

CATALOGAÇÃO DE FATORES QUE INFLUENCIAM NO TEMPO DE FABRICAÇÃO DO PROCESSO SLM

COBEF2017-0093

Resumo:

A Fusão Seletiva a Laser (Selective Laser Melting – SLM) é um processo de Manufatura Aditiva em que a peça é construída camada por camada. Esta técnica abre novas perspectivas para o desenvolvimento de componentes metálicos com geometrias complexas em diferentes setores da indústria, como: aeroespacial, de ferramentais, médica entre outras. Devido à recente evolução e difusão do processo SLM mundialmente, esta técnica está mais acessível à indústria. Embora a tecnologia SLM proporcione muitas vantagens em relação aos processos convencionais de fabricação, ainda é um processo lento e de elevado custo, sendo a previsão do tempo de fabricação uma tarefa crucial na venda de serviços que utilizam este processo. Porém, atualmente os softwares utilizados na SLM são segmentados e específicos para cada etapa do processo, dificultando mensurar previamente o tempo total de fabricação com precisão. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é identificar os principais fatores que influenciam o tempo total de fabricação do processo SLM. Através da análise realizada, utilizando um protótipo de software, observou-se que os parâmetros do laser, estratégias de fabricação e geometria das peças fabricadas, elencadas neste trabalho, possuem grande influência no tempo total de fabricação por SLM, sendo que, peças fabricadas a 90° (vertical) em relação ao substrato de fabricação apresentaram maior tempo de fabricação que a mesma peça fabricada a 0° (horizontal), devido à deposição das camadas de matéria prima.

Palavras-chave: Fusão Seletiva a Laser, Tempo de Fabricação, Parâmetros.

1. INTRODUÇÃO

A Fusão Seletiva a Laser (Selective Laser Melting - SLM) é uma técnica promissora para a produção de peças utilizando uma variedade de ligas metálicas de engenharia de alta qualidade, que não podem ser facilmente fabricadas por métodos convencionais de fabricação. Além disso, possibilita a fabricação de pequenos lotes de produtos customizados sem a necessidade da fabricação de moldes protótipos (ZHANG, DEMBINSKI e CODDET, 2013).

Todos os processos de manufatura aditiva, inclusive a SLM, possuem um enorme potencial para a produção individualizada de componentes complexos e com alto valor agregado para sua produção (Harris, 2017), visto que, a indústria busca ferramentas para reduzir o tempo de lançamento de produtos no mercado, para melhorar a qualidade e reduzir o custo de manufatura de produtos complexos, como por exemplo, implantes personalizados, ferramentais com detalhes internos, peças com otimização topológica que não são possíveis de serem obtidas por processos de fabricação convencionais.

No processo de fabricação por SLM, um pó metálico é completamente fundido. Esta particularidade tem o objetivo de criar peças metálicas com densidade muito próxima da densidade total da matéria prima, sem a necessidade de pós processamento (ABE et al., 2001; BADROSSAMAY e CHILDS, 2007; YADROITSEV e SMUROV, 2011). Os tipos de materiais que podem ser processados incluem os aços inoxidáveis, aços ferramenta, ligas cobalto-cromo, titânio, alumínio, cobre, entre outros materiais metálicos. Todos devem ser transformados em pó com formato esférico que devem exibir certas características de escoamento (FISCHER et al., 2003).

Esta técnica de fabricação é utilizada na obtenção de componentes tridimensionais a partir de construções bidimensionais sucessivas obtidas pelo recobrimento sucessivo de camadas de pó metálico. Na primeira etapa da manufatura do processo SLM, o material bruto na forma de pó é depositado como uma camada fina (30 a 50 μm) sobre uma plataforma de trabalho. De acordo com as trajetórias de varredura definidas por um software apropriado, um feixe de laser funde a camada de pó, conforme o desenho 2D desejado, e esta porção fundida do material logo se solidifica, formando um material sólido contínuo. A plataforma de trabalho então é deslocada no sentido vertical para que uma nova camada de pó seja depositada sobre a camada anterior, possibilitando assim que uma nova varredura 2D seja realizada pelo feixe de laser, fundindo o pó da nova camada sobre a parcela sólida deixada pela camada anterior, o que gera uma continuidade do material solidificado das camadas sucessivas (Brecher, 2015).

A qualidade de uma peça produzida por SLM depende fortemente da matéria-prima (pó), envolvendo as propriedades físicas e geométricas (distribuição de tamanho e forma da partícula) e dos parâmetros do processo de fabricação, que envolvem potência do laser, comprimento de onda do laser, tamanho do feixe, velocidade de movimentação, trajetória do laser; e que estão relacionados com as propriedades do material empregado (Yadroitsev, Bertrand e Smurov, 2007). Isso é reforçado por Harris (2017), que afirma que os dois principais componentes de qualquer processo de manufatura aditiva são: (i) o tipo de material bruto (material que será transformado em pó para na sequência ser usado no processo de fusão seletiva a laser) empregado e (ii) a fonte de energia utilizada para processar o componente.

Conforme Yasa e Kruth (2011), embora a tecnologia SLM proporcione muitas vantagens em relação aos processos convencionais, o volume de porosidade no interior das peças e o tempo de fabricação de grandes lotes ainda são as principais desvantagens desta técnica quando comparada a técnicas convencionais.

