

A MANUFATURA ADITIVA NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE EQUIPAMENTOS ESPORTIVOS

Congresso Brasileiro De Manufatura Aditiva, 1ª edição, de 30/11/2020 a 01/12/2020
ISBN dos Anais: 978-65-86861-62-4

APPELT; Arthur Vivan ¹, MAZUTE; Juliano ², FILHO; José Roberto de Barros ³, ESPERANÇA; Lucas ⁴

RESUMO

1. Introdução

A importância dos materiais compósitos na construção de produtos de alto desempenho é vital, pois a leveza aliada à resistência é algo que somente encontra-se neles. No entanto, a fabricação de produtos em compósitos poliméricos com qualidade e precisão geométrica, necessita de moldes, que por sua vez tem impacto direto no custo e no tempo de desenvolvimento do produto final. Os moldes podem ser fabricados de diversas formas e materiais, geralmente são usinados em aço ou alumínio, ou manualmente construídos utilizando os próprios compósitos poliméricos. Qualquer uma das opções irá resultar em processos caros e demorados. A impressão 3D aparentemente vem para mudar este cenário. Alguns passos foram dados e a manufatura aditiva já se mostra capaz de iniciar uma revolução no segmento de compósitos. Reduzir custos, tempo de desenvolvimento dos produtos e desperdício de materiais são apenas alguns dos pontos positivos que a impressão 3D pode representar para o segmento.

Um molde é considerado qualquer forma oca configurada de acordo com a geometria ou forma da qual se deseja criar, por onde verte qualquer substância líquida ou pastosa, que uma vez endurecida, reproduzirá a configuração da forma. A partir deste breve conceito podemos verificar a importância desta ferramenta na moldagem de compósitos poliméricos.

Segundo Levy Neto e Pardini (2006), há uma extensa variedade de métodos de processamento disponíveis para se produzir compósitos de matriz polimérica, que podem ser classificados em processos de molde aberto (e.x. moldagem manual, moldagem por spray), processos de molde fechado (e.x. moldagem por injeção, moldagem por compressão, moldagem por transferência de resina) e processos contínuos (e.x. pultrusão, produção de laminados). Em todos estes processos os moldes possuem papel fundamental.

Os moldes para o processamento de compósitos poliméricos são normalmente fabricados em aço, alumínio ou em compósitos. Em qualquer um destes processos o tempo para fabricação do molde pode ser longo, além de possuir um custo elevado, fatores que interferem diretamente no custo final da peça.

A partir destes fatos, este segmento vem buscando uma alternativa na manufatura aditiva. Segundo Volpato (2018) a manufatura aditiva pode ser definida como um processo de fabricação que acontece através da adição sucessiva de material em forma de camadas, e as informações são obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente. Normalmente esta representação com geometria 3D origina-se de um sistema CAD (*Computer Aided Design*). De acordo com Macy (2011) uma nova forma de produzir moldes e contramoldes é pela tecnologia FDM (*Fused Deposition Modelling*). A popularidade da impressão 3D existe por suas vantagens sobre os processos tradicionais de manufatura, onde esta é capaz de imprimir moldes e ferramentas em uma única peça, sem a necessidade de inserção de outros componentes (ARCAM, 2013). Ou seja, este processo pode contribuir significativamente para a redução de custos e desperdícios na fabricação de moldes, além de diminuir consideravelmente o tempo de produção destes.

Com o intuito de verificar a utilização de moldes construídos por impressão 3D para a laminação de compostos poliméricos, foi realizado um estudo de caso dentro de uma indústria de artigos

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com

² UNISUL, juliano.mazute@gmail.com

³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com

⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br

esportivos que tem entre seus processos a moldagem de compósitos. O estudo abordou a produção de um produto específico que serve para proteção da tampa da embreagem de algumas motocicletas esportivas. Ele é fabricado por laminação manual conhecida também como *hand lay-up*. O estudo teve como objetivo verificar o tempo de produção e impacto do molde impresso em 3D no processo quando comparado aos moldes fabricados em compósitos.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Processamento de compósitos por hand lay-up

O *hand lay-up*, ou laminação manual, é um processo muito tradicional utilizado na construção de produtos em compósitos poliméricos. Mesmo sendo um método antigo e simples, ele ainda é utilizado para fabricação de pequenas peças na indústria naval, aeronáutica e de equipamentos esportivos.

