizar recursos do tipo Draft Shield. Este recurso cria uma parede envolta da peça evitando que a troca de temperatura ocorra de forma rápida.

De fato, se você não estiver utilizando a temperatura correta em sua impressão, fatalmente você irá passar por alguns problemas como, overhang, falta de aderência, oozing (stringing), subextrusão, vazamento e por fim, o próprio entupimento do bico de impressão. Por **isso, podemos dizer que a** escolha da temperatura é uma das variáveis determinantes quanto a qualidade da impressão da peça final.

Porém, e a velocidade nesse processo, o quanto ela influencia na escolha da temperatura?

Quando queremos imprimir os objetos em uma velocidade mais alta ou mais baixa, devemos ajustar a temperatura que está sendo utilizada como base (digamos velocidade base aquela que normalmente utilizamos em grande parte das impressões).

A velocidade das impressões (medida em mm/s) afeta diretamente a temperatura de extrusão, pois quanto mais alta a velocidade, mais fluxo de filamento é necessário e, conseqüentemente, uma temperatura de extrusão mais alta, assim como, em velocidades mais baixas a temperatura deverá ser mais baixa. Quando não há esta compensação de temperatura x velocidade, fatalmente a

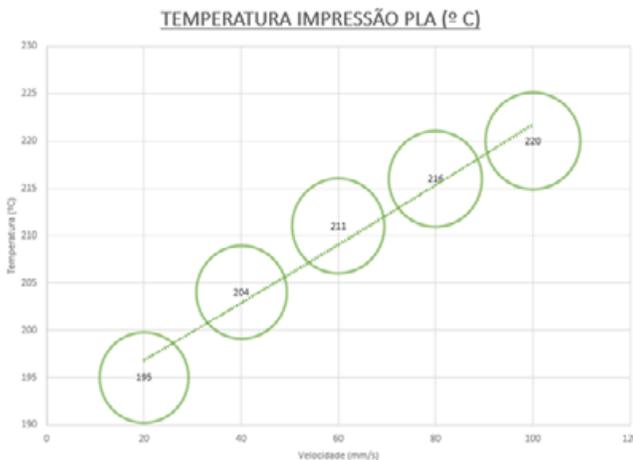


Figura 1: Relação de velocidade x Temperatura no PLA (fonte: filament2print.com)

qualidade das suas impressões será afetada. Mas lembre-se o equilíbrio é a palavra chave quando colocamos velocidade e temperatura juntos.

Nas Figura 1 e 2, podemos observar a tendência da temperatura de extrusão dependendo da variação da velocidade de impressão. No entanto, os dados apresentados podem ser utilizados como base para testes mas não utilizá-los apenas como uma “verdade absoluta”, pois existem outros parâmetros adicionais a velocidade e temperatura que podem interferir na relação velocidade e temperatura.

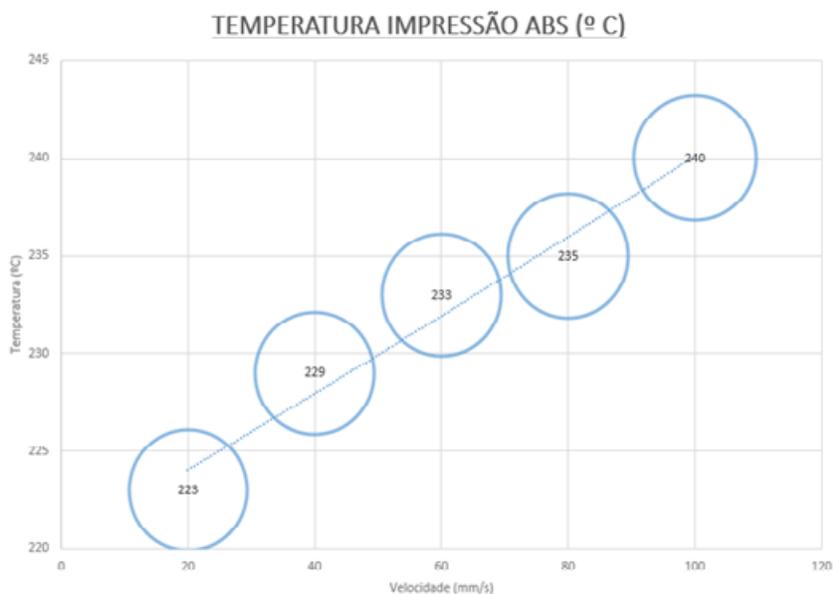


Figura 2: Relação de velocidade x Temperatura no ABS (fonte: filament2print.com)

Temperatura ideal: Qualidade, força e resistência

Como comentado anteriormente, a temperatura é um dos principais parâmetros para se ter uma excelente impressão, tanto relacionado a qualidade da peça quanto a sua resistência. Sendo assim, encontrar a temperatura ideal é extremamente importante, ainda mais quando consideramos diversos casos de uso que

permeiam desde produtos decorativos até peças de engenharia com alta precisão e resistência.

Segundo alguns fabricantes de filamento e impressoras e, até mesmo, artigos científicos (sessão links deste artigo), o uso de temperaturas muito baixas tende a gerar mais esforço sobre as extrusoras assim como potencializa a geração de mais lacunas de ar, diminuindo a resistência e força da peça. Sendo assim, quando há necessidade de fabricar peças com maior resistência e força, basta utilizar temperaturas mais altas, claro, respeitando os limites de cada tipo de filamento, até para evitar outros tipos de problemas já comentados anteriormente como oozing (stringing), subextrusão, problemas com bridge (ponte), vazamento ou , até mesmo, deformação da peça.

Ao utilizar uma temperatura mais alta, a construção de cada camada (layer) terá sua fundição/fusão muito mais homogênea, evitando os espaços comentados anteriormente.

Dado todas estas explicações da importância que a temperatura tem na impressão 3D, vamos falar sobre a Torre de Temperatura. Esse item é indispensável para auxiliar na escolha da temperatura ideal considerando os pontos abordados anteriormente.

O que é uma Torre de Temperatura?

A torre de temperatura nada mais é que um modelo, em formato, torre, onde, ao decorrer da impressão desta torre, a impressora faz mudanças na temperatura da extrusão. Esta alteração que, normalmente é feita incrementando cinco (5) graus ou decrementando cinco (5) graus, explora o quanto o filamento resiste às mudanças de temperatura, e, ao terminar a impressão da torre, você conseguirá analisar qual temperatura teve o melhor resultado.

Cada torre de temperatura possui diversas marcações numéricas que auxiliam a identificar qual temperatura foi utilizada naquele pedaço da torre. Além de auxiliar na identificação da temperatura, também serve para incluirmos as configurações necessárias para que a alteração de temperatura ocorra. Estas configurações são feitas diretamente no fatiador e, na seção “Mão

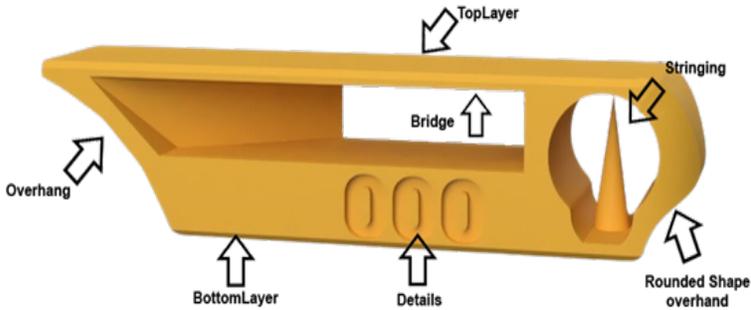
na massa” deste artigo, iremos explicar como configurar uma torre de temperatura do Zero utilizando o PrusaSlicer.

Algumas torres de temperatura tem a marcação numérica de forma progressiva, ou seja, começando por uma numeração (temperatura) mais baixa e outras, já tem a marcação invertida. A diferença neste caso, é que as torres que começam com uma temperatura mais alta irão facilitar a extrusão do material e, consequentemente gerar uma aderência melhor sobre a mesa.

Além das medições de temperatura, muitos modelos de torre incluem outras geometrias interessantes que adicionam outros pontos importantes de análise como overhangs, bridges (pontes), elementos pequenos para verificar a ventilação, entre outros. Na seção links, você irá encontrar três modelos interessantes de Torre de Temperatura Para PLA, ABS e PETG

Com a Torre de temperatura já finalizada, o que devemos analisar?

- **Temperatura:** O primeiro item a ser analisado é a temperatura. Observe “andar” por “andar” da torre e analise em qual deles a qualidade ficou ruim. Considere aqui, analisar imperfeições na peça, falhas ou subextrusão, brilho do filamento, derretimento/deformação excessiva;
- **Bridge:** Juntamente com a análise da temperatura, observe as pontes. Verifique em qual andar da torre ela ficou com melhor acabamento. Um detalhe importante é que as pontes não devem ter nenhum tipo de support, pois o objetivo é identificar qual temperatura consegue criar partes 100% impressas no ar e com um bom acabamento. Desta forma, observe abaixo de cada ponte como ficou as linhas do filamento considerando se há muitas “barrigadas” do filamento. Caso tenha uma barriga grande, possivelmente a temperatura está mais alta do que o fan consegue resfriar. Por outro lado, verifique se as linhas tem uma aderência boa entre elas, pois caso não tenha, podemos inferir que a temperatura está mais baixa do que a extrusora consegue depositar o filamento. Um ponto complementar aqui é observar se a venti-



lação da sua impressora está suficientemente boa para filamentos como PLA que necessitam de uma ventilação alta para auxiliar no resfriamento do filamento;

- **Detalhes de escrita:** Observe nos descritivos das temperaturas se houve algum tipo de deformação. Esta análise é importante para entender se a temperatura correta consegue manter os detalhes da peça;
- **Bottom Layer e Top Layer:** Analise as partes superiores e inferiores da peça a fim de entender se a temperatura utilizada foi suficiente para criar as camadas de forma lisa, com uma boa aderência e sem deformação;
- **Detalhes pequenos:** Os pontos pequenos tem um fator bem importante para analisar o quanto a temperatura está adequada quando o hotend fica um tempo maior sobre uma parte pequena. Dependendo da temperatura, a parte pequena poderá ficar bastante deformada; Além disso, podemos observar se a velocidade juntamente com a ventilação está adequada para estas pequenas áreas. Normalmente, nas áreas pequenas é interessante trabalhar com velocidade menor e com a temperatura ideal;
- **Stringing:** Esse é um erro de impressão que está diretamente ligado ao parâmetro de temperatura. A Stringing são aquelas linhas ou que ficam aparentes na modelo. Isso vem do fato da temperatura estar muito alta e, mesmo que a velocidade de retração da sua impressora esteja correta, ao ter a movimentação do hotend de um lado para o outro haverá um pouco vazamento de filamento;

- **Resistência:** Verifique se todas as camadas estão uniformemente depositadas. Em temperaturas mais baixas, se houver algum tipo de travamento onde a extrusora não consiga empurrar o filamento, faltamento você verá falhas na impressão, linhas das camadas sem aderência, subextrusão e, conseqüentemente uma resistência baixa. Uma dica interessante é fazer força sobre os andares com temperatura mais baixa de forma que você consiga até quebrar a torre. Desta forma, você terá certeza que aquela temperatura estará baixa demais para ser utilizada;
- **Overhang:** De forma resumida, overhang é o efeito que ocorre quando uma nova camada de material é parcialmente suportada pela camada anterior. Isso se dá por conta da ação da força da gravidade empurrando a camada superior sobre as camadas abaixo e, como não há sustentação, a probabilidade que haja uma falha de aderência ou uma má qualidade é grande. Uma das grandes dificuldades nas impressoras FDM é conseguir imprimir peças com ângulos maiores do que 60°. Sendo assim, analise a peça, andar a andar, buscando a temperatura que melhor consegue se adaptar aos ângulos mais salientados.

Com todos estes pontos e variáveis obtidas na análise da torre de temperatura, você agora, deve observar a peça que irá imprimir considerando a geometria, as pontes, as partes pequenas, os detalhes e contornos, resistência das partes de contato e escolher a melhor temperatura para que tenha uma excelente impressão final.

Mão na massa: Configurando uma torre de temperatura no PrusaSlicer

Chega de tanta teoria e vamos para o “**Show me the code**”, ou seja, vamos configurar uma torre de temperatura do Zero no PrusaSlicer. Para esta configuração, utilizamos a versão 2.3.3 do PrusaSlicer que é a última versão estável liberada, porém, caso já esteja utilizando a versão 2.4.0 Alpha, as configurações são as mesmas.

Com isto, a primeira etapa é importar o arquivo STL da torre de temperatura. Para esse tutorial, escolhemos uma torre chamada Smart Compact Temperature (link para download na seção links deste artigo). Você pode importar o arquivo de duas formas:

- Arrastando o arquivo STL para dentro do PrusaSlicer;
- Clicando sobre o menu File -> opção Import e por fim Import STL/ OBJ/AMF/3MF. Ao abrir a caixa de seleção dos arquivos, basta escolher o arquivo STL e clicar sobre o botão Open. (Figura 3);

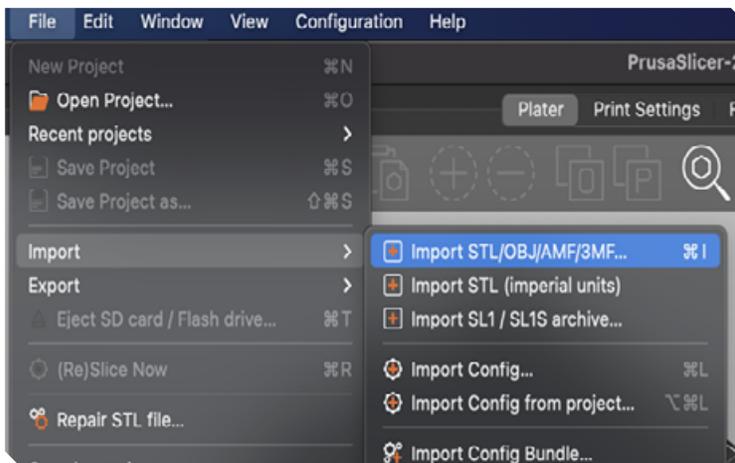


Figura 3 - Menu de importação de arquivos no PrusaSlicer

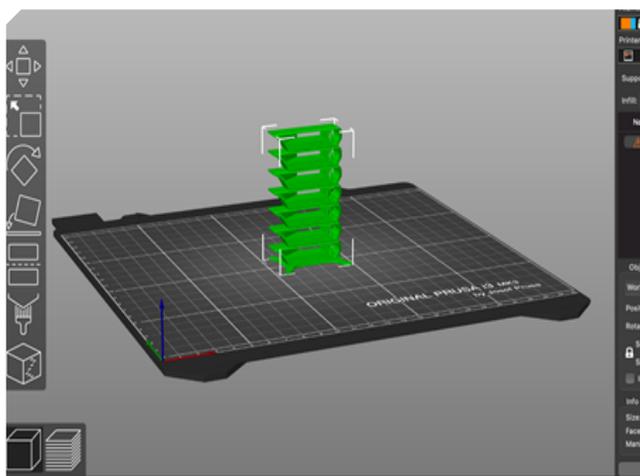


Figura 4 - Arquivo STL da Torre de Temperatura importado no PrusaSlicer

Com o arquivo já carregado, vamos precisar definir qual altura de camada iremos utilizar, assim como a quantidade de parede, velocidade da impressão e por fim, configurarmos as mudanças de temperatura. Para tanto, como queremos criar um arquivo que teste, além da temperatura, é bastante importante utilizarmos um perfil base, que, a partir dele, conseguimos efetuar mudanças e adaptações para qualquer tipo de impressão.

Para este artigo, iremos utilizar um perfil baseado em altura de camada em 0.2mm, com 2 camadas de parede e com a velocidade base dos perímetros em 45ms. As configurações base você pode observar nas figuras 5 e 6.

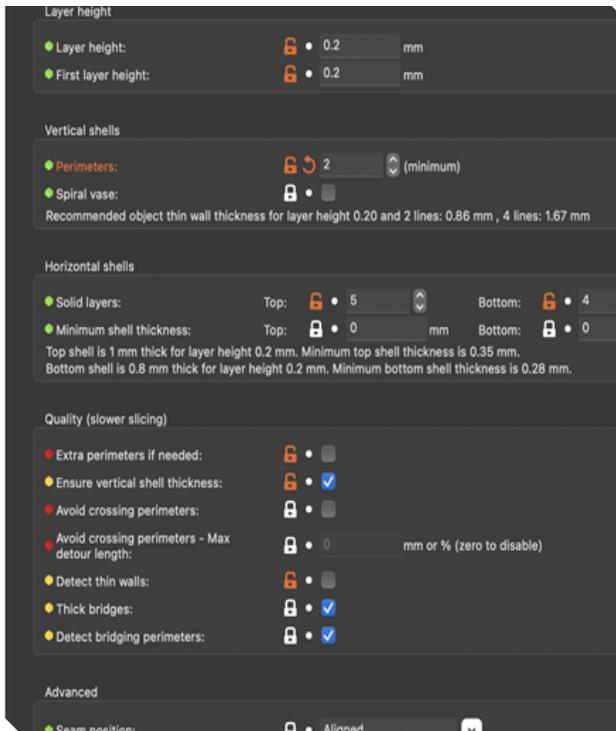


Figura 5 - Configurações bases de Layers e Perimeters

Definida as configurações, vamos iniciar o processo de fatiamento, para isso, volte para a visão “**Plater**” e clique sobre o botão “**Slice now**”. Com a peça já fatiada, perceba que o prusaSlicer marca em **azul** as partes que têm overhang e que possivelmente

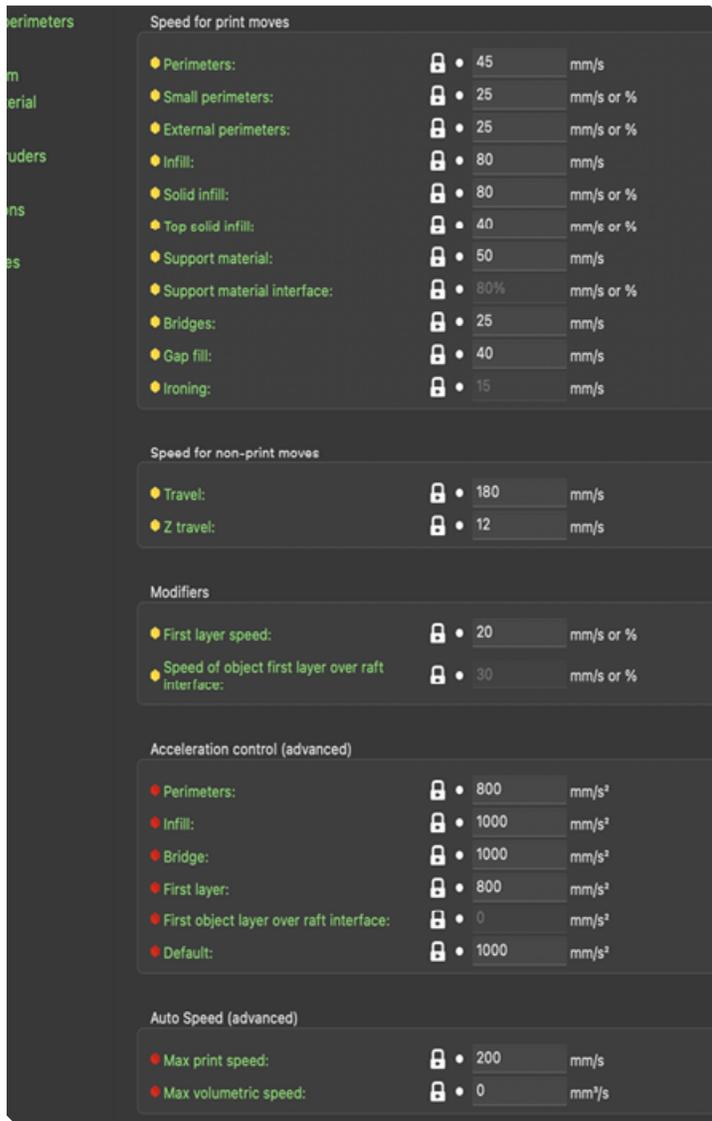


Figura 6 - Configurações base de Velocidade

precisam de suporte (Figura 7). Neste caso, não utilize nenhum tipo de suporte pois a ideia é testar todos os pontos e possíveis falhas durante a impressão da Torre de temperatura.

Com o fatiamento pronto, repare que o modelo tem um número diferente de temperatura a cada andar, começando com

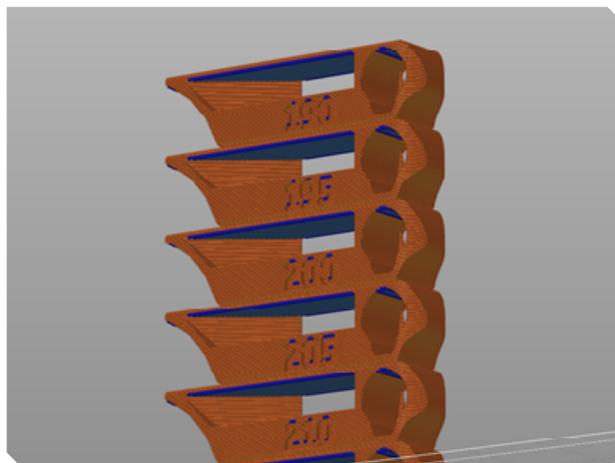


Figura 7 - Marcação em azul representam partes de overhang ou que necessitam de suporte

uma temperatura mais alta, 220, e finalizando com 190. Desta forma, vamos configurando a temperatura inicial. Esta configuração de temperatura é adicionada na aba Filament Settings dentro da opção Filament, conforme apresentado na figura 8. Nesta área é possível configurar quatro (4) parâmetros divididos em duas (2) seções:

Nozzle:

- **First Layer:** Temperatura que será utilizada para o início da impressão;
- **Other Layers:** Temperatura utilizada para as demais camadas, ou seja, para o restante da impressão. Um detalhe interessante é que esta configuração será utilizada até o início do segundo andar da torre de temperatura onde iremos configurar uma mudança de temperatura.

Bed:

- **First Layer:** Temperatura utilizada na mesa para a primeira camada;
- **Other layers:** Temperatura que será utilizada para as demais camadas; Nesta configuração definimos duas temperaturas diferentes, preferindo uma temperatura mais alta, 65°, na primeira camada para auxiliar na aderência da peça e, para as demais camadas, manteremos 60°.

