

ANALISE COMPARATIVA DE PROCESSOS: MANUFATURA ADITIVA X PRODUÇÃO EM MASSA

Bárbara Elis Pereira Silva (CEUMA)
prof.barbabraeps@gmail.com

Danilo Dias dos Santos (Centro Universitário do Maranhão)
danilofla1923@hotmail.com

Jonas Bruzaca Barbosa (Centro Universitário do Maranhão)
jonasbruzaca81@hotmail.com

lucas gabriel cirqueira garcia (CEUMA)
lucasgcgarcia9@gmail.com



Nos últimos anos deu-se início ao período que está sendo intitulado ‘ A quarta revolução industrial’. Ela vem trazendo megatendências em inovações e tecnologia. A manufatura aditiva aparece como uma dessas tendências e está transformando oss processos prod

Palavras-chave: manufatura aditiva, impressão 3D, comparação, processo em massa

1. Introdução

Ao longo dos últimos dois séculos os processos de manufatura sofreram grandes transformações, que foram acompanhadas por mudanças bruscas na sociedade, provocando revoluções. Tem-se o entendimento de Schwab (2016) que as revoluções têm ocorrido quando novas tecnologias e novas formas de perceber o mundo desencadeiam uma alteração profunda nas estruturas sociais e nos sistemas econômicos. No dizer expressivo de Braz de Aquino (2011), em cada momento histórico, há predomínio de uma atividade social que regula essa estruturação social.

Uma análise cronológica breve permite perceber esta relação: na segunda metade do século XVIII, a revolução industrial trouxe mudanças socioeconômicas. Conforme sustenta Cavalcante (2011), a Revolução Industrial concentrou os trabalhadores em fábricas. O aspecto mais importante, que trouxe radical transformação no caráter do trabalho, foi esta separação: de um lado, capital e meios de produção de outro, o trabalho. Os operários passaram os assalariados dos capitalistas. Uma das primeiras manifestações da Revolução foi o desenvolvimento urbano. Já no início do século XX, o modelo de produção em massa, criado por Henry Ford, contrapôs o antigo modelo de produção que construía centenas de automóveis por ano, todos eles fabricados pelo clássico sistema artesanal. Nesse período, o volume de produção era muito baixo quando comparado aos dias atuais. Produzia-se cerca de mil carros por ano e, dificilmente, seriam encontrados dois carros idênticos. (WOMACK et al,1992).

Algumas décadas depois, a sociedade vivenciou transformações que foram consideradas a terceira revolução industrial, que, segundo Schwab(2016) começou na década de 1960. Ela costuma ser chamada de revolução digital ou do computador, pois foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em mainframe (década de 1960), da computação pessoal (década de 1970 e 1980) e da internet (década de 1990).

Nos últimos anos, deu-se início a que está sendo chamada de quarta revolução industrial. Ela vem trazendo megatendências em inovações e tecnologia. Schwab(2016) apresenta quatro principais que são consideradas mais facilmente identificáveis:veículos autônomos, impressão 3D, robótica avançada e novos materiais. E como toda revolução, está trazendo impactos na economia, na sociedade e nos processos produtivos. O sistema produtivo, através dos

processos de transformação dos seus *inputs* em *outputs* é o que permite às empresas fornecer seus produtos e/ ou serviços aos consumidores.

Este artigo tem como objetivo analisar comparativamente o processo de produção através da manufatura aditiva – comumente conhecida como impressão 3D - com o processo produtivo de manufatura em massa, de um objeto previamente definido. Serão considerados os custos de fabricação, o tempo, a qualidade e a resistência mecânica do produto final. O trabalho apresenta uma revisão bibliográfica seguida pela metodologia, resultados e discussões e conclusão.

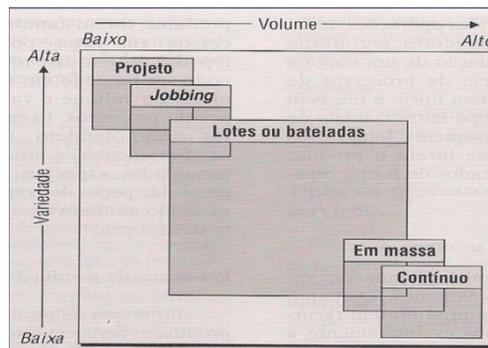
2. Referencial de literatura

2.1 Processos produtivos clássicos

As empresas buscam uma crescente evolução na sua produção através de métodos, estudos e informações. Entretanto, para que isso venha ocorrer é ideal que as organizações possam agregar um processo produtivo que esteja orientado para a visão estratégica previamente definida pela empresa, seguindo assim uma linha de ação para sistematização das suas atividades operacionais, visto que todo e qualquer trabalho executado em qualquer organização está relacionado, de alguma forma, ao seu processo principal. Mas afinal, o que é processo? (LAPENDA, 2012)

Segundo Hammer e Champy (1995), processos são denominados como sendo “um conjunto de atividades com uma ou mais espécies de entrada com uma sequência lógica que tem como o objetivo de produzir um bem ou um serviço a fim de criar uma saída de valor para o cliente”. Por outro lado, Harrington (1993) afirma que “Processo é qualquer função que recebe uma entrada (*input*), agrega-lhe valor (processo de transformação) e gera uma saída (*output*), fazendo uso dos recursos da instituição para gerar resultados consistentes”. A figura 1 apresenta os 5 tipos de processos classificados nas principais bibliografias existentes.

