



# Além da Ficha Técnica: Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Resumo

Este artigo técnico foi motivado por alegações de propriedades de materiais superiores feitas por concorrentes em FFF (fabricação de filamentos fundidos), apesar de testes internos da Stratasys que demonstraram o contrário. Esta discrepância entre as especificações publicadas e demonstradas decorre de diferenças nos toolpaths e na orientação de construção dos corpos de prova mecânicos entre os métodos de ensaio da Stratasys e os da concorrência. Ao mudar dos toolpaths padrão usados pela Stratasys para os toolpaths unidirecionais otimizados usados pelo concorrente, o material Stratasys FDM® Nylon-CF10 mostrou um aumento de 160% na temperatura de deflexão de calor (HDT), aumento de 152% no módulo de tração e aumento de 94% na resistência à tração em relação às nossas especificações reais publicadas. A impressão de amostras mecânicas com toolpaths unidirecionais é apropriada para mostrar a resistência máxima de um material preenchido com fibra de carbono, mas não é representativa da resistência do material dentro da peça FFF típica.

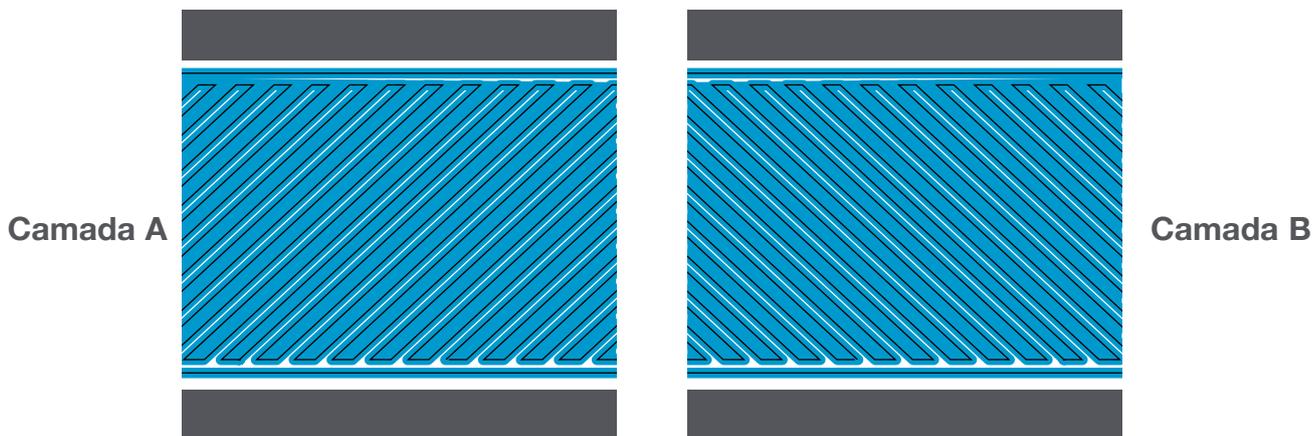
## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

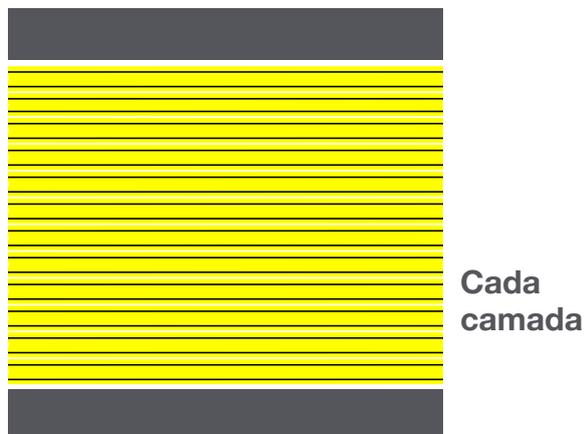
## Introdução

Na Stratasys, as propriedades mecânicas são testadas de forma consistente e transparente ([consulte o Procedimento de Teste de Materiais da Stratasys para procedimentos de teste padrão para FDM](#)). Os toolpaths seguem nossa geração de toolpaths padrão, onde as camadas estão em uma orientação de "45°/-45°" em relação umas às outras. Isso significa que a primeira camada raster é de 45° no plano **XY** e a camada seguinte é perpendicular a essa camada (-45°). Para uma geometria retangular simples, isso seria alternar entre a Camada A e a Camada B na **Figura 1**. O teste de propriedades mecânicas com rasters de 45°/-45° produz um desempenho mais isotrópico no plano **XY** e representa os toolpaths utilizados em grandes peças, como as usadas na fabricação.

### Toolpaths de Teste Mecânico da Stratasys



### Toolpaths de Teste Mecânico da Concorrência



**Figura 1** - Diferença entre os toolpaths de teste mecânico da Stratasys e da concorrência. A Stratasys possui rasters em um ângulo de 45° com um deslocamento perpendicular entre as camadas. Os concorrentes têm toolpaths unidirecionais que são os mesmos em todas as camadas.

## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

Quando as peças em FDM da Stratasys são construídas, as camadas são adicionadas uma de cada vez, o que resulta em colagem intercamada reduzida e menor resistência na direção vertical (**Z**) em comparação com o plano **XY**. Ao imprimir um material preenchido, como Nylon-CF10 ou ABS-CF10, isso é acentuado à medida que a fibra de carbono se alinha nos toolpaths e aumenta a resistência dentro do plano **XY**. A Stratasys testa as propriedades mecânicas nas orientações na borda (**XZ**) e vertical (**ZX**) (ver Figura 2). Ao apresentar os dados verticais (**ZX**) a condição mais fraca é apresentada para que as peças possam ser projetadas com conhecimento do desempenho mecânico do "pior caso" para permitir muita margem de segurança.