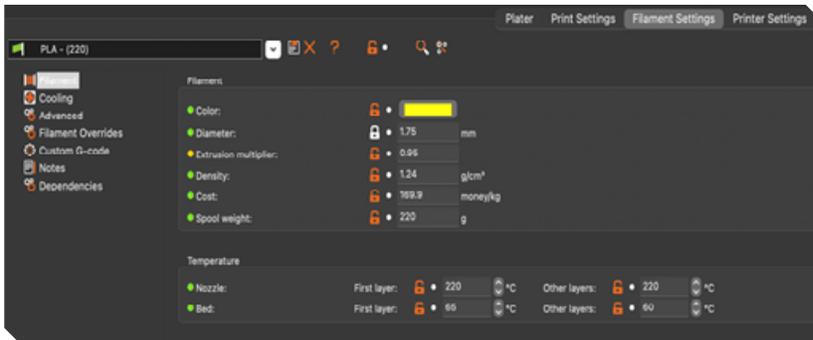


Figura 8 - Configuração de temperatura do Hotend e da Mesa

Após configurada a primeira temperatura, podemos configurar as demais temperaturas. Para isso, volte para a aba “Plater” e execute novamente o processo de fatiamento. As configurações de alteração de temperatura serão feitas utilizando o Scroll de layers. Para tanto, desça o scroll até a posição onde o segundo andar da torre de temperatura inicia. Em nosso caso, o segundo andar começa no layer 10.40, onde a primeira camada da ponte foi finalizada. (figura 9)

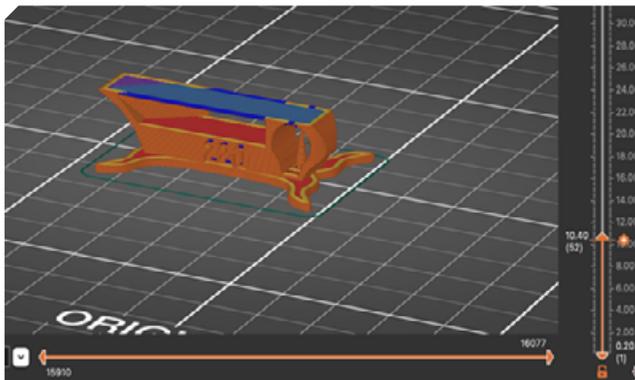


Figura 9 - Definição da primeira camada que terá a alteração de temperatura

No scroll de layers existe um menu escondido que é liberado quando você clica com o botão da **direita** do mouse sobre o ícone (+). Neste menu você irá encontrar três (3) novas opções e, dentre elas, iremos utilizar a última chamada **Add Custom G-code**. (Figura 10)

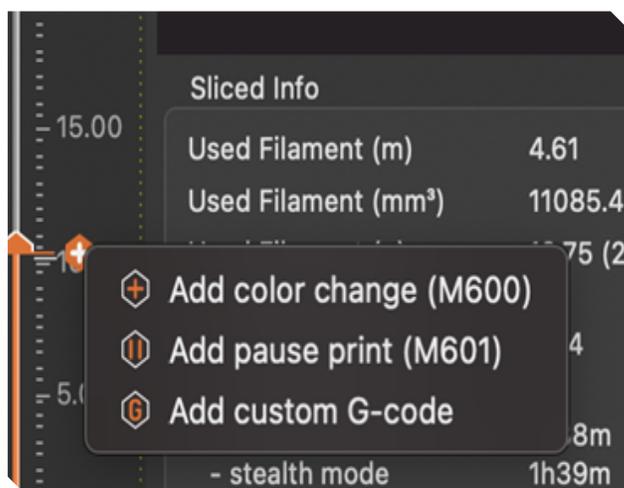


Figura 10 - Menu para configurações adicionais juntamente com a opção de Add Custom G-Code

Com esta opção, é possível incluir novos comandos que serão interpretados pela impressora quando a mesma chegar na altura definida. Desta forma é possível aumentarmos ou diminuirmos a temperatura de forma automática. Para que a temperatura seja alterada iremos incluir o comando **M104**. Este comando define uma nova temperatura que será aplicada a partir da camada que foi definida, porém, sem aguardar que a nova temperatura esteja definida. Caso queira aguardar a estabilização da nova temperatura, você deverá acrescentar um segundo comando chamado **M109**. Ele avisa a impressora para que a impressão fique pausada até que a nova temperatura esteja estável. Os dois comandos tem a mesma estrutura de código:

- **M104 S<NovaTemperatura>**
- **M109 S<NotaTemperatura>** (Aguarda a temperatura aumentar antes de prosseguir)
- **M109 R<NotaTemperatura>** (Aguarda a temperatura diminuir antes de prosseguir)

No nosso contexto, precisamos alterar a temperatura do hotend de 220°, configurada inicialmente, para a nova temperatura de 215°, conforme podemos observar na figura 11. Após incluir o

comando M104, clique em “OK” para salvar a adição deste novo comando.

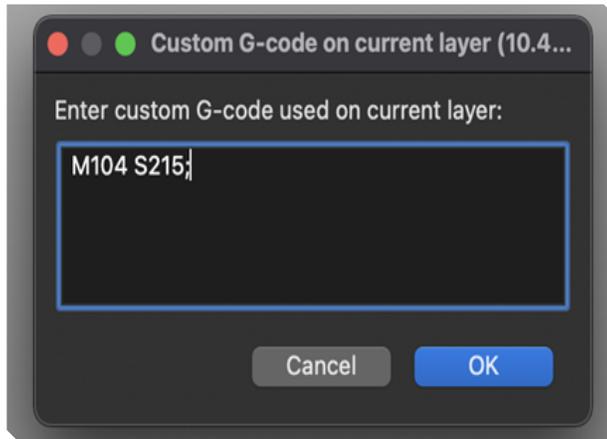


Figura 11 - Inclusão do comando M104 alterando a temperatura do hotend para 215°

Caso queria seguir o comportamento de aguardar a temperatura estabilizar para continuar a impressão, basta incluir a segunda linha com o comando **M109**, conforme apresentado na figura 12.

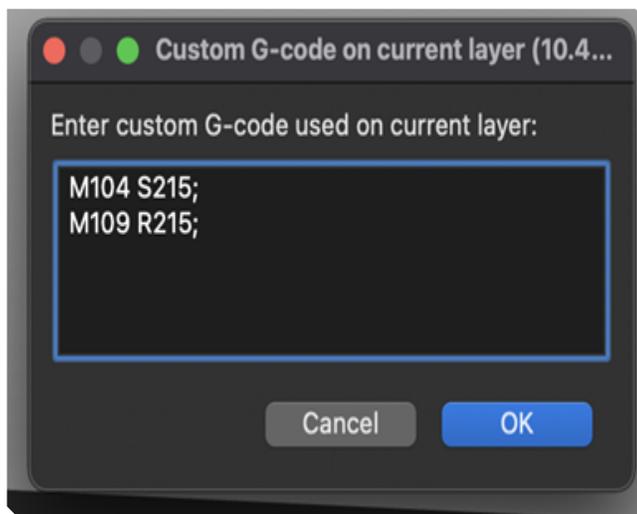


Figura 12 - Configurando uma nova temperatura assim como definindo que a impressão irá aguardar a redução de temperatura.

Um detalhe importante é que, após incluir o primeiro comando, não esqueça de adicionar o “;” no final da linha. Apesar das novas versões do Marlin conseguirem identificar o término da linha (EOF), por uma convenção e boa prática, sempre adicione o “;”.

Agora que a primeira configuração de alteração de temperatura foi incluída, basta efetuarmos a inclusão do mesmo custom g-code em cada troca de andar da torre de temperatura. Em cada nova inclusão, basta efetuar o mesmo procedimento descrito anteriormente apenas trocando o valor da temperatura, ou seja, 215° para 210°, depois 210° para 205° assim até chegar no último andar com a temperatura de 190°. Caso queira alterar alguma configuração, basta clicar sobre o ícone “G” e, na sequência, clique com o botão da direita sobre o ícone “X” e selecione a opção **Edit Custom G-Code**. Desta forma você conseguirá editar os valores definidos em cada marcação, conforme podemos observar na figura 13.

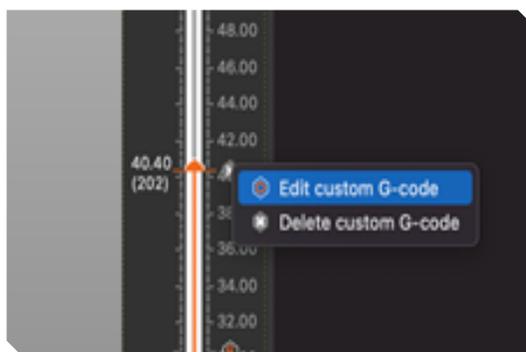


Figura 13 - Alterando configurações definidas nos custom G-Code

Com o arquivo gerado, já podemos enviar para a impressora e iniciar o processo de impressão da nossa nova torre de Temperatura. Terminando a impressão, faça a análise seguindo as dicas descritas neste artigo. Com certeza você irá melhorar bastante suas impressões. Além disso, trago uma dica rápida para problemas de oozing ou subextrusão:

- **Problemas de oozing:** tente reduzir a temperatura em 5-10°C, o que ajudará a evitar o excesso de extrusão.

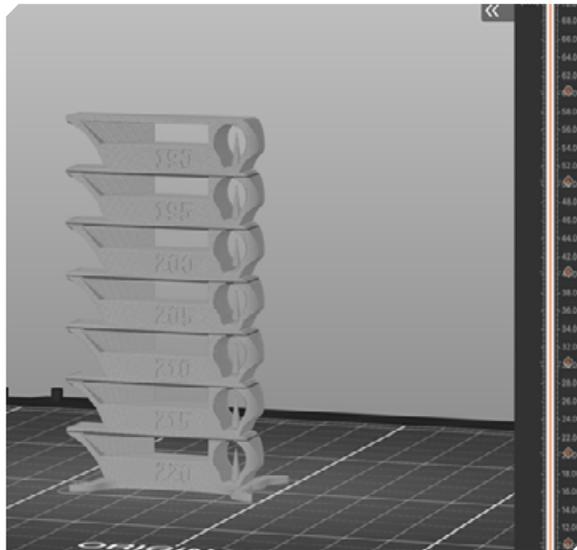


Figura 14 - Torre de temperatura configurada com os 6 pontos de troca de temperatura do hotend

- **Problemas com subextrusão:** tente aumentar a temperatura em 10°C para que o material flua mais facilmente através do bico.

Adicionalmente a todos os pontos já comentados nesse artigo, sempre é interessante ter uma base comparativa para nos ajudar nas análises das torres de temperatura e, para auxiliar, colo-

Tipo de Filamento	Range de Temperatura (Grau Celsius)	
	Extrusão	Mesa
PLA	195 - 220	50 - 65
ABS/ASA	220 - 245	100 - 110
PETG	235 - 260	80 - 90
Flex	220 - 260	80 - 90
Hips	230 - 240	50 - 110
Wood	200 - 220	55 - 65
Nylon	235 - 260	110 - 130
Intan	255 - 280	110 - 120
PAEK	370-400	>150

Tabela base e referência das temperaturas utilizadas nos principais filamentos

camos uma tabela base considerando os principais tipos de filamento assim como as possíveis temperaturas que podem ser consideradas.

Links:

- <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-018-2664-8>
- <https://www.scielo.br/j/rmat/a/dpWDvBJzSXYtzbKnJdDqH-Vg/?lang=pt>
- Smart Compact Temperature - <https://www.thingiverse.com/thing:4558473>
- Smart compact temperature calibration tower - <https://www.thingiverse.com/thing:2729076>
- Better temperature tower - <https://www.thingiverse.com/thing:2625999>
- <https://marlinfw.org/docs/gcode/M104.html>
- <https://marlinfw.org/docs/gcode/M109.html>

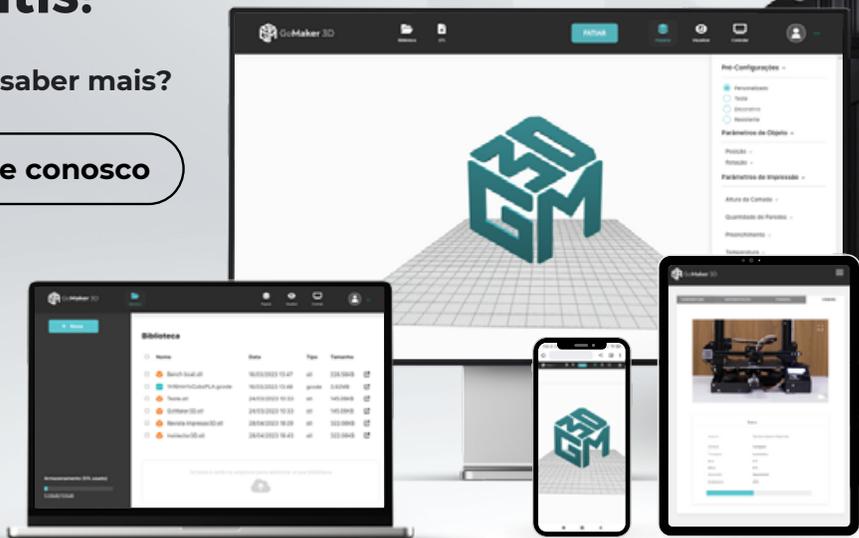
Gerencie as suas impressões 3D de qualquer lugar

- ✓ Acesse a **Biblioteca em Nuvem**.
- ✓ **Fatie** diretamente do navegador.
- ✓ **Visualize** sua peça camada a camada.
- ✓ **Controle remotamente** mais de uma impressora ao mesmo tempo.
- ✓ Faça **Time Lapses** incríveis!

Teste por
30 dias
grátis!

Quer saber mais?

Fale conosco



produto desenvolvido pela  INOVECTOR3D





RADIAÇÃO SOLAR

A vilã invisível das peças plásticas



POR **BRUNO OLIVEIRA**

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul Coordenador de Negócios da ADDITIVA 3D Printing Technologies.

📷 @obruno3d

Ao selecionarmos o material adequado para qualquer que seja a aplicação, devemos analisar como ele se comporta nas condições de uso, ou seja, pensar na sua performance. Sempre levamos em conta 3 principais aspectos: mecânico – se o material resistirá às tensões aplicadas, térmico – se suporta a temperatura de serviço, seja ela alta ou baixa, e elétrico – se o produto precisa ser isolante, condutor ou até mesmo antiestático.

De fato, são propriedades extremamente importantes de serem entendidas, mas existe uma condição que também afeta de maneira significativa a vida útil de peças plásticas impressas em 3D: o intemperismo, ou, de maneira mais direta, os efeitos do ambiente sobre o nosso material.

Vamos pensar em dois cenários. No primeiro, você está em estádio de futebol em um domingo de sol assistindo seu time ganhar um clássico. Boa parte do estádio não possui cobertura, o que significa que as cadeiras de plástico ficam constantemente expostas ao sol, chuva, vento e umidade. No segundo cenário, ao invés disso, você decide que é melhor ir a um ginásio ver um jogo de basquete. O ambiente é fechado e, portanto, não temos o efeito de sol e chuvas lá dentro. Considerando que as cadeiras do estádio e do ginásio sejam fabricadas com o mesmo material e que recebam pessoas em uma mesma frequência, qual delas você acha que terá um menor tempo de vida útil? Qual terá a tendência de apresentar falhas, sejam elas estéticas ou estruturais, primeiro?

Quem respondeu que é a cadeira no estádio, já entendeu o conceito do efeito do intemperismo e seus agentes (radiação solar, chuva, vento e umidade). Neste texto, quero aprofundar um pouco mais em um dos principais fatores de degradação em peças plásticas: a Radiação Ultravioleta (UV), presente nos raios solares, e quais os melhores filamentos para aplicações em ambientes externos.

A radiação UV responde por uma pequena porção do espectro solar – cerca de 5%. O quanto desses raios chegam na sua peça vai depender na região em que você se encontra e da época do ano. Esses fatores influenciam diretamente no grau de degradação que um plástico pode sofrer.

A degradação do polímero começa quando a luz UV dos raios solares é absorvida por vários grupos químicos do material. Este processo danifica o polímero, quebrando as ligações moleculares e reduzindo o polímero a fragmentos menores. Essa é uma reação química irreversível e que traz 3 importantes consequências:

- **Perda nas propriedades mecânicas:** O comportamento elástico do polímero, bem como sua resistência à tração e rigidez são alterados.
- **Mudança na aparência da peça:** A cor começa a ficar opaca ou amarelada, trincas surgem e há uma perda no brilho do material.
- **Alteração dimensional:** É comum o em-penamento das peças que sofrem degradação pela luz UV.

De uma maneira esquemática, as etapas do processo de degradação são as seguintes:

Radiação UV -> Material Plástico -> Absorção da radiação UV -> Degradação das cadeias do polímero -> Redução na vida útil da peça

Existem algumas maneiras de reduzir o efeito catastrófico dos raios UV em um polímero (e não, passar protetor solar não é uma delas). Eu falo de uma prática bem comum da indústria plástica, que é a incorporação de aditivos, cargas (reforços), corantes e estabilizantes.

Destas soluções, apenas os estabilizantes UV têm como função principal conferir maior resistência à essa radiação. Eles atuam absorvendo boa parte da radiação que seria absorvida pelos polímeros, evitando o processo de degradação das cadeias.

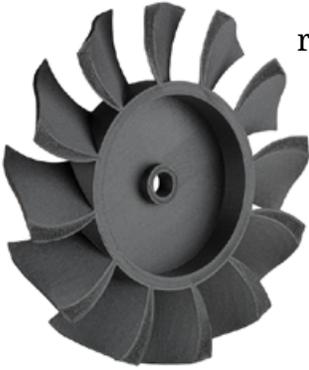
Já no caso dos reforços, como as fibras de vidro, este efeito é secundário, uma vez que o objetivo do reforço é aumentar a rigidez do material. É o mesmo caso de alguns corantes especiais que possuem algum efeito na resistência à degradação sob a luz solar.

Filamentos com alta resistência à radiação UV

Alguns materiais disponíveis para impressão FDM são extremamente adequados para aplicações em ambientes externos, justamente por conter algum dos componentes que reduz os efeitos desta degradação. Vamos conhecer alguns deles:

PP GF30

O polipropileno reforçado com fibra de vidro é um material bastante conhecido na indústria de injeção plástica por suas aplicações no setor automotivo e está cada vez mais em destaque no mundo da manufatura aditiva. As fibras de vidro são responsáveis pela maior resistência à degradação pela radiação UV neste mate-



rial, além de aumentar significativamente a rigidez em relação ao PP puro. Algumas características do filamento:

- Ideal para produção de peças extremamente rígidas e leves
- Resistência à umidade e radiação UV
- Resistência a diversos químicos
- Ampla faixa de trabalho da peça final: -20°C à 120°C

PA6 GF30



Mais um material de grande destaque no setor automotivo, agora disponível na forma de filamentos para impressão 3D. A poliamida 6 é um dos materiais de engenharia mais utilizados no mundo por conta da sua ótima resistência ao desgaste por abrasão, resistência à fadiga e esforços de tração. A adição das fibras de vidro tem o mesmo efeito que aquele no PP: aumenta a rigidez do material e o deixa mais resistente à exposição aos raios solares.

- Altíssima rigidez e resistência à tração
- Resistência à umidade e radiação UV
- Resistência ao desgaste por abrasão

ASA



Não podia faltar ele na nossa lista. Um dos materiais mais indicadas para peças utilizadas em ambientes externos, o ASA é um plástico originalmente desenvolvido como alternativa de engenharia ao ABS. De fato, ambos materiais possuem muitas similaridades: possuem boa resistência ao impacto, suportam temperaturas de quase 100°C e mesma característica de processamento na impres-

sora. O grande destaque fica por conta da alta estabilidade ao longo do tempo de exposição à radiação UV.

- Excelente resistência à radiação UV e ambientes severos
- Alta resistência ao impacto e abrasão
- Maior resistência térmica que o ABS

Entender os efeitos do ambiente, principalmente a radiação UV dos raios solares, sobre a peça plástica nos dá uma importante vantagem na hora de selecionarmos o melhor material para o nosso projeto em impressão 3D. As opções vão desde materiais reforçados com fibras de vidro àqueles que possuem algum aditivo estabilizante UV ou corante específico. O uso de filamentos com essas características garante um tempo de vida útil superior ao componente, diminuindo a necessidade de manutenção e consequentemente os custos do projeto.



PLA NÃO É TUDO IGUAL!



POR EMANUEL CAMPOS

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

© @e2campos

Quando a Makerbot anunciou suas impressoras com PLA ela fez o que todo mundo faz, lançou uma impressora exclusiva para o material, a MakerBot 2, acompanhada de seu próprio PLA. Até hoje o PLA da Makerbot é algo muito particular, ele tem muito mais brilho que os demais materiais que conheci, uma excelente resistência mecânica, e por isso mesmo mandei o material para análise de laboratório, e descobri que o material PLA básico era acrescido de 15% de PETG, justamente para aumentar o brilho e a resistência do material. Talvez por isso os materiais da Maker-Bot imprimam a uma temperatura relativamente alta, 215° C, e é provavelmente por isso que essa praga de material é impossível de imprimir sem raft.



Enquanto vemos o carbono como um problema, a natureza o vê como um recurso e um bloco de construção essencial.”

explicou **Bryony Schwan**, do The BioMimicry Institute.

Mas a experiência logo me fez perceber que os materiais não são todos iguais, e que existem, assim como diversas empresas anunciavam, diferentes tipos de PLA: PLA Basic, Plus, Premium, HT, Max, as designações são inúmeras, mas felizmente, as bases são poucas.

Hoje temos importantes fornecedores dos materiais orgânicos que tanto amamos, através da ENTEC o mercado pode receber a linha INGENEO 3D da NatureWorks: o PLA Basic, PLA para altas temperaturas (chamado de Resistente ao Calor) e o PLA de altas temperaturas e grande resistência ao impacto, chamado de PLA HT - High Temperatures ou Altas Temperaturas. Faz mais sentido no inglês, onde o 3D850 é resistente ao calor, Heat Resistente, enquanto o 3D870 é HT-HI - High Temperature, High Impact.

A BASF também tem seu material PLA assim como a Earth Renewable Technologies, ou ERT para os íntimos, também tem sua própria liga. Recentemente a empresa 3DX Filamentos lançou sua própria linha de PLA Reciclados, tornando nosso material orgânico ainda mais verde, e tudo isso sem mencionar a já citada MakerBot que também desenvolveu seu próprio PLA com PETG. Ao todos, temos hoje 8 fabricantes no país de PLA, em Pellets e prontos para serem processados e virarem filamentos. Mas o que muda, e por que tantos tipos de PLA?

Como abordamos na revista número 20, de outubro de 2022, no artigo “O mundo quântico dos polímeros”, polímeros podem ter sua estrutura molecular amorfa ou cristalina, e de acordo com essa

estrutura, temos diferentes resultados no material com relação à diversos fatores, dois dos quais são fundamentais para nós: a resistência ao impacto e a resistência ao calor.

Comparando laranjas com laranjas

Para este artigo irei me focar nos materiais da NatureWorks, distribuídos no país pela ENTEC, empresa na qual eu atuo como consultor de mercado, mas como via de regra, imagino que traçar um paralelo entre as marcas não será tão difícil, quando o PLA é básico, considere-o próximo ao 4043D, e quando for plus, max, premium, supercalifragilixspeadow (quem lembra dessa referência?), considere-o entre os materiais 3D850 e 3D870.

“Quando a NatureWorks teve a ideia, em 1989, de transformar gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, em materiais de desempenho, a empresa buscou inspiração nas plantas e na natureza. O resultado, após profunda reflexão e inovação, foi o Ingeo – um polímero agora encontrado em produtos como cápsulas de café, fraldas, copos, embalagens de iogurte e eletrônicos, e agora, outros produtos impressos em 3D graças ao filamento Ingeo da NatureWorks, mais conhecido genericamente como PLA. Por exemplo, estes marcadores de tee de golfe impressos em 3D foram impressos para a parada 2021 Zurich Classic no circuito PGA.”



Marcadores de tee de golfe impressos em 3D foram impressos para a parada 2021 Zurich Classic no circuito PGA.

“O primeiro passo da NatureWorks para transformar esses gases de efeito estufa em produtos envolve o uso de culturas agrícolas para sequestrar carbono – o que efetivamente “conserta” o gás como um simples açúcar vegetal por meio do processo de fotossíntese.” (extraído do artigo de 2022: <https://www.voxelmatters.com/natureworks-ingeo-biobased-polymer-for-3d-printing/#>)

INGEO 4043D: Ainda que não tenha sido desenvolvido exclusivamente para impressão 3D esse material para usos gerais é indicado para produção de filamentos de qualidade para aplicações básicas, como protótipos conceituais diversos, para a indústria ou microempresa, para testes de dimensão e montagem, ergonomia e encaixes e para aplicações escolares ou uso por entusiastas em casa.

INGEO 3D850: Essa graduação apresenta rápida cristalização e é capaz de apresentar resistência à temperatura e a impactos aprimorados para peças impressas em 3D.

INGEO 3D870: Desenvolvido para apresentar alta resistência a temperatura e a impacto em peças feitas por manufatura aditiva, esta formulação apresenta propriedades mecânicas iguais ou superiores ao ABS ao mesmo tempo que se apresenta como uma alternativa a materiais baseados em estireno (a letra “s” em ABS).

Tratamentos Térmicos

Antes de falarmos mais sobre os materiais, é importante ressaltar que as peças impressas podem sofrer tratamentos térmicos após a impressão 3D, e que isso afeta muito a resistência mecânica e térmica da peça. Basicamente uma boa sauna após a impressão 3D permite à peça reorganizar sua estrutura interna, diminuir tensões causadas pelo endurecimento rápido após o material passar pelo bico de sua impressora, e ajuda a peça a subir em suas resistências gerais à temperatura e a impactos.