De acordo com Nasseh (2008) o processo de laminação manual é baseado na colocação de diversos reforços, podendo ser de vidro, aramida ou carbono, sobre a superfície de um molde e em seguida aplicar resina sobre eles, e, de forma manual, dispersar esta resina sobre os reforços, impregnando-os completamente, até que o sistema esteja curado e pronto para desmoldagem. O mesmo autor ainda afirma sobre o *hand lay-up*, que mesmo este sendo um processo muito rudimentar, é possível laminar manualmente com grande probabilidade de sucesso.

2.2. Impressão 3D

A impressão 3D é um processo de fabricação também conhecido como manufatura aditiva, e surgiu no final da década de 1980. O processo de Manufatura Aditiva baseia-se na construção de objetos físicos tridimensionais através da adição sucessiva de finas camadas de material (ASTM, 2010). Os modelos a serem construídos podem ser obtidos diretamente a partir de modelos CAD (*Computer Aided Design*) ou a partir de digitalizadores tridimensionais, utilizados na realização de Engenharia Reversa. O segundo caso refere-se a uma técnica que objetiva capturar a geometria de modelos físicos e gerar um modelo virtual (digital), que poderá ser utilizado em sistemas CAE e CAM, na fabricação de um novo produto. Este método possibilita a captura de superfícies dos modelos que, de outra forma, seriam impossíveis de determinar (AHRENS et al, 2013). Os processos Manufatura aditiva podem ser utilizados na fabricação de produtos customizados que demandam uma combinação especial de características ou propriedades visando a melhoria da funcionalidade ou adoção de formas complexas (CAMPBELL; BOURELL; GIBSON, 2012).

Volpato (2018) cita que o processo de fabricação por manufatura aditiva inicia-se com o modelamento 3D da peça, que é “fatiado” eletronicamente e assim fornece as informações que definem onde serão adicionadas, ou não, as camadas de material durante o processo. Após a etapa de configuração dos arquivos acontece efetivamente a materialização da peça, através da adição das camadas. Finalizada a fabricação do produto, pode haver a necessidade de um pós-processamento, com limpeza e remoção de materiais utilizando métodos mais tradicionais, variando de acordo com a tecnologia aplicada.

A fabricação de produtos utilizando a impressão 3D pode ocorrer por diversas tecnologias com diferentes princípios. As mais utilizadas atualmente são: FDM (*fused deposition modeling*), SLA (*stereolithography*) e SLS (*selective laser sintering*). Cada uma destas utiliza matéria-prima em formas físicas diferentes: sólida, líquida e em pó respectivamente.

2.2.1. Tecnologia FDM (*Fused Deposition Modeling*)

A tecnologia de manufatura aditiva por FDM (*Fused Deposition Modeling*) é uma das mais populares. Utiliza como matéria-prima filamentos poliméricos sólidos. Existem diversos termoplásticos que podem ser utilizados na fabricação de moldes por FDM (MACY, 2011). Esta tecnologia funciona pelo princípio de fusão e deposição de material, através de um bico extrusor (CUNICO, 2015). Neste processo o sistema de alimentação do material para o bico extrusor é realizado por roletes tracionadores. Os equipamentos FDM dispõem de uma plataforma enclausurada e aquecida. A temperatura de aquecimento do sistema é inferior à temperatura de fusão do material, fazendo com que quando ocorra a deposição do polímero, este possa se solidificar e aderir às outras camadas. A temperatura da câmara também auxilia no relaxamento das tensões presentes na peça e ajuda a estabilizar a estrutura do produto (VOLPATO, 2018). A figura 1 mostra um esquema ilustrativo de um sistema de manufatura aditiva por FDM.

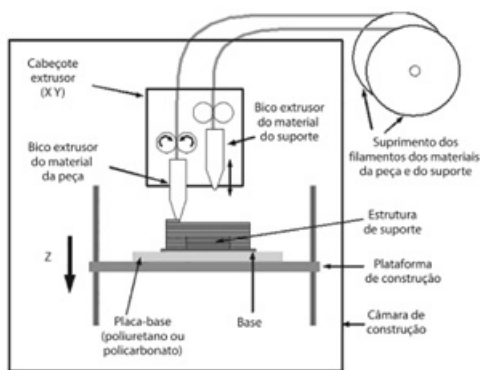
Figura 1 – Esquema ilustrativo de impressora 3D com tecnologia FDM

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com

² UNISUL, juliano.mazute@gmail.com

³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com

⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br



Fonte: (VOLPATO, 2018, p. 150).