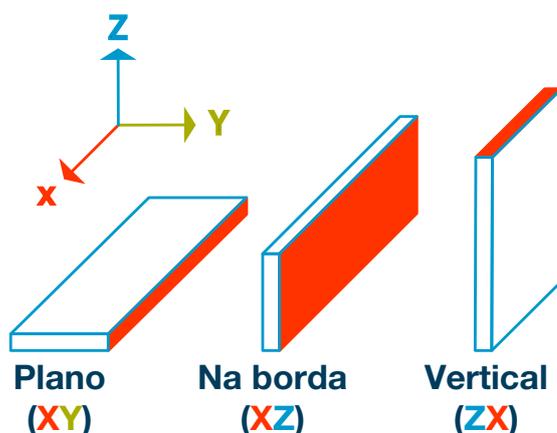
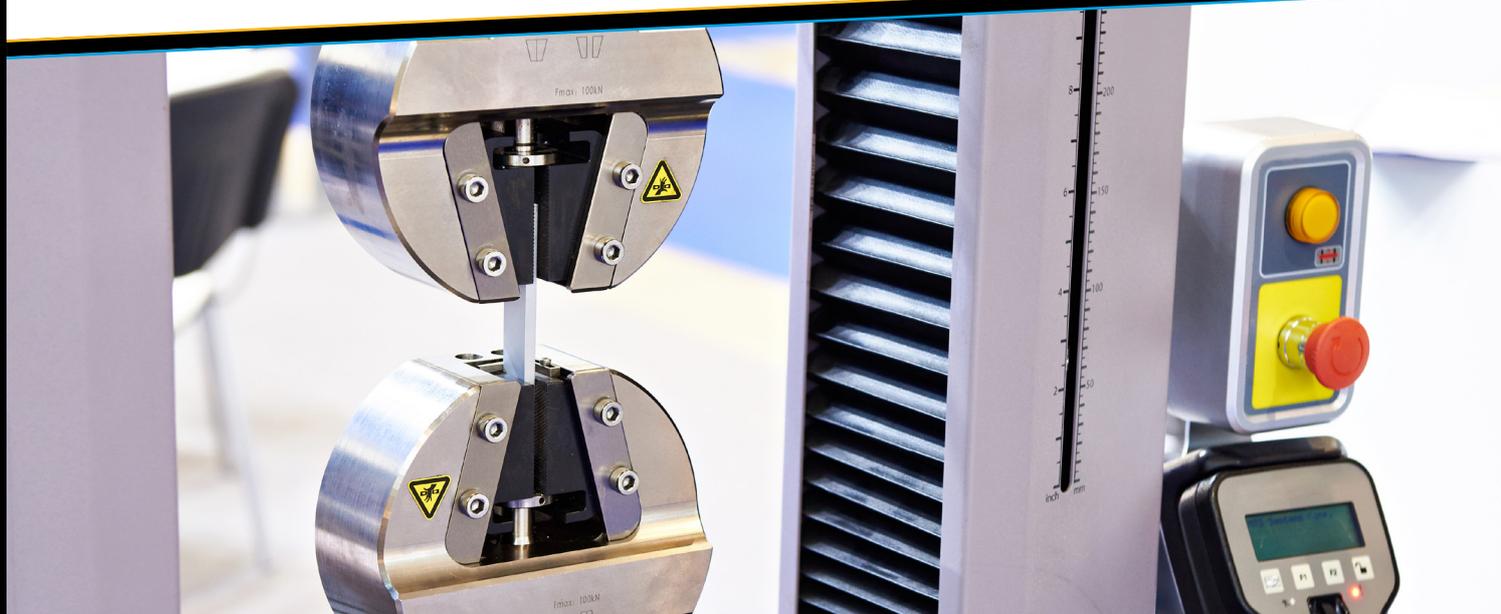


Figura 2- Orientações de impressão.

Os fabricantes de FFF concorrentes tendem a selecionar e apresentar propriedades mecânicas e físicas a partir de toolpaths otimizados para a configuração de teste. Um exemplo é um concorrente que fornece dados apenas para a orientação plana (**XY**) com toolpaths unidirecionais como os mostrados na Figura 1. Com um material preenchido, as fibras de carbono alinhadas ajudam a aumentar a resistência dentro do plano de construção **XY**. Este método de otimização de toolpaths é apropriado para mostrar a resistência máxima para materiais preenchidos, mas deve ser usado com cautela, pois não é representativo de toolpaths ou resistência de peças típicas.

Para mostrar o desempenho aprimorado com toolpaths unidirecionais, a Stratasys imprimiu amostras de temperatura de deflexão de calor (HDT), flexurais, tração e impacto entalado em ABS-CF10 e Nylon-CF10. Este white paper mostrará os procedimentos e o desempenho aprimorado dos materiais ao utilizar toolpaths unidirecionais.



## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Procedimento de teste

O software Insight™ foi usado para preparar arquivos de construção com um toolpath unidirecional para corpos de teste de HDT, tração, flexão e impacto. Corpos de prova foram preparados para os materiais ABS-CF10 e Nylon-CF10. Detalhes específicos sobre os parâmetros de processamento e métodos de teste podem ser encontrados nas subseções abaixo. A menos que especificado, os parâmetros e normas de processamento padrão foram seguidos. Amostras comparativas nesses materiais com rasters padrão de 45°/-45° seguiram os procedimentos do [Procedimento de Teste de Materiais da Stratasys](#) para processamento de arquivos.

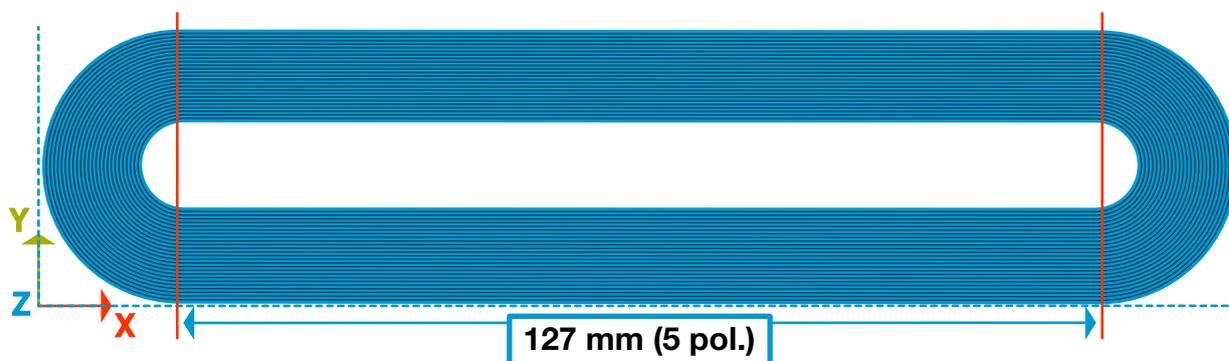
Todos os pacotes de construção foram criados com o software Control Center™ usando o processo no Procedimento de Teste de Material da Stratasys. Amostras de ABS-CF10 foram produzidas em uma F370® e amostras de Nylon-CF10 foram produzidas em uma F370®CR. Para cada tipo de material, todos os materiais eram do mesmo lote. O suporte QSR™ foi utilizado com ambos os materiais de modelagem. As amostras de Nylon-CF10 foram tanqueadas por 4-6 horas para remover o suporte QSR. O material de suporte foi removido manualmente do corpo de amostra ABS-CF10.