São duas as formas de tratamento térmico que podemos fazer, chamadas de anelamento, ou recozimento, trata-se de aquecer as peças impressas a determinadas temperaturas, por um período de tempo. Se a peça simplesmente for colocada no forno, as temperaturas e tempo de exposição são menores, e mesmo assim

a peça irá sofrer alguma deformação e encolhimento, mas se a peça for colocada dentro de uma forma com areia ou sal compactado ao seu redor, ela poderá ser exposta a maiores temperaturas e por mais tempo, ganhando valores maiores de resistências a temperatura e a impacto.

É praticamente impossível não falar de estudos em impressão 3D sem citar ao Stephan do canal do youtube CNCKitchen, e tratamentos térmicos para impressão 3D não é exceção, neste (<https://youtu.be/dOzVuoBP9gY>) vídeo Stephan nos mostra os processos que ele próprio utilizou no recozimento, e nos dá a dica de manter os materiais ainda na base de impressão para tentar reduzir o empenamento e distorção das peças.

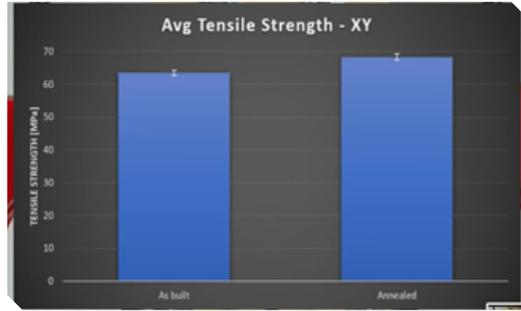


Evidentemente, assar peças em areia ou sal irá resultar em peças com certa “crocância” após o processo, e um retrabalho estético será necessário, mas raramente usamos esses tratamentos térmicos pela estética, não é mesmo?

Quanto tempo assar uma peça sem ou com areia ou sal? Bem, isso depende muito de peça para peça, e infelizmente ainda é uma daquelas áreas da impressão 3D que é mais “arte do que ciência”, afinal a peça pode ser sólida ou oca, com 2, 4, 6 ou infinitas paredes

NOTA DO EDITOR

O termo PLA foi que mais se popularizou no meio comercial e entre os usuários, deixando o termo INGENIO mais exclusivo ao vocabulário industrial.



de contorno, com regiões de grandes volumes e, numa mesma peça, regiões de paredes muito finas, então o processo é ainda muito empírico, o que temos como referência são os valores usados no corpo de prova, normalizado, e segundo a NatureWorks, estes são os dados recomendados:

Em termos gerais, estes são dados disponíveis sobre os principais materiais da INGEO NatureWorks:

Propriedades	4043D	3D850	3D870
Gravidade específica (D792)	1,24	1,24	1,22
Reologia (MFR - Melt Flow Rate) (D1238)	6	7-9	9-15
Viscosidade (D5225)	4	4	-
Translucidez	Transparente	Opaco (cristalino)	-
Pico de Temperatura de Derretimento (D3418) °C	145-160	165-180	165-180
Transição vítrea °C	55-60	55-60	55-80
Propriedades Mecânicas			
Resistência à tração, psi (MPa) (D882)	8700 (60)	7440 (51)	-
Resistência à ruptura, psi (MPa) (D882)	7700 (53)	7290 (50)	5802 (40)
Módulo de tração, psi (MPa) (D882)	524k (3,6k)	325k (2,3k)	416k (2,8k)
Tração de alongamento %	6	3,31	-
Impacto IZOD com entalhe, ft-lb/in (J/m) D256	0,3 (16)	2,21 (118)	2,99 (160)
Resistência à flexão, psi (MPa) (D790)	12k (83)	-	10,5k (73)
Módulo flexural, psi (MPa) (D790)	555k (3,8)	-	350k (2,4k)
Temperatura de distorção, °C 66psi (0,45MPa) E2092	55	80-90	75-85

E para os tratamentos térmicos, estes são os dados:

Temperatura de recozimento	-	80 a 130 °C	110 a 120 °C
Temperatura de impressão 3D	190 a 230 °C	190 a 230 °C	190 a 230 °C
Temperatura da mesa*	-	-	-

Procedimento para Recozimento

Ingeo 3D870 é formulado para cristalizar quando recozido após a impressão. A cristalização é uma rota simples e eficaz para melhorar o desempenho térmico e melhorar ainda mais as propriedades de impacto do Ingeo 3D870.

A temperatura de recozimento recomendada é na faixa de 110 °C - 120 °C. O recozimento pode ser realizado em um forno ou algum outro meio de transferência de calor, como um banho de água quente. Certifique-se de seguir os procedimentos de segurança apropriados para trabalhar em temperaturas elevadas.

Abaixo está um diretriz geral para peças de recozimento impressas com Ingeo 3D870:

1. Pré-aqueça o forno em uma faixa de temperatura de (110°C-120°C).
2. Meça a temperatura em vários locais do forno para garantir a ausência de pontos quentes/frios. O aquecimento desigual pode levar a empenamento inesperado e desempenho abaixo do ideal da peça
3. Coloque a parte impressa no forno e inicie o cronômetro. O tempo típico para recozer peças com espessura de parede de 0,125 pol(~3,18 mm) é cerca de 20 minutos, mas este tempo depende da espessura da parede.
4. Para peças de grandes dimensões, é comum usar acessórios de suporte (por exemplo, gabaritos de alumínio) durante o processo de recozimento
5. Depois de retirada do forno, deixe a peça esfriar em condi-

ções ambiente. Minimize o manuseio, pois o interior da peça provavelmente permanece em temperaturas elevadas por mais tempo do que no exterior.

6. Se usar banho-maria para recozimento, a peça pode ter que ficar na temperatura por um tempo um pouco mais longo para cristalizar (já que o banho-maria não pode estar acima de 110°C-120°C, por uma característica da própria água quando ferve).
7. Meça as dimensões da peça antes do recozimento e novamente depois, para determinar a contração.

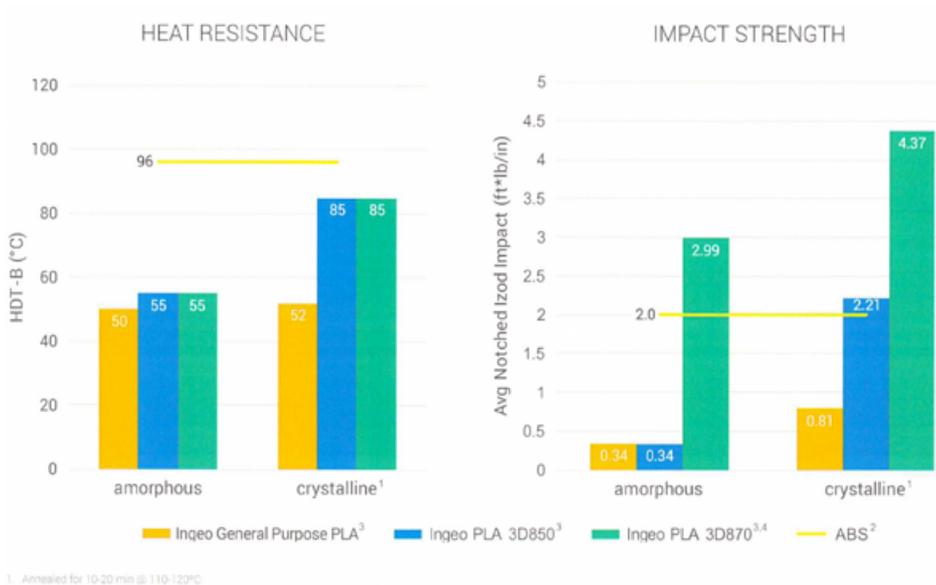
Depois de brincar de MasterChef com seu material um pouco, veja os impactos que isso pode ter, tanto comparando os diferentes tipos de PLA entre si, como com outros materiais, para referência:



Nessa “galhada” na parte superior, pode-se notar como os corpos de provas do INGENEO 3D870, ABS, PETg e PLA básico reagem ao serem aquecidos a 125 °C, e o mais impressionante é o resultado que o próprio PLA é aquele que sofreu menor distorção dentre todos os materiais.

EM CONCLUSÃO

Os materiais derivados da cana de açúcar ou das fibras do milho são materiais impressionantes, são como os pequenos



Hobbits em “O senhor dos anéis”, quando Gandalf diz: “Vocês Hobbits são impressionantes, você pode aprender tudo sobre vocês em um único dia, e mesmo assim, 100 depois, vocês ainda podem nos surpreender”. Se o PLA fosse um material de “O senhor dos anéis”, ele certamente seria um Hobbit, pequenos, tranquilos, com frequência subestimados, mas com a motivação certa, se tornam ainda mais bravos lutadores que quaisquer outros materiais.

Os PLAs não são todos iguais, e com certeza saber definir qual o material utilizar para sua aplicação é fundamental para bons resultados. PLAs são muito resistentes ao impacto e com pouquíssima deformação elástica, aquela que quando termina o esforço, a peça volta à condição original, fazendo deste material uma escolha perfeita toda vez que altíssima precisão se fizer necessária: berços, gabaritos, dispositivos “passa não passa”, instrumentos para metrologia. Mas se é só imprimir bonequinhos e brinquedos, mesmo assim, há um PLA certo, fácil de imprimir, pouca deformação e cada vez mais acessível em preços também, conforme o material se solidifica como o material mais consumido tanto no Brasil, como no mundo.



PLA: O MELHOR AMIGO DO MAKER?



POR **HUGO LOPES**

Recém formado em engenharia de produção (2019), cursando engenharia elétrica, atualmente empreendedor no ramo de impressão 3D e produtor de conteúdo digital através da HL 3D Maker.

📍 @hl3dmaker

S em medo da polêmica, sim o políácido láctico é o melhor amigo do maker, e sim esse é o nome do nosso “melhor filamento amigo”, e eu posso provar, mas como somos íntimos chamaremos de PLA mesmo, mas claro que nem sempre nossos primeiros melhores amigos permanecem até o final, a vida nos proporciona novas experiências conhecemos novas pessoas, lugares etc. Referenciando a analogia eu diria que você pode sim tirar o PLA do posto de “melhor amigo” e ter novos materiais preferidos,



mas neste artigo vou descrever minha experiência e dizer por que ele deveria ser pelo menos o primeiro melhor amigo de todo maker.

Bom este mês (setembro de 2021) é muito especial para mim, particularmente como maker, já que estou completando um ano da chegada da minha primeira impressora, fiz como muitos e muitas que começaram pela ender 3 a mais recomendada para o início já que se encontra bastante conteúdo sobre ela online, bastante material sobre manutenções e possíveis problemas, mas outros componentes da cartilha dos iniciantes são o fatiador CURA, também pelo acervo de conteúdos e comunidade ativa, e é claro filamento PLA, onde os mais experientes sempre diziam ser o material mais fácil de se utilizar no começo devido a temperatura de fusão mais baixa, temperatura de aderência na mesa mais tranquila e até mesmo o fator da ventilação ser bem aceita por este material, e é justamente sobre ele que será nossa conversa.

Para começar que tal pensarmos que o PLA sofre algumas injustiças, como por exemplo de que se trata de um material frágil, quando na verdade de fato é um material de baixa resistência térmica, quando comparado à ABS e PETG, por exemplo. Mas que não se trata de um material inútil à aplicações práticas, vamos encarar da seguinte forma, o PLA é um plástico que possui certa dureza, e paralelamente a essa característica, falta ductibilidade em suas propriedades, isso quer dizer que o PLA não é o melhor material para sofrer tensões, compressões ou deformações, pois muito provavelmente irá sofrer rupturas irre-

versíveis, mas isso também quer dizer que uma peça de aplicação feita em PLA mas que sofra esforços uniformes e de equilíbrio irá sim se comportar muito bem, um exemplo são suportes de garrafa de vinho (Thing:2797159). Resumindo o PLA não é o melhor material para engrenagens, mas pode ser um excelente material para um suporte de notebook, veremos ao entrar na toca do coelho.

Como entender a diferença entre as aplicações afinal? Veja, uma engrenagem sofre esforços cíclicos que geram desgaste contínuo na peça devido as forças que variam durante o funcionamento, atritos etc. Já um suporte de notebook por exemplo, sofre e esforço do peso do notebook, mas que não é variável, tão pouco cíclico, salvo em caso de que você apoie ou coloque peso sobre o equipamento, uma vez que o PLA resistiu a esse peso da aplicação na primeira vez, a resistência irá permanecer respeitando a vida útil do material e o deterioramento natural dele.

Certo então já que há espaço para o PLA além do aprendizado dos iniciantes e peças de decoração, como explorar esse lado mais aplicado do material? Ao se atentar à alguns dos parâmetros primários de impressão já conseguiremos aumentar a resistência nestas peças, por exemplo temperatura, quando imprimimos qualquer material acima da sua faixa média de fusão - dentro de limites razoáveis - já teremos uma adesão maior entre as camadas do que ao imprimir na temperatura mínima ideal, logo camadas com melhor fusão entre si, que irão gerar paredes mais resistentes. Além disso aumentar o número de paredes em suas peças aumentará significativamente a resistência delas e com isso mais possibilidades de aplicação.

Certo, vamos revisar, até aqui já te disse que o PLA não é tão frágil quanto pensa, e como deixar as peças mais resistentes à variadas aplicações, que tal partirmos para aplicações mais habituais com ele, até porque os benefícios do uso desse material só começaram. Decoração. Pelo menos entre meus colegas esta é a principal área de atuação com PLA, até porque as chances de sucesso são de fato um pouco maiores quando se configura um fatiamento com ele se comparado à um ABS, por exemplo, começando pela menor interferência do clima e da corrente de ar nas impressões de PLA, além de menor risco de contração térmica, o chatíssimo warp, só de não se preocupar com essa interferência externa ponto pro PLA,

afinal basta ativar os fans em 100% e se preocupar com os outros parâmetros, como fluxo e velocidade, que quando bem ajustados já começam a entregar peças de qualidade aceitável, e até finais.

Claro que o PLA não é só vitória, né? Sou defensor, mas não sou ditador, já que estamos falando de peças decorativas voltadas à venda, vale ressaltar que o PLA não é o material mais econômico, seu preço médio entre os fabricantes nacionais varia na média de R\$130,00 pelo Kg, enquanto o principal concorrente ABS está na média de R\$90 há inclusive casos de preços menores, e para piorar o PLA é mais denso que o ABS, isso quer dizer que em rolos de 1 Kg de PLA temos menos metros de filamento do que em 1 Kg de ABS, a diferença pode chegar à 70 metros. Ou seja, mais caro e ainda com metragem menor (😞).

Mas isso se torna detalhe, pois outro ponto positivo que nos faz pagar o preço, e muito interessante para os que visam produzir peças decorativas é que eu acho difícil conseguir um arsenal de cores como este que estou mostrando, se não fossem a variedade de opções encontradas no mercado para o PLA. Isso, claro, não é benefício do material em si, sim consequência da demanda da comunidade que ao longo do tempo foi canalizando cada vez mais sua preferência, e os fabricantes investindo cada vez mais em variedade para conquistar consumidores, mas de qualquer forma não deixa de ser um mega ponto vantajoso possuir essa variedade de cores e estilos no mercado para este material, temos silk, metálicos, translúcidos, foscos entre vários outros e cada um com inúmeras cores, além das misturas com madeira, grafeno e outros.

Por fim, caro leitor, a conclusão que fica é que o PLA é um material fácil de amar, tem pontos fracos significantes, mas contornáveis, o que o faz nosso xodó, afinal é pra ele que recorremos quando as coisas não vão bem com PETg, quando ABS descola da mesa, o ASA que não está com preço convidativo, ou o Nylon que ficou úmido só de citá-lo no artigo, sendo assim o PLA é o amigo que está com você sempre, pau para toda obra, desde que a obra não sofra com temperaturas superiores à 60°C, ou o amigo que esteve com você no começo, então você se afastou, mas sabe que pode sempre voltar pois confia nele, afinal o PLA é o melhor amigo do maker e quem discordar é fabricante de ABS (brincadeiras à parte).



ANÁLISE: PLA HT



POR **MURILO LAFFRANCHI**

YouTuber, Podcaster e apaixonado por impressão 3D.

[@3dgeekshow](#) [3D Geek Show](#)

Para quem não sabe uma das principais qualidades do filamento PLA é a facilidade para se imprimir com ele.

Por isso, normalmente esse filamento é o mais indicado para quem está começando na impressão 3D. Mas infelizmente como nem tudo são flores, o PLA também tem algumas desvantagens.

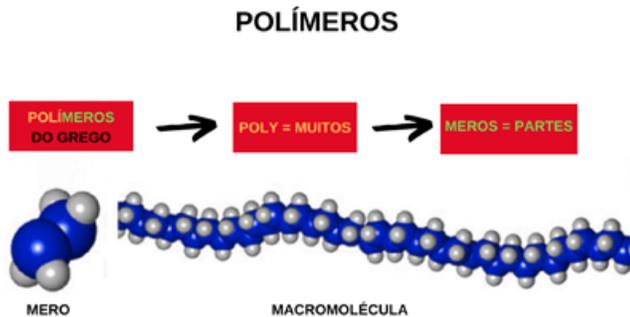
E eu acredito que a sua principal desvantagem em relação aos outros tipos de filamentos é em relação a resistência. Isso porque a gente sabe que um PLA comum já começa a sofrer deformação com uma temperatura a partir de 55 graus mais ou menos.

Ou seja, se você deixar um objeto feito com um PLA comum num dia de sol daqueles a chance dele derreter é bem grande! Isso

já não acontece com os filamentos ABS e PETG por exemplo que tem uma resistência térmica muito mais elevada em relação ao PLA, mas em contrapartida são bem mais difíceis para imprimir.

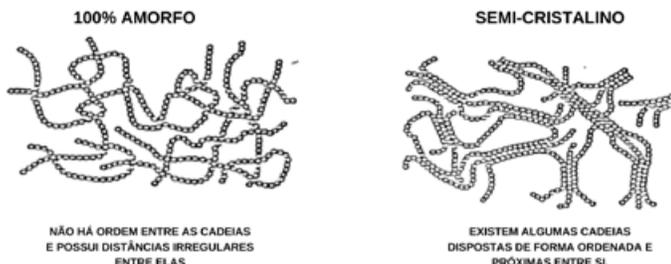
Principalmente para quem está começando na impressão 3D. E é justamente neste ponto que eu queria chegar. Mas para poder te explicar exatamente o que acontece a gente precisa entender umas coisinhas sobre moléculas antes.

Se caso você não sabia ainda, todo filamento é na verdade formado por polímeros. O que são polímeros você deve estar se perguntando! Bem resumidamente polímeros nada mais são do que macromoléculas que são formadas a partir várias unidades de moléculas menores.

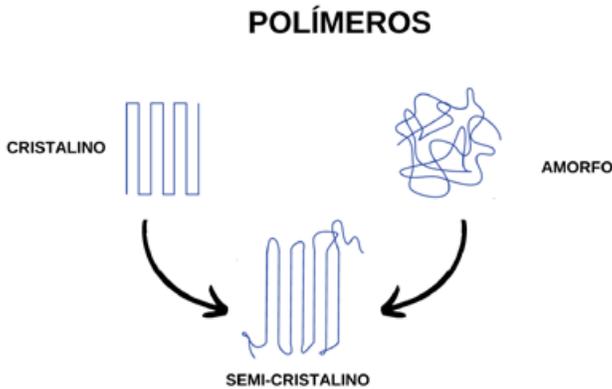


E quando a gente está falando sobre polímeros a gente também precisa saber que eles podem ter apenas dois estados. Ou eles são amorfos ou eles são semicristalinos.

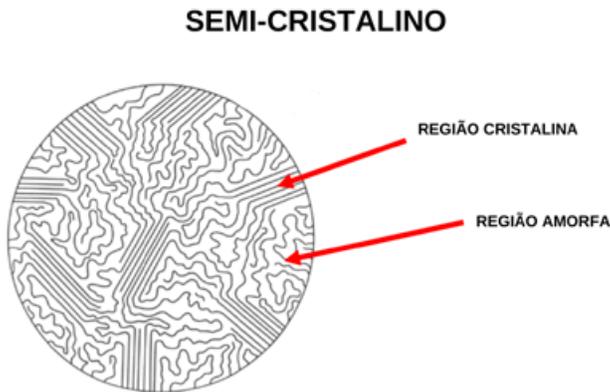
MICROESTRUTURA



Calma, eu sei que está complicado, mas em breve tudo vai fazer muito sentido! Quando o polímero está em um estado amorfo isso significa que se a gente olhar bem de pertinho a microestrutura desse polímero, a gente vai ver que está tudo bagunçado por lá.



Já em um polímero que está em um estado semicristalino a gente consegue ver que partes dessa microestrutura tão bagunçadas, mas também temos partes que estão todas ordenadas e próximas entre si.



Beleza! Agora que você já está com esses conceitos na cabeça eu vou te falar sobre a temperatura de transição vítrea! E calma que agora eu acho que eu vou explodir sua mente com o que eu vou te contar! Essa é a temperatura que faz uma alteração nas moléculas.

las do polímero que está em um estado amorfo e que não possui mobilidade, ou seja, está rígido, para um estado em que ele começa a amolecer.

E adivinha? Cada tipo de filamento tem uma temperatura de transição vítrea diferente. O filamento ABS por exemplo começa a amolecer em torno dos 100 graus. Já o filamento PETG amolece partir dos 80 graus. E o coitado do filamento PLA começa a amolecer perto dos 55 graus. Tá, mas e afinal o porquê que eu te contei tudo isso?

Essas informações são muito importantes para você conseguir entender uma propriedade muito legal do PLA HT. HT aliás significa “High temperature”, ou temperatura alta se a gente traduzir. E essa propriedade traz basicamente dois benefícios muito legais para você. Primeiro, é o fato de que ele vai suportar uma temperatura maior no bico da impressora. Isso consequentemente vai te permitir imprimir um pouco mais rápido do que você normalmente está acostumado.

TEMPETURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA	
FILAMENTO	TEMPERATURA
ABS	100°C
PETG	80°C
PLA	55°C

Já que com mais temperatura, ele vai amolecer bem mais rápido e vai conseguir acompanhar o aumento da velocidade da extrusora. E como se isso já não fosse legal o bastante ele tem uma outra característica muito legal. Depois que você acabou de imprimir o seu objeto, você pode colocar ele em um forno com uma temperatura por volta dos 100 graus durante uns 10 ou 15 minutos.

Calma! Eu sei que isso parece completamente louco. Afinal, a gente vai colocar um objeto de plástico e que supostamente começa a amolecer com uma temperatura em torno de 55 graus dentro de um forno né? Mas é aí que está o pulo do pulo do gato!

O PLA HT tem uma propriedade que aceita um tratamento térmico. Isso significa que quando a gente deixa a nossa impressão no forno que está a 100 graus durante uns 10 ou 15 minutos os polímeros que formam esse filamento vão sofrer uma alteração de estado.



Eles vão passar da amorfo pra semicristalino. Consequentemente por conta dessa alteração de estado, a temperatura de transição vítrea também vai alterar. E lembra que eu comentei que o PLA começava a amolecer com 55 graus. Pois é, depois que você aplica esse tratamento térmico no PLA HT ele passa a suportar uma temperatura de até 120 graus por conta dessa alteração de estado.

Isso significa que nesse quesito ele vai superar até mesmo o filamento ABS que suporta uma temperatura de até 100 graus. Mas como aqui a gente é igual o Silvio Santos e só acredita vendo, bora fazer um teste básico?

Eu fiz o teste com duas peças idênticas feitas com o filamento PLA. A única diferença entra elas é que o objeto rosa é um PLA comum que você encontra facilmente no mercado. E a o objeto cobre foi feito com um PLA HT.



Lembrando que o PLA HT já está com o tratamento térmico. Para testar a resistência térmica das duas peças eu vou utilizar um recipiente com água bem quente.



Vamos mergulhar primeiro o PLA Básico na água para o que acontece. E como era esperado depois de um tempinho ele já começa a sofrer deformação com a temperatura.



Bora testar o HT então. Para ser justo eu vou deixar o HT na água quente com o mesmo tempo que eu deixei o PLA básico. E como dá para ver na imagem, o PLA HT resistiu bravamente ao teste de resistência térmica e não sofreu nenhuma deformação sequer.