Considerando que o funcionamento do processo de manufatura aditiva por FDM seja relativamente simples quando comparado a outras tecnologias, este se torna um processo muito mais acessível quando se refere ao custo, facilidade de operação e manutenção.

3. Metodologia

3.1 Materiais

O produto fabricado pelo processo de *hand lay-up*, em um molde construído por manufatura aditiva, é um protetor de tampa de embreagem para motocicletas esportivas da fabricante KTM, que serve nos modelos KTM EXC 250/300 cc com motores dois tempos, fabricados entre 2011 e 2016. Por ser um esporte de alto desempenho que exige diversos tipos de proteções para o piloto e para a motocicleta, devido a choques com pedras em velocidades altas, os materiais compósitos são bastante utilizados. Eles proporcionam alta resistência e leveza para os componentes.

Para a construção do molde por FDM foi utilizado o filamento de ABS (acrilonitrila butadieno estireno), na cor azul, com diâmetro 1,75 mm, temperatura de transição vítrea do material em 107 °C. A temperatura de impressão recomendada para este material está entre 210 e 240 °C. A velocidade de impressão recomendada está entre 40 e 200 mm/s. O custo por quilograma desta matéria prima foi de R\$ 89,00 e quantidade de filamento necessária para a impressão do molde do estudo foi de 41,71 metros e 366 gramas.

Os reforços utilizados na laminação foram tecidos bidirecionais de fibra de carbono RC200P de trama plana com a densidade de 200 g/m². A quantidade de tecido utilizado na fabricação do protetor foi de 0,3 m² e foram laminadas seis camadas deste reforço. O agente desmoldante aplicado na superfície do molde foi o LOCTITE® FREKOTE 700NC. O processo de aplicação do desmoldante foi realizado com o auxílio de uma flanela de pano, onde esta foi impregnada com o agente que por sua vez foi transferido para a superfície da cavidade. O processo de aplicação foi repetido três vezes alternando com ciclos de polimento do molde com uma flanela de pano seca.

Na laminação do protetor foi utilizado o sistema de resina epóxi AR260 (resina) e AH260 (endurecedor), de cura rápida e baixa viscosidade. Para laminação manual foi utilizado um pincel de cerda gris ½ polegada, tamanho que facilitou a laminação dos cantos da peça. As propriedades mecânicas do sistema epóxi que foi utilizado na laminação do protetor podem ser visualizadas na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do sistema epóxi AR260 e AH260

Propriedade	Teste	Unidade	Valor
Cor	Visual	-	Âmbar claro
Dureza Shore D	ASTM D-2240	-	87
Resistência à tração	ASTM D-638	MPa	73,77
Módulo de tração	ASTM D-638	MPa	3157,80
Resistência ao alongamento	ASTM D-638	%	8,8
Resistência à compressão	ASTM D-695	MPa	88,94
Resistência à flexão	ASTM D-790	MPa	199,28
Módulo de flexão	ASTM D-790	MPa	2737,22
HDT - Cura a temperatura ambiente	ASTM D-648	°C	58
HDT - Temperatura de pós-cura	ASTM D-648	°C	98
Impacto Izod, com entalhe	ASTM D-256	kJ/m ²	2,67
Contração	ASTM D-2566	mm/mm	<0,002

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com

² UNISUL, juliano.mazute@gmail.com

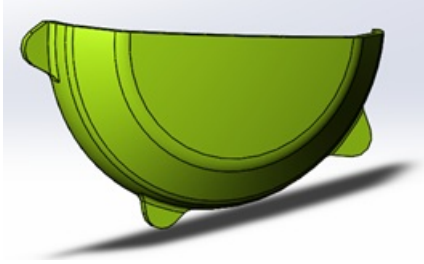
³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com

⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br

3.2. Métodos

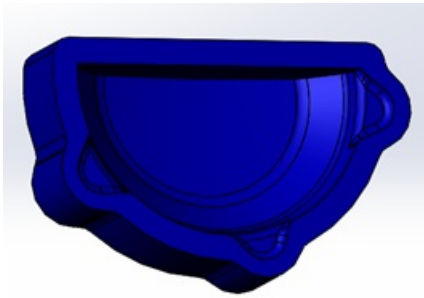
Para que algo possa ser fabricado pelo processo de manufatura aditiva é necessário que exista uma referência geométrica tridimensional do que se deseja fabricar. Esta referência é geralmente proveniente de um sistema CAD, que neste caso foi o *Solidworks*. A obtenção da geometria desejada aconteceu por um processo de engenharia reversa, onde uma amostra física da tampa de embreagem da motocicleta KTM EXC 300 cc, motor dois tempos e ano 2014, foi utilizada para obtenção de medidas e distâncias necessárias. A partir dos dados coletados foi feito o modelamento do protetor da tampa de embreagem, como mostra a figura 2. Finalizado o modelamento do protetor da tampa, passamos para o modelamento do molde que pode ser visualizado na figura 3, construído a partir do modelo 3D do protetor da tampa de embreagem.

Figura 2 – Modelo 3D do protetor da tampa de embreagem



Fonte: Elaboração dos autores (2020)

Figura 3 – Modelo 3D do molde



Fonte: Elaboração dos autores (2020)

Após a conclusão dos modelamentos, vem a fabricação do molde através da impressora 3D da fabricante *Mankati*. O modelo é a *Mankati Fullscale XT Plus* e suas especificações técnicas estão disponíveis na tabela 2. O software de impressão é o *MankatiUM - 6.5.3*. É feita a conversão do modelo 3D para formato *STL* e então o arquivo segue para o software de impressão que realiza o fatiamento e deixa o arquivo pronto impressão.

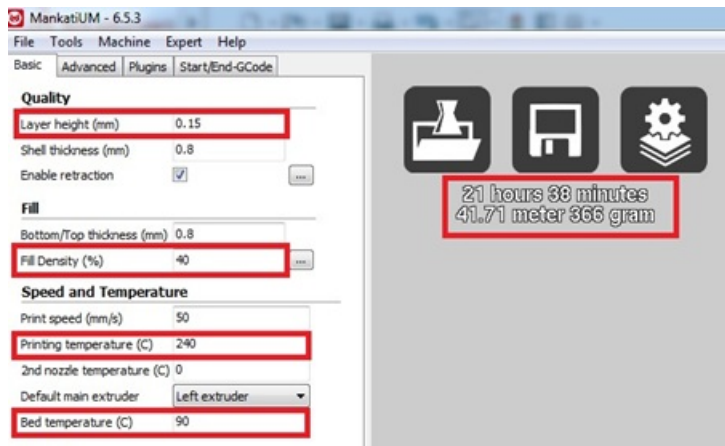
Tabela 2 – Especificações da impressora 3D utilizada

Mankati Fullscale XT Plus	
Processo de Fabricação	FDM
Nº de Extrusores	1 ou 2
Volume de Impressão	260 x 260 x 300mm
Resolução da Camada	0.04 mm - 0.4 mm
Velocidade de Impressão	180 mm/s até 250 mm/s
Temperatura Máx. do Extrusor	300 °C
Temperatura Máx. da Mesa	110 °C
Velocidade Máx. de Extrusão	100 mm/s
Tipos de filamento	ABS, PLA

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com
² UNISUL, julio.mazute@gmail.com
³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com
⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br

