

## ENSAIOS DE TORQUE E CAPILARIDADE EM PROTÓTIPOS FABRICADOS POR FDM

**Diego Rodrigues Sant' Anna**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA  
End.: Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias  
CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil

**Eng. Mecatrônico Alan Eduardo Lam**

**Profº Dr. Jefferson de Oliveira Gomes**

**Resumo:** *Esse trabalho tem como objetivo apresentar os ensaios de torque e capilaridade referente as diferentes estratégias de fabricação dos protótipos, utilizando a tecnologia de Prototipagem Rápida, FDM – Modelagem por deposição de Fundido.*

*Os ensaios de torque foram aplicados em dois materiais, o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) e o policarbonato (PC), já os ensaios de capilaridade foram realizados somente no ABS.*

*Um das conclusões que observamos é que os protótipos assumem características diferentes como acabamento e resistência variando suas estratégias de construção. Também concluímos que o PC é mais resistente que o ABS.*

*Palavras-chave: Prototipagem Rápida, FDM, PC, ABS.*

### 1. INTRODUÇÃO

Diversos autores, como Coelho (2003), Jacobs (1995), Lima (2003), Sant'Anna et al (2006) e Wohler (2003), também apresentaram classificações sobre Prototipagem Rápida, no qual é todo processo de manufatura que proporciona a fabricação de objetos 3D a partir de um modelo CAD, com o auxílio de um sistema CAM em um curto espaço de tempo. Uma das tecnologias de Prototipagem Rápida é a Modelagem por Deposição de Fundido (FDM), no qual são depositados filamentos de termoplásticos aquecidos um pouco abaixo da temperatura de fusão do material. O processo FDM pode fabricar peças com ABS (acrilonitrila-butadieno-estireno), PC (policarbonato), elastômero e cera, abrangendo vários setores como o automotivo, aeroespacial e médico.

A figura 1 ilustra o processo FDM.

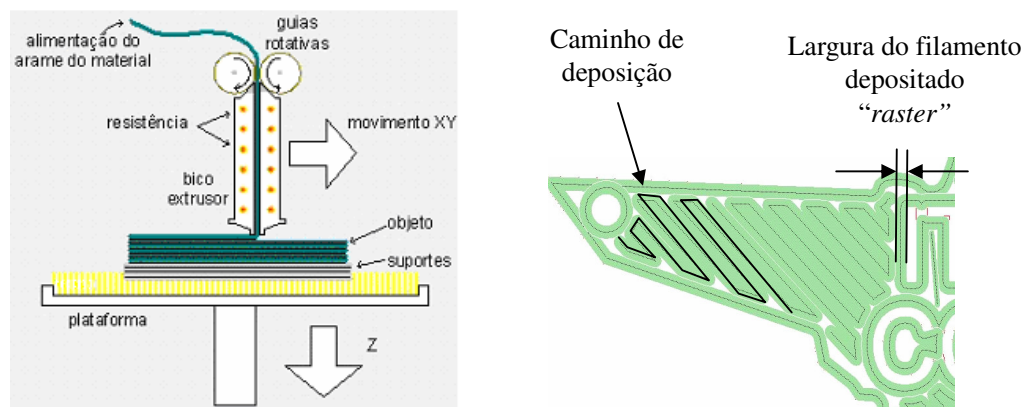


Figura 1: Processo FDM.

Segundo Borille et al (2005) as propriedades mecânicas dos protótipos estão diretamente ligadas a seus parâmetros de construção, ou seja, os protótipos assumem maior ou menor resistência simplesmente variando sua orientação durante a fabricação.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados das diferentes estratégias de fabricação de protótipos fabricados por FDM, referentes ao torque e a capilaridade do material.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Ensaios de torque

Foram fabricados corpos de prova de ABS e PC para verificar a resistência ao torque de cada material. Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios, onde um parafuso era rosqueado até se obter o valor máximo do torque. Três corpos de prova foram ensaiados para cada condição estipulada. Sendo que para cada condição, os parâmetros avaliados estão conforme a tabela 1.

Tabela 1: Estratégias de fabricação.

Condição	Espessura da camada (mm)	Inclinação da peça (°)	Interior do protótipo
1	0.254	0	Sólido
2	0.254	30	Sólido
3	0.254	60	Sólido
4	0.254	90	Sólido

A inclinação do corpo de prova foi variada durante a construção a fim de verificar se o valor do torque sofria alguma influência. Os corpos de prova foram fabricados em quatro inclinações diferentes e estão representados conforme a figura 2.