Figura 1-Tipos de Processos



Fonte:Slack, pag. 129, 2002

E é considerando os pressupostos elencados no parágrafo anterior, que serão descritos os tipos de processos apresentados na figura 1, através das nomenclaturas estabelecidas por Slack e Stuart (1997); considerando o *continuum* volume no eixo vertical e o *continuum* variedade no eixo horizontal para diferenciar os tipos de processos nos setores de manufatura e serviços. Assim, no que tange a manufatura, é possível especificar cinco processos onde cada um hostiliza uma forma distinta de gerenciar as atividades das operações com divergentes características de volume e variedade, os quais são citados a seguir:

- Processos de projetos;

Para Ritzman e Krajewski (2004) esse modelo de processo é caracterizado essencialmente por seu alto nível de customização das atividades e de sua grandeza como um todo. Tendo em vista que os recursos transformadores neste modelo são dedicados exclusivamente para um determinado produto, resume de certa forma em um processo que arquiteta e implementa serviços e produtos exclusivos feitos com a finalidade para atender a especificações de determinada solicitação/demanda, como espécime a construção de um Navio.

- Processos de jobbing;

Para Slack (1999) no processo de jobbing (ou tarefas) a variedade de seus produtos e serviços ainda é bem alta e com baixo volume com relação às características do processo de projeto, entretanto, neste caso o produto é crucial para dividir os recursos de produtividade com diversos outros, ou seja os recursos da produção são divididos entre eles. Processos de Jobbing produzem maior quantidade de itens e usualmente menores em relação ao processo de projeto, a maior parte dos trabalhos provavelmente é único. São exemplos de Processos em *Jobbing* os restauradores de móveis.

- Processos em lotes ou bateladas;

Processos do tipo “lotes ou bateladas” são comumente diferentes dos processos *jobbing* (ou tarefas) no que tange à volume, variedade e qualidade a principal diferença é que nos processos por lote os volumes são maiores, uma vez que os produtos ou serviços produzidos são iguais ou parecidos e são fornecidos de maneira repetida. Uma outra divergência é que nos processos por lote há uma limitação de variedade de produtos e serviços. Isso significa que num processo por lote os volumes são médios ou moderados, entretanto a variedade permanece muito grande para justificar a adoção de um processo separado para cada produto ou serviço. São exemplos: programação de uma viagem aérea para um grupo de pessoas; produção de componentes que alimentam uma linha de montagem. (FREITAS, 2014)

- Processos de produção em massa;

Para Ritzman e Krajewski (2004) neste exemplo de processo os seus produtos e serviços são padronizados, gerando recursos em função de produto ou serviço. No presente modelo pode-se encontrar umnexo mais indireto com solicitações/pedidos dos clientes devido ao maior fluxo de produção e a padronização do processo e produto final,ou seja trata-se de um estratégia que pensa no trabalho com estoque em quase todos os seus casos. São exemplos deste modelo de processo as lojas de fast-food e as fábricas de montagem de automóveis.

- Processos contínuos.

Slack (1999) define que, nesse processo a operação tem volumes maiores em relação aos demais, pois o mesmo possui uma baixa variedade e em contraposição opera por intervalos muitos mais longos. São exemplos: indústrias químicas, siderúrgicas dentre outros.

Para que ocorra de fato, a transformação dos insumos em produtos, existem também diversos processos de fabricação, que de acordo com Chiaverini V. são as operações empregadas para dar a forma desejada ao componente e/ou conjunto montado, esse processos são métodos pelos quais um determinado material é “manufaturado” em componentes que incorporarão um produto “utilizável”, que a partir de etapas projetadas exista uma mudança desejada na forma e/ou estrutura ou volume. Processos de fabricação são técnicas utilizadas para agregar

características prevista em projeto e não encontradas inicialmente na matéria prima ou no produto semiacabado.(CHIAVERINI V., 1986)

E ao considerar esses processos de fabricação, por volta do ano de 1980, surge um novo princípio, baseado na adição de materiais, o que hoje é denominado de manufatura aditiva. Essa, por sua vez trabalha com adição sucessiva de elementos na forma de camadas a fim de gerar algo (item/produto) com informações obtidas através de uma representação geométrica computacional 3D do componente. (VOLPATO *et al*,2017)

2.2 Manufatura aditiva: um novo conceito de processo

Seguindo no raciocínio sobre os processos de fabricação, a manufatura aditiva se caracteriza por fabricar através de acréscimos sequenciais de materiais em forma de camadas, que por meio das informações obtidas em uma modelagem computacional traz uma representação daquilo que foi elaborado com as devidas medições e especificações que foram criadas em um sistema CAD 3D. De modo totalmente automatizado e rápido - em alguns casos-, a manufatura aditiva se mostra inovadora porque a interferência do operador durante o processo é a mínima possível, o que ratifica a ideia de que é fácil manusear e/ou preparar o equipamento alimentando-o com os materiais necessários, definindo as informações e parâmetros métricos e fazendo processos de finalização dos produtos. (VOLPATO *et al*, 2017)