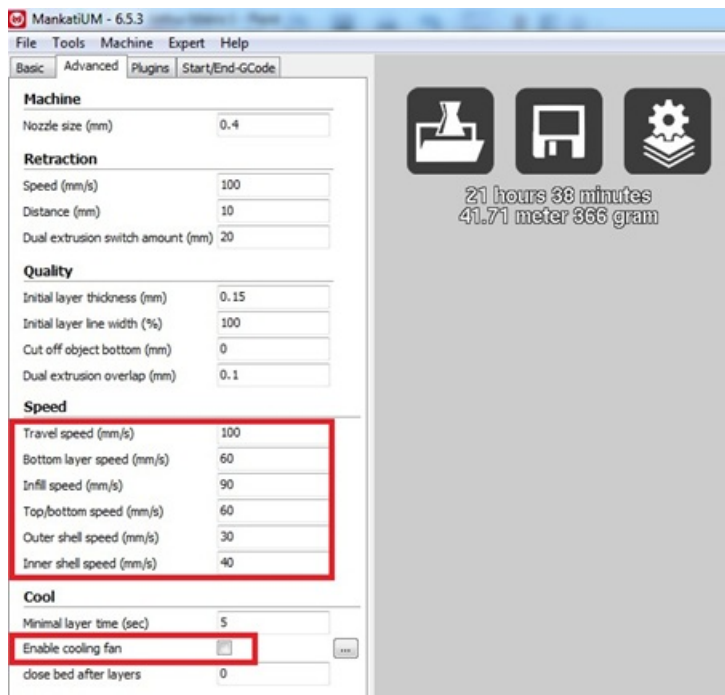
Depois de posicionar o arquivo na plataforma do software e simular a impressão, é efetivamente iniciado o processo de fabricação do molde por manufatura aditiva. Entre os parâmetros de impressão temos o aquecimento da plataforma que foi de 90 °C, a temperatura de extrusão foi de 240 °C, a altura das camadas ficou em 0,15 mm e a velocidade de impressão foi 100 mm/s. O tempo total de impressão do molde foi de 21 horas e 38 minutos. Nas figuras 4 e 5 podemos visualizar a tela do software de impressão com os parâmetros utilizados.

Figura 4 - Parâmetros de impressão



Fonte: Elaboração dos autores (2020)

Figura 5 - Parâmetros de impressão



Fonte: Elaboração dos autores (2020)

Finalizada a impressão do molde, o mesmo foi extraído da plataforma e seguiu para a fase de pós-processamento. Nesta fase qualquer resquício de material foi retirado da peça e então realizado um acabamento utilizando uma lixa d'água de gramatura 280. O lixamento do molde tem o objetivo de retirar qualquer imperfeição deixada pelo processo de deposição dos filamentos.

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com
² UNISUL, juliano.mazute@gmail.com
³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com
⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br

Após, o molde seguiu para o tratamento com vapor de acetona na superfície da cavidade. Este tratamento possibilita uma superfície com mais brilho e de melhor qualidade, ou seja, com menos imperfeições. O vapor da acetona age de forma corrosiva sobre o ABS, por isso a peça foi exposta por apenas 8 minutos ao agente. Depois de passar por este processo o modelo necessitou 24 horas de cura para que a superfície da cavidade não sofresse nenhum dano.

4. Resultados e discussões

4.1. Caracterização da empresa

A indústria em questão localiza-se na região de grande Florianópolis, no estado de Santa Catarina e seus produtos são destinados aos praticantes de esportes ao ar livre, desde esportes aquáticos até esportes a motor. A maioria dos produtos é fabricada em materiais compósitos, processo que exige bastante tempo dedicado ao desenvolvimento de modelos e moldes.

O processo atual para fabricação dos moldes leva em torno de quatro a oito dias dependendo da complexidade do produto. Este tempo se encaixa quando já existe um modelo pronto para construção do molde, caso contrário pode dobrar ou triplicar, pois o modelo para construção do molde deve ser impecável. Os moldes são fabricados em resina epóxi e fibras de vidro. Dentro deste processo ocorrem muitas perdas de material, desde os suportes e gabaritos para construção do molde até a própria matéria prima, como a resina, reforços de fibra de vidro e *gel coat*. Além disso, são necessários pelo menos dois colaboradores para execução destas tarefas, o que pode agregar um custo alto para o produto final. Outro ponto negativo deste processo é a insalubridade, fator que é inerente ao processamento manual de materiais compósitos.

Diante desta situação, a manufatura aditiva pode se tornar algo valioso para o processo produtivo da empresa em questão. Além de reduzir o tempo de desenvolvimento dos produtos, pode atuar na diminuição de desperdícios, na redução da mão de obra e no bem estar dos funcionários.