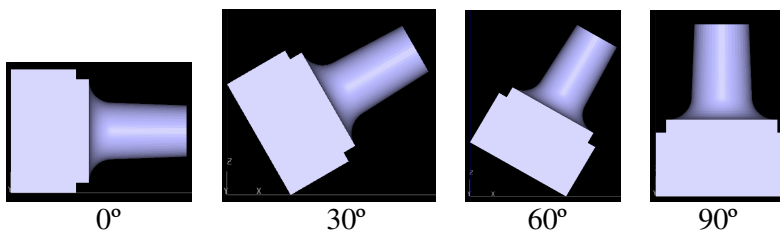


Figura 2: Inclinação dos corpos de prova.

### 2.2 Equipamentos

Os corpos de prova foram fabricados em uma máquina FDM Dimension BST, do fabricante Stratasys.

Para as medições utilizou-se o torquímetro Digital Mackena modelo MK-210, com capacidade de 100 N.m. e resolução de 0,1 N.m.

### 3. Ensaios de capilaridade

Outra característica que foi analisada nos protótipos de ABS foi a capilaridade do material, ou seja, a capacidade do material absorver um líquido qualquer. Nos ensaios utilizou-se uma tinta para traçagem (MB-1000) para melhor visualização do material com o líquido.

Foram fabricados seis corpos de prova para os ensaios, onde cada protótipo possui uma estratégia de fabricação. Os corpos de prova foram colocados em um recipiente por 1 minuto com a tinta para traçagem a uma altura de 3mm. As estratégias são diferentes para observar o efeito da capilaridade do material conforme alguns parâmetros que estão conforme a tabela 2 e a figura 3.

Tabela 2: Estratégias de fabricação.

Condição	Espessura da camada (mm)	Inclinação da peça (°)	Interior do protótipo
1	0.254	Horizontal com inclinação a 0	Sólido
2	0.254	Horizontal com inclinação a 30	Sólido
3	0.254	Horizontal com inclinação a 60	Sólido
4	0.254	Horizontal com inclinação a 90	Sólido
5	0.254	Vertical com inclinação a 90	Sólido
6	0.254	Vertical com inclinação a 90	Sparse

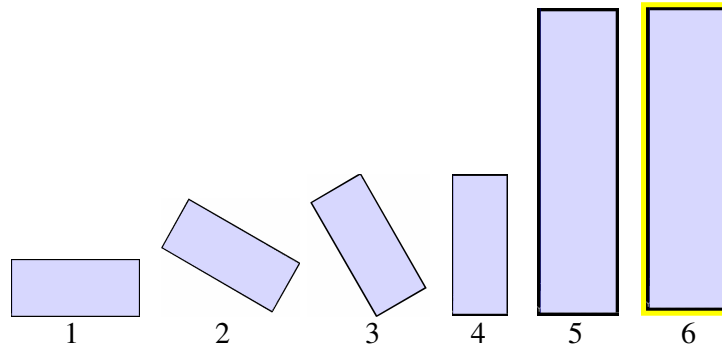


Figura 3: Estratégias de fabricação

Outro parâmetro analisado foi o método de preenchimento interno do modelo, sendo dois os métodos existentes, sólido e *sparse*. No *sparse* o interior do protótipo fica como uma colméia, ou seja, maiores espaços entre os filamentos. Já no preenchimento sólido, as camadas são definidas de modo a preencher todo o interior da peça. Estes parâmetros estão conforme a figura 4.

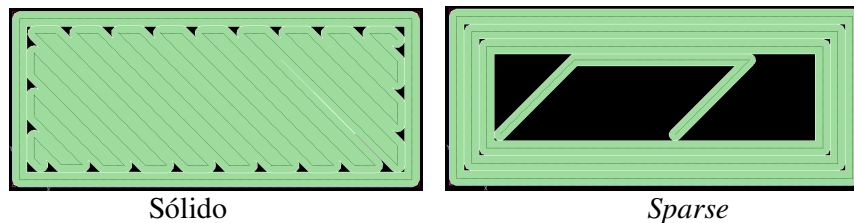


Figura 4: Parâmetros de construção.

### 3.1 Equipamentos

Os corpos de prova foram fabricados em uma máquina FDM Dimension BST, do fabricante Stratasys.

Foi utilizado um microscópio, modelo Wild M3C, com capacidade de aproximação de 6,4x; 10x; 16x; 25x e 40x.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaios de torque

Após a realização dos ensaios de torque observou-se que os protótipos fabricados com PC obtiveram uma maior resistência em relação aos protótipos fabricados com ABS. Os resultados dos ensaios estão conforme a tabela 3.

Tabela 3: Valores do Torque.

Nº	ABS (°)	Torque (N.m.)	Nº	PC (°)	Torque (N.m.)
1	0 (cola)	0,6	1	0	1,4
2	30	0,7	2	30	1,5
3	60	1,2	3	60	1,8
4	90	1,0	4	90	2,0

Nos protótipos fabricados com ABS observou-se que na condição 1 o corpo de prova chegou a trincar antes mesmo que o parafuso chega-se ao final.