Berman (2012) detalha resumidamente, o processo de elaboração, de um produto da seguinte forma: após ser devidamente especificado em cada seção no CAD 3D, a impressora inicia o processo de adição progressiva das camadas de resinas. Essas, por sua vez, são dispensadas em líquido que logo são enrijecidas por um laser ultravioleta controlado pelo computador de acordo com as identificações pré-estabelecidas no princípio da elaboração. Na conclusão, o produto é encaminhado, em geral, para a sua finalização que é caracterizada pela eliminação de excesso de material. O tempo para elaboração de certos produtos devem, antes de estipulações concretas, serem considerados vários fatores; mas, o autor relata como exemplo que para fazer uma engrenagem uma impressora 3D chegou a gastar menos que uma hora, em alguns casos.

A manufatura aditiva, (no inglês *Additive Manufacturing*) não é uma técnica absolutamente recente, pois seus primeiros indícios são registrados no final dos anos 80. Sua utilização foi inicialmente para prototipagem rápida de produtos, que segundo Giordano (2016) trouxe um contraste entre os processos de fabricação, ou seja, a diferenciação estava em produzir protótipos de três dimensões na finalidade de apresentar resultados rápidos. E isso, exibe características relatadas como fundamentais pelo autor: redução da quantidade de etapas dos seus respectivos processos e a contenção dos materiais. Desse modo, no caso da produção de uma peça com complexidade geométrica alta, o uso de várias máquinas e também a agregação de outros processos como usinagem e acabamentos, a manufatura aditiva se mostra como vantajosa.

No entanto, foram em anos recentes que esse processo de fabricação conquistou um maior espaço nas indústrias por conta do progresso de equipamentos, isto é, desenvolvimento de equipamentos *open source* e materiais. Mais avanços foram sendo adquiridos com partição de patentes, o que fez com que a acessibilidade às máquinas de baixo custo fossem alcançadas. (COELHO, 2016)

Apesar de ainda discutirem sobre suas aplicações, a manufatura aditiva já é registrada em diversas áreas e estudos mostram que a evolução é apenas questão de tempo. Com a tecnologia utilizada na manufatura aditiva é possível produzir peças mais leves. Na indústria automotiva e na aeroespacial, por exemplo, o objetivo principal é fabricar os modelos de peças mais apropriadas para carros e aeronaves levando em consideração a segurança. A manufatura aditiva permite a fabricação de peças de áreas transversais complexas e contendo cavidades reduzindo a relação peso-resistência dessas peças (HERNANDEZ, 2012). Este autor ainda pontua diferentes aplicações para a manufatura aditiva, tais como: modelagem arquitetônica, pois permite que os arquitetos criem modelos físicos - maquetes - sem se preocupar com a complexidade do design das peças; aplicações na medicina, visto que a tecnologia voltada para manufatura aditiva permite o scaneamento e construção de ossos defeituosos de pacientes, fornecendo aos médicos uma ideia mais clara do procedimento a ser feito, ajudando-os no planejamento e economizando tempo e custo no procedimento.

2.3 Principais tecnologias e materiais da manufatura aditiva

A manufatura aditiva já está sendo considerada o futuro do mercado industrial, tornando-se um dos pilares tecnológicos para o novo cenário de confecção de produtos, com a promessa de desbancar os mais diversos tipos de manufaturas já existentes, por conta de sua rapidez, complexidade e acabamento de seus projetos. De acordo com Martendal(2018) ainda não se tem conhecimento de uma grande variedade de materiais que possam ser utilizados na manufatura aditiva, entretanto, é possível processar polímeros, ligas de titânio, alumínio, níquel, cobalto cromo, aços inoxidáveis e aços maragings (aço considerado de ultra alta resistência); ainda filamentos de plástico ABS (AcrilonitrilaButadieno Estireno), PLA (Poliácido Láctico) e metal em pó (titânio ou aço) são os materiais mais utilizados na manufatura aditiva.

No que se refere à tecnologia, a impressão 3D ainda tem muito espaço para evolução. Nos dias atuais, a impressora Massivit 1800 é o que há de maior e melhor no meio da manufatura aditiva, tendo apenas 33 dessas ao redor mundo. A Massivit 1800 é capaz de imprimir produtos de até 1,80 m de altura, 1,50 m de comprimento e 1,20 m de largura. Feito por meio de uma resina em gel que é aquecida por um canhão de luz U.V., permite que o processo seja concluído em menor tempo, relacionado as impressões feitas por impressoras menos modernas, Expoprint 2016.

Com o avanço e o destaque da manufatura aditiva ao redor do mundo, é esperado que novos materiais venham participar desta evolução, agregando e trazendo mais flexibilidade, tecnologia, velocidade e qualidade para o processo.

A impressão 3D é certamente uma das maiores invenções para o ramo industrial e da saúde, que possibilitou o surgimento de inúmeras inovações. Com o uso da impressão 3D, tornou-se possível criar basicamente qualquer coisa, principalmente para clientes com métricas, desejos e necessidades específicas, gerando algo novo e totalmente exclusivo. Na área da saúde já é possível listar várias vantagens que a manufatura aditiva agregou à área da saúde, podendo ver a criação de próteses específicas para necessidades de cada paciente, apresentando um resultado muito mais satisfatório do que próteses que já estão inseridas no mercado.