Para corpos de amostra de tração, flexão e impacto, foram ensaiados 10 corpos de amostra para cada material e tipo de ferramenta. Para HDT, foi realizado teste triplicado para cada material e pressão [0,45 MPa e 1,8 MPa (66 e 264 psi)]. Detalhes dos ensaios físicos e mecânicos para este estudo estão listados abaixo.

Consulte o Apêndice A para obter uma lista completa de versões de software e equipamentos de teste.

## Teste de temperatura de deflexão de calor

Os corpos de prova HDT foram amostras de 127 mm x 12,7 mm x 5,1 mm (5 pol. x 0,5 pol. x 0,2 pol.), impressas na orientação plana (XY) com toolpaths unidirecionais. Para isso, as amostras foram produzidas como uma "pista" de contornos contínuos, conectando duas amostras de comprimento sobredimensionado conectadas com extremidades arredondadas, como mostrado na [Figura 3](#). As extremidades semicirculares foram cortadas no tamanho certo retirando-se as extremidades semicirculares nos locais indicados na [Figura 3](#).

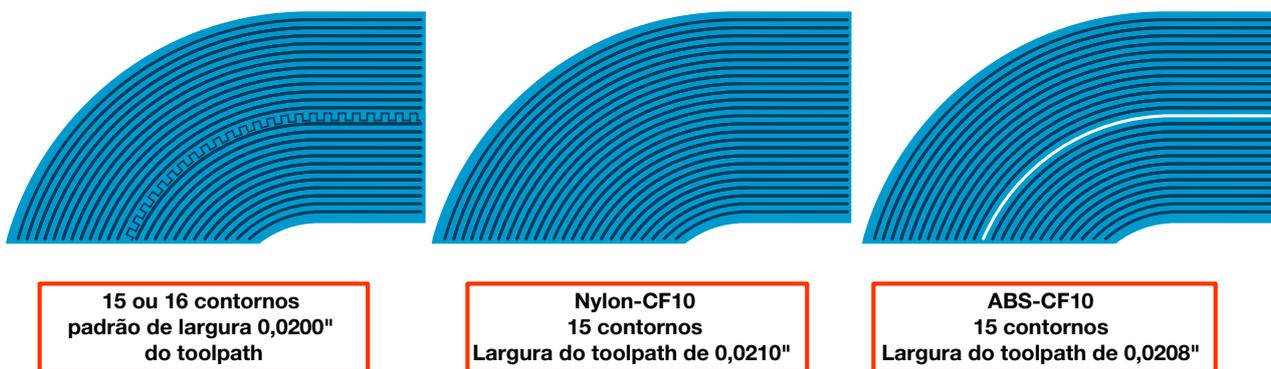


**Figura 3-** Pista com duas amostras HDT acopladas para permitir contornos contínuos. Os semicírculos foram cortados para deixar apenas a amostra HDT.

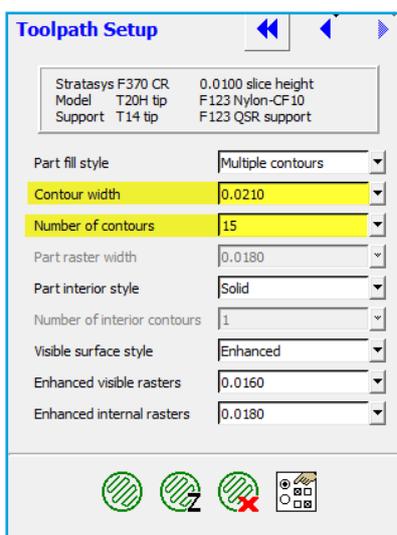
## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

Durante o processamento no Insight, os parâmetros do toolpath foram modificados para especificar 15 contornos e uma largura de contorno de 0,0210 pol. para Nylon-CF10 e 0,0208 pol. para ABS-CF10. Quando a largura de contorno padrão de 0,02 pol. foi usada, um pequeno raster apareceu no meio da amostra (ver [Figura 4](#)). Visualmente, há uma pequena lacuna nos toolpaths de amostra ABS-CF10 no Insight, mas quando impressa a amostra estava apresentando preenchimento excessivo na superfície superior até que a largura do contorno fosse reduzida para 0,0208 pol. Um exemplo das configurações do Insight para os exemplos de HDT é mostrado na [Figura 5](#).



**Figura 4** - Exemplo de contornos na pista HDT. Quando a largura de contorno padrão foi usada, um pequeno padrão raster estava presente no meio da amostra. Para ABS-CF10 e Nylon-CF10, a largura de contorno foi ampliada em 0,0008-0,0010" para toolpaths completamente unidirecionais.



As amostras unidirecionais de HDT foram testadas a 0,45 e 1,8 MPa (66 e 264 psi). Três amostras foram testadas por material, por pressão, seguindo o procedimento B da norma ASTM D648 com um comprimento de vão de ~51 mm (~2 polegadas). Todas as amostras de HDT foram condicionadas por um período mínimo de 16 horas a  $70 \pm 0,5$  °C ( $158$  °F  $\pm 0,9$  °F) em estufa a vácuo a menos de 100 mbar antes do teste.

**Figura 5** - Exemplo de parâmetros de toolpath modificados para HDT. Os parâmetros modificados são destacados em amarelo.

## Além da Ficha Técnica:

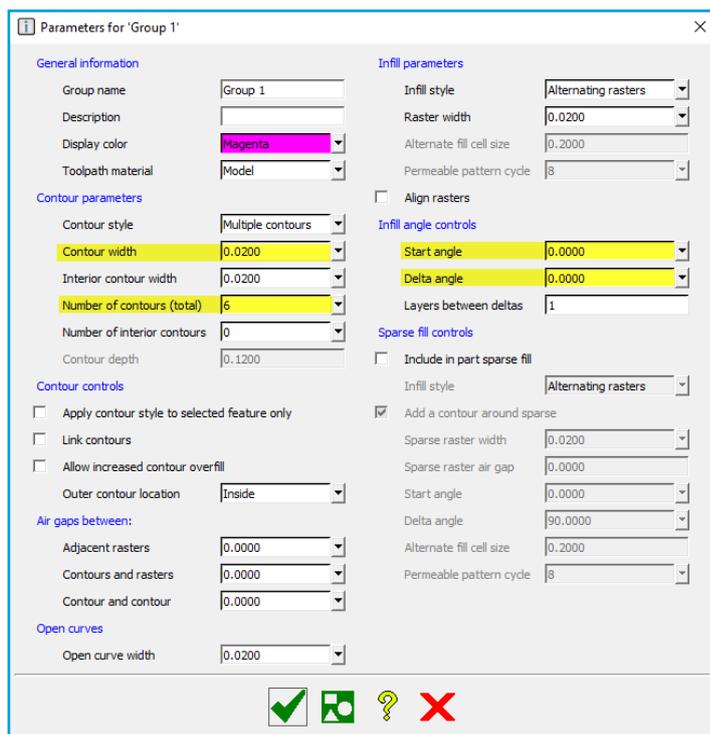
# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Resistência a tração