Como característica do processo FDM o interior dos protótipos possuem espaços entre os filamentos, considerando essa característica foi depositada uma camada de cola (Cola AMBROID PRO WELD) sobre a superfície de um novo corpo de prova a fim de preencher esses espaços, verificando se o mesmo sofre alguma mudança em relação a resistência. A figura 5 ilustra essa condição.

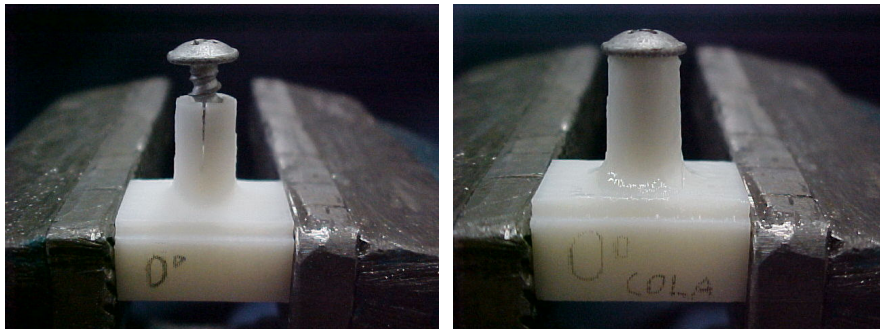


Figura 5: Comparação do protótipo com a camada de cola.

Foi observado que o protótipo com a camada de cola não trincou, ou seja, a cola preencheu os espaços existentes entre os filamentos tornando o protótipo mais resistente.

Analisando os protótipos de PC, que são mais resistentes que os protótipos de ABS, observamos que em nenhuma das condições os protótipos chegaram a trincar e sim em um determinado momento a rosca simplesmente espanou.

Outra característica importante a ser analisada é a questão da inclinação dos protótipos independente do material, pois a medida que a inclinação foi sendo variada o valor do torque foi aumentando. Peças com inclinação de 90° apresentaram maior resistência em relação as peças com inclinação de 0°. Isso acontece por causa da orientação das camadas na hora da construção do protótipo.

Uma explicação para essa característica é que os protótipos que foram posicionados a 0° são construídos fazendo todo o contorno da peça, camada por camada, ou seja, as paredes do cilindro ficam finas, já nos protótipos posicionadas a 90° a forma cilíndrica fica em pé possibilitando um contorno completo do círculo e assim sendo possível depositar uma quantidade maior de material entre as paredes, tornando-o mais resistente.

A figura 6 mostra o sentido das camadas na construção do protótipo.

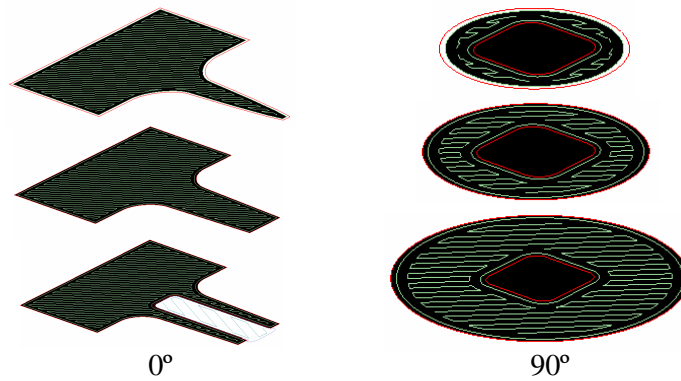


Figura 6: Sentido das camadas.

#### 4.2 Ensaios de Capilaridade

Tomando como exemplo um tubo fino sendo mergulhado em um líquido, quanto menor o diâmetro do tubo maior será a altura do líquido, isso porque o tubo é capilar (diâmetro muito pequeno). Isso acontece com os protótipos quando os mesmos são colocados no recipiente com tinta para traçagem. O líquido tende a subir já que os espaços entre os filamentos são muito pequenos.

Nos testes observamos que a condição 2 apresentou uma maior absorção de tinta e a condição 6 a que menor absorveu. A figura 7 mostra os resultados dos ensaios.

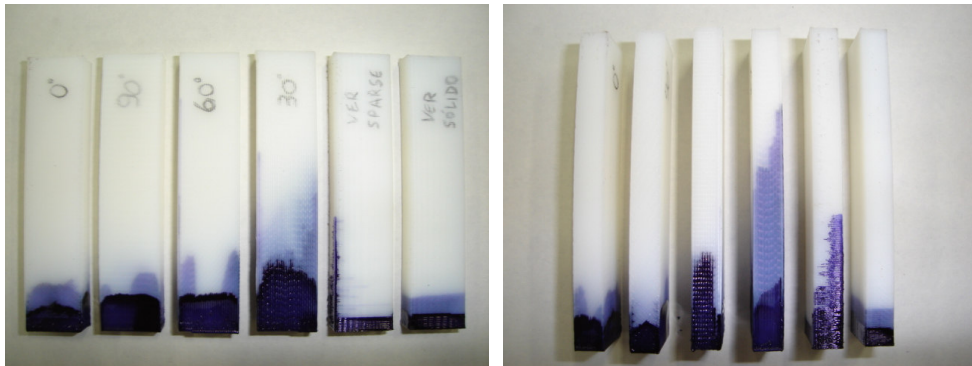


Figura 7: Efeito da Capilaridade no ABS.