A partir disso, novos tipos de materiais estão sendo estudados para melhorar e desenvolver cada vez mais a manufatura aditiva, de tal forma que se torne cada vez mais viável e comum a

utilização da impressora 3D para implantes, próteses, reconstruções e criação de qualquer tipo de tecido, osso ou órgão. Em 2013, o britânico Eric Moger de 60 anos, foi submetido à uma reconstrução facial para cobrir uma grande depressão facial causada por um tumor maligno, a partir disso, foi criada uma estrutura de titânio para reconstruir a parte de osso afetada na cirurgia e em seguida uma prótese de silicone que cobre a peça de nylon e construída totalmente na impressora 3D, *BBC News* 2013.

Um dos grandes desafios nos dias atuais para a impressão 3D na área da saúde continua sendo construção de tecidos vascularizados que sejam compatíveis completamente com as funções imunológicas, celulares, bioquímicas e anatômicas com o paciente que irá recebê-lo (*Advanced Science* 2019). Contudo, diversos testes já foram e estão sendo feitos e obtendo resultados cada vez mais satisfatórios, como o caso descrito no parágrafo acima. Resultados mais rápidos e mais eficientes são esperados para os próximos passos da manufatura aditiva.

Recentemente, pesquisadores da universidade de Tel Aviv, em Israel, desenvolveram um projeto de criação de um coração feito pela impressora 3D. O coração levou apenas 3 horas para ser finalizado e tem apenas 2,5 centímetros, no entanto, seu tamanho não demonstra o tamanho do avanço dessa tecnologia. O coração foi o primeiro a ser impresso com todos os vasos sanguíneos, ventrículos e câmaras, usando como filamento o próprio material biológico do paciente, evitando com que o novo coração não fosse como um corpo estranho organismo do paciente. Isso demonstra o quanto essa tecnologia ainda tem para oferecer e o quanto ela ainda será útil e necessária para todas as áreas.(NOOR,2019)

2.4 Custos de Fabricação

Os *inputs* assim como as operações de transformação que acontecem em um processo produtivo são indispensáveis para obtenção dos *outputs*, sejam eles produtos ou serviços. Todas as vezes que uma empresa industrial pretende obter bens, seja para uso, troca, transformação ou consumo, ou ainda utilizar algum tipo de serviço, ela efetua gastos. Cada matéria-prima, equipamento e mão de obra utilizada representam gastos que uma empresa incorre para obtenção dos seus produtos. Quando os gastos são efetuados para a obtenção de bens e serviços que são aplicados diretamente na produção de outros bens, esses gastos correspondem a custos (RIBEIRO,2014). Como definido por Iudícibus (2013), custos são os

gastos direta ou indiretamente associados à produção de um bem ou um serviço, podendo ser classificado em: custos diretos, indiretos, fixos ou variáveis. Ribeiro (2014) os define claramente como:

- Custos Diretos compreendem os gastos com materiais, mão de obra e os outros gastos aplicados diretamente na fabricação dos produtos. São denominados Diretos porque, além de integrarem os produtos, suas quantidades e valores podem ser facilmente identificados em relação a cada produto fabricado.
- Custos Indiretos: compreendem os gastos com materiais, mão de obra e outros gastos aplicados indiretamente ao produto. São assim denominados porque, além de não integrarem os produtos, é impossível uma segura identificação de suas quantidades e valores em relação a cada produto fabricado;
- Custos fixos: são aqueles que permanecem estáveis independente de alterações no volume da produção. São custos necessários ao desenvolvimento do processo industrial em geral.;
- Os custos variáveis: são aqueles que variam em decorrência do volume de produção. Uma observação importante é a de que por estarem vinculados ao volume produzido, são também denominados Custos Diretos.

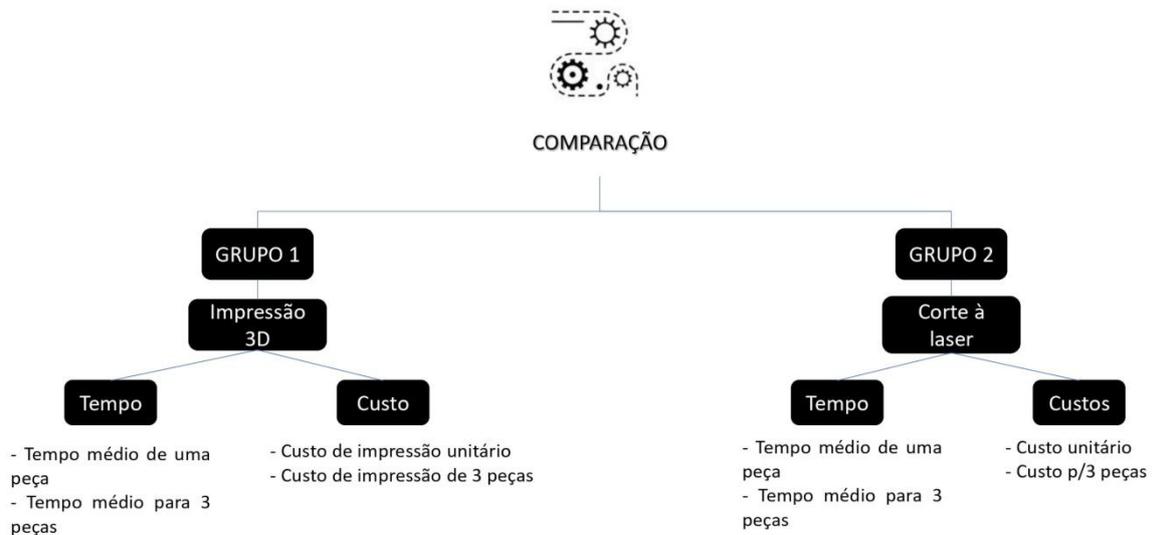
Segundo o autor Leone (2012) conhecer as informações sobre os custos de produção, possuem três finalidades: determinação do lucro e avaliação do patrimônio, controlar e planejar as operações e, por fim, auxiliar nas tomadas de decisão gerenciais.