Fala sério se isso não é muito legal e não te dá uma série de novas possibilidades?! E se mesmo assim você ainda está na dúvida, eu te convido a fazer um teste aí na sua casa mesmo.

Eu preciso ainda ressaltar 3 pontos importantes sobre o PLA HT. O primeiro é que como ele sofre uma mudança de estado, isso faz com que ele sofra uma pequena contração depois do tratamento térmico.

Então se as medidas dos seus objetos tiverem que ser precisas, você vai ter que compensar isso na modelagem 3D ou no fatiador.

Outro ponto é que como você mesmo pode observar aí na imagem, depois do tratamento térmico o PLA HT perde o brilho e



fica mais opaco. Então, se o brilho for importante para você provavelmente você vai ter que refazer ele com pintura.

E terceiro, quando você for fazer o tratamento térmico dos seus objetos é recomendado pela própria 3Dprime que você não modifique nada nele, inclusive não retire nem os suportes.

Isso vai evitar que durante o tratamento térmico os seus objetos não sofram alguma deformação indesejada. E o bom mesmo seria arrumar alguma finalidade para os suportes depois não é mesmo?

Porque parafraseando meu amigo DIMI, se eles já eram insuportáveis antes, imagina agora depois do tratamento térmico. Eu espero que agora eu tenha despertado em você pelo menos um pouquinho de curiosidade em relação a esse filamento super legal.

E se você por um acaso testar esse filamento, passa lá das redes sociais do 3D Geek Show para me contar o que achou, combinado? Até a próxima!

ABS! AFINAL, QUAL É A POLÊMICA?



POR **AYRTON ARAÚJO**

CO-AUTOR **EMANUEL CAMPOS**

Técnico em marketing e em CGI. Criou o perfil Dicas 3D Print para compartilhar conteúdos e aprender sobre impressão 3D.

📧 @ayrtonmaker

Fala a verdade, você leu o subtítulo cantando na sua cabeça, não foi?

O plástico ABS, também conhecido quimicamente como acrilonitrila butadieno estireno, é a base de quase todos materiais plásticos que utilizamos. Presente do painel do carro à carcaças de celulares e laptops, é largamente utilizado em bens de consumo justamente por ter um bom coeficiente elástico, ou seja, aguenta boas pancadas antes de acumular uma deformação permanente.

Preferido por muito tempo pelos brasileiros na impressão 3D, esse polímero também tem vantagens de bastidores: é mais barato de comprar sua matéria prima, o volume mínimo de compra é menor, o que facilita o pequeno produtor de filamentos a comprar lotes menores, administrando mais facilmente o capital parado em estoque. E, se é mais utilizado, é mais fácil de achá-lo e acontece a economia de escala: mais fabricantes, mais oferta, mais concorrência, menores preços.



Apesar de ser inflamável em altas temperaturas, em comparação a outros materiais, o plástico ABS apresenta certa resistência ao calor e às baixas temperaturas. E apesar de não ter resistência a abrasão química, esse material se beneficia disso, com muitas pessoas usando soluções preparadoras de tubos para justamente, dar um acabamento liso aos objetos impressos, e facilitando a pintura.

Por fim, dada a alta demanda por ABS, há ampla oferta do material em cores, e também em aditivos, sendo a MakerBot, tradicional amante dos PLA hoje uma das grandes desenvolvedoras em novos materiais com ABS como ABS com Kevlar, ABS com fibra de carbono, ABS condutor elétrico e ABS dissipador de cargas eletroestáticas!

Final das boas notícias!

Mas afinal, nem tudo são boas notícias, como o mestre e filósofo da impressão 3D, Antonio Dimitrov costuma dizer:



ABS é feito de caldo de dinossauro, e quando o dinossauro ruge, a peça racha!

Antonio Dimitrov

Em outras palavras, o ABS pode ser chatinho para imprimir, sem um controle mais fino da impressão, ele tem um problema conhecido de empenamento, e isso não se limita apenas a deixar a peça impressa torta próxima à base, mas afeta até mesmo a aderência entre camadas. Quem nunca viu uma peça que você jura ter saído perfeita da impressora, e dias depois, aparecer uma rachadura entre as camadas? Isso quando a dita rachadura já não aparece durante a própria impressão!

Mas no geral, os baixos custos do ABS em relação a seus outros materiais compensam as eventuais falhas de impressão ou até mesmo, abrir mão de seu armário de roupas naqueles 15 dias mais frio que o Brasil atravessa uma vez por ano, só para ter um local quentinho para sua impressão, talvez enganar o ABS, e fazê-lo pensar que ele ainda está numa savana tropical nas eras cretáceas ou mesozoicas (eu poderia dar um google e ver qual foi a era dos dinossauros exata, mas deixo essa tarefa para vocês me corrigirem! - escreva para contato@impresso3d.com.br dizendo quando, afinal, foi a era dos dinossauros).

Queria muito que essas fossem todas as más notícias do mundo sobre o ABS, e tudo se limitasse a perder seu armário por 15 dias, mas é justamente o contrário. E como bom artigo vamos fazer uma volta para chegar às conclusões, venha comigo!

Todo polímero tem a característica de poder ser aquecido e resfriado, repetidas vezes, sem perder suas propriedades mecânicas. É o que os torna recicláveis. Essa característica, claro, ignora corantes aditivos e diferentes relações que diferentes fabricantes façam entre seus componentes, por isso é comum adicionar matéria virgem em materiais reciclados, entre outras razões.

Além dessa característica, outra propriedade que une os polímeros são os fatos de não terem fase líquida, eles saltam da fase sólida para a gasosa e vice-versa sem virarem “água”. Por isso imprimimos eles utilizando um outro fator, o chamado ponto vítreo da matéria, ou no inglês, Glass Melting Point. É a temperatura onde a transição terá início, de sólida para gás e através da força do cooler e dos motores de tração do cabeçote, empurramos esta pasta bico abaixo e peça acima, camada por camada. É onde também residem os problemas de toxidade do material que mais podem nos afetar.

A questão é que toda essa física que acontece durante a inocente primeira camada da peça que fazemos, e durante toda a peça, é claro, mas a primeira camada sempre tem o bônus de ter nossos olhos e narizes sobre a peça, admirando a calibração que fizemos, ela ocorre, literalmente bem debaixo de nossos narizes!

Onde um material está sólido e está virando gás, e quando o inalamos, ele deixará de ser gás e virará o que? Cance... digo,

sólido. Calma! Calma! Não joguem suas impressoras fora e nem queimem o material ainda! Existe um grau e um volume do que inalamos que podemos lidar, nosso sistema imunológico serve para nos proteger e boa parte desse gás vai parar entre os pelos do nariz, ou da barba e bigode daqueles que a tenham, uma parcela ínfima de fato é absorvida pelo nosso corpo, e honestamente, aqueles que ainda fumem não podem culpar essa mínima exposição à doenças futuras, fazendo ingestão de materiais mais tóxicos.

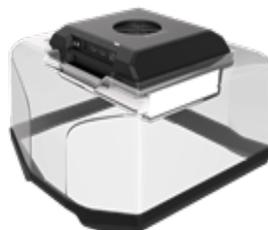
Existem estudos quanto a presença de materiais contaminantes no ar, esses estudos estão dentro das normas de segurança do trabalho, particularmente, eu conheço as gringas, RULA e NIOSH, mas com certeza tem algo na ABNT.

O que essas normas regulam é a quantidade de “partículas por milhão”, ou ppm, um material deixa no ar após sua utilização. Para escolas e empresas, onde se supõe um ritmo de uso intenso, materiais como o PLA foram exaustivamente testados e declarados sem perigo afinal, o PLA como material orgânico, ainda que absorvido pelo nosso corpo na forma de gás, e voltando a ser sólido ao esfriar, lá dentro de nosso corpo, o PLA é orgânico, e se não degradar sozinho, nosso corpo acha uma forma de se livrar daquilo depois.

Quem quiser ver um certificado NIOSH, a makerbot testou com o filamento dela, e publicou os achados (ou a falta de achados) aqui: <https://www.thingiverse.com/asset:233524>

Mas em resumo, os estadunidenses colocaram 20 impressoras em uma sala de 58m², com circulação de ar de 232m³ de ar por minutos, uma biblioteca típica deles, e em 2 horas com as 20 impressoras funcionando, não acharam medidas preocupantes de partículas no ar, valores abaixo de 0,03 µg/m³ de partículas.

Ou seja, o PLA, mesmo já sendo orgânico e menos danoso, ainda assim produziu uma quantidade insignificante de partículas. Por que então impressoras industriais para ABS possuem um filtro, chamado HEPA? A MakerBot Method tem, a Ultimaker S5 tem, as Stratasys têm...



Bom, por que ABS é mais perigoso que o PLA, pelos motivos que já falamos, por que indústrias têm um uso muito mais acentuado que escolas, em impressão 3D, e por que indústrias, e nossas casas, não têm circulação de ar forçada, como nas escolas. Muito menos nossos armários!

HEPA Filter significa, em português Filtro de ar de alta eficiência contra particulados. Provavelmente inútil contra gas mostarda, mas bom para absorver partículas do ar. Aliás, a promessa é de deixar o ar de seu espaço de trabalho não só livre de partículas, mas melhor do que estava antes!

Claro que tudo isso que falamos aqui é um alerta de um potencial perigo, avisamos hoje para que não precise ser burocratizado amanhã em normas e mais normas que dificultam entrantes no mercado e crie barreiras de entrada, e evidente que o ABS é só a face de um mal que todos os polímeros estão sujeitos, Policarbonato, PETG, Nylon, mas o ABS é o vilão da vez, justamente por sua larga aplicação, principalmente no Brasil.

Os grandes fabricantes internacionais de filamentos costumam oferecer um SDS - folha de dados de segurança - de seus filamentos, que trazem recomendações seguras que vão da armazenagem, contato com as mãos, o que fazer em caso de ingestão acidental, e como descartar, de forma segura para você e para o ambiente, os ditos materiais.

Lembrando que a impressão 3D é um processo que acelera certas características como particulados, e o SDS da resina bruta, aquela que é vendida à indústria que fará peças injetadas ou extrudadas ou até o filamento, não serve, tudo bem?



5 DICAS PARA IMPRIMIR COM FILAMENTO FLEXÍVEL

Você sabia que existe um tipo de filamento para a impressão 3D que é flexível?

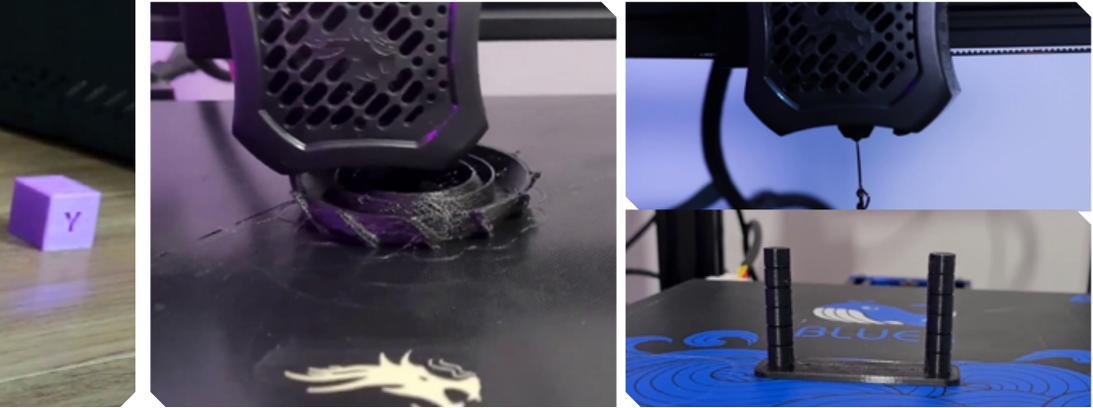


POR **MURILO LAFFRANCHI**

YouTuber, Podcaster e apaixonado por impressão 3D.

@3dgeekshow  3D Geek Show

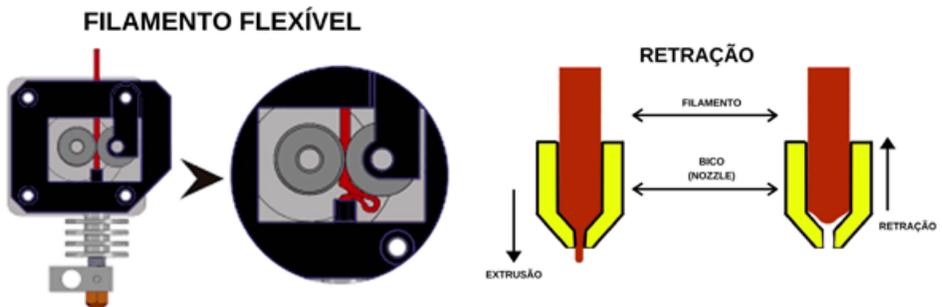
Pois é! Só que infelizmente ele não é muito amigável para quem está começando na impressão 3D. Mas calma que hoje eu vou te dar 5 dicas para você conseguir imprimir em 3D com o filamento flexível!



Os filamentos flexíveis normalmente são feitos de elastômeros termoplásticos (ou TPE), que na verdade é uma mistura de plástico rígido e borracha. Existem vários tipos de TPE, sendo o poliuretano termoplástico (ou TPU) o filamento mais comum usado na impressão 3D.

Uma coisa interessante é que os fabricantes conseguem controlar o quão flexível o filamento pode ser ou não, inclusive eu vou te mostrar dois exemplos daqui a pouco. Para imprimir filamentos flexíveis você tem que estar ciente de que eles apresentam alguns desafios, mas no fim das contas eles não são tão diferentes assim dos outros tipos de filamentos.

Claro que existe todo um conjunto de configurações que você precisa acertar para imprimir o flexível, mas a principal configuração que você precisa acertar antes de qualquer outra coisa é a velocidade. Isso porque como o material é elástico, fica um pouco





difícil controlar variações repentinas na velocidade de impressão. Por isso que normalmente quando a gente vai imprimir com o filamento flexível é recomendado que a impressão ocorra bem devagar.

Imprimir com uma velocidade alta pode fazer com que o filamento se dobre.

E se isso acontecer, muito provavelmente vai ocorrer um atolamento na entrada do seu hotend. Para ilustrar esse processo acontecendo imagina que esse tubinho é a entrada do hotend.

A minha mão vai funcionar como a extrusora, ou seja, quem vai empurrar o filamento para dentro. Quando a gente está imprimindo com um filamento que não é flexível, se eu empurrar com uma velocidade bem alta, mesmo que algo impeça a saída do filamento, ele não vai dobrar.

A única coisa que vai acontecer, é que você vai começar a ouvir alguns estalos. Mas, quando a gente está imprimindo com um filamento flexível, se eu empurrar com uma velocidade bem alta e algo impedir a saída do filamento ele vai acabar dobrando na entrada da extrusora.

Só que a extrusora não vai parar o movimento dela, e é aí que está o problema. O seu filamento vai acabar ficando todo emboado e a sua impressão vai falhar. Por isso a minha primeira dica é, começa imprimindo com uma velocidade bem baixa em torno de 20 milímetros por segundo.

Depois, se você sentir necessidade você vai aumentando a velocidade aos poucos. A segunda dica é em relação a temperatura no qual você vai imprimir o filamento flexível. É muito importante você entender que para que a sua impressão tenha um bom fluxo de filamento, é preciso achar um valor de temperatura que vai ser suficiente para derreter o filamento a uma velocidade constante.

Isso porque, como a gente já viu anteriormente, se caso a temperatura do hotend tiver muito baixa, pode ser que o filamento demore um pouco para derreter lá no bico da impressora. Mas a extrusora não vai parar de empurrar o filamento lembra?

Então, praticamente a gente cai no mesmo problema anterior, onde pode ocorrer um embolamento do filamento na entrada da extrusora. Porém, não vai pensando que é só aumentar bastante a temperatura do hotend não! Isso porque aumentar demais a temperatura do hotend, vai acabar causando outros problemas, como por exemplo o aparecimento daquelas teias chatas.

Outra coisa que pode acontecer em temperaturas mais altas também é o filamento flexível perder um pouco do brilho. Por isso é muito importante realizar uma calibração da temperatura para encontrar qual o valor ideal para esse filamento.

Só para você ter uma ideia, os filamentos flexíveis normalmente são impressos com temperaturas que variam de 220 até 245 graus. Mas claro, que essa temperatura pode variar de fabricante para fabricante, por isso é tão importante fazer a calibração para encontrar a temperatura correta.

A terceira dica é em relação ao suporte do carretel de filamento. Normalmente a gente coloca o carretel com o filamento próximo a extrusora e o próprio movimento da extrusora acaba puxando o filamento e desenrolando ele do carretel. Mas, como eu já mencionei antes, o filamento flexível possui uma certa elasticidade. Então, se por um acaso na hora de puxar o filamento para



dentro, a extrusora encontrar certa resistência, isso vai acabar esticando o filamento a medida que ele vai sendo puxado e pode consequentemente resultar em uma sub-extrusão nos seus objetos. Então nada de fazer gambiarra para colocar o suporte de filamento heim!

A quarta dica é em relação a retração. A retração, é aquele pequeno movimento onde a extrusora recolhe o filamento para aliviar a pressão do bico da impressora. Esse processo tem como principal objetivo interromper o fluxo de filamento quando a impressora não tiver imprimindo. Mas como você deve imaginar a retração pode ser um pouco problemática para os materiais flexíveis, já que eles têm certa elasticidade. Então normalmente é melhor minimizar o número de retrações necessárias quando a gente está usando o filamento flexível. Eu até indico que você comece a imprimir com o filamento flexível com a retração totalmente desligada. Aí, assim que você pegar o jeito com a velocidade e a temperatura correta, você pode ir aumentando a retração aos poucos até achar um valor adequado. Toma cuidado também com a umidade. Eu até já fiz um vídeo aqui no canal mostrando os

problemas que a umidade causa nas suas impressões. E no filamento flexível não é diferente.

Sem contar que a umidade vai atrapalhar bastante no processo de calibração da retração. A quinta e última dica é em relação a resolução de impressão. Quando você tiver imprimindo com filamento flexível prefira utilizar resoluções mais altas de impressão.

Algum valor entre 0.1 e 0.2 milímetros na altura da camada é o mais adequado neste caso. Isso porque uma altura de camada menor, requer menos filamento, e, portanto, permite que a sua extrusora use uma taxa de alimentação mais baixa, aliviando a carga sobre o filamento.

E lembra que eu comentei lá no começo que os fabricantes podem determinar o quão flexível o filamento pode ser ou não? Eu trouxe aqui dois exemplos de filamentos onde isso acontece. O PLAFlex e o FLEX da empresa 3DLAB. O filamento FLEX é um filamento do tipo TPU comum e que normalmente a gente precisa utilizar uma velocidade de impressão mais baixa para imprimir ele. Já o PLAFlex, que apesar desse nome, não tem nada de PLA, é um pouco diferente. Ele também é um material do tipo TPU, porém ele tem uma rigidez um pouco maior do que o flex comum. Isso permite que a gente imprima ele com as mesmas velocidades de um filamento PLA. E daí surgiu esse nome de PLAFlex.

POLICAPROLACTONA

Calma! Apenas o nome é complicado



POR EMANUEL CAMPOS

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

@e2campos

Ter conhecido esse fila-mento de nome bem chato de falar, Policaprolactona (*poli-ca-pro-lactona*) foi um desses frutos acidentais de ter trabalhado com a BioEdTech e a Quantis no desenvolvimento de bioimpressoras 3D. Em teoria não chega a ser muito diferente do próprio PLA, visto que esse é também um polímero orgânico, e nas bioimpressoras é muito utilizado para produzir suportes para as células se desenvolverem.

Aqui cabe um parêntese, na bioimpressão 3D os suportes, quando necessários, são impres-sos antes da impressão 3D, em separado. Vamos imaginar que queremos desenvolver uma orelha: você imprime com o PCL a orelha num formato aproximado ao



Foto: Pellets de PCL

desejado e sobre a orelha, em outra impressora, você deposita as células que formarão a cartilagem da mesma. Depois essas mesmas células serão estressadas, literalmente, em substância e meios ácidos, temperatura, para forçá-las a se defenderem e se fundirem com as células vizinhas. Ao fim desse pós-processo, também chamado de biorreator, temos a fusão celular, e elas efetivamente viram algo que queremos, nesse caso, uma orelha, no formato do suporte onde as deixamos. Esses suportes na bioimpressão são chamados de scaffolds, que traduzem inclusive como “andaimes”.



Mas outro dia, navegando na internet atrás de novidades fui ver os preços e novidades de uma das primeiras canetas 3D do mercado, a 3Doodler, e vi que tinham lançado um kit adequado para salas de aulas, do fundamental 1 ao ensino médio, e eu me perguntei como teriam feito para dar uma caneta 3D para crianças a partir de 6 anos. E lá estava a tal da PCL, da policaprolactona!

Acontece que esse filamento tem um baixíssimo ponto de fusão, de apenas 60°C, e não requer mesas aquecidas ou adesivos especiais para ser impressa, tornando sua manipulação não apenas mais segura, como sua impressão incrivelmente fácil de ser conduzida.

Com uma temperatura de ponto vítreo tão baixa, e que coincide com a resistência térmica de nossa própria pele, os riscos de queimaduras para crianças são mínimos, o material com pouco empenamento e muito fácil de trabalhar também garante que seja fácil de usar e de modelar com ele.

Esse é um material que tem enorme potencial do uso educacional, não apenas falar seu nome será um processo de alfabetização completo, mas também seria uma forma extremamente segura de trabalhar com crianças e impressoras 3D, quando não há forma de aliar uma boa impressora, com bom preço e boa segurança para crianças, talvez controlar a outra ponta do processo, o material, seja uma alternativa válida!

EXPLORANDO O HIPS

Conheça as principais características deste filamento



POR **EMANUEL CAMPOS**

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

📧 @e2campos

Quando Shakira gravou o sucesso Hips don't lie, eu tenho quase certeza que ela não se referia ao material Poliestireno de alto impacto, na verdade hoje sabemos que ela queria dizer que “os quadris não mentem”, e ainda por cima, é uma piada interna de Shakira e sua banda. (Veja a entrevista com Ellen de Shakira em 2005). Quando Shakira está trabalhando em uma música e ela não está sentindo que está ficando boa, ela diz à banda: “Nós temos que continuar trabalhando porque meus quadris não estão se movendo, meus quadris não mentem”. Então esta música é sobre o sentimento de Shakira entrando no ritmo da música enquanto dança.

Mas de qualquer forma, além de uma piada ruim, a música também serve para me lembrar sempre da sigla deste polímero tão interessante, e o que o torna interessante é o fato que esse polímero orgânico é solúvel em solução de D-Limoneno – ou óleo essencial de limão se não conseguir comprar o D-Limoneno. Ter um material solúvel é uma ótima opção (para impressoras de 2 cabeçotes) para resolver a questão que o sábio Antonio Dimitrov, vulgo, Dimi, batizou de “suportes são insuportáveis”. Fazer os suportes em HIPS não os torna mais agradáveis, mas ao menos é bem mais fácil de se livrar deles, basta deixar a peça em um balde de D-Limoneno de um dia para o outro, e pronto, de forma automática, o suporte desaparece e tudo que sobra é uma peça.

Mas o HIPS é mais que um material solúvel, tecnicamente,

Propriedades mecânicas	HIPS	ABS
Resistência à tração	16,9 MPa	30,46 MPa
Tensão de ruptura	13,02 MPa	25,89 MPa
Alongamento até ruptura	1,87%	4,52 %
Alongamento máximo	7,75%	11,08%
Tensão de flexão	29,30 MPa	46,30 MPa
Módulo de flexão	1.18 GPa	1,08 GPa
Resistência a Impacto IZOD	4,82 kJ/m ²	8,93 kJ/m ²
Propriedade Térmicas		
Ponto vítreo	98,69° C	107,89° C
Outras propriedades		
Taxa de fluxo de escoamento	7,14 g/10min carga 5kg/ 200° C	11,75g/10min carga 10Kg temp 220° C
Gravidade Específica	1,136 g/cm ³	1,195 g/cm ³
Dureza (Shore D)	73,2	69,2

ele é um material incrível. Sua alta resistência térmica o torna o par natural para imprimir com o ABS, ASA, PC-ABS e Nylons. Mecanicamente, velocidade entre 40 e 50 mm/s e temperaturas de impressão de 220 e 230C e uma mesa de 110C – nada diferente do ABS.