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados em amostras ASTM D638 Tipo I, espessura = 3,3 mm (0,130 pol.). Para criar os toolpaths unidirecionais, todas as curvas da amostra de tração foram adicionadas a um grupo customizado no Insight. O grupo customizado era necessário para que um ângulo delta de 0° pudesse ser aplicado para evitar que a seção raster do cupom fosse perpendicular em camadas alternadas. Dentro do grupo customizado, os toolpaths modificados usavam seis contornos e os Controles de Ângulo de Preenchimento definidos com um Ângulo de Início de 0° e um Ângulo Delta de 0°. Para o Nylon-CF10, a largura de contorno foi o padrão de 0,02 pol. Para o ABS-CF10, a largura do contorno foi de 0,0198 pol. já que a aparência da peça foi preenchida no padrão de 0,02 pol. A **Figura 6** mostra os toolpaths dos cupons de tração com os toolpaths unidirecionais no lugar para a região do pescoço. A **Figura 7** mostra os parâmetros do toolpath que foram modificados dentro do grupo customizado aplicado para a peça.



Figura 6- Toolpaths do cupom de tração D638 com toolpaths unidirecionais dentro da região do pescoço.



Foram realizados ensaios mecânicos de tração conforme norma ASTM D638 com velocidade transversal de 0,2 pol./min. O módulo de tração é calculado com base nos valores tensão-deformação de 15% a 35% da carga máxima. Todas as amostras foram condicionadas por um período mínimo de 40 horas a  $23 \pm 2$  °C ( $73$  °F  $\pm 3,6$  °F) e  $50 \pm 10\%$  UR antes do teste.

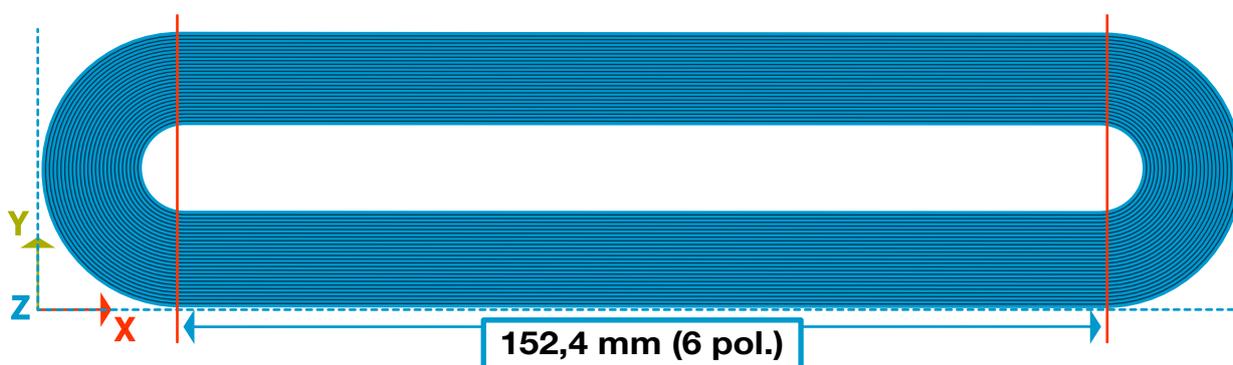
Figura 7- Exemplo dos grupos customizados para cupons de tração unidirecional. Os parâmetros modificados são destacados em amarelo para o Nylon-CF10.

## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Resistência flexural

Foram realizados ensaios mecânicos à flexão em amostras ASTM D790, 10,2 mm x 6,1 mm x 152,4 mm (0,4 pol. x 0,24 pol. x 6 pol.). Como as amostras HDT, os cupons de resistência à flexão foram criados a partir de uma "pista" com apenas contornos; as extremidades foram posteriormente cortadas (ver [Figura 8](#)). Com o objetivo de criar cupons totalmente preenchidos, pequenos ajustes foram feitos na largura do contorno para preencher o cupom e, em seguida, reduzidos se o cupom foi preenchido em excesso quando impresso. Para os parâmetros de toolpath modificados no Insight, os contornos foram ajustados para 10 e a largura de contorno foi de 0,0201 pol. para Nylon-CF10 e 0,02005 em. para ABS-CF10.

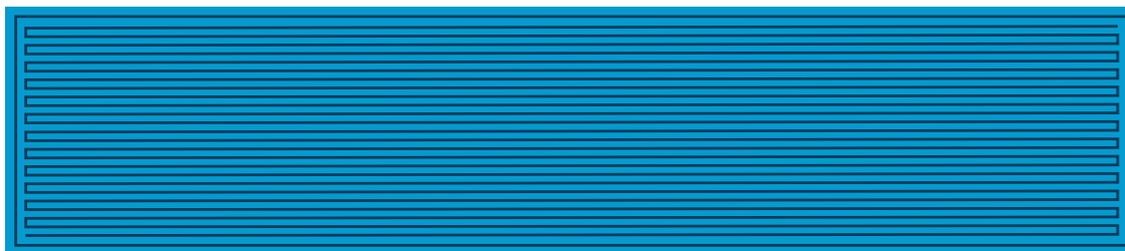


**Figura 8** - Pista com duas amostras de flexão acopladas para permitir contornos contínuos. Os semicírculos foram cortados para deixar apenas o corpo de prova de flexão.

Ensaio mecânico de flexão foram realizados em amostras ASTM D790 usando o procedimento A com um comprimento de vão de ~2 pol. e uma taxa de deformação de 0,01 pol./min. Todas as amostras foram condicionadas por um período mínimo de 40 horas a  $23 \pm 2$  °C ( $73$  °F  $\pm 3,6$  °F) e  $50 \pm 10\%$  UR antes do teste.

## Impacto Izod (com entalhe)

As amostras de impacto Izod foram realizadas em amostras ASTM D256, espessura = 3,175 mm (0,125 pol.). Os toolpaths foram criados de forma semelhante ao corpo de prova de tração com um grupo customizado para que o ângulo delta raster pudesse ser ajustado para 0°. O grupo customizado foi definido com um contorno único, preenchimento sólido, um ângulo de início de controle de ângulo de preenchimento de 0° e ângulo delta de 0°, e larguras padrão de contorno e raster. Isso resultou em um preenchimento de cupom como o da [Figura 9](#) em cada camada.