3. Metodologia

Neste trabalho comparou-se o processo de fabricação de manufatura aditiva com o de corte a laser considerando as variáveis tempo, custo e qualidade do produto. A fim de estabelecer um padrão para o acompanhamento das variáveis, definiu-se um modelo de peça que seria submetida à fabricação através da manufatura aditiva e também através da máquina de corte a laser, sendo esta última uma representante de um processo de fabricação utilizado em produção em massa. A peça-modelo foi um cubo com arestas de 30 mm. Utilizou-se uma impressora 3D modelo ZMorph, disponibilizada pelo SENAI - MA na qual foram impressos 3 cubos utilizando o material ABS PRO, 3 cubos utilizando o material ABS PREMIUM e 3

cubos utilizando material PLA. Os dados da fabricação da máquina de corte a laser foram cedidos por uma empresa fabricante de brindes na cidade de São Luís – MA. Utilizou-se o material acrílico para fazer a comparação de tempo e custo. A figura 2 esquematiza o trabalho realizado.

Figura 2- Metodologia do Trabalho



Fonte: Autores (2019)

4. Resultados e discussões

Inicialmente são apresentados os resultados da análise das variáveis tempo e custo do Processo 1.

Análise da fabricação do Processo 1: Chamou-se de “Processo 1” a manufatura aditiva. Embora tenham sido utilizados 3 materiais diferentes o tempo médio de impressão dos cubos não variou conforme o material utilizado mas sim, conforme a quantidade de peças produzidas. A análise de tempo está apresentada no quadro 1:

Quadro 1-Análise de Tempo de Fabricação dos Cubosna impressão 3D

	Tempo médio para impressão de 1 cubo	Tempo médio para impressão de 3 cubos
Hora início	10h40 min	16h00 min
Hora fim	11h45 min	18h16 min
Tempo total gasto	01h05 min	02h16 min
Observação	Do total de 1h05 minutos gastos, 20 minutos foram para o aquecimento do equipamento	Do total de 2h16 minutos gastos, 20 minutos foram para aquecimento do equipamento.

Observou-se que no processo de manufatura aditiva é mais vantajoso imprimir mais de 1 objeto em cada fabricação pois tem-se mais eficiência no tempo, uma vez que para imprimir 1 ou 3 peças será necessário aguardar os 20 minutos de aquecimento da impressora.

A segunda variável analisada foi custo. Para determinar o custo de fabricação dos moldes, considerou-se os custos diretos e indiretos relacionados à manufatura aditiva, sendo os diretos: quantidade de matéria - prima, ou seja, de filamento gasto e os indiretos: tempo de modelagem da peça e energia. Os custos são apresentados no quadro 2:

Quadro 2-Análise de Custo da Fabricação dos Cubos na impressão 3D

	Custo de fabricação de 1	Custo de fabricação de 3
Matéria – prima (Quantidade gasta de filamento x preço/kg)	ABS PRO: (6,6g = R\$3,30) ABS PREMIUM: (6,4g = R\$0,54) PLA: (6,3g = R\$0,69)	ABS PRO: (19,8g = R\$9,90) ABS PREMIUM: (19,2g = R\$1,63) PLA: (24g = R\$2,73)
Energia elétrica	R\$ 0,15 (225w/1000 x 1.05h = 0,236kWh 0,236kWh x R\$0,656)	R\$ 0,31 (225w/1000 x 2.16h = 0,486kWh 0,486kWh x R\$0,656)
Tempo de modelagem	15 minutos (R\$ 2,55)	15 minutos (R\$ 2,55)

CUSTO TOTAL	ABS PRO: R\$ 6,00 ABS PREMIUM: R\$ 3,24 PLA: R\$ 3,39	ABS PRO: R\$ 12,76 ABS PREMIUM: R\$ 4,49 PLA: R\$ 5,59
--------------------	---	--

O custo total de fabricação variou conforme o material utilizado. O quilo do ABS PRO foi comprado no valor de R\$500,00; já o ABS PREMIUM foi comprado no valor de R\$85,00 e o PLA foi comprado no valor de R\$114,00 do fornecedor. Comparando os custos de fabricação de 1 peça por vez com aqueles referentes à fabricação de um lote de 3 peças, pode-se perceber que o custo unitário é menor quando se fabrica em lote. Isso acontece porque os custos fixos do processo são diluídos na quantidade de peças fabricadas. Os custos fixos neste caso seria o tempo de modelagem e a parte da energia elétrica gasta para o aquecimento da impressora. O custo unitário das peças fabricadas em lotes seriam: R\$4,25 para as peças em ABS PRO; R\$1,64 para as peças fabricadas em ABS PREMIUM e R\$1,86 para as peças fabricadas em PLA.