4.2. Molde e produto final

Todo o processo de desenvolvimento deste novo produto, incluindo a coleta de informações, o modelamento do modelo e molde, fabricação do molde por manufatura aditiva, pós-processamento, laminação e acabamento do produto final teve a duração de seis dias. Este resultado pode ser considerado como um ganho de mais de 50% no tempo de desenvolvimento de um produto quando comparado com o cenário atual. O tempo para a fabricação do molde e pós-processamento até que estivesse pronto para uso, foi de apenas dois dias, o que normalmente pode levar de quatro a oito dias. Lembrando que dentro de todo este processo não ocorreu perda de materiais, a mão de obra foi extremamente reduzida, necessitando de apenas uma pessoa para a execução da tarefa. O grau de insalubridade foi quase nulo. Ou seja, o processo de desenvolvimento e custo final do produto reduziu drasticamente com a utilização da impressão 3D na fabricação do molde. O cenário atual exige dois funcionários trabalhando por pelo menos quatro dias no desenvolvimento do molde, isso se tudo ocorrer como planejado, pois este tempo pode dobrar. Produzindo o mesmo molde por FDM levou apenas dois dias para deixá-lo pronto para uso. E neste caso foi necessária apenas uma pessoa realizando toda a operação.

As especificações técnicas exigidas para um molde utilizado na laminação de compósitos foi suprida de forma satisfatória. O tratamento com vapor de acetona possibilitou a obtenção de uma superfície com brilho e qualidade. O molde final pode ser visualizado na figura 6.

Figura 6 - Molde para laminação fabricado por manufatura aditiva



Fonte: Elaboração dos autores (2020)

A peça laminada ficou dentro dos padrões de qualidade exigidos pela empresa. Algumas porosidades presentes no produto final podem ser melhoradas através da utilização de vácuo no processo de laminação. No entanto o processo de acabamento das peças realizado pela empresa já é o suficiente para reduzir a porosidade e melhorar a superfície do laminado. A figura 7 mostra a imagem do laminado final proveniente do molde fabricado por impressão 3D.

Figura 7 - Laminado final

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com

² UNISUL, juliano.mazute@gmail.com

³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com

⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br



Fonte: Elaboração dos autores (2020)

5. Conclusão

Diante de todo o cenário através do qual este estudo foi realizado, podemos visualizar claramente os benefícios que a impressão 3D pode proporcionar para as empresas que trabalham com o processamento de materiais compósitos. Os ganhos com o uso da manufatura aditiva na fabricação de moldes para compósitos são muitos, entre estes temos a redução do tempo de desenvolvimento dos produtos, da mão de obra, dos desperdícios de matéria prima, da insalubridade do processo, do tempo de colocação do produto no mercado, etc.

A utilização da manufatura aditiva no segmento de compósitos vai totalmente de encontro ao desafio citado por Nasseh (2007), segundo ele a procura por tecnologias e processos que possibilitem o bem-estar dos funcionários, lucratividade para as empresas sem prejuízo para o meio ambiente é o dever de todo empresário, construtor amador ou semiprofissional.

REFERÊNCIAS

AHRENS, C. H.; VELLWOCK, A. E.; PFEIFER, D. C.; PISTORELLO, R. A. **Engenharia reversa por meio de fotogrametria**: estudo comparativo da técnica de digitalização tridimensional visando aplicação na manufatura aditiva. In: 7o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2013, Penedo, Itatiaia - RJ. Anais. Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas.

ARCAM, AB. **Additive manufacturing of aerospace brackets**. Advanced Materials & Processes, p. 19, 2013.

CAMPBELL, Ian; BOURELL, David; GIBSON, Ian. **Additive manufacturing**: rapid prototyping comes of age. Rapid Prototyping Journal. v 18. n 4. p. 255-258. 2012.

CUNICO, M. **Impressoras 3D**: O Novo Meio Produtivo. Curitiba: Concep3D, 2015.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais**: ciência e tecnologia. São Paulo: Blucher, 2006.

MACY, B. **Rapid/Affordable Composite Tooling Strategies Utilizing Fused Deposition Modelling**. SAMPE Journal, v. 47, n. 4, p. 37-44, 2011.

NASSEH, J. **Métodos avançados de construção de barcos**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2007.

NASSEH, J. **Técnica e Prática de Laminação em Composites**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2008.

VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva**: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2018.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos, Manufatura, Aditiva, Moldes, Processos.

¹ UNISUL, arthur.appelt@gmail.com

² UNISUL, juliano.mazute@gmail.com

³ UFSC, josebarrosfilho@gmail.com

⁴ Hopegraf, lucas@hopegraf.com.br