**Figura 9** - Toolpaths da amostra de impacto unidirecional Izod.

Os testes com entalhe de Izod foram realizados por ASTM D256 com capacidade pendular de 2 ou 16,1 pés\*lb usando o Método A. O entalhe foi criado após a impressão por ASTM D256. Todas as amostras foram condicionadas por um período mínimo de 40 horas a  $23 \pm 2$  °C ( $73$  °F  $\pm 3,6$  °F) e  $50 \pm 10\%$  UR antes do teste.

## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Resultados e análise

Ao analisar os resultados do teste unidirecional, os dados existentes das folhas de dados de material ou outros conjuntos de dados que foram testados de acordo com o Procedimento de Teste de Materiais da Stratasys são incluídos para mostrar comparações com o desempenho mecânico. Os dados brutos para os dados unidirecionais estarão disponíveis mediante solicitação. Tabelas com as unidades imperiais podem ser encontradas no [Apêndice B](#).

## Teste de HDT

A HDT é a temperatura na qual um material começa a amolecer ou deformar sob carga, indicando sua resistência ao calor. Ela ajuda a determinar a temperatura máxima que um material pode suportar sem deformação ou falha significativa.

Os dados da HDT para ABS-CF e Nylon-CF são mostrados na [Tabela 1](#). Os toolpaths unidirecionais em ABS-CF10 mostram aumentos incrementais em relação aos toolpaths padrão de 45°/-45° em ambas as pressões. O Nylon-CF10 mostra aumentos significativos de cerca de 160% entre os toolpaths unidirecional e padrão. Também é digno de nota que os toolpaths unidirecionais são maiores do que os dados HDT moldados. Ao alinhar as fibras de carbono ao longo dos toolpaths, em vez de como elas se dispersam mais aleatoriamente durante o processo de moldagem por injeção, há um aumento de 13%-40% na HDT alcançada.

	HDT (°C)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Baixa (0,45 MPa)	Alta (1,8 MPa)	Baixa (0,45 MPa)	Alta (1,8 MPa)
Toolpaths Unidirecionais (orientação XY)	117	112	153	133
Toolpaths Padrão 45/-45 (orientação XY)	112	111	58	52
Como Moldado	100	99	109	105

Tabela 1 - HDT do ABS-CF10 e Nylon-CF10

## Resistência a tração

O ensaio de tração avalia a resistência, a ductilidade e o alongamento de um material, puxando as extremidades do corpo de prova até que ele se rompa. Os dados de tração para os toolpaths unidirecionais estão na [Tabela 2](#), bem como os dados de tração para **XY** com toolpaths normais de 45°/-45° das mesmas máquinas e lotes de materiais que os unidirecionais. Para ambos os materiais, há um aumento no módulo de tração, resistência ao escoamento e tensão na ruptura, bem como uma diminuição nos valores de alongamento com os toolpaths unidirecionais. Isso faz sentido porque as fibras de carbono alinhadas no eixo sob tensão ajudam a melhorar a resistência, mas diminuem a capacidade de alongamento do material da matriz no eixo de tensão.

## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

Para o ABS-CF10, os toolpaths unidirecionais causam um aumento de 25% na resistência ao escoamento e tensão na ruptura e um aumento de 71% no módulo elástico em relação aos toolpaths padrão. Com o Nylon-CF10, o módulo de elasticidade aumenta em 152% e a resistência ao escoamento em 94% com os toolpaths unidirecionais.

Além disso, os dados de tração são relativamente apertados, como ilustrado na **Figura 10** - A resistência ao escoamento à tração é aumentada usando toolpaths unidirecionais. O Coeficiente de Variação (COV), que é definido como o desvio padrão dividido pela média, é inferior a 4% para todos os módulos de tração e resistência ao escoamento para os dados de tração **XY**.

Para o ABS-CF10, os toolpaths unidirecionais causam um aumento de 25% na resistência ao escoamento e tensão na ruptura e um aumento de 71% no módulo elástico em relação aos toolpaths padrão. Com o Nylon-CF10, o módulo de elasticidade aumenta em 152% e a resistência ao escoamento em 94% com os toolpaths unidirecionais.

Toolpaths	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidirecional	Padrão 45/-45	Unidirecional	Padrão 45/-45
Módulo de elasticidade (GPa)	5,22	3,04	6,03	2,39
Resistência a tração (MPa)	44,9	35,8	68,1	35,1
Alongamento ao Rendimento (%)	1,2	3,0	4,0	5,6
Estresse no Intervalo (MPa)	44,6	35,6	64,4	20,0
Alongamento na ruptura (%)	1,2	3,0	5,1	8,2