Análise da fabricação do Processo 2: Chamou-se de “Processo 2” o processo de manufatura por lote. A análise de tempo está apresentada no quadro 3:

Quadro 3-Análise de Tempo de Fabricação dos Cubos na máquina de corte à laser.

	Tempo médio para impressão de 1 cubo	Tempo médio para impressão de 3 cubos
Hora início	9h10	12h40

Hora fim	9h24	12h56
Tempo total gasto	00h14 min	00h16min
Observação	Do total de 0h14 minutos gastos, 10 minutos foram para a preparação do setup	Do total de 0h16 minutos gastos, 10 minutos foram para a preparação do setup.

Na análise de tempo de produção da máquina de corte à laser, observa-se, assim como na impressora 3D que é mais vantajoso a produção de mais peças do que um por vez, tendo praticamente o mesmo tempo para a produção de apenas um corpo de prova.

Quanto à comparação do tempo gasto, a máquina de corte à laser apresentou considerável vantagem de fabricação. Enquanto a impressora 3D gastou 1 hora e 5 minutos para a fabricação de 1 peça, a máquina de corte à laser gastou apenas 14 minutos para fabricar a mesma quantidade, ou seja, 20% do tempo gasto pela impressora. Quando se analisa a impressão em lote de 3 peças, essa diferença fica ainda maior: enquanto o processo da impressão dos 3 cubos durou 2 horas e 16 minutos, a fabricação na máquina de corte a laser durou 16 minutos, ou seja, 11% do tempo.

A segunda variável analisada foi custo. Para determinar o custo de fabricação dos moldes, considerou-se os custos diretos e indiretos relacionados à processo de manufatura por lote, sendo os diretos: quantidade de matéria - prima, ou seja, da chapa de acrílico gasta: tempo de modelagem da peça e energia. Os custos são apresentados no quadro 4:

Quadro 4- Análise de Custo de Fabricação dos Cubos

	Custo de fabricação de 1	Custo de fabricação de 3
Matéria - prima (Chapa de acrílico x preço)	Recorte do acrílico cristal = R\$ 2,25	Recorte do acrílico cristal = R\$ 6,75

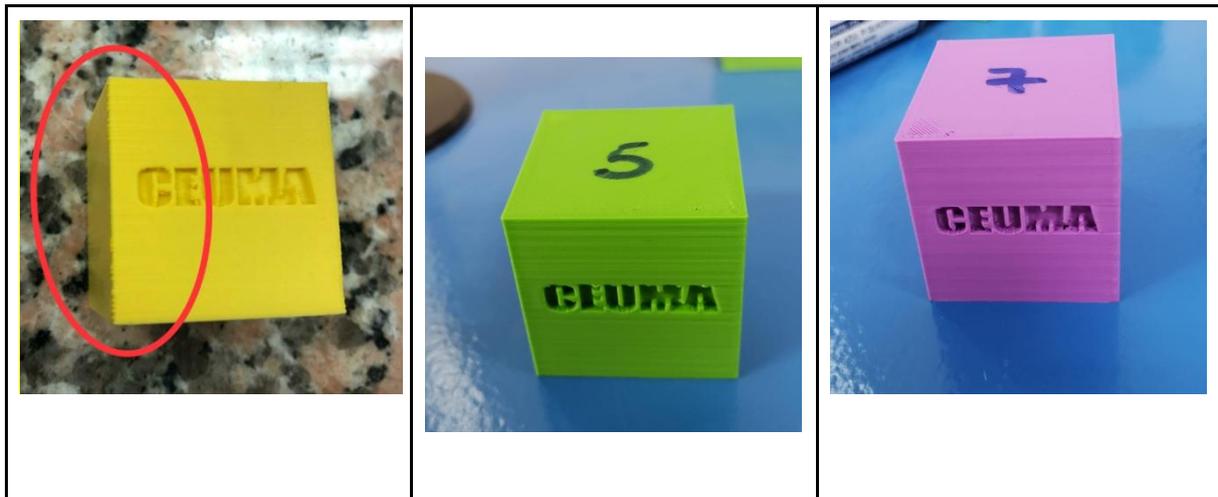
Energia elétrica	R\$0,33 (0,50kWk x R\$0,66kWh)	R\$0,99 3 x (0,50kWk x R\$0,66kWh)
Tempo de modelagem	15 minutos (R\$ 2,55)	15 minutos (R\$ 2,55)
Mão de obra direta (hora/trabalho e agregados)	R\$0,25	R\$0,75
TOTAL	R\$5,38	R\$11,04

Assim como na manufatura aditiva, o processo de manufatura em massa através da máquina de corte à laser também se beneficia produzindo mais de uma peça por lote, gerando uma vantagem competitiva para a organização em termos de custo unitário do produto fabricado.