O HIPS não é o único material solúvel para impressão 3D por filamento que pode ser, relativamente, facilmente adquirido. Para o PLA, por exemplo, também podemos usar o PVA (Álcool Polivinílico) vulgarmente conhecido por cola branca. Incapaz de lidar com altas temperaturas, filamentos desse material são compatíveis com o PLA, embora sejam um pesadelo com relação à umidade, sendo ainda mais higroscópicos que o próprio saco de sílica gel que vem com rolos novos.

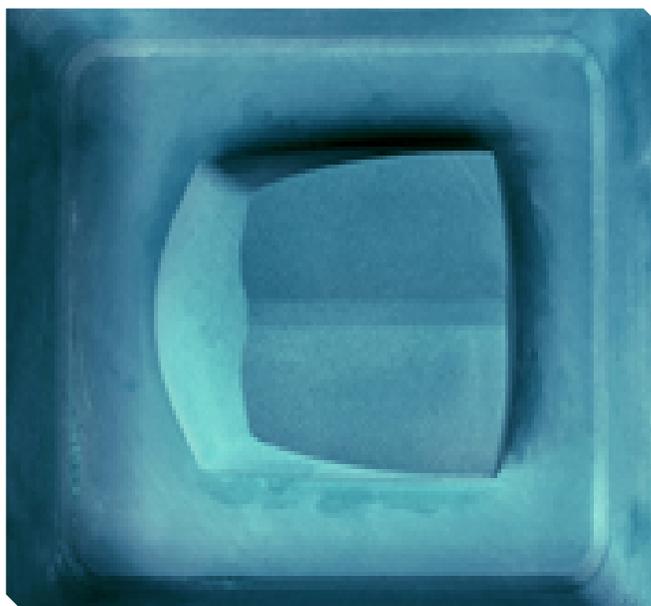
Mas fazer suportes solúveis em impressoras 3D de dois cabeçotes é só a metade da história, embora resolva um problema bem chato, que é remover os suportes, há muito mais potencial por detrás desse material, e que pode – e deve – ser explorada em impressoras com um só cabeçote, é o chamado núcleo solúvel.

Núcleo solúvel

Até existem impressoras capazes de imprimir materiais em fibra de carbono diretamente, ou em resinas mais resistentes e

praticamente isotrópicas (com a mesma resistência em todos os eixos), mas assim como uma vida melhor, essas impressoras também custam muito caro. Felizmente é possível obter objetos nesses materiais de formas mais parecidas aos meios tradicionais com os quais obtemos peças desses materiais sem a impressão 3D, mas ainda com ganhos em tempo e economias em dinheiro.

Hoje para fazer, por exemplo, um duto de ar para refrigeração de discos de freios, em fibra de carbono, de forma customizada para carros de corrida, nós utilizamos peças uma matriz de madeira, no formato que desejamos para obter tal duto. Essa madeira é cortada ao meio, e cada metade servirá de forma para aplicar as camadas de fibras de carbono sobre ela¹.



Nesse processo tradicional, o que é efetivamente custoso e demorado é produzir a matriz que receberá todas as camadas de fibra de carbono sobre ela. Em geral essa matriz é usinada em CNC e dependendo do processo de cura das camadas de material de fibra, pode ser feito em madeira, metais ou afins.

O que parece uma colagem de um trabalho infantil na imagem do meio vai a um forno com vácuo dentro, onde a pressão

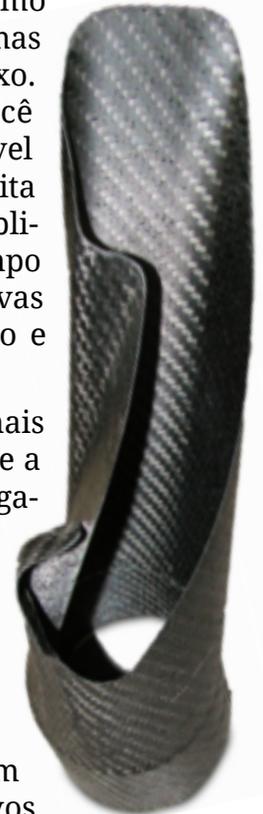


negativa e as temperaturas podem levar de 20 a 30 horas para tornar essa colagem em uma massa consistente e que parece incrivelmente heterogênea.

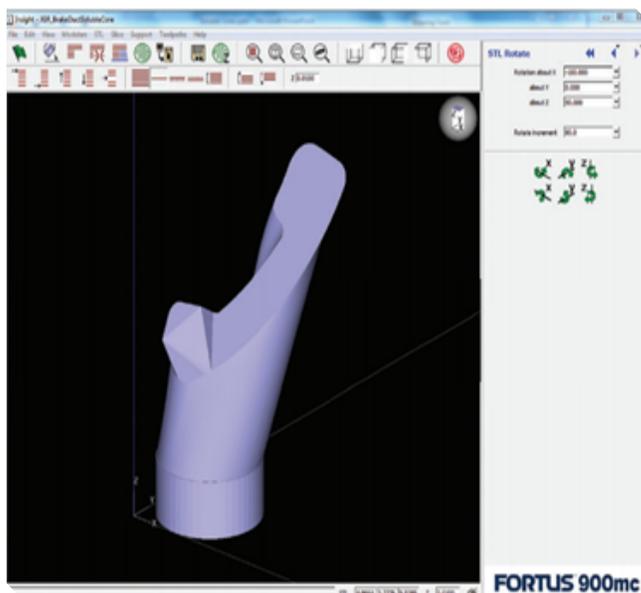
Para produção de peças que são abertas, como esse console veicular, esse processo termina aqui, mas para um duto de freio o processo é mais complexo. Para se fazer um duto pelo método acima, você precisa partí-lo ao meio, de outra forma será inviável retirar a matriz de dentro do duto. Cada metade é feita pelo método acima, e depois mais fibra pode ser aplicada para garantir a fusão das metades. E todo o tempo de forno é necessário, de novo, para a cura das novas camadas aplicadas. É um processo longo, caro e tedioso.

Para produzir essa matriz de forma muito mais rápida, entra a impressão 3D. E para garantir que a impressão 3D saia de regiões fechadas, ângulos negativos, sem ter que castigar os estagiários, entra o HIPS²!

Produzir essas peças de sacrifício em materiais solúveis facilita muito ao menos em duas etapas: a geração da matriz de acomodação das fibras, e o número de etapas de forno de cura, que sem costuras e emendas, dá para se fazer a peça em um processo só, ao invés de vários fornos sucessivos.



Claro a troca deste processo não é automática, do tradicional para o impresso, e há diversos fatores envolvidos: fornos podem causar deformações das peças em núcleo solúvel, a pressão negativa nos fornos de autoclave podem deformar as mesmas matrizes, e a precisão necessária pode não ser suficiente para fazer em impressoras domésticas. Não por acaso a Stratasys produziu esse *whitepaper*, suas impressoras utilizam materiais solúveis ainda superiores ao HIPS, ligas proprietárias chamadas de SR30, SR100, SR110 e SR120, onde SR atende por Remoção solúvel, já traduzido do inglês. Materiais solúveis feitos para serem usados com ABS, ASA, Nylon, Policarbonato ou sozinhos, como o SR120.



Mas se você não for utilizar suas peças para aplicações de tão alta demanda, como refrigerar freios de carros de corrida, ou peças para aplicações aeroespaciais, ainda há muitas aplicações para o dia a dia. Eventualmente, nem precisa ser uma peça de fibra de carbono, mas fibra de vidro, resinas epóxi ou o que desejar recobrir sua matriz, e resista à remoção do núcleo posterior.

As aplicações que mais me vem à mente com essa ferramenta, em impressoras de desktop são: reposições de partes de



painel ou acessórios veiculares, principalmente a parte decorativa, peças para drones e aeromodelos ou para veículos de rádio controle, de competição ou para uso de entusiastas. Mas sem dúvida, isso é só a ponta do iceberg e há infinitas aplicações para quem desejar enveredar por esse processo.

Eis algumas dicas para quem quiser produzir peças assim, nas questões de desenvolvimento da peça:

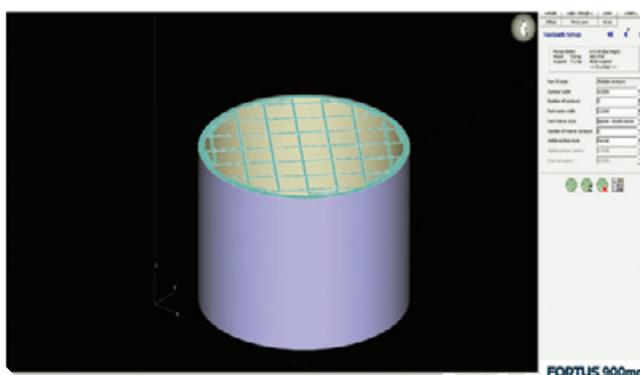
1) Mais paredes: seja um forno a vácuo, ou seja, um forno tradicional, mais paredes significa mais massa para dissipar o calor, além de aumentar a resistência da peça à pressão ou compressão;

2) Menos preenchimento: use padrões simples de preenchimento, e mínimos, pois isso facilitará a futura dissolução do material pelo agente solvente (água pura em PVA ou D-Limoneno no HIPS).

3) Oriente a peça de forma a deixar o eixo mais comprido ao longo do eixo Z, para tubo com dobras em 90° dê preferência para

produzir a peça formando um V na mesa. Em geral ao longo do Eixo Z temos uma precisão maior, mesmo que a aparência final seja afetada, pelo menos será o futuro lado interno da peça em resina ou fibra que ficará com o acabamento afetado, e não o externo.

Por fim, independente se será utilizada resinas ou fibras, não se esqueça de lixar a parte superior da peça, para um melhor acabamento, e aplicar um verniz selante, para garantir que o material a ser aplicado sobre o molde solúvel não venha a penetrar o molde e criar saliências interna na futura peça final.



Fazer núcleo solúvel ainda é possível com filamentos não solúveis naturalmente, por exemplo, pode-se dissolver uma peça em ABS mergulhando-a em acetona, que não afetará o material em fibra de vidro ou em fibra de carbono, que são resistentes à abrasão química, mas claro, entre a dificuldade normal de se obter acetona para dar acabamento nas peças e o perigo de manusear tanta quantidade para dissolver uma peça, bem, digamos que o projeto tem que valer muito à pena.

Por último, como qualquer substância que se dissolve em água, a saturação é um problema, por isso, seja HIPS ou PVA, troque a água ou o D-Limoneno a cada 4 horas ou toda vez que dissolver um volume superior à 30% do volume do líquido, e se tiver um tanque com agitador, isso acelerará ainda mais processo.

Núcleo solúvel não é uma aplicação completa à partir da impressão 3D, é uma parte do processo que pode ser acelerado

através da manufatura aditiva. Mas pode ser aquela porta que você precisava para ir além da entrega apenas de peças que sua impressora é capaz de fazer, sem ter que onerar seu espaço com muitos modelos diferentes de impressão 3D. Seja qual for o caso, se sentir que seus quadris estão à vontade, experimente, o importante é lembrar que os quadris, e o HIPS, não mentem.

Bibliografia:

1. Processo de produção tradicional de fibra de carbono: The carbon fiber process (zaunkoenig.co)
2. Soluble core – Whitepaper da Stratasys – Testes e resultados: <https://www.stratasys.com/-/media/files/education-f123/zips/rtv-molding-soluble-corespdf?la=en&hash=557C455B1F3EE72B-7FAE153D3A325CB63228EE5D>
3. Soluble core – whitepaper da Stratasys – guia técnico da aplicação - https://www.stratasys.com/-/media/files/education-f123/tags/tag_fdm_solublecores_en_0915_webpdf?la=en&hash=FD0FCE-E797C472583785593C446BA841BF107A91



O GUIA COMPLETO DOS FILAMENTOS RESISTENTES A ALTAS TEMPERATURAS



POR **BRUNO OLIVEIRA**

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul Coordenador de Negócios da ADDITIVA 3D Printing Technologies.

📧 @obruno3d

S seja no setor automotivo, transformação de plástico, metalmecânico ou manufatura em geral, uma das propriedades mais requisitadas para materiais é a resistência a altas temperaturas. Para os filamentos de impressão 3D, isso não é diferente.

Um material resistente a altas temperaturas é aquele que consegue manter seu formato e funcionalidade em ambientes de temperaturas elevadas. Em geral, essa não é uma propriedade comum para os polímeros commodities, sendo mais encontrada nos plásticos de engenharia, alta-performance ou nos compósitos com fibra de vidro e carbono.

A escolha do melhor material para aplicação em ambientes quentes é um ponto crucial no design de produto, e algumas perguntas surgem nesse momento: Como saber se este filamento é capaz de atender os requisitos? Que propriedades do material devemos analisar para fazer essa escolha? Qual o material mais indicado para aplicações em altas temperatura?

Neste artigo, vamos discutir sobre as propriedades que determinam a resistência térmica de um polímero, como descobrir se um material pode produzir peças capazes de suportar ambientes de altas temperaturas e quais os 4 filamentos do portfólio BASF Ultrafuse® mais indicados para estas aplicações.

Quais propriedades do filamento devo analisar para saber se ele resiste a altas temperaturas?

Como sabemos, os plásticos são materiais que, quando aquecidos até uma temperatura determinada, passam de um estado sólido para um estado de fluido viscoso. Eles podem ser constituídos de duas fases: uma amorfa, onde não há orientação das suas cadeias poliméricas, e outra cristalina, onde estas cadeias estão

ordenadas e compactadas. Um polímero pode ser 100% amorfo ou semicristalino (uma fração amorfa e outra fração cristalina), mas nunca totalmente cristalino.

Sendo assim, durante um aquecimento, devemos considerar duas temperaturas importantes:

Temperatura de transição vítrea (Tg):

Temperatura na qual a fase amorfa do polímero passa de um estado vítreo, com comportamento de sólido rígido, para um estado “borrachudo”, com comportamento flexível.

Temperatura de fusão (Tm):

Conhecida como temperatura de fusão cristalina, como o próprio nome sugere, é a temperatura na qual a fase cristalina do polímero deixa seu estado sólido e passa para um estado fundido. A Tm é extremamente importante quando pensamos em processamento de polímeros, pois é a temperatura que o material precisa atingir para ser processado, seja por impressão 3D, injeção ou outras técnicas.

Podemos perceber que, uma vez que acima destas temperaturas os polímeros amorfos e semicristalinos deixam de se comportar como sólidos rígidos, eles já não são mais capazes de manter seu formato e propriedades mecânicas, perdendo, portanto, sua funcionalidade em serviço.

Por isso, é importante determinarmos a temperatura máxima na qual a nossa peça ainda consegue suportar cargas mecânicas. Existem alguns ensaios que nos auxiliam neste processo e vamos discutir aqui sobre um deles: o HDT.

Temperatura de deflexão térmica (HDT):

Esta é a temperatura mais representativa para o uso de um produto plástico. O ensaio de HDT analisa como os polímeros se comportam sob esforço mecânico de flexão (dobramento) a uma carga fixa, enquanto a temperatura do ambiente é elevada. Durante

o aquecimento, a deformação (deflexão) da peça é constantemente medida pelo equipamento e, quando um valor padrão de deflexão é atingido, o ensaio é finalizado. A temperatura na qual a amostra atinge a deflexão máxima é conhecida como temperatura de deflexão térmica (HDT), e este é um dos principais indicativos práticos da temperatura máxima de trabalho, ou seja, onde um material polimérico pode ser utilizado mantendo suas propriedades mecânicas por um tempo razoável.

A HDT ocorre alguns graus abaixo da temperatura de transição vítrea (Tg) para polímeros amorfos e, na maioria das vezes, fica entre a Tg e a temperatura de fusão (Tm) no caso dos polímeros semicristalinos.

Filamentos BASF Ultrafuse® para aplicações em altas temperaturas:

Agora que entendemos os conceitos que norteiam a resistência térmica de polímeros, vamos analisar os filamentos para impressão 3D mais indicados para aplicações em altas temperaturas. As informações sobre as temperaturas mencionadas no artigo (Tg, Tm e HDT), bem como outras propriedades importantes, podem ser encontradas no datasheet técnico de cada filamento BASF Ultrafuse®.

Ultrafuse® PP GF30:

O polipropileno reforçado com 30% de fibras de vidro combina a baixa densidade e a resistência química do polipropileno com a rigidez e a estabilidade dimensional proporcionadas pelo reforço de fibras de vidro. Além disso, as peças produzidas com este filamento apresentam excelente resistência à radiação UV e podem suportar temperaturas de até 120°C.

Principais Benefícios:

- Excelente resistência química e à radiação UV



- Baixa densidade
- Baixa absorção de umidade
- Resistência a temperaturas de até 120°C

Ultrafuse® PP GF30 encontra grande aplicação na indústria automotiva e aeroespacial, graças a sua resistência química, térmica e mecânica, combinadas com a possibilidade de produção de componentes extremamente leves.

Ultrafuse® PAHT CF15:

Dentro da linha de filamentos reforçados, a Poliamida de alta temperatura reforçada com 15% de fibra de carbono possui a maior resistência térmica: pode trabalhar em temperaturas contínuas de até 150°C, com picos temporários de até 180°C.

É um material sofisticado que abre novas possibilidades no campo da impressão 3D. A poliamida, classe à qual o nylon pertence, é um termoplástico que possui ampla aplicação no setor automotivo, peças expostas ao calor, proteção de equipamentos eletrônicos e ambientes industriais exigentes.

Principais benefícios:

- Resistência a temperaturas contínuas de até 150°C com picos de até 180°C
- Excelente resistência à tração e rigidez



- Maior resistência química entre as poliamidas

A combinação de todas estas propriedades faz com que Ultrafuse® PAHT CF15 seja utilizado na produção de componentes estruturais e funcionais a altas temperaturas e ambientes agressivos, e na substituição de peças metálicas no setor automotivo.

Ultrafuse® PPSU:

A polifenilsulfona (PPSU) é um polímero de alta-performance conhecido por suas aplicações no setor automotivo, médico e aeroespacial. Ele é indicado para produção de peças com excelente estabilidade térmica, alta resistência química e mecânica. Com seu amplo espectro de propriedades de alta performance, Ultrafuse PPSU pode ser utilizado em aplicações onde outros plásticos (poliamidas, policarbonatos etc.) apresentam limitações.

Principais benefícios:

- Resistência a temperaturas contínuas de até 180°C com picos de até 220°C
- Propriedade retardante de chama
- Resistência a químicos, óleos e combustíveis.

Em geral, as peças produzidas por impressão de filamentos apresentam limitações mecânicas na direção z. Ultrafuse® PPSU apresenta excelente adesão entre camadas, o que leva a um balanceamento nas propriedades de flexão entre as direções x e z.



Ultrafuse® PPSU é o material mais indicado para peças submetidas ao processo de autoclave, indústria aeroespacial e aplicações que exijam resistência a altas temperaturas em geral.

Ultrafuse® PEI 9085:

Produzido a partir da resina Ultem 9085, o filamento Ultrafuse® PEI 9085 é um termoplástico de alta performance com excelente proporção entre resistência mecânica e peso, baixa inflamabilidade e resistência a diversos químicos, como fluidos automotivos, álcoois, hidrocarbonetos halogenados e soluções aquosas. Apesar de todas estas características, o grande destaque do material é a habilidade de suportar ambientes de altíssimas temperaturas.

Principais benefícios:

- Resistência a temperaturas contínuas de até 186°C
- Propriedade retardante de chamas com baixa emissão de fumaça
- Excelente estabilidade dimensional

Por conta da sua propriedade retardante de chama e baixa emissão de fumaça, Ultrafuse® PEI 9085 também encontra aplicação na produção de componentes elétricos e eletrônicos.





Considerações finais

A escolha do material para aplicações em altas temperaturas é essencial pois ela definirá se nossa peça manterá seu formato e propriedades na temperatura de trabalho. Por isso, devemos saber analisar as propriedades que indicam a resistência térmica de um determinado material: Tg, Tm e HDT. Estas informações podem ser acessadas nas fichas técnicas de cada filamento BASF Ultrafuse®.

A BASF FORWARD AM possui um amplo portfólio de filamentos para produção de componentes com resistência a altas temperaturas. Para entender qual o material mais adequado em cada aplicação, outros fatores também podem ser levados em conta, como solicitações mecânicas na peça, ambiente (químicos, umidade etc.), exposição à radiação UV, entre outros.

A ADDITIVA é a parceira oficial da BASF FORWARD AM no desenvolvimento do mercado brasileiro de manufatura aditiva e responsável pela distribuição dos filamentos Ultrafuse® em todo território nacional. Para mais informações, entre em contato com nosso time de especialistas ou nossos revendedores credenciados.



UMA VISÃO GERAL DO PP NA MANUFATURA ADITIVA



AVENIR^{3D}

IMPRESSÃO 3D · ENGENHARIA · CONSULTORIA

+55 (14) 98182-0674

contato@avenir3d.com.br

Introdução

Eu conheci o PP, o polipropileno, em 2012. Na época, fragmentos desse material eram vendidos, trechos de 20, 30 centímetros, com uma única função, limpar o bico da impressora 3D, na troca entre materiais. O PP tem uma capacidade incrível de absorver outros materiais, e essa função de “limpeza” não é fruto de nenhum prêmio Nobel da impressão 3D, mas uma prática que já era utilizada nas ferramentarias de injetoras e extrusoras de plásticos tradicionais.

Na época da CNC CupCake ou da Thing-O-Matic, as primeiras Makerbots de madeira ainda, que imprimiam exclusivamente em ABS, era uma boa prática ao trocar de fabricantes de filamentos, ou até mesmo após imprimir uma cor muito escura, e antes de uma cor muito clara, dar aquela limpada na sua impressora, como quem passa “pretinho” nos pneus de seu carro ao lavá-lo aos domingos (até hoje cuido mais das minhas impressoras que do meu carro, para horror e desespero da minha família).

Mas o PP, assim como todas as coisas do mercado de impressão 3D, evoluiu! Hoje você não precisa mais de uma formação em MacGyver avançado para montar sua impressora, nem conhecimento de Hacker para operar um Slic3r, que era na época uma costura de Java, Python, Skeinforge e sorte.

Por isso eu primeiro fiquei muito feliz quando a Dynalabs nos ofereceu uma amostra do seu PP que estão lançando no Brasil, e a chance de fazer um review totalmente sincero e não patrocinado, mas para minha tristeza (e para a sorte de vocês) eu tive que abrir mão de escrever esse artigo, pois ainda não domino o PP tão bem, mas, e aqui entra a parte da felicidade de todos vocês, o Renan da Avenir3D domina!

Aliás, curiosidade, ninguém na Avenir3D se chama Avenir. Achei engraçado quando o próprio Renan me disse

que com frequência algum cliente liga para a empresa dele já procurando por algum senhorzinho chamado Avenir. O nome é uma derivação é uma corruptela da expressão Por vir, de coisas que estão por vir, foi um “acerto no escuro” já que no espanhol usamos a expressão “por venir”, com o mesmo sentido. Dito isso, permita-me então apresentar um pouco melhor nosso amigo Renan e sua empresa que não é um senhorzinho, mas uma Startup incrível:

AVENIR 3D

Renan, responsável pela empresa, graduado em engenharia mecânica, pós-graduado em processos de fabricação tratando aplicações e a temática da manufatura aditiva (MA), e também pós-graduado em design e prototipagem rápida. Experiências profissionais em processos de fabricação, atuando em empresas como AMBEV, Embraer e atualmente à frente da AVENIR 3D. Renan teve seus primeiros contatos com a MA na indústria, no uso da tecnologia para o conceito de ferramental rápido (rapid tooling).