Tabela 2 - Dados de tração do ABS-CF10 e Nylon-CF10 na orientação XY

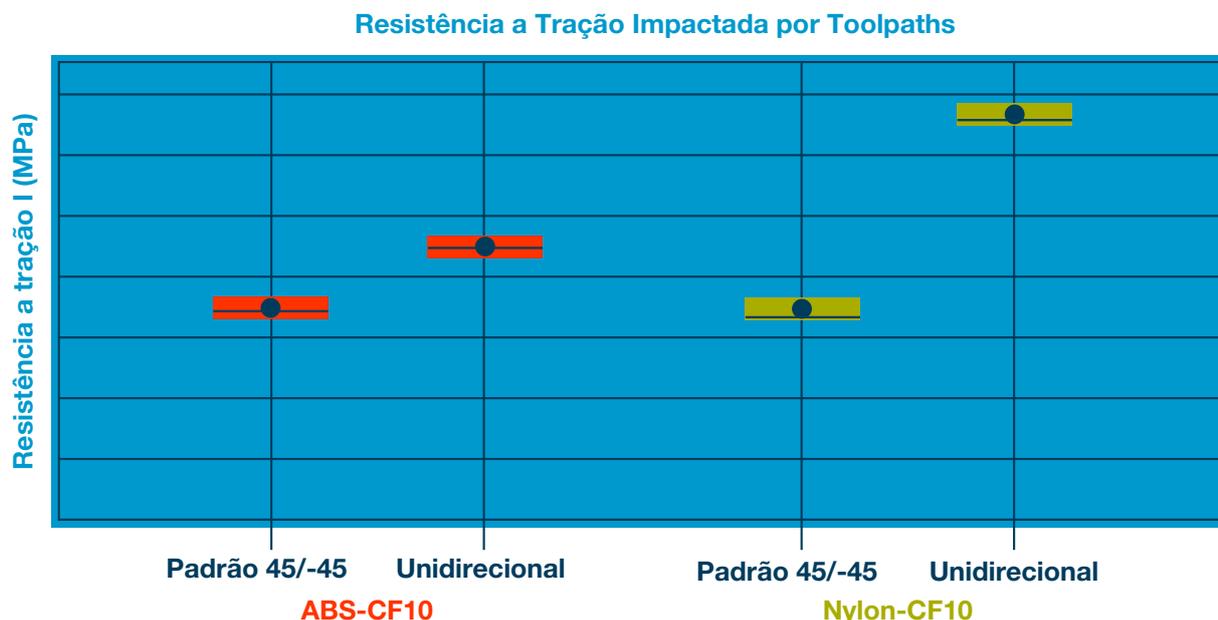


Figura 10- A resistência a tração é aumentada com o uso de toolpaths unidirecionais.

## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

#### Resistência flexural

O teste de resistência à flexão avalia a capacidade de um material de resistir à flexão ou deformação sob uma configuração de carregamento de três pontos. Ele indica a resistência do material à quebra ou fissuração quando submetido a forças de flexão, fornecendo informações sobre sua integridade estrutural e capacidade de suportar cargas em aplicações do mundo real. Os dados de resistência à flexão unidirecional são mostrados na **Tabela 3** com a resistência à flexão mostrada na **Figura 11**. Os dados das 10 amostras são muito repetíveis com um COV menor que 4% para módulo de flexão e resistência à flexão uma ruptura para cada material.

Resistência à flexão de amostra XY com toolpaths unidirecionais em Nylon-CF10		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Módulo de elasticidade (GPa)	4,96	6,96
Tensão Flexural na Ruptura (%)	2,6	3,4
Tensão Flexural na Ruptura (MPa)	89,3	138,2

Tabela 3-Resistência à Flexão do ABS-CF10 e Nylon-CF10 na Orientação XY com Toolpaths Unidirecionais

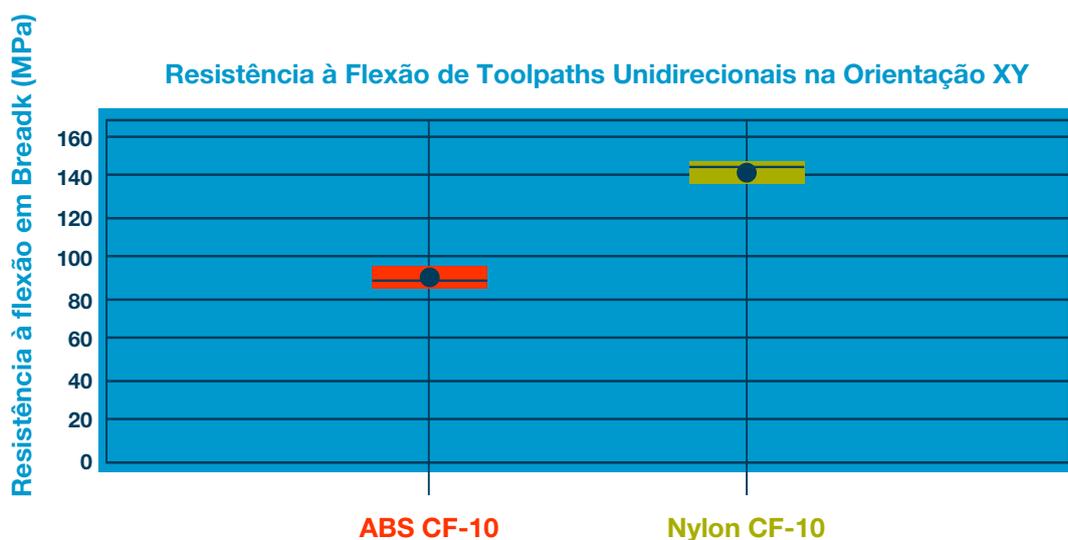


Figura 11- Tensão Flexural na Ruptura de Toolpaths na orientação XY.

## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Impacto Izod (com entalhe)

O teste Notched Izod é um método usado para avaliar a resistência a impactos de um material, medindo a energia necessária para quebrar um amostra entalhada submetida a um impacto pendular. Ele indica a capacidade do material de suportar cargas bruscas de impacto ou choque e fornece informações sobre sua dureza e resistência à fratura. Este teste é valioso na seleção de material para aplicações onde o impacto ou o carregamento dinâmico é uma preocupação, ajudando a garantir que o material escolhido possa suportar impactos potenciais sem falhas catastróficas.

A **Tabela 4** contém os dados de impacto para ABS-CF10 e Nylon-CF10. Os dados dos toolpaths padrão são os dados da folha de dados do material. Ao imprimir toolpaths unidirecionais na orientação plana, há um aumento de 54% e 26% na maior resistência a impactos reportada do ABS-CF10 e do Nylon-CF10, respectivamente. Para FDM, a ligação intercamaçada reduzida entre camadas faz com que a direção vertical (**Z**) seja mais fraca do que o plano **XY** nivelado. Se a Stratasys apenas reportasse os dados unidirecionais, a resistência a impactos do Nylon-CF10 seria 7,5 vezes maior do que a orientação vertical (**XZ**) e a resistência ao impacto do ABS-CF10 seria 3,9 vezes maior. Isso deturparia drasticamente a resistência real do material em uma parte real onde o carregamento dinâmico é a preocupação. Ao projetar peças, a resistência do material da direção **Z** também precisa ser levada em conta para garantir limites de projeto adequados e fatores de segurança.

A impressão de toolpaths unidirecionais na orientação plana resulta em um aumento de 54% na resistência a impactos do ABS-CF10 e um aumento de 26% na resistência a impactos do Nylon-CF10, mas isso deturparia a resistência real do material em peças reais, onde a resistência vertical é crucial.

Considerações de design adequadas devem levar em conta a força direcional X, Y e Z para segurança e funcionalidade.