Nesta análise comparativa observou-se o custo de fabricação através do processo de manufatura aditiva variou principalmente em função da matéria-prima utilizada. De modo que ao comparar os custos finais, a manufatura aditiva apresentou-se mais viável na fabricação das peças utilizadas como modelo para este trabalho. No entanto, este mesmo processo mostrou-se em desvantagem quando levou-se em consideração o tempo de fabricação das peças. Em um intervalo de 2 horas e 16 minutos, foi possível fabricar 3 peças utilizando a manufatura aditiva, enquanto, neste mesmo período seriam fabricadas aproximadamente 60 peças utilizando o processo através da máquina de corte à laser.

Para avaliar a qualidade das peças fabricada através da impressora 3D realizou-se uma inspeção visual das peças e um ensaio de compressão para averiguar a resistência mecânica. Durante a inspeção visual foi observado que os cubos impressos na cor amarela, com o material ABS PRO apresentaram irregularidades no acabamento que não foram notadas nos cubos impressos nos outros dois materiais. A imagem 1 abaixo, retrata o relato supracitado:

Imagem 1-Amostras dos Cubos Impressos



Os cubos amarelos foram impressos 1 unidade por vez. O material utilizado foi o ABS PRO. Os cubos verdes foram impressos em lote de 3 unidades. O material utilizado foi ABS PREMIUM. Os cubos roxos foram impressos em lote de 3 unidades. O material utilizado foi o PLA PREMIUM.

Observou-se que todos os cubos amarelos apresentaram tal irregularidade na superfície. Justifica-se esta diferença pelo fato dos cubos amarelos terem sido impressos em uma unidade por vez. Quando se trata de peças pequenas, é essencial o uso do maior espaço possível da plataforma de impressão assim como o maior número de objetos possíveis na mesma impressão para que se tenha o melhor acabamento. De acordo com isso acontece tendo em vista que quando existe somente uma peça na mesa de impressão o bico quente ficará mais tempo sobre uma região, dificultando que as camadas resfriem e o material tome a forma correta. Com o material quente por muito tempo, corre o risco do aparecimento de bolhas e falhas no acabamento superficial da peça pequena. Ao adicionar mais de uma peça na mesma mesa de impressão, o bico extrusor irá viajar pela área de impressão por mais tempo, melhorando significativamente o acabamento final. O empecilho para esse caso é devido a perda de material que pode ocorrer. (3D fila, 2019)

Os cubos foram separados em três grupos para análise de compressão:

Grupo 1 - Cubos Amarelos/ ABS PRO
 Grupo 2 - Cubos Verdes/ ABS PREMIUM
 Grupo 3 - Cubos Roxos/ PLA PREMIUM

Com a escolha dos materiais que se faria os cubos, decidiu-se realizar um teste de capacidade mecânica dos objetos para a análise de qualidade, através de ensaios de compressão. Os resultados são apresentados no quadro 5.

Quadro 5-Análise dos Ensaios de Compressão

	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
Corpo de Prova	CP1	CP2	CP4	CP5	CP7	CP8
Ton/f	0.82	0.79	1.08	1.05	0.97	1.05
Média	0.805		1.065		1.01	

De modo geral, os cubos impressos em lotes de 3 unidades apresentaram maior resistência à compressão, corroborando assim, com o que foi observado por 3D fila(2019). Pode-se observar ainda, que os componentes do grupo 2, os cubos fabricados em lotes de 3 unidades e com o material ABS PREMIUM apresentaram uma resistência maior quando foram submetidos a ensaios de compressão, uma vez que se mostraram mais rígidos para sua deformação.

5. Considerações Finais

Através de uma análise comparativa entre a produção de um cubo utilizando a impressora 3D e uma máquina de corte a laser, foi possível identificar a diferença de tempo de produção do produto, em que a máquina de corte a laser tem seu tempo reduzido em relação ao outro método utilizado sendo eles, como já observados anteriormente, uma diferença de 51min, para uma peça e 120min para 3 peças utilizados a mais na impressão 3D. No que tange a custo, a diferença entre elas é discreto para produção em pequenos volumes.

Diante dos dados apresentados é possível concluir que a manufatura aditiva em comparação com outros processos de produção se encontra menos vantajosa e desta forma não sendo

viável comercialmente e na maioria dos casos utilizada majoritariamente como objetivo de estudo nas universidades e como testes de prototipagem nas organizações. Vale ressaltar que através deste modelo fica a posição para trabalhos futuros em linhas de pesquisas similares para análises de outros elementos tais como resistência dos materiais e qualidade dos produtos.

REFERÊNCIAS

3D FILA. **Impressão 3D de peças pequenas.** Disponível em: <<https://3dfila.com.br/impressao-3d-de-pecas-pequenas-5-dicas-para-imprimir-com-qualidade/>> Acesso dia 01 de maio de 2019

BERMAN, Barry. 3-D printing: **The new industrial revolution.** Bus. Horizons, 2012. 155 p.