A empresa nasceu em 2018 na cidade de Botucatu, inicialmente em um coworking e atualmente está instalada dentro da Incubadora Botucatu em parceria com o Parque Tecnológico da cidade. A AVENIR 3D iniciou no mercado com a prestação de serviço de impressão 3D e no decorrer dos anos vem se especializando em fabricação e desenvolvimento de produtos. Hoje a AVENIR 3D atende todos os tipos de clientes, desde pessoa física a empresas, com foco principal em indústria, representando este último 95% dos seus clientes, que são dos mais variados segmentos (automobilístico, aeronáutico, agro, saúde, embalagens, entre outros). A empresa atua atendendo praticamente todo o estado de São Paulo, seja em oportunidades de parceria, desenvolvimento de produto e molde, engenharia reversa, prototipagem, fabricação de lote piloto e de peças de uso final.

As tecnologias utilizadas e oferecidas pela AVENIR 3D são: modelagem 3D, impressão 3D (MA) e injeção plástica de bancada.

O foco da Avenir 3D está voltado para trabalhos técnicos e projetos desafiadores. Exemplo disso são trabalhos de prototipagem já entregues pela AVENIR 3D que soma MA e medição tridi-

mensional, além de já terem entregue para o mercado mais de 20.000 peças manufaturadas aditivamente, sendo 75% delas para uso final.

Sobre a Dynalabs

Há 70 anos no mercado, a empresa de origem argentina hoje produz diversos tipos de plásticos, sendo em filamentos 3D mais de 130 toneladas mensalmente, atingindo a liderança nesse mercado na América Latina e também atuação nos EUA, Canadá, Europa e Oriente Médio.

A NTH S/A atua na produção de diferentes tipos de polímeros, sendo suas principais bandeiras Grilon3, DynaLabs, 3N3 e outras em regime OEM. A empresa atua no Brasil desde 2021 sob a tutela de Murilo Souza, que fez da sua bandeira a divulgação ampla da marca e da qualidade de seus produtos, atuando diretamente com revendedores, garantindo uma qualidade global com atendimento local.



O próprio Murilo Souza não é nenhum novato na impressão 3D, sendo o fundador original da Moustá 3D, uma das grandes marcas brasileiras de impressoras 3D, atuando no mercado desde 2014, e hoje desfruta de seu pioneirismo no mercado onde sempre atua de forma franca e ética, e por ter assistido a muitos dos player atuais surgirem, para ter consolidada rede de contatos por todo o país.

Sobre o polipropileno

O polipropileno, também conhecido como polipropeno, é um polímero termoplástico muito difundido e utilizado pela indústria em diversos segmentos do mercado, tais como: alimentício, farmacêutico, automobilístico, entre outros. Como a maioria dos plásticos, ele é de origem não renovável, ou seja, subproduto do refino do petróleo, sendo considerado uma commodity. É o terceiro plástico mais utilizado no mundo, ficando atrás do polietileno de baixa densidade (PEBD) e do policloreto de vinila (PVC). O PP é um material de baixa densidade e com aparência que varia entre translúcida e leitosa. A estrutura química deste material faz com seja de fácil processamento a altas temperaturas, sendo considerado um material “coringa” para muitas aplicações na indústria, pois possui boa relação entre suas características químicas e térmicas. Algumas das suas principais características que o faz ser bastante utilizado na indústria são:

- Densidade próxima de 0,9 g/cm³ (uma das mais baixas entre os materiais plásticos);
- Alta rigidez e resistência a fadiga por flexão (se comparado com a maioria dos plásticos);
- Boa resistência ao impacto (temperatura ambiente);
- Elevada resistência química à maioria dos ácidos, bases, sais, detergentes e óleos à temperatura ambiente;
- Boa usinabilidade;
- Atóxico e antiaderente.

Algumas características do polipropileno podem ser poten-

cializadas ao adicionar outros materiais em sua combinação, exemplo disso é a adição de talco e fibra de vidro em sua composição.

Os principais processos que utilizam do PP são: injeção plástica, extrusão, sopro e termoformagem. Atualmente há um crescente movimento para adesão deste material também na **Manufatura Aditiva e na impressão 3D**.

Manufatura aditiva e Polipropileno

A história do polipropileno e da impressão 3D iniciou-se nos anos 2000, quando este material já em forma de filamento era vendido em centímetros para uso exclusivo na limpeza de bicos das impressoras 3D de filamento, como lembrou o Emanuel na introdução deste texto.

Naquela época o PP não era visto como uma boa opção de material a ser utilizado no processo aditivo devido às grandes dificuldades e desafios que o mesmo apresentava em seu processamento. Não que isto ainda não exista nos dias de hoje, mas muita coisa mudou e melhorou para o seu uso no processo de impressão 3D. Pode-se afirmar que o PP ainda é muito pouco explorado na manufatura aditiva, se comparado com outros materiais, porém se olharmos de 10 anos passados para hoje houve um crescimento em

NOTA DO EDITOR

Terpolímeros são polímeros que possuem na cadeia principal 3 tipos de polímeros ou 3 tipos de cadeias poliméricas. No caso do PP são 3 grades de PP distintas, visto que puro o PP tem uma reologia ruim para a impressão 3D, por isso esse material se chama PP-T, o “T” atende justamente ao termo “Terpolímero” (e vejam só, este é o tipo de nota que teria sido perfeito de acrescentar na matéria do mês passado, não? Obrigado ao Mestre Murilo Souza da Dynalabs pelo adendo e explicação quando solicitado!

seu uso e na sua adesão pelo segmento I3D.

Acredita-se que a adoção do PP no mercado 3D ainda deve crescer e muito devido às propriedades únicas que este material oferece somado à evolução dos equipamentos e de conhecimento para o processamento deste material pelos usuários.

Algumas evidências atuais que seu consumo está crescendo é o processamento deste material em impressoras 3D desktops, que antes era quase nunca visto, pois em sua maioria o polipropileno era quase sempre processado em equipamentos 3D profissionais e com caráter industrial. Outro ponto que vem ajudando na aderência deste material pelos usuários 3D e empresas que oferecem serviços nesta área é a maior oferta de marcas e fabricantes, se comparado há 5 anos, trazendo naturalmente uma redução no custo para aquisição deste material. A busca de melhorias nas características do PP para processamento direto com manufatura aditiva também é cada vez maior, sendo hoje mais oferecido pelos fabricantes/ fornecedores do material.

Quanto a suas características técnicas quando usado na impressão 3D, o polipropileno é um material semi rígido, com boa resistência à fadiga, resistência química, impermeável e leve (baixa densidade), sendo ideal para manufaturar protótipos funcionais e peças de uso final, exemplos muito comuns de produtos plásticos que podemos visualizar sua aplicação são dobradiças e produtos com partes interligadas, que sofrem movimentos repetitivos ou de dobra ou de abrir e fechar (tik tak) e que dificilmente quebram.

Apesar das ótimas características finais deste material, há dois grandes desafios para processá-lo na impressão 3D. O primeiro deles é garantir a aderência do material na mesa de impressão, pois devido a algumas características químicas deste material, ele se torna muito ineficiente para aderir em outros materiais, logo para uma boa adesão à mesa da impressora é sempre indicado colas ou superfícies à base do próprio material.

O segundo desafio é evitar o empenamento/ deformação da peça durante o processo de impressão 3D, isso é um problema muito comum, que ocorre devido o material sofrer variações de temperatura, seja no momento da impressão e no resfriamento da

peça. O empenamento/ deformação é ainda mais sensível no PP por conta da sua microestrutura ser semicristalina, gerando muito mais tensões dentro do material, se comparado com outros materiais sofrendo variações térmicas. (veja mais sobre isso na matéria O mundo quântico dos polímeros, na revista de outubro de 2022).

A partir das características e desafios mencionados anteriormente sobre o material, na sequência estão listadas algumas recomendações para uma melhor experiência na impressão 3D com o polipropileno:

1. Mesa aquecida (a temperatura de adesão do material na mesa irá variar de fabricante para fabricante, mas no geral é entre 85°C e 100°C);
2. Equipamento fechado;
3. Uso de cola e/ ou superfície específica para adesão do material na mesa;
4. Temperatura de extrusão de acordo com as orientações do fabricante do material a ser utilizado;
5. Não usar ou usar o mínimo possível de resfriamento forçado, caso necessário.
6. Uso ou de brim ou de raft.
7. (Nota do Editor): Acredito que muito em breve impressoras com câmaras aquecidas irão chegar às opções de compras de impressoras 3D desktops, o que tornará ainda mais fácil de trabalhar com materiais de alto fator de empenamento.

Atualmente há várias marcas e fabricantes de filamento de polietileno para impressão 3D disponíveis no Brasil e no mundo, veja abaixo alguns deles:

- Dynalabs;
- 3DX;
- Braskem;
- BASF;
- Ultimaker;
- GizmoDorks;

- MatterHackers;
- PPprint, entre outros.

Tivemos a oportunidade de testar o polipropileno da Dynalabs, o PP-T, que não se trata de um grade comum de PP e sim um terpolímero* que consegue simplificar e facilitar seu uso no processo de impressão 3D. As características informadas pelo fabricante para este material são:

- Densidade: 0,92g/cm³;
- Temperatura de bico: 220 à 230°C;
- Temperatura de mesa: 90 a 100°C;
- Adesão: recomendado uso de aderente especial próprio para filamento PP.

Durante os testes notou-se um bom desempenho do PP-T desde seu processamento até o comportamento do mesmo frente aos desafios mencionados anteriormente ao utilizar o polietileno





na impressão 3D. Os testes foram realizados com dois equipamentos fechados e distintos, sendo um o equipamento da Creality, modelo CR-200B e o outro o equipamento da Moustá, modelo Builder Mega 2.

Para a aderência do material na mesa foi utilizado de fita a base de PP, garantindo uma boa adesão do material, mesmo em temperaturas menores que as recomendadas pelo fabricante (testes com resultados satisfatórios a partir de 84°C na mesa de impressão).

Em temperaturas de mesa mais próxima do limite superior recomendado pelo fabricante se mostraram mais eficientes para evitar contrações do material, isso faz total sentido, pois aumenta a temperatura do meio que a peça está sendo impressa e evita resfriamento mais brusco, reduzindo assim a quantidade de contração. Já em relação a temperatura de extrusão, foram testados valores dentro da indicação do fabricante, variando de 222°C até 228°C.

As peças testes impressas com temperaturas maiores mostraram melhor aderência entre as camadas e um melhor acabamento superficial. É importante ressaltar que independente da temperatura de extrusão, o PP-T é um material que sempre entregará um bom acabamento superficial nas peças impressas em 3D.



Resumo geral dos parâmetros utilizados nos testes:

- Altura de camada: 0.25 mm;
- Temperatura de bico: 222°C – 228°C;
- Temperatura de mesa: 84°C - 100°C;
- Fan auxiliar: 0 (não utilizado);
- Brim: sim;
- Fatiador: Ultimaker Cura.

As características finais das peças impressas com o PP-T, além do ótimo acabamento superficial já citado, também apresen-

taram extrema resistência à flexão. Peças de uso direto com encaixes do tipo “snap-and-fit, ou Living-Hinges” como tampas de shampoo, de molhos de comida como vinagre, mostardas e são perfeitos casos onde este material pode ser usado para protótipos.

Conclusão do Editor

No geral, o mundo da impressão 3D ainda utiliza apenas uma pequena parte do universos de polímeros usados na indústria tradicional, mas a cada novo material introduzido e adaptado para a Manufatura Aditiva, um imenso parque de aplicações se desdobra na nossa frente, trazendo novas oportunidades de ganhos financeiros, novos mercados a explorar, e como sempre, quem largar na frente terá mais tempo no proverbial “mar azul”. Obrigado Dynalabs pelo material, obrigado Renan pelo relatório incrivelmente completo e didático.

Com mais um material factível de ser impresso em nossas impressoras desktop, mais e mais oportunidades se desdobram à nossa frente.



HABEMUS POLIPROPILENO (PP)!



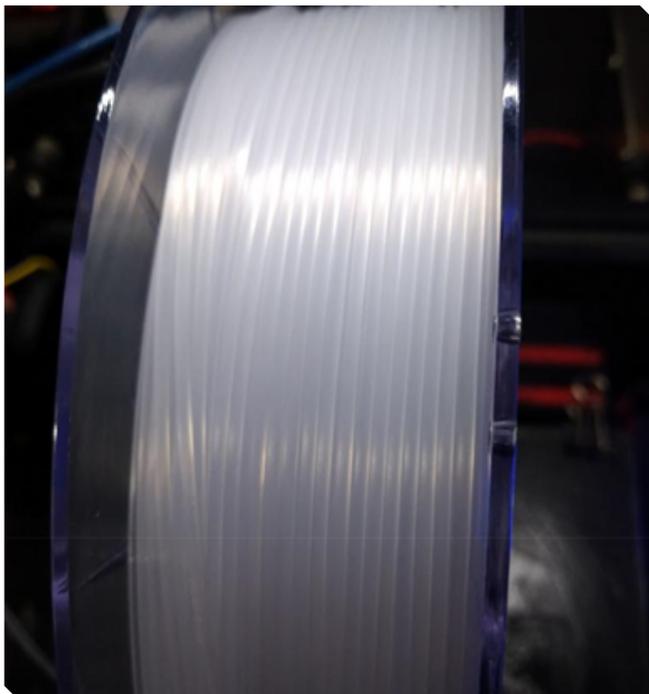
POR **GUILHERME RAZGRIZ**

Diretor de arte e evangelista do Software Livre desde 2003.
Fundador da primeira escola de computação gráfica livre do Brasil, o Cria Livre.

📷 @razgrizbox 🌐 razgrizbox.wordpress.com

Caros,

O repertório de quem trabalha com impressão 3D não pode se resumir a gangue do ABS, PLA, PETG e no máximo TPU de alta dureza, hoje, vou explanar sobre o uso do Polipropileno e suas particularidades, além da costumeira aferição que sofre todo filamento que passa por aqui, vamos lá?



O Polipropileno (PP), é um polímero de baixa densidade, com altíssima resistência à fadiga e umidade além do preço acessivo, sendo por estes motivos tão utilizado na fabricação das mesas e cadeiras para botecos, espreguiçadeiras dos hotéis e piscinas de condomínio, entre outros itens similares, agora como filamento trás para seus projetos tais funcionalidades sem grandes dificuldades de impressão!

A 3DX Filamentos gentilmente cedeu uma amostra para a confecção deste artigo o qual vamos iniciar pela aferição do material em si:

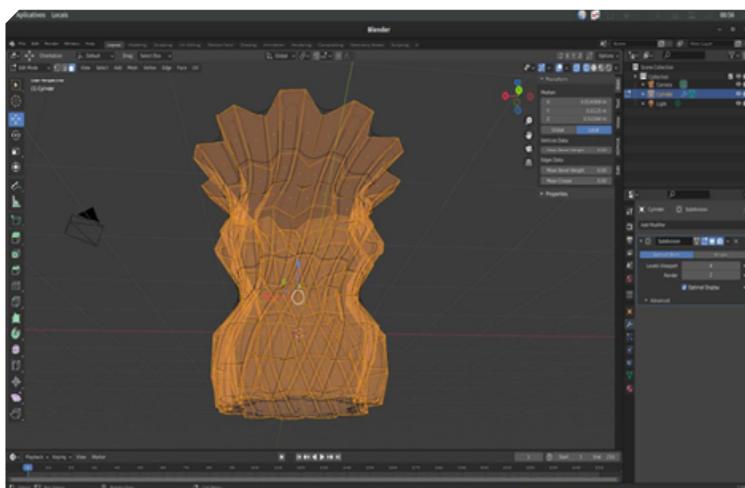


O kit enviado pela 3DX veio embalado a vácuo, com saquinho zip lock para armazenar o filamento restante após o uso além de já vir incluso um adesivo plástico potente do qual falarei um pouco mais adiante.

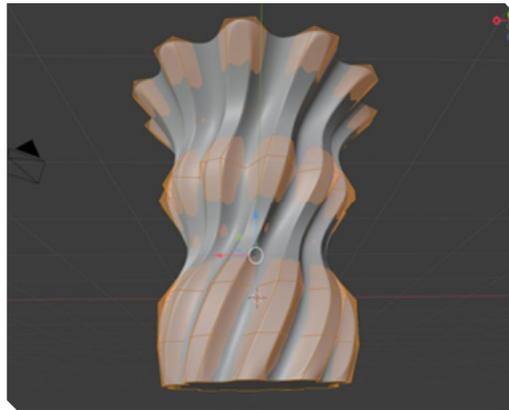
Do diâmetro a impressão!



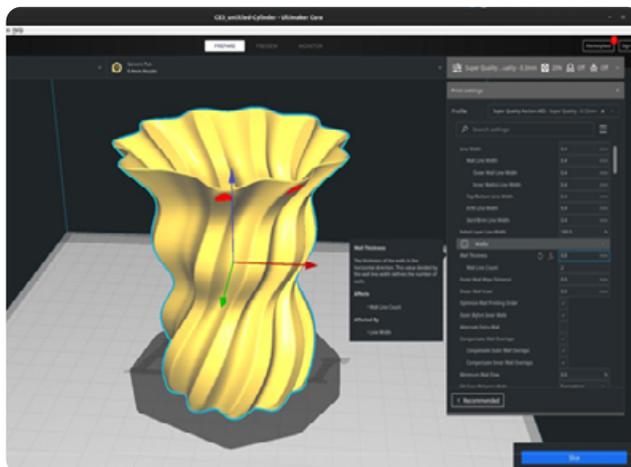
Com 1.76 mm de diâmetro de média, é hora de abastecer a printer, sendo que para esta rodada escolhi a Ender 3 para mostrar o quanto ela pode fazer mesmo sendo uma máquina de entrada. Como este material é ótimo para lidar com líquidos resolvi modelar um pequeno vaso para servir como peça teste:



Aproveitando, explico aqui uma técnica orgânica para a criação de um vaso bastante simples que consiste em extrudar uma malha plana girando livremente a cada seguimento ou mesmo pegar um cilindro e executar ao menos 3 cortes de maneira que se possa girar diferentes segmentos da malha 3d e girar em sentidos opostos ou mesmo empurrar segmentos aleatórios para frente ou para trás!



Quanto ao fatiamento da peça adotei um padrão um pouco mais conservador, com altura de camada de 0.3 mm e paredes de 0.8 mm o que resultará em uma parede um pouquinho mais densa, mas ainda com flexível o suficiente para que seja possível ver a elasticidade do PP em ação.



Quanto a temperatura, o PP aceita bem temperaturas acima dos 230°C, porém, como a fabricante informou temperatura mínima de 240°C, resolvi trabalhar com 245°C, quanto a mesa, esse material aceita mesa fria, mas gosto de manter a mesa a pelo menos 60°C.

Quanto a velocidade de impressão, optei por apenas 35 mm/s mas nada impede que você utilize até 45, em troca de uma temperatura maior no hotend.

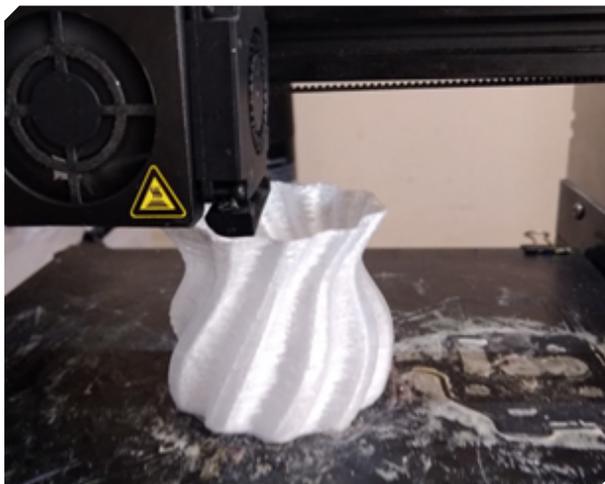
Adesão a mesa

PP não é um material que lida bem com Spray ou cola PVP, para uma boa adesão a mesa se faz necessário o uso de adesivo plástico potente na mesa de impressão, adesivo este que a 3DX enviou juntamente com o filamento para teste.



Sua utilização corre assim: Aplique uma pequena quantidade sobre a área onde irá ocorrer a impressão e espalhe o adesivo até obter uma fina camada na área desejada. Após o uso recoloque a tampa no frasco do adesivo. Note que o adesivo é realmente potente e fará com que a peça fique realmente presa a mesa com perfeição. Ao término

da impressão basta retirar a peça delicadamente com o auxílio de uma espátula.



Ao término da impressão basta retirar a peça delicadamente com o auxílio de uma espátula.

Estanque! Sim, senhor!

Como não poderia deixar de mostrar aqui, sim, o material é realmente muito leve e aguenta bem líquidos sem vazamento (tirando a minha péssima pontaria na hora de fazer a foto enquanto encho o vasinho...)



Elasticidade? Tá na mão!

Após o teste de estanqueidade, segue o tradicional teste de elasticidade do material, ele se saiu muito melhor do que eu esperava

onde a boca do vaso pode ser praticamente fechada sem esforço e ainda voltou para o lugar quase que instantaneamente!



Fica aqui o meu parabéns a 3DX pela qualidade do produto e agora que você já conhece e recebeu as dicas essenciais para trabalhar com esse material, é hora de imprimir! Boas impressões e até a próxima pessoal!



O PODER DAS POLIAMIDAS



POR EMANUEL CAMPOS

Atua como engenheiro de aplicações para manufatura aditiva desde 2000 com foco em aplicações industriais e para a educação.

📧 @e2campos

Você já ouviu aquela história, de que tradução é traição? A maior prova de que este velho adágio é verdadeiro é a própria história do Nylon. Se você já estudou um pouco sobre este material fantástico, que surgiu de documentários da web como “The lightbulb conspiracy”, ou ainda viu a exposição “Instrumentos da sedução”, no prédio sede do grupo S aqui na Avenida Paulista (SESI, SESC, SENAI, SEBRAE), você sabe da importância do Nylon para a moda.

Reza a lenda de que o material teria sido batizado de Nylon para honrar as duas maiores capitais da moda, Nova York e Londres, NYLON, por tanto. Reza a lenda que o material foi cunhado para uso nos paraquedas, durante a segunda guerra mundial, e que após a guerra, sem saber o que fazer com esse material leve, elástico e resistente, investiram na moda com ele. E todas essas lendas estão meio certas, mas se é para crer em alguma coisa, que tal algo com bibliografia e autores?

Aqui retrato o resumo de um artigo maravilhosos ([Nylon: A Revolution in Textiles |](#)

[Science History Institute](#)) que por sua vez resume um livro maravilhoso ainda mais amplo (Molecules That Matter, a forthcoming compilation of essays to accompany the traveling exhibit by the same name, opening at CHF's Clifford C. Hach Gallery in August 2008.), mas para tornar curta a história do artigo - e correndo o risco de repetir o adágio de que tradução é traição - segue uma história deste material fantástico.

O produto chegou ao mercado em 1938, como um material revolucionário, justamente por esticar, ser resistente, poder ser lavado, sem nunca se desgastar. Seu nome deriva justamente da evolução do material da época - Rayon - chamada de seda artificial, um nome que implicava ao mesmo tempo “imitação e barato”, e que não ajudava o produto a vender bem, o nome original do Nylon seria Nuron - um trocadilho entre nouveau - inovador no francês, e quando lido ao contrário formaria No Run - não se desgasta, mas questões de direitos autorais foram conduzindo o nome de Nuron para Niron, Nilon, e por fim, para evitar dúvidas sobre a pronúncia correta do nome, Nylon.

A busca por esse novo material veio como quase todas as descobertas, Tateando no escuro, mas com um sentimento de objetivo bem claro, vencer o material Rayon. Tudo começou em 1920 quando a E. I. du Pont Nemours and Company comprou 60% da empresa francesa de fibras sintéticas Comptoir des Textiles Artificiels Company, responsável pelo Rayon.