Resistência a impactos de Izod de ABS-CF10 e Nylon-CF10 (J/m)			
Orientação de impressão	Toolpaths	ABS-CF10	Nylon-CF10
Plano (XY)	Unidirecional	79,2	272
Na borda (XZ)	Padrão 45°/-45°	51,4	202
Vertical (ZX)	Padrão 45°/-45°	20,3	36,3

Tabela 4-Dados de resistência a impactos do Izod

## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Comparação com o concorrente mais próximo

Este white paper foi motivado por alegações de concorrentes de ter propriedades de materiais superiores. Ao testar nossos materiais com toolpaths unidirecionais, uma imagem mais clara é apresentada com uma comparação mais apropriada. Para ilustrar, a [Tabela 5](#) resume os dados mecânicos unidirecionais para ABS-CF10 e Nylon-CF10 ao lado dos dados mecânicos relatados de um concorrente. Os dados de material do concorrente são diretamente da ficha técnica de material do concorrente mais recente (datada do início de 2022), salvo indicação em contrário.

Ao observar a [Tabela 5](#), deve-se levar em conta a amplitude dos dados que estão sendo representados. Para os materiais concorrentes, cada ponto de dados representa testes triplicados, portanto, apenas 3 amostras. Para o ABS-CF10 e o Nylon CF10, o teste HDT representa 3 amostras, mas as propriedades de tração, flexão e impacto de materiais contêm dados de 10 amostras. Para testes mecânicos típicos em folhas de dados de materiais Stratasys FDM, os dados representados são 30 amostras no mínimo (3 máquinas x 10 cupons). Assim, os materiais da Stratasys são representados por três vezes mais dados, mas nossas folhas de dados de materiais típicas contêm dez vezes mais dados em relação a esse concorrente.

Este white paper foi motivado por alegações de concorrentes de ter propriedades de materiais superiores. Ao testar nossos materiais com toolpaths unidirecionais, uma imagem mais clara é apresentada com uma comparação mais apropriada.

Para os resultados dos ensaios de tração, os materiais Stratasys apresentam maior módulo de tração e resistência a tração, enquanto os materiais concorrentes apresentam maior alongamento na ruptura. Esta é a compensação; Ao aumentar a resistência do material e a capacidade de suportar a deformação a uma dada força, a quantidade de dar ou capacidade de alongar é diminuída. O módulo de tração do ABS-CF10 e do Nylon-CF10 é aproximadamente o dobro dos materiais concorrentes, indicando que os materiais da Stratasys são mais rígidos e capazes de suportar maiores forças com menos deformação.

Para os resultados do ensaio de flexão, o ABS-CF10 e o Nylon-CF10 apresentam maior módulo de flexão e tensão na ruptura do que os materiais concorrentes. Isso indica que esses materiais são mais capazes de suportar o carregamento de curvatura de 3 pontos com menos deformação para uma determinada carga. As fibras de carbono do ABS-CF10 e do Nylon-CF10 são mais longas do que as dos materiais do concorrente, o que ajudaria em sua capacidade de resistir à flexão sob uma determinada carga.

Para HDT a 0,45 MPa, a ficha técnica do material concorrente informa 145 °C, que é menor que a do Nylon-CF10 (153 °C) e maior que a do ABS-CF10 (117 °C). O concorrente não fornece dados de desempenho para HDT em 1,8 MPa, mas a Stratasys testou o único material na pressão mais alta para HDT. Para esse material, a HDT a 1,8 MPa foi de 71 °C, o que representa uma diminuição de 51% na temperatura da HDT em relação à pressão mais baixa para esse material. Para ABS-CF10 e Nylon-CF10 há apenas uma diminuição de 4% e 13% na temperatura HDT com a pressão mais alta.

Para resistência a impactos, o material concorrente é superior ao ABS-CF10 e Nylon-CF10. Utilizando a mesma metodologia de ensaio, os valores são mais adequados para a comparação com o material concorrente.

## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

#### Comparação de Propriedades Mecânicas e Físicas entre Materiais Stratasys e Materiais Concorrentes

	Propriedades de materiais	ABS-CF10	Nylon-CF10	Material do concorrente 1	Material do concorrente 2
Tração <sup>2</sup>	Módulo de elasticidade (GPa) <sup>1</sup>	5,22	6,03	2,4	3,0
	Resistência a tração (MPa)	44,9	68,1	40	41
	Alongamento ao Rendimento (%)	1,2	4,0	não reportado	não reportado
	Estresse no Intervalo (MPa)	44,6	64,4	37	40
	Alongamento na ruptura (%)	1,2	5,1	25	18
Flexural	Módulo de elasticidade (GPa)	4,96	6,96	3,0	3,6
	Resistência à flexão na ruptura (%)	2,6	3,4	não reportado	não reportado
	Tensão Flexural na Ruptura (MPa)	89,3	138	71	71
HDT	Temperatura de deflexão de calor - 0,45 MPa (°C)	117	153	145	145
	Temperatura de deflexão de calor - 1,8 MPa (°C)	112	133	105 (Testes de laboratório da Stratasys <sup>3</sup> )	não reportado
Impacto	Impacto Izod - com entalhe (J/m)	79,2	272	330	não reportado

Tabela 5-Comparação de Propriedades Mecânicas e Físicas entre Materiais Stratasys e Materiais Concorrentes

#### Observações:

1. O módulo de tração para ABS-CF10 e Nylon-CF10 é calculado com base nos valores de tensão-deformação de 15% a 35% da carga máxima. O intervalo para o cálculo do módulo de tração não é conhecido para o material concorrente.
2. As amostras de ABS-CF10 e Nylon-CF10 foram impressas com toolpaths unidirecionais. Os cupons de tração de material concorrente foram cortados para dar forma.
3. O concorrente não relata a maior pressão dos testes de HDT. Seguindo seus métodos e testes na Stratasys, este foi o valor observado para o 1,8 MPa. As medidas de Stratasys da HDT a 0,45 MPa foram muito semelhantes aos seus valores relatados.

## Além da Ficha Técnica:

# Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

## Conclusão

Devido à grande influência que os toolpaths têm nas propriedades mecânicas e físicas, os clientes de empresas de manufatura aditiva precisam analisar atentamente quais dados estão sendo apresentados para fazer comparações precisas entre as propriedades de materiais.

Ao alternar entre os toolpaths padrão de 45°/-45° e os toolpaths unidirecionais otimizados, mostramos mudanças drásticas no desempenho do material do ABS-CF10 e do Nylon-CF10. Para HDT, o Nylon-CF10 mostrou um aumento de 160% alterando os toolpaths em 0,45 MPa e 1,8 MPa. Para resistência a tração, o ABS-CF10 apresentou aumento de 71% no módulo de elasticidade. O Nylon-CF10 teve um aumento de 152% no módulo de elasticidade e de 94% na resistência ao escoamento com os toolpaths unidirecionais. Essas não são pequenas mudanças na resistência e, em última análise, no desempenho da peça e fazem uma diferença drástica quando comparadas aos materiais concorrentes que são sempre testados com toolpaths unidirecionais otimizados. Os testes mecânicos, especialmente se forem utilizados para limites de projeto, devem ser realizados em corpos de prova representativos das geometrias das peças. A otimização de toolpaths na orientação mais forte mostra a força máxima possível, mas pode não corresponder à resistência real da peça e não é aconselhada como a metodologia de teste padrão.