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. **A IMPORTÂNCIA DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NO MUNDO DA TECNOLOGIA - VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar - Paraná - Brasil – 2011.**

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. **A IMPORTÂNCIA DA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NO MUNDO DA TECNOLOGIA - VII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar - Paraná - Brasil - 2011.**

CEREZER, E. J; TAGLIAPIETRA, R. D. **Gestão por processos: uma contribuição ao processo produtivo para indústria de esquadrias.** Artigo Online. Saber Humano: Revista Científica da Faculdade AntonioMeneghetti; Rio Grande do Sul - Brasil - 2017. Disponível em <<https://saberhumano.emnuvens.com.br/sh/article/view/232-833>> Acesso em: 22 de março de 2019.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica - Processos de fabricação e tratamento.** 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1986.

COELHO, Silva Lucas. **Técnicas e Ferramentas CAD 3D para Tratamento de Superfícies Complexas Visando a Fabricação de Órtese por Manufatura Aditiva.** Curitiba: UTFPR, 2016. 22 p. Trabalho de Conclusão de Curso-Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CORRÊA, J; **O Que são processos produtivos?.** Disponível em <<http://www.administradores.com.br/producao-academica/o-que-sao-processos-produtivos/5815/>> Acesso em: 28 mar. 2019.

ESPECIFICAÇÕES DE PLA E ABS. **3dilla**, 2014. Disponível em:<http://pt.3dilla.com/materiais/plastico/>
Acesso em: 06 de março, 2019.

FERNANDES, V.K.; MARTENDAL, C.P. **IMPRESSÃO 3D COM METAIS**. Engenheiros de materiais, 2018. Engenheiro de Materiais: Manufatura aditiva de metais/, 2018. Disponível em:<http://engenheirodemateriais.com.br/2018/06/21/manufatura-aditiva-de-metais-impressao-3d-com-metais/>. Acesso em: 26 de março, 2019.

FREITAS R. **Processos de Manufatura**. Disponível em <<https://gerenciadeproducoes.wordpress.com/2014/12/05/processos-de-manufatura/>> Acesso em: 28 mar. 2019.

GIORDANO, Mezzeti Caio; ZANCUL, Sensi de Eduardo; RODRIGEUS, Picanço, Vinicius.. **Análise dos custos da produção por manufatura aditiva em comparação a métodos convencionais**. São Paulo: USP, 2016. 500 p. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo , 2016.

IMPRESSÃO 3D DE PEÇAS PEQUENAS: 5 DICAS PARA IMPRIMIR COM QUALIDADE. **3DFila**, 30 jan, 2019. Disponível em:<https://3dfila.com.br/impressao-3d-de-pecas-pequenas-5-dicas-para-imprimir-com-qualidade/>. Acesso em: 02 de março, 2019.

IMPRESSORA 3D ‘DEVOLVE’ ROSTO A BRITÂNICO. **BBCNEWS**, 4 de abril 2013. Disponível em:https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/04/130403_transplante_protese3d_gm. Acesso em: 30 de janeiro, 2019.

IMPRESSORA MASSIVIT 3D1800 MUDA CONCEITOS NO SETOR 3D DE GIGANTOGRAFIA. **ExpoprintLatinAmerica 2022**, 2016. Disponível em:<<https://www.expoprint.com.br/pt/noticias/impresora-massivit-3d-1800-muda-conceitos-setor-3d-gigantografia>>. Acesso em: 02 de março, 2019.

ISRAEL CRIA PRIMEIRO CORAÇÃO FEITO POR IMPRESSORA 3D A PARTIR DE CÉLULAS DE PACIENTE. **Época negócios online**, 15 de abril 2019. Disponível em:<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/04/israel-cria-primeiro-coracao-feito-por-impresora-3d-partir-de-celulas-de-paciente.html>. Acesso em: 19 de abril, 2019.

IUDÍCIBUS, S. **Análise de custos: uma abordagem quantitativa** / São Paulo : Atlas, 2013.

LAPENDA. J. **Planejamento estratégico e processo decisório**, 2012. Disponível em:<<https://administradores.com.br/artigos/planejamento-estrategico-e-processo-decisorio>>. Acesso em: 06 de março, 2019.

LEONE, G. S. G. **Custos: planejamento, implantação e controle** / 3 ed- São Paulo: ATLAS, 2012.

NOOR, N.; SHAPIRA, A.; EDRI,R.; GAL,I.; WERTHEIM,L.; DVIR,T. **3D Printing of Personalized Thick and Perfusible Cardiac Patches and Hearts**. Artigo online. Advanced Science. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/advs.201900344>. Acesso em: 12 de março, 2019.

NOOR, N.; SHAPIRA, A.; EDRI,R.; GAL,I.; WERTHEIM,L.; DVIR,T. **3D Printing of Personalized Thick and Perfusible Cardiac Patches and Hearts** - Advanced Science, 2019.

PERALES, W. **Classificações dos Sistemas de Produção**. Artigo Online. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR111_0830.pdf> Acesso em: 30 de março de 2019.

RITZMAN, Larry P. e KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004

Schwab, K. **A quarta revolução industrial/Klaus Schwab**; tradução Daniel Moreira Miranda. - São Paulo :Edipro, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SLACK, Nigel. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

VOLPATO, Neri. **Manufatura Aditiva Tecnologias e Aplicações da impressão 3D**. Bulcher, São Paulo, 2017.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. e ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 14. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WONG, K. V.; HERNANDES, A. **A Review of Additive Manufacturing**. **International Scholarly Research Network** - ISRN Mechanical Engineering, 2012.