Em dezembro de 1926 Charles M. A. Stine, diretor da área química da DuPont, circulou um memorando para os executivos da empresa afirmando que eles estavam buscando por inovações

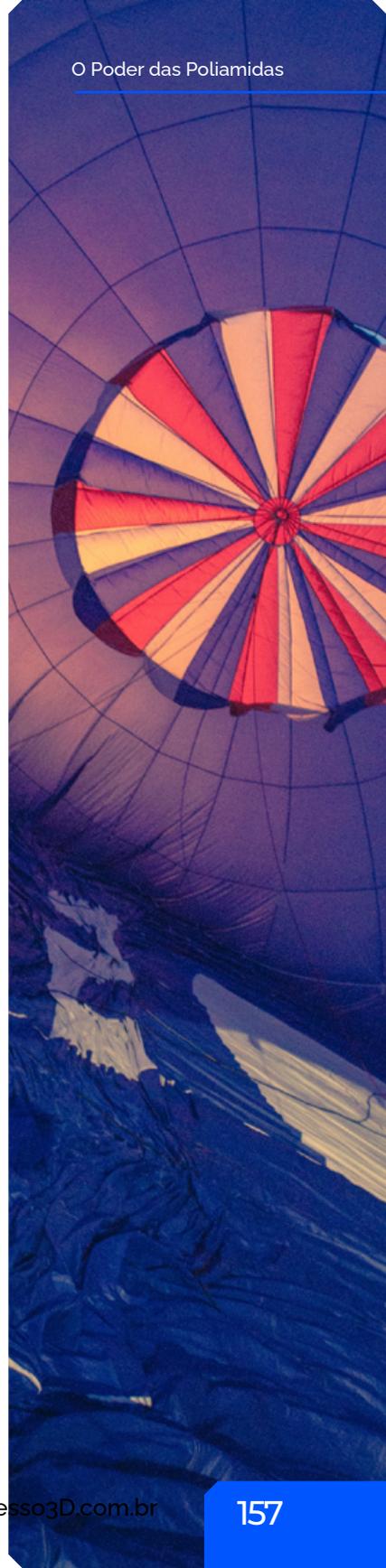
DISCLAIMER

Este artigo só foi possível pela ajuda de muitas mãos, Luiz Squilante, Thiago Medeiros, Clóvis Cruz, Cleber Rampazo, Daniel Lobão e Bruno Oliveira, meu muito obrigado à todos vocês por suas colaborações e correções, e perdoem qualquer erro que eu tenha me esquecido de corrigir após a revisão!

nos lugares errados, e que a empresa deveria investir na Pesquisa Pura, o que era impensável para uma empresa que procura lucros, e cujas pesquisas antes eram relegadas a universidades. Mas a diretoria, prevendo que as pesquisas de como melhorar o Rayon não levariam a lugar nenhum, aprovaram a decisão de se pesquisar um novo material, dariam um fundo de 25.000 dólares ao mês (algo como U\$ 430.000,00 ao mês em dinheiro de hoje), e ainda pediram para que Charles contratasse os 25 melhores químicos que pudesse achar. Este novo departamento seria chamado de Purity Hall.

Tornando curta a história longa, aqui Charles e sua equipe primeiro investiram muito tempo em Polyesters, mas todos apresentavam os mesmos defeitos, de estragar em altas temperaturas e de perder suas propriedades em água, apenas em 1934 Elmer Bolton, o novo diretor chefe de química da DuPont pediu que a equipe parasse de focar em poliésteres, e foi Carothers passou a se focar em poliamidas, e em 24 de maio de 1934, surgiria o primeiro polímero baseado em aminoethylester, o primeiro Nylon. E finalmente em 1938, com auxílio de Paul Flory, que viria a ganhar um prêmio Nobel em química, o time finalmente iria escrever um algoritmo para estabilizar e organizar a reação de polimerização do material.

De fato o material teve uma breve apresentação ao mercado, em 1938, mas conforme a segunda guerra progredia, e com o Japão do outro lado da guerra, os





aliados precisaram de um material leve, elástico e resistente para substituir a seda japonesa, e foi quando toda a produção do Nylon foi usada para fazer paraquedas. Conta a história, contudo, que caixas do Nylon eram frequentemente “extraviadas” para chegar ao mercado da moda, desesperado para atender ao desejo de consumo do novo produto para meias calças e moda íntima feminina.

O pós guerra marca a explosão do produto no mercado, e faz com que diversas empresas ou licenciam a produção do Nylon da DuPont, ou produzam suas próprias malhas sintéticas, Bri-Nylon, Tricel, Dracon, Acrilian, Orlon, Terylene, e muitos outros materiais chegariam à moda, que marcaria os anos 60, 70 e 80. Perguntem aos seus pais e avós e se eles já usaram uma “camisa volta ao mundo”, e você terá a prova da explosão que foram os tecidos sintéticos naquela época, Chanel, Dior, Patou Pierre Cardin e muitos

outros nomes da moda se tornaram embaixadores do produto ao adotá-los em suas criações.

Certamente, olhando para trás, dá para ver o quão acertada foi a decisão da DuPont ao criar o departamento de Pureza, mas é difícil imaginar a fé daqueles envolvidos no projeto com uma aposta de tão longo prazo, mais de 12 anos de investimento pesado para alcançarem os resultados, mais ainda, parece que Miranda Priestly, a fictícia diretora de uma revista de moda no filme *O Diabo veste Prada*, interpretada por Meryl Streep tinha razão ao afirmar que a moda é a grande promotora da tecnologia, ao menos no que tange ao Nylon, ela não poderia estar mais correta.

Mas e na Engenharia?

Antes de mais nada, precisamos fazer uma distinção aqui, a DuPont fez um trabalho tão fantasticamente maravilhoso ao propagar o nome Nylon, segundo o artigo a intenção era criar um nome como se o material fosse pré-existente, não algo criado, se afastando dos problemas com o Rayon, que soava imitação e cópia barata. Só que a DuPont foi bem demais no seu intento, e como resultado, parece que tudo é Nylon, e isso não é verdade. Nylon é uma cadeia de Poliamidas, e Poliamidas, ou PA, são os materiais que efetivamente usamos em nossas roçadeiras, em materiais de engenharia e em diversas e inúmeras aplicações.

A confusão se fez tão grande que certa vez um amigo e consultor da ENTEC, Clóvis Cruz, engenheiro químico pela universidade Feevale, MBA em administração pela PUC e que atua há 10 anos com o mercado de plásticos e polímeros, foi vender a Poliamida HT para um cliente de injeção e após todos os slides e powerpoints com predicados das maravilhas do material, o cliente lhe fala “olha doutor, esse material parece bom e tal, mas eu gosto de usar é Nylon, se tiver Nylon, eu compro!”. As próprias grandes empresas como Stratasys acabam por utilizar o termo Nylon ao invés de falar Poliamida. Mas, já que o ponto desta revista é criar um público mais erudito, por favor, à partir de hoje, a menos que seja meia calça, lingerie ou corda de para-



quedas, especificamente da DuPont, vamos falar Poliamida, ok? (corrijam as pessoas ao seu redor, impressionem seus companheiros e companheiras, orgulhem seus pais!)

Dito tudo isso, o material de nylon é um termoplástico de engenharia que é fácil de usinar e pode servir como várias peças mecânicas finais. Hoje em dia, tem sido amplamente utilizado em várias aplicações, incluindo vestuário, material de reforço de pneus de carros semelhantes a borracha, para uso como corda ou fio e para muitas peças moldadas por injeção para veículos e máquinas.

Ótimo, mas como saber quando adotar o Nylon na engenharia? Conforme conversa recente com o mestrando e Professor [Fábio Crucinsky](#) da UTFPR, ele me diz que sua maior dificuldade em trabalhar com materiais de impressão 3D é a falta de dados sobre os materiais, a ficha técnica ou datasheet ‘quando vou usar um material, como engenheiro mecânico, minha primeira pergunta é, qual a tensão de escoamento?’, sua procura não é sem justificativa, e sem a intenção de fazer aqui um curso de engenharia de materiais, gostaria apenas de posicionar o Nylon entre os materiais já são comuns na impressão 3D.

Para entender a importância deste material, vamos começar diferenciando-os dos dois principais polímeros de impressão 3D, o ABS e o PLA. Diferenciar ABS e PLA é como diferenciar Rígido e Dúctil. Rígido é como a faca da cozinha, se você tentar dobrar a lâmina da faca da cozinha, ela vai estilhaçar. Ela não acumula deformação, ou ela resiste ao esforço, com um leve envergar elástico, isto é, a deformação não é permanente, ou se você vencer essa curva elástica, ela irá quebrar, e da pior forma possível, estilhaçando, lançando pedaços para todo lado. O PLA é rígido. É inclusive um dos materiais mais rígidos que existem.

No outro extremo da equação estão os materiais maleáveis. Materiais maleáveis são como cliques de papel, se você já tentou quebrar um clipe de papel sabe do que estou falando, você flete, dobra, torce, e dobra de novo, o material chega a esquentar antes de se partir. Apesar da curva elástica muito pequena, qualquer esforço pode deformar um clipe de papel de forma permanente, suas deformações na fase plástica podem ser muito alongadas antes do material efetivamente romper-se. O ABS não é o maior exemplo

de material maleável do mundo, mas em comparação ao PLA ao menos, ele pode ser chamado de maleável ou dúctil.

Como pode ter ficado claro, existem três fases de interesse na “rigidez” de um material, quanto esforço o material pode receber sem guardar deformação permanente (fase elástica), quanto esforço o material pode receber, ainda que se deformando, sem se romper (fase plástica, mas também chamada de tenacidade ou resiliência), e por fim, qual esforço leva um material à ruptura. Convém salientar que estes dados são esforços do tipo constantes, que são aplicados e vão gradualmente crescendo, ainda existe um dado específico para a resistência a impactos. Estes conceitos foram mais profundamente explicados na matéria “O mundo quântico dos polímeros”, na revista 19.

Com estas premissas explicadas, agora podemos afirmar que a Poliamida é um material que atua como coringa, possui grande resistência a deformações plásticas, como se fosse o PLA, mas com uma fase ao elástica longa, como se fosse o ABS, além de possuir



grande tensão de escoamento. Aliado a isso, o material é muito resistente a abrasão física, isto é, não se desgasta facilmente, perfeito para atuar como mancais, buchas ou suportes, e possui uma considerável resistência química, tornando-o um material perfeito para o chão de fábrica, de auxiliares de produção como berços, suportes, apoios, à peças de máquinas diretamente, com grande resistência a desgaste, atuando na manutenção e reposição de componentes das mesmas, ou ajudando a incorporar pequenas modernizações e adequações nas mesmas.

Repare na tabela abaixo, onde quanto menor o número, maior a resistência a ataques químicos do material:

Segundo tabela desenvolvida pela fabricante de Israel, a

FDM Materials									
Chemical	ABS-M30™	ASA	PC-ABS	PC	ULTEM™ 9085 Resin	FDM Nylon 12™	PPSF	ULTEM 1010 Resin	Antero™ 800NA
Aliphatic hydrocarbons (e.g., methane, propane, butane)	2	2	3	3	2	1	1	2	1
Aromatic hydrocarbons (e.g., benzene)	3	3	3	3	2	1	2	1	2
Halogenated hydrocarbons (e.g., CFCs)	4	4	4	4	4	4	3	3	1
Ketones (e.g., MEK, acetone)	4	4	4	4	3	2	3	3	2
Alcohol/ethanol	2	2	2	2	2	4	2	2	1
Phenols	4	4	4	4	4	4	4	4	1
Esters	3	3	4	3	2	1	2	2	1

1 = Excellent chemical resistance 2 = Good chemical resistance 3 = Limited chemical resistance 4 = Poor resistance

Stratasys, a Poliamida está muito bem posicionado para resistência química a diversos componentes, sendo péssimo apenas para hidrocarbonetos como CFC, Alcoóis e Fenóis, mas fantásticos para Hidrocarbonetos aromáticos como Benzeno, Alifáticos como propano, butano, metano e outros, além de incrível resistência para Ésteres. Para o estudo completo [acesse aqui](#).

Já o site [CNCLathing](#) classificou de 1 a 4 a resistência mecâ-

nica dos materiais, comparando-o ao ABS e ao PLA, mas inverteu a escala, aqui, quanto maior o número, melhor:

Plástico	Nylon	ABS	PLA
Força	1	2	3
Rigidez	1	2	3
Durabilidade	4	2	1
Resistência química	4	1	1
Resistência à temperatura	1	2	0

Mas a Poliamida impressa é igual a injetada?

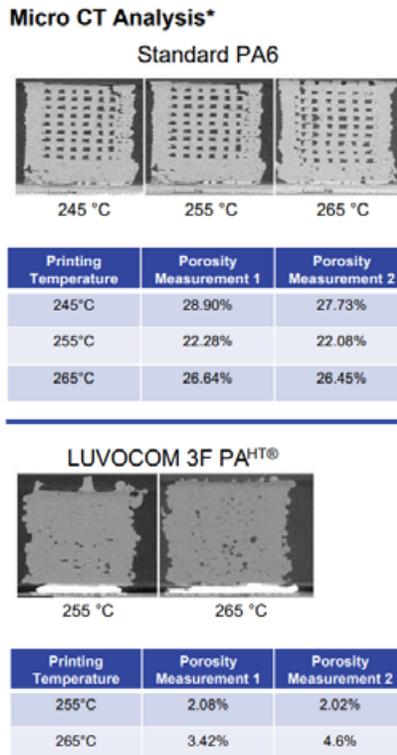
Ao longo da minha carreira, vi muita gente tentar imprimir Poliamida, desde cordas de cortadores de grama elétricos, vulgarmente conhecidos por roçadeiras, até Poliamida para outros fins, e para começar, nem entre as Poliamidas chamadas de Nylon elas são iguais, quem dirá entre as Poliamidas puras... Me explico: A base do Nylon é a Poliamida, mas a molécula de Poliamida pode receber diferentes quantidades de carbonos, formando cadeias mais longas ou mais curtas. Quanto mais longa a cadeia, isto é, quanto mais carbono, mais resistente o material se torna, mas menos flexível por outro lado.

Imprimir Nylon de roçadeira é uma péssima ideia, não só por ser altamente tóxico os vapores que ele emana devido aos seus vários aditivos, para ser uma cortadeira de pasto melhor, mas também por que ele simplesmente não foi feito para fusão por camadas. A Poliamida demanda altíssimas quantidades de energia para se fundir, não por acaso nas impressoras industriais se utilizam de câmaras fechadas, muito aquecidas, além de cabeçotes muito quentes, isso garante uma fusão de camada maior.

Trocando em miúdos, imprimir Poliamida sempre foi um pesadelo para imprimir em impressoras DIY, domésticas, caseiras,

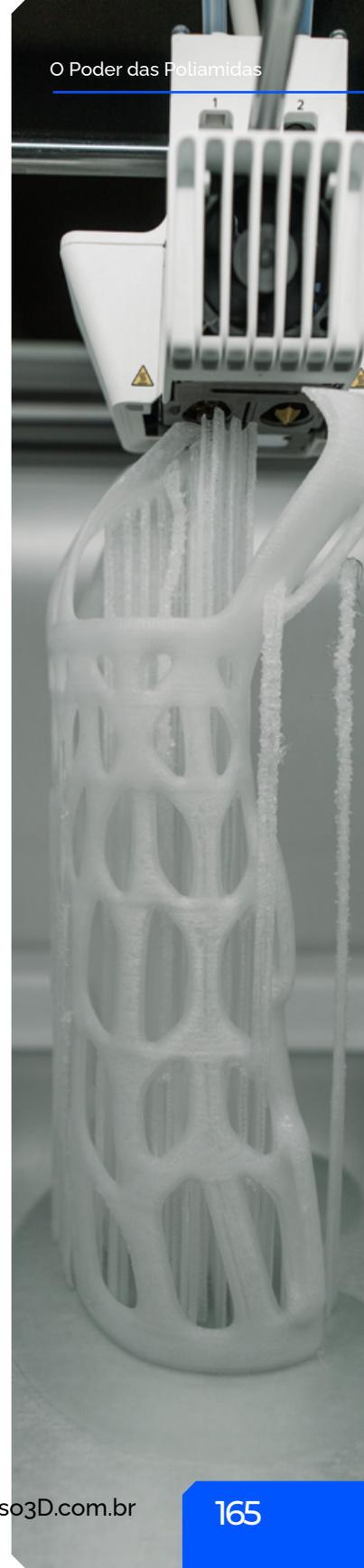
abertas, e até em algumas impressoras profissionais. Altamente higroscópico, o material é um pesadelo para ser mantido seco, mas justamente após a impressão, o material além de precisar esfriar em temperatura ambiente pelo mesmo tempo que levou para ser impresso, ele precisava ser reidratado por 4 horas em água a 40 °C, para recuperar sua elasticidade, ou de outra forma se tornaria quebradiço. E mesmo essa ginástica toda se baseava em acreditar que: 1) a impressão 3D deu certo e 2) a peça não iria entregar tudo que um exemplar igual, só que injetado daria.

O culpado é o coeficiente de cristalização da Poliamida. Um estudo conduzido pela Lehvoss, produtora internacional de polímeros para inúmeras aplicações, mostra que a Poliamida impressa quando submetido a um estudo de Tomografia Computadorizada, cria uma porosidade interna, e em impressoras comuns, quanto mais alta a peça, isto é, quanto mais distante da mesa aquecida, maior a porosidade:



Isso se deve ao fato que conforme a peça vai crescendo e se afastando da mesa aquecida, ela vai recebendo menos energia do calor da mesa e a cristalização da poliamida se torna difícil de controlar, e justamente por isso a empresa desenvolveu o que ela chama de PA HT, um material desenvolvido desde o nível molecular, para controlar sua cristalização, tornando-a mais lenta e necessitando de menos energia. O material também absorve umidade até 10 vezes mais lento que a Poliamida comum, tornando-o melhor para impressoras 3D e entregando um material que uma vez impresso, tem praticamente as mesmas qualidades de seus equivalentes injetados.

A ENTEC/Ravago é distribuidora do material no país, que atualmente já conta com 3 fabricantes do Nylon, apelidado localmente de Nylon EasyPrint, hoje é produzido pela 3DX, Filamentos 3D Brasil e pela National3D, e por intermédio da própria Lehvoss, logo teremos em solo nacional, materiais homologados pela fabricante, com fabricação e qualidade controlados. Mas existem inúmeros grandes fornecedores do material no mercado hoje em dia, e seria relapso não citar entre tantos, ao menos a Polymaker, provavelmente a maior fabricante de materiais para impressão 3D do mundo, a gigante chinesa também desenvolveu sua própria liga de Poliamida e sua abordagem ao redor do processo de impressão da mesma, e claro, a BASF também é outra grande desenvolvedora aqui no Brasil representada pela Additiva 3D através do Bruno Oliveira, e que contará mais, exclusivamente sobre o material deles, em uma matéria futura.



PRIMEIRAS EXPERIÊNCIAS COM NYLON (PAHT)



POR **DANIEL LOBÃO**

Youtuber e proprietário da DL3D, uma startup no ramo de conteúdo online e soluções de problemas industriais utilizando a tecnologia da manufatura aditiva.

📧 @danielwacholobao

Hoje é um dia muito especial, eu como educador ser convidado para escrever minha experiência para uma revista é muito gratificante, obrigado ao Emanuel Campos e à Impresso 3D por mais está conquista.

Bem antes de mais nada deixa eu me apresentar, sou professor na melhor instituição de ensino técnico e profissionalizante do país o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI, e no dia 19/07/2018 fui apresentado ao mundo da manufatura aditiva, através de um projeto de montagem e configuração de uma Graber I3, foi aí que tudo começou, iniciei um canal de YouTube para poder passar meus conhecimentos através da plataforma e foi um sucesso, minhas aulas presenciais tomaram outro rumo e me desenvolvi ainda mais na área do ensino, as aulas remotas e on-line vieram para ficar e hoje me sinto muito mais preparado e realizado com estes novos desafios da indústria, sociedade e educação 4.0

Os desafios da manufatura aditiva são inúmeros, começando com a parte da modelagem 3d voltada exclusivamente ao processo da manufatura aditiva que é diferente da modelagem convencional, até escolha do material mais adequado para a solução do problema em questão.

Em um projeto específico da qual estava à frente, precisei utilizar as características técnicas do PA (nylon) e se iniciou um

grande desafio, estava sendo muito difícil imprimir PA nas impressoras de baixo custo, eu na minha jornada de estudos e aprendizados criei um sistema de enclausuramento e controle para a impressão de ABS e foi um sucesso, porém, mesmo com este aparato não estava atendendo as necessidades do PA.

O primeiro desafio na impressão de PA foi que ele “pipocava” no bico na temperatura correta de impressão me forçando a ir abaixando a temperatura para melhorar o acabamento, e realmente resolveu, consegui imprimir com uma boa qualidade visual mas, as camadas não aderiram umas às outras provocando o descolamento e uma baixa resistência mecânica, continuei meus estudos na área, verificando os problemas já conhecidos da injeção de peças em PA e descobri um grande vilão, a UMIDADE, e que o material precisa ser seco em estufa antes de ser utilizado por 8 horas a 80°, isso fez muita diferença na qualidade das impressões porém o problema de empenamento se manteve, me forçando a criar um novo controle do processo.

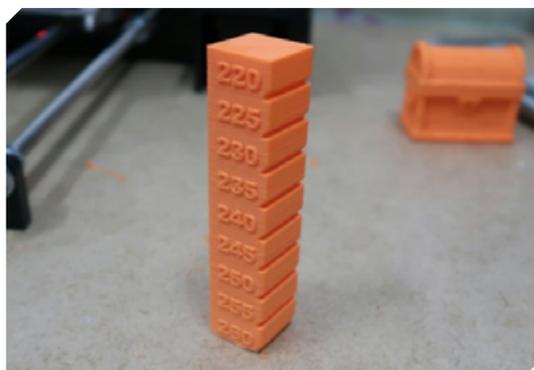
Porém neste meio tempo, fui na feira de tecnologia Mega Expo3D em Sorocaba, onde conheci o Emanuel Campos pessoalmente e ele me mostrou o PAHT sendo impresso em uma Ender 3 aberta sem nenhum controle extra do processo, isso chamou minha atenção, pois com este material todos os meus problemas com o PA seriam solucionados, algum tempo depois tive a oportunidade de testar o material PAHT nas minhas impressoras e obtive muito sucesso nas impressões, ele realmente é mais simples de se trabalhar do que o PA convencional, ele não empena, e não precisa de uma temperatura tão alta de trabalho para ter o máximo de rendimento mecânico, porém é necessário como todo material fazer os testes de temperatura para obter o melhor resultado, e é claro ter domínio do software de fatiamento é de fundamental importância pois a escolha errada de determinadas funções pode prejudicar sua experiência, caso você tenha necessidade de se desenvolver na área fica o meu convite para conhecer nossas redes sociais, lá você vai ter acesso ao nosso conteúdo gratuitamente e vamos poder nos conhecer melhor.

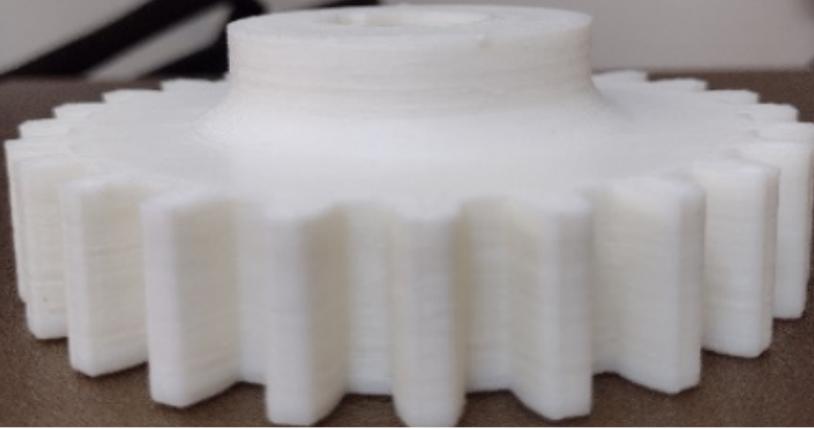
Vamos falar dos pontos que levantei deste material, é muito importante que ele fique e esteja seco para a sua utilização, deixar por 8 horas antes do uso em uma temperatura próxima de 80° e

mantê-lo aquecido em uma miniestufa, para mim continua sendo de fundamental importância pois quanto mais seco estiver o material no momento da impressão melhor, assim você vai poder trabalhar com temperatura mais elevada, favorecendo a união entre as camadas e obtendo um melhor resultado. Procurar criar peças com geometria adaptadas ao processo da manufatura aditiva também é de fundamental importância, evitando suportes e retrações, isso vai ajudar muito a melhorar a qualidade superficial e a resistência mecânica das suas peças evitando pós-tratamento, é muito importante entender perfeitamente o processo em todas as etapas, da mesma forma que hoje na indústria temos as profissões de projetista mecânico, de tubulação industrial, estruturas metálicas, caldeiraria, de moldes e ferramentas é necessário se desenvolver para esta nova linha de raciocínio em função disso se criou uma nova profissão, a de PROJETISTA EM IMPRESSÃO 3D, com a soma-tória de várias capacidades técnicas.