### Apêndice A - Versões de software, equipamento de teste e histórico de calibração

	ABS-CF10	Nylon-CF10
Software de processamento	Insight 16.10 (Versão 4372)	
Software para compactar montagens	Control Center 16.10 (Versão 4372)	
Impressora S/N para montagens	D80022	D80005
Software de back-end da impressora	2.5.5966.0	2.6.5976.0
Informações relevantes	NP: 333-90310 NS: 630755611 Data de fabricação: 04 de junho de 2022 Lote: 112995	NP: 333-90450 NS: 676936711 Data de fabricação: 13 de abril de 2023 Lote: 114590

Tabela 6 - Versões de software, informações da máquina e informações sobre materiais

Testes	Equipamento	Número de série	Data de calibração
Testes de tração	MTS Criterion 43	5001678	6/15/2023
Célula de carga de tração	Célula de carga 10kN LPS-104C	1010933	6/16/2023
Extensômetro	2 em extensômetro 634-28E-24	10574728	6/15/2023
Teste flex	MTS Criterion 43	5000462	6/14/2023
Célula de carga flex	Célula de carga 5kN LPS-503C	1021979	6/14/2023
HDT	DMA Q300	0800-1786	3/29/2023
Testes de impacto	Testador de impacto Tinuis Olsen 892	195795	1/31/2023

Tabela 7 - Equipamento de teste e data de calibração

## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

#### Apêndice B - Tabelas em Unidades Imperiais

Toolpaths	HDT (°F)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Baixa (66 psi)	Alta (264 psi)	Baixa (66 psi)	Alta (264 psi)
Toolpaths Unidirecionais (orientação XY)	242	233	307	271
Toolpaths Padrão 45/-45 (orientação XY)	234	233	136	126
Como moldado	212	210	228	221

Tabela 1 - HDT do ABS-CF10 e Nylon-CF10 (Unidades Imperiais)

Toolpaths	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidirecional	Padrão 45/-45	Unidirecional	Padrão 45/-45
Módulo de elasticidade (ksi)	756	441	875	347
Resistência a tração (psi)	6500	5200	9880	5100
Alongamento ao Rendimento (%)	1,2	3,0	4,0	5,6
Estresse no Intervalo (psi)	6470	5170	9330	3230
Alongamento na ruptura (%)	1,2	3,0	5,1	8,2

Tabela 2 - Dados de tração do ABS-CF10 e Nylon-CF10 na orientação XY (Unidades Imperiais)

Resistência à flexão do corpo de prova XY com toolpaths unidirecionais		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Módulo de elasticidade (ksi)	719	1010
Tensão Flexural na Ruptura (%)	2,6	3,4
Tensão Flexural na Ruptura (ksi)	13,0	20,0

Tabela 3 - Resistência à Flexão do ABS-CF10 e Nylon-CF10 na Orientação XY com Toolpaths (Unidades Imperiais)

Resistência a impactos Izod de ABS-CF10 e Nylon-CF10 (pés*lb/pol)			
Orientação de impressão	Toolpaths	ABS-CF10	Nylon-CF10
Plano (XY)	Unidirecional	1,48	5,10
Na borda (XZ)	Padrão 45°/-45°	0,962	3,79
Vertical (ZX)	Padrão 45°/-45°	0,381	0,68

Tabela 4 - Dados de resistência a impactos Izod (Unidades Imperiais)

## Além da Ficha Técnica:

### Testes Unidirecionais de Materiais Podem Induzir a Erros na Manufatura

	Propriedades de materiais	ABS-CF10	Nylon-CF10	Material do concorrente 1	Material do concorrente 2
Tração <sup>2</sup>	Módulo de elasticidade (ksi) <sup>1</sup>	756	875	348	435
	Resistência a tração (psi)	6500	9880	5800	5950
	Alongamento ao Rendimento (%)	1,2	4,0	não reportado	não reportado
	Estresse no Intervalo (psi)	6470	9330	5370	5800
	Alongamento na ruptura (%)	1,2	5,1	25	18
Flexural	Módulo de elasticidade (ksi)	719	1010	435	522
	Resistência à flexão na ruptura (%)	2,6	3,4	não reportado	não reportado
	Tensão Flexural na Ruptura (psi)	13000	20000	10300	10300
HDT	Temperatura de deflexão de calor - 66 psi (°F)	243	307	293	293
	Temperatura de deflexão de calor - 264 psi (°F)	233	271	160 (Testes de laboratório da Stratasys <sup>3</sup> )	não reportado
Impacto	Impacto Izod - com entalhe (pés*lb/pol)	1,48	5,10	6,18	não reportado

Tabela 5-Comparação das propriedades mecânicas e físicas entre os materiais Stratasys e os materiais da concorrência (unidades imperiais)

#### Observações:

- O módulo de tração para ABS-CF10 e Nylon-CF10 é calculado com base nos valores de tensão-deformação de 15% a 35% da carga máxima. O intervalo para o cálculo do módulo de tração não é conhecido para o material concorrente.
- As amostras de ABS-CF10 e Nylon-CF10 foram impressas com toolpaths unidirecionais. Os cupons de tração de material concorrente foram cortados para dar forma.
- O concorrente não relata a maior pressão dos testes de HDT. Seguindo seus métodos e testes na Stratasys, este foi o valor observado para o 1,8 MPa. As medidas de Stratasys da HDT a 0,45 MPa foram muito semelhantes aos seus valores relatados.

#### EUA - Sede

7665 Commerce Way  
Eden Prairie, MN 55344, EUA  
+1 952 937 3000

#### ISRAEL - Sede

1 Holtzman St., Science Park  
PO Box 2496  
Rehovot 76124, Israel  
+972 74 745 4000

[stratasys.com](http://stratasys.com)

Certificada ISO 9001:2015

#### Europa, Oriente Médio e África

Airport Boulevard B 120  
77836 Rheinmünster, Alemanha  
+49 7229 7772 0

#### Sul da Ásia

1F A3, Ninghui Plaza  
No.718 Lingshi Road  
Shanghai, China  
Tel: +86 21 3319 6000



ENTRE EM CONTATO.

[www.stratasys.com/contact-us/locations](http://www.stratasys.com/contact-us/locations)