Concluimos que os espaços entre os filamentos da condição 2 são menores em relação aos espaços entre os filamentos da condição 6.

Como característica da condição 6, o protótipo possui maiores espaços entre os filamentos, ou seja, menor absorção de tinta, comparamos uma peça fabricada na horizontal com uma fabricada na vertical, ambas com preenchimento sólido. A figura 8 compara a peça posicionada na horizontal com inclinação de 30° com a peça posicionada na vertical com inclinação de 90°. Nota-se que a peça fabricada na horizontal possui espaços menores entre os filamentos em relação a peça fabricada na vertical, devido a maior absorção de tinta.

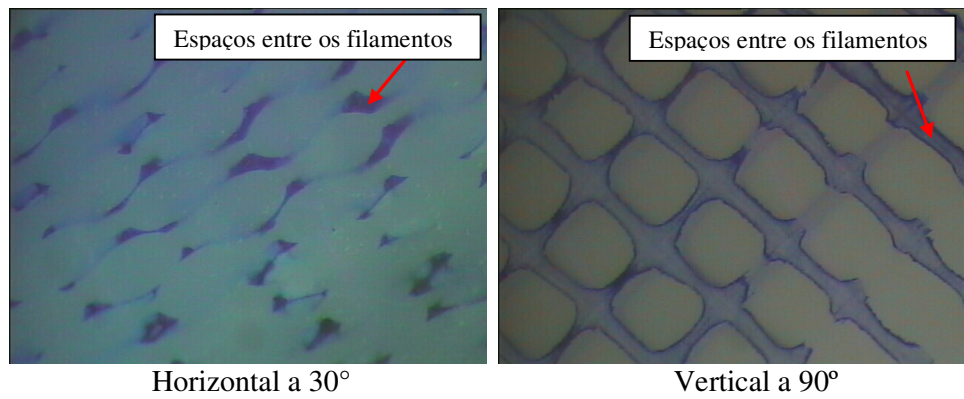


Figura 8: Comparação de posicionamento.

## 5. CONCLUSÕES

Os parâmetros de fabricação pelo processo FDM estão diretamente ligados ao estado final do protótipo, que assume características mecânicas diferentes e acabamento para cada estratégia de fabricação.

É importante levar em consideração qual a principal finalidade da peça fabricada e em quais condições a mesma irá suportar, sabendo que é possível variar as estratégias de construção para se obter um resultado esperado do produto.

Também podemos concluir que as propriedades mecânicas estão relacionadas à forma de preenchimento de material, tornando o mais resistente ou não.

## 6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ao laboratório CCM – Centro de Competência em Manufatura e a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borille et al, 2005, “Building Parameters Influence on Mechanical Properties of ABS Prototyped Parts Manufactured by FDM”.
- Coelho, M. A. O., 2003, “Modelamento Médico: uma integração entre CAD, CAE, engenharia reversa e prototipagem rápida”.
- Jacobs, P. F., 1995, “Stereolithography and other RP&M Technologies: from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn”.
- Lima, C. B., 2003, “Engenharia reversa e prototipagem rápida”.
- Sant’ Anna, D.R., Bevictori, L. F. N., Me. Borille, A. V. e Dr. Gomes, J.O., 2006, “Influência dos parâmetros de construção de protótipos fabricados por FDM submetidos a ensaios de tração”.
- Wohler, T. T., Wohlers Report 2003, Wohlers Associates.

## ASSAYS OF TORQUE AND CAPILLARITY IN ARCHETYPES MANUFACTURED FOR FDM

**Diego Rodrigues Sant’ Anna**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA  
End.: Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias  
CEP 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil

**Eng. Mecatrônico Alan Eduardo Lam**

**Profº Dr. Jefferson de Oliveira Gomes**

***Abstract:** The objective of this work is to present torque and capillarity tests using different prototype construction strategies, using FDM - Modeling Deposition Modeling technology. The torque tests had been applied in two different materials, the acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and the polycarbonate (PC), meanwhile in the capillarity tests had been carried only in the ABS. One of the conclusions made is that the prototyped parts show different characteristics as finishing and mechanical resistance varying its construction strategies. Also we concluded that the PC is more resistant than the ABS.*

***Keywords:** Rapid prototyping, FDM, PC, ABS*