Vamos falar dos passos que utilizei para fazer as configurações mais adequadas ao uso do material PAHT aqui nas minhas máquinas, iniciamos com o teste de nivelamento da mesa para encontrar a velocidade e a temperatura ideal da mesa para a primeira camada, a temperatura no bico utilizamos a temperatura mais alta recomendada pelo fabricante, assim que defini os parâmetros iniciais passamos para ajustar a temperatura do bico fazendo uma torre de temperatura prismática ou cilíndrica, sem que seja necessário retrações, e colocando um preenchimento próximo de 50%

Usei este modelo do Wellington Machiavelli que você encontra no site (<https://www.thingiverse.com/thing:2467332>).



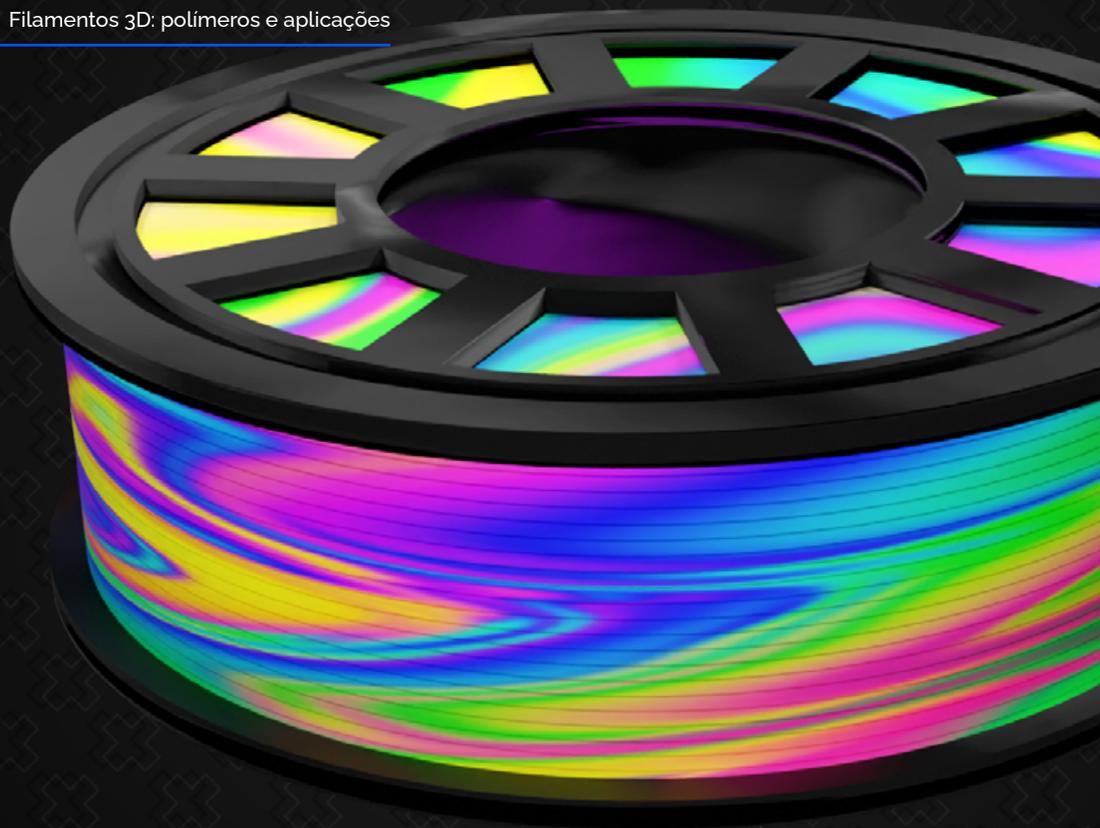


Encontrado a temperatura mais adequada para o uso aí sim vamos ajustar as retrações, utilize uma torre de retração que mais se adapte ao tipo de peça que você vai estar fabricando, neste momento não se frustre, cada equipamento tem configurações diferentes e encontrar a melhor configuração só depende de você!

Não utilize torre de retração muito pequena pois vai encontrar grandes desafios, fazer vários testes com parâmetros diferentes e entender as variações do processo, é de fundamental importância em qualquer equipamento e material, quando chegar ao ponto que lhe satisfaz pegue um projeto pequeno próximo de 4hs e faça uma peça de teste, evite perfis muito finos ou que tenha muitas retrações, como o PA é um tanto flexível é importante se atentar as configurações do fatiador, para ter uma boa impressão.

Procure fazer seus projetos de forma que o bico permaneça imprimindo o máximo de tempo possível evitando o máximo de deslocamento do bico sem depositar material e evitando também as retrações e suporte sempre que possível, nos meus processos de fabricação busco sempre utilizar uma peça por vez na mesa, isso melhora bastante a qualidade superficial externa, como neste modelo de engrenagem

Com estas recomendações com certeza vocês vão ter o máximo de rendimento do seu equipamento e do PAHT, e para mais informações estou à disposição você encontra meu contato na minha minibio.



FILAMENTOS COMPÓSITOS

Um novo conceito em materiais de alta performance para impressão 3D



POR **BRUNO OLIVEIRA**

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul Coordenador de Negócios da ADDITIVA 3D Printing Technologies.

📧 @obruno3d

Introdução

Fundamental para o desenvolvimento da manufatura aditiva a nível industrial, o mercado de materiais para impressão 3D vem crescendo constantemente ao longo dos últimos anos. Em 2020, é esperado que o segmento de materiais ultrapasse a marca dos U\$ 2 bi pela primeira vez, com forte crescimento tanto para polímeros quanto metais.

Segundo o Wholers report, em 2019 foram listados pouco mais de 1700 materiais diferentes para manufatura aditiva – entre todas as técnicas. Em 2020, foram listadas 2245 opções de materiais– o que representa um aumento de 30% em relação ao ano anterior.

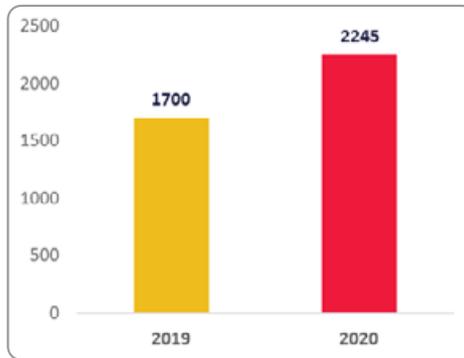


Figura 1: Materiais disponíveis para todas as técnicas de manufatura aditiva nos últimos anos. Fonte: Wholers Report/2020

Apesar dos números serem impressionantes, o cenário ainda está longe de ser o ideal. Os materiais também são responsáveis pela dificuldade da adoção da impressão 3D por grande parte das empresas. Dentre os fatores citados, os custos e, principalmente, a disponibilidade de materiais de alta performance são apontados como as grandes barreiras. Embora o custo dos materiais para impressão seja, algumas vezes, maior do que o seu similar convencional, podemos ficar otimistas em relação à diversidade de materiais para diferentes aplicações.

Começamos a observar um segmento diferente de materiais para impressão 3D que surge para atender às demandas mais exigentes da indústria, capaz de combinar propriedades que antes não poderiam ser encontradas em um único material: os materiais compósitos.

Muitos dos materiais utilizados hoje na impressão 3D FFF, como ABS, PLA, PET e PC, não possuem resistência mecânica, térmica ou química suficientes para produzir peças completamente funcionais – restringindo a aplicação da técnica à prototipagem. O desenvolvimento de materiais compósitos é um caminho para superar essa limitação e ampliar o range de aplicações possíveis para a impressão 3D.

Afinal, o que são materiais compósitos?

São materiais que combinam propriedades que não podem ser atendidas de maneira isolada por materiais convencionais como ligas metálicas, cerâmicos e polímeros. Eles são encontrados principalmente em aplicações na construção civil, setor automotivo e aeroespacial.

Em geral, buscamos a solução nos materiais compósitos quando queremos combinar duas ou mais das seguintes propriedades:

- Baixa densidade;
- Propriedades mecânicas superiores (dureza, tração, impacto);
- Propriedades elétricas específicas;
- Resistência a determinados agentes químicos.



Figura 2: Materiais compósitos na manufatura aeroespacial.

Em uma definição estrutural, os compósitos são formados pela combinação de dois materiais, denominados matriz e reforço. O material matriz é aquele responsável por conferir a estrutura do compósito, podendo ser um cerâmico, metal ou polímero. Já o material reforço é responsável por realçar alguma de suas propriedades desejadas, sendo apresentado na forma de partículas, microsferas ou fibras. Desta forma, as propriedades finais do compósito são dependentes da natureza dos materiais combinados e da proporção e formato do material de reforço.

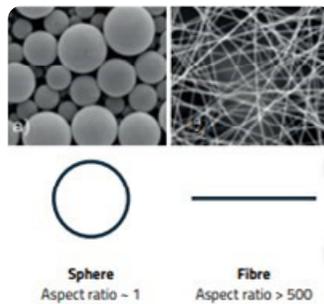


Figura 3: Razão de Aspecto dos diferentes tipos de reforços.

A razão de aspecto é utilizada para descrever o formato e a regularidade do reforço e ela é calculada dividindo a maior dimensão pela mais curta. Por exemplo, as microsferas de vidro são perfeitamente esféricas, com razão de aspecto igual à 1 e, portanto, respondem de maneira idêntica aos esforços mecânicos vindos de qualquer direção. São utilizadas especificamente para aumentar a dureza e a resistência à compressão.

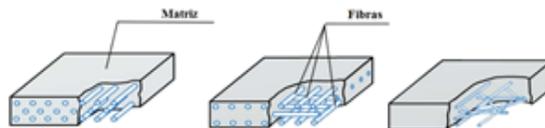


Figura 4: Possíveis orientações das fibras inseridos em uma matriz.

As fibras representam uma classe especial de reforços. Ao contrário das partículas esféricas, as fibras possuem uma elevada

razão de aspecto, ou seja, elas se estendem ao longo de uma direção preferencial. Se orientadas na mesma direção, as fibras têm o potencial de aumentar consideravelmente as propriedades mecânicas do material no qual elas estão dispersas. Por exemplo, o módulo de elasticidade e a tensão máxima de tração no sentido das fibras são propriedades comumente melhoradas pela adição deste tipo de reforço.

Por que a impressão 3D de compósitos?

A verdade é que existe uma relação de benefício mútuo para os dois lados quando fazemos essa combinação. A manufatura aditiva necessita dos materiais compósitos, pois estes possuem propriedades que não são atendidas por polímeros convencionais, podendo substituir os metais e os polímeros de alta performance, como PEEK, PSU e Ultem em algumas aplicações.

Por outro lado, os compósitos também precisam da manufatura aditiva.

Apesar dos anos de grande progresso no desenvolvimento dos materiais compósitos, a sua forte dependência de métodos de fabricação manual e a falta de técnicas de fabricação automatizadas impediram que os compósitos fossem os materiais de escolha para produção de altos volumes, peças customizadas ou de geometrias complexas com qualidade consistente.

Materiais compósitos e a impressão 3D FFF

Para impressão FFF (fused filament fabrication), os compósitos mais comuns são os de matriz polimérica reforçados com fibras curtas de vidro ou carbono. Isso ocorre porque o processo de impressão destes materiais é idêntico ao dos filamentos plásticos convencionais e, por isso, eles podem ser impressos na grande maioria dos equipamentos FFF disponíveis no mercado. O sistema é o mesmo: o filamento é fundido e depositado camada sobre camada até a formação da nossa peça final. São exemplos desta categoria os grades de Polipropileno reforçado com 30% de fibras de vidro (PP GF30) e Poliamida reforçada com 15% de fibras de

carbono (PA CF15).

Durante o processo de impressão, devido à alta razão de aspecto, as fibras se alinham na direção do fluxo do filamento fundido. Isso permite a obtenção de melhores propriedades mecânicas na direção em que as fibras estão alinhadas.

Na tabela abaixo, apresentamos o efeito da adição de fibras de carbono nas propriedades mecânicas do Ultrafuse® PET (Polietileno tereftalato) e Ultrafuse® PET CF15 (Polietileno tereftalato com 15% de fibra de carbono), filamentos desenvolvidos pela BASF Forward AM – cujos valores foram obtidos após a realização de ensaios de tração e flexão, seguindo as respectivas normas ISO.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	Ultrafuse® PET	Ultrafuse® PET CF15
Resistência à tração (Mpa)	33,4	63,2
Módulo de elasticidade (Mpa)	1933	6178
Módulo de flexão (Mpa)	2063	5452
Resistência ao impacto (kJ/m ²)	12,3	25,1

Tabela 1: Comparação de propriedades mecânicas entre o Ultrafuse® PET e o Ultrafuse® PET CF15.

O PET é um material de fácil impressão, assim como o PLA, porém muito mais resistente. As peças produzidas com este filamento apresentam ótima adesão entre as camadas e excelente resolução, podem ser aplicadas em contato com água e são 100% recicláveis. Ao adicionarmos fibras curtas de carbono neste polímero, melhoramos as suas propriedades mecânicas sem comprometer as características básicas do material. Conforme apresentado na Tabela 1, a resistência máxima de tração praticamente dobra no Ultrafuse® PET CF 15, enquanto o módulo de elasticidade (indicativo da rigidez do material) mais do que triplica.

A adição de fibras a um termoplástico é a melhora na sua resistência térmica, que pode ser entendida como uma melhor estabilidade dimensional em ambientes quentes – como por exemplo: motores de carros, painéis elétricos, etc. Para exemplificar este efeito, a figura abaixo compara as temperaturas de deflexão térmica

para o Ultrafuse® PA (Poliamida) e Ultrafuse® PAHT CF15 (Poliamida reforçada com 15% de fibras de carbono).



Figura 5: Temperatura de deflexão térmica (1,82 MPa), em °C, do Ultrafuse® PA e Ultrafuse® PAHT CF15. Fonte: BCN3D.

A poliamida é um dos materiais de engenharia mais utilizados em aplicações industriais, sendo conhecida por sua flexibilidade e durabilidade. Ela permite a produção de peças com excelente resistência à fadiga e ao desgaste por abrasão, além de alta resistência ao impacto, mesmo com espessuras mais finas. A adição de 15% de fibra de carbono transforma completamente a poliamida em um material extremamente rígido, capaz de suportar cargas mecânicas elevadas sem flexionar, mesmo a altas temperaturas. De acordo com os dados do ensaio de HDT apresentados na figura 5, o PAHT CF15 suporta temperaturas 42% maiores que aquelas toleradas pelo PA puro. Segundo outras informações fornecidas pela BASF 3D Printing Solutions GmbH, as peças impressas com Ultrafuse® PAHT CF15 podem ser submetidas a temperaturas constantes de 150°C com picos de até 180°C, por um curto período.

Aspectos importantes da impressão 3D

Um dos principais pontos a serem melhorados na técnica de impressão 3D FFF de materiais compósitos (assim como para polímeros sem reforço) é a resistência mecânica das peças no sentido perpendicular à deposição do filamento – o eixo z, que é, geralmente, muito mais baixa do que aquela apresentada no plano de impressão. Ao trabalharmos com filamentos reforçados com fibras curtas, a anisotropia do material fica mais evidente, uma vez que aumentamos ainda mais a resistência mecânica na direção de deposição. Por isso, é extremamente importante pensar o design da peça e o sentido da impressão.



Figura 6: Representação do processo de impressão 3D de materiais compósitos de fibras curtas. As fibras se alinham no sentido da deposição do material fundido.

A adição das fibras ao polímero não afeta somente as propriedades físicas, mecânicas, ou químicas do material, ela afeta também a facilidade com a qual o material pode ser impresso. No estado fundido, a presença de partículas sólidas e rígidas, como é o caso das fibras, aumenta a viscosidade do polímero - isso quer dizer é necessário atingir temperaturas mais altas no extrusor para garantir o fluxo ideal.

Outro aspecto a ser levado em conta é o efeito abrasivo das fibras. O uso de fibras de carbono, e especialmente de vidro, pode resultar em um desgaste considerável do nozzle (bico de impressão) em um período curto. Por isso, quando se imprime com filamentos de materiais compósitos, é recomendado sempre trabalhar com o nozzle de um material resistente à abrasão, como aço endurecido, carbeto de tungstênio ou rubi.



Figura 7: Nozzle com ponteira em Rubi - Material resistente ao desgaste por abrasão, indicado para a impressão de filamentos compósitos. Fonte: ALL3DP.

Portfólio em filamentos compósitos

Comprometida com o desenvolvimento da manufatura aditiva a nível industrial, a BASF 3D Printing Solutions GmbH desenvolveu diferentes grades de filamentos compósitos, que atendem demandas extremamente exigentes e permitem que o usuário explore por completo o potencial da impressão 3D. Confira abaixo algumas características dos materiais compósitos da linha Ultrafuse®:

Ultrafuse® PET CF15:

Ultrafuse® PET CF 15 contém 15% de fibra de carbono e foi desenvolvido para que o usuário da impressão 3D produza peças completamente funcionais. Sua elevada estabilidade dimensional e baixíssima absorção de umidade tornam ele um material ideal para aplicações em contato com água. Ultrafuse® PET CF 15 combina resistência a altas temperaturas, resistência à tração e elevada rigidez, tudo isso mantendo as características do PET puro, como facilidade de impressão, excelente adesão entre camadas e acabamento superficial.

- Mais fácil processamento entre os filamentos compósitos
- Baixíssima absorção de umidade
- Elevada rigidez e resistência à tração
- Custo extremamente acessível



Figura 8: Ultrafuse® PET CF15.

Ultrafuse® PET CF15 combina alta performance oferecida pelas fibras de carbono com um custo extremamente acessível, tornando-o a escolha perfeita para entrada no mundo dos compósitos.

Ultrafuse® PAHT CF15:

A Poliamida de alta temperatura reforçada com 15% de fibra de carbono combina resistência química e a altas temperaturas com propriedades mecânicas extremas. É um material sofisticado que abre novas possibilidades no campo da impressão 3D. A poliamida, classe à qual o nylon pertence, é um termoplástico que possui ampla aplicação no setor automotivo, peças expostas ao calor, proteção de equipamentos eletrônicos e ambientes industriais exigentes.

O grade utilizado para a produção deste filamento possui maior resistência química que a grande maioria das poliamidas, além de uma maior estabilidade dimensional. A combinação com fibras de carbono no Ultrafuse PAHT CF15 faz com que o material:

- Excelente resistência à tração e rigidez – Maior entre os compósitos
- Resistência a temperaturas de até 150°C, com picos temporários de até 180°C – valores extremamente significantes para um polímero!
- Pode ser combinado com o filamento de suporte solúvel em água para produção de peças com geometrias complexas – Ultrafuse® BVOH.



Figura 9: Ultrafuse® PAHT CF15.

A combinação da poliamida com as fibras de carbono neste material traz ainda uma outra característica muito importante: a propriedade antiestática, ou como é conhecido, ESD safe. As fibras são adequadas para desviar certas correntes de falhas. Isso significa que o material pode ser utilizado em tampas de equipamentos eletrônicos e peças de carcaças, por exemplo.

Ultrafuse® PP GF30:

Ultrafuse® PP GF30 combina a baixa densidade e a resistência química do polipropileno com a rigidez e a estabilidade dimensional proporcionadas pelo reforço de fibras de vidro. Foi desenvolvido para produção de elementos estruturais rígidos, como eixos, barras e suportes, e peças que serão expostas a ambientes agressivos e úmidos ou em contato com produtos químicos.

- Produção de peças extremamente rígidas e leves Resistência à umidade e radiação UV
- Resistência a diversos químicos
- Ampla faixa de trabalho da peça final: -20°C à 120°C



Figura 10: Ultrafuse® PP GF30.

O polipropileno é um dos termoplásticos mais utilizados em diferentes indústrias, especialmente no setor automotivo. No entanto, a produção de filamentos com alto teor de reforço sempre foi uma grande dificuldade. Ultrafuse® PP GF30 contém 30% de fibras de vidro especiais desenvolvidas exclusivamente para a

produção de filamentos e impressão 3D. Isso garante que a peça impressa seja extremamente funcional sob maiores temperaturas e cargas mecânicas que aquelas suportadas pelo PP puro. Devido a sua resistência a radiação UV, o PP GF30 é um material adequado para aplicações que são diretamente expostas a luz solar.

Impressoras compatíveis

O processo de impressão dos filamentos de materiais compósitos é o mesmo que aquele para os polímeros convencionais. Sendo assim, é possível imprimir com filamentos compósitos na grande maioria dos equipamentos disponíveis no mercado. A impressora deve apenas atingir os seguintes critérios:

- Attingir os ranges de temperatura de extrusão e mesa descritos nos datasheets técnicos individuais de cada material. Dentre os materiais da linha Ultrafuse®, a maior temperatura do extrusor necessária é de até 280°C e para a mesa 120°C.
- Nozzle em material resistente ao desgaste por abrasão. Em alguns casos, este acessório pode ser obtido separadamente do equipamento, abrindo ainda mais o leque de opções de impressoras compatíveis.



Figura 10: Ultrafuse® PP GF30.

A lista de equipamentos habilitados é muito grande e inclui tanto fabricantes nacionais quanto internacionais. Alguns exemplos são apre-

sentados acima, porém, é muito importante ressaltar que a lista não se limita a apenas equipamentos destas marcas.

Considerações finais

Por muito tempo, a disponibilidade de materiais de alta performance foi um fator limitante na adoção da impressão 3D por parte da indústria. Hoje, os desenvolvimentos da BASF 3D Printing Solutions GmbH em filamentos de materiais compósitos, especialmente aqueles com fibra de vidro e carbono, abrem novas possibilidades para as empresas.

Em busca da competitividade no mercado, as indústrias precisam produzir mais e melhor pelo menor custo possível. Para atingir estes objetivos, deve-se eliminar gargalos na produção, desperdício de tempo, garantir que os equipamentos funcionem na sua melhor performance e, em muitos processos, não interromper a linha de produção.

Sabemos que a incorporação da impressão 3D na indústria garante a capacidade de personalização e aumento da produtividade. Rotinas internas passam a ser mais eficazes, a criação de protótipos e desenvolvimento de peças e ferramentas se torna mais rápida e, também, mais econômica.

As tecnologias oferecidas hoje no Brasil pela ADDITIVA 3D Printing Technologies permitem que o usuário desenvolva cada vez mais aplicações funcionais, onde são exigidas propriedades rigorosas sem que ocorra o comprometimento da facilidade do processamento. Tudo isso acelera a criação de novos produtos e possibilita atender as demandas mais exigentes do mercado.

Referências

Technical datasheets BASF Ultrafuse® - www.additiva3d.com.br

The State of 3D Printing Report: 2020 edition – Sculpteo - www.sculpteo.com

Wholers Report 2020 – 3D Printing and Additive Manufacturing Global state of the Industry An essential guide on fiber-filled materials for 3D Printing – BCN3D www.3dprintingmedia.network/composites-additive-manufacturing-market-2028/

The Additive Manufacturing Industry Landscape 2020 - <https://amfg.ai/>

Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução. William D. Callister, 2002 – 359-35.

AS MELHORES MARCAS DO UNIVERSO 3D

A LOJA
INTEIRA,
EM ATÉ

12x
Sem juros

Creality K1
Pré-Venda

FRETE
GRÁTIS

PARA SUL E SUDESTE EM COMPRAS
ACIMA DE R\$ 300,00



Esse eBook é uma coletânea de artigos sobre os polímeros utilizados na manufatura aditiva (impressão 3D), os quais foram publicados na revista digital Impresso 3D, em torno dos dois anos de sua existência.

Acreditamos que você, caro leitor(a), terá um grande aprendizado e proveito sobre conteúdos escritos por nossos colunistas, que demonstram um conhecimento excepcional e profissional sobre o tema.



impresso3D