De acordo com Harris (2017), a produtividade do processo SLM pode ser aumentada tomando-se algumas medidas, como o acréscimo na potência do laser, que possibilita aumentar a velocidade de varredura, a utilização de uma espessura maior da camada de pó ou o aumento do diâmetro do feixe, que contribuem para o aumento da taxa de deposição ou construção do componente. Porém Poprawe et al. (2014) afirma que estas medidas podem resultar numa perda significativa da resolução e conformidade geométrica dos componentes, já que o aumento da velocidade do feixe dificulta a geração de detalhes, o uso de uma camada de pó mais espessa piora a resolução vertical da peça e o aumento do diâmetro do feixe também dificulta a geração de detalhes. Além disso, o aumento da potência do laser por si só tem um limite. Muita potência pode gerar respingos e ablação do pó, o que torna o processo instável e não repetitivo. Para Poprawe (2011) a escolha de uma combinação adequada de parâmetros de processamento, considerando-se o material que está sendo processado, no SLM podem gerar peças que adquirem propriedades mecânicas comparáveis com as das peças fundidas do mesmo material.

Na literatura grande parte dos artigos encontrados sobre SLM utilizam potências de laser de no máximo 200 W, porém alguns poucos artigos já estão utilizando potências de laser com maior intensidade. Devido a constante evolução do processo SLM, máquinas já estão sendo fabricadas com potências de até 1000 W, permitindo assim maior produtividade na fabricação de peças (MARQUES, 2014; LEUDERS et al., 2015; CONCEPT LASER, 2017). Porém pouco se sabe sobre o tempo de fabricação de peças por SLM e o ganho em produtividade que o aumento da potência pode causar.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar e identificar, seguindo um modelo matemático de um protótipo de *software* que está em desenvolvimento, os principais fatores que influenciam o tempo total de fabricação do processo SLM.

2. METODOLOGIA

Com o objetivo de analisar, seguindo um modelo matemático, a influência dos parâmetros de fabricação no tempo de fabricação de peças por SLM, dividiu-se as análises em duas etapas: (i) utilização de uma peça com mesmo volume fabricada em diferentes direções (ii) utilização de peças de diferentes volumes.

Em ambas as etapas utilizou-se espessura de camada de 30µm, densidade de energia de 5,33J/mm² e potências de 200, 300 e 400 W, como apresentado na tabela (1).

Tabela 1. Parâmetros adotados nas duas abordagens dessa pesquisa.

Fatores	Níveis	Variável Resposta
Espessura da Camada (t)	30 µm	Tempo
Diâmetro do feixe de laser (Ø _f)	150 µm	
Densidade de energia (E)	5,33 J/mm ²	
Potências (P)	200 W 300 W 400 W	
Velocidades (V) – calculas	1250 mm/s 1875 mm/s 2500 mm/s	

Para o cálculo das velocidades foram utilizados os valores da Tabela 1 e a Equação 1 da Densidade de Energia (SALLICA-LEVA, JARDINI E FOGAGNOLO, 2013; THIJS et al., 2010), por ser a mais empregada para esse fim na bibliografia de apoio:

$$E = \frac{P[W]}{\varnothing_f[mm] \cdot V\left[\frac{mm}{s}\right] \cdot t[mm]} \left[\frac{J}{mm^3} \right] \quad (1)$$

Onde P é a potência do laser, ϕ diâmetro do feixe de laser, V a velocidade de varredura do laser e t a distância entre camadas. Logo, aumentando a potência do laser e diminuindo a velocidade e/ou diâmetro do laser e/ou espessura da camada aumenta-se a densidade de energia, que é entregue para a área especificada para fundir ou sinterizar as partículas de pó.

Máquinas SLM mais antigas, utilizavam sistemas de laser pulsado, com potências inferiores a 50 W e o diâmetro do feixe era frequentemente alterado para melhor fusão e acabamento superficial, visto que menores diâmetros geram menor rugosidade. Os sistemas de laser das máquinas atuais trabalham com laser contínuo, com potências acima de 200 W, fundindo completamente as camadas de pó, e no diâmetro do laser busca-se trabalhar sempre com o menor diâmetro possível, sendo este valor de aproximadamente 150 μm para todos os sistemas de lasers utilizados atualmente nos processos de fusão seletiva a laser. Sendo assim, o diâmetro do feixe será desconsiderado neste artigo e a unidade da densidade de energia (E) será alterado para J/mm^2 .

A simulação do tempo de fabricação de peças pelo processo de fusão seletiva a laser foi realizada por meio de um programa que está em desenvolvimento, cujo modelo matemático, inicialmente é destinado apenas para máquinas SLM com plataforma de fabricação nas dimensões 250 x 250 mm^2 . O modelo matemático utilizado, não é exposto por questões de direitos autorais/registro de *software*, porém, com base em testes já realizados, relacionando a prática com os valores simulados, o cálculo do tempo de fabricação por SLM apresentou um erro médio entre 10 e 20%, dependendo da geometria e posicionamento das peças fabricadas. Em comparação, a usinagem, que é um processo de fabricação já consolidado no mercado, e que apresenta um erro médio de aproximadamente 10%, considera-se um *software* confiável que poderá auxiliar no desenvolvimento de orçamentos em diversos setores da indústria.

2.1 Etapa I: Tempo de fabricação em peças com volumes iguais

Após o cálculo da velocidade, deu-se início ao estudo da análise do tempo de fabricação dos corpos de prova demonstrados na Figura 1. Que apresentam as dimensões 15 x 15 x 120 mm^3 e volume de 27000 mm^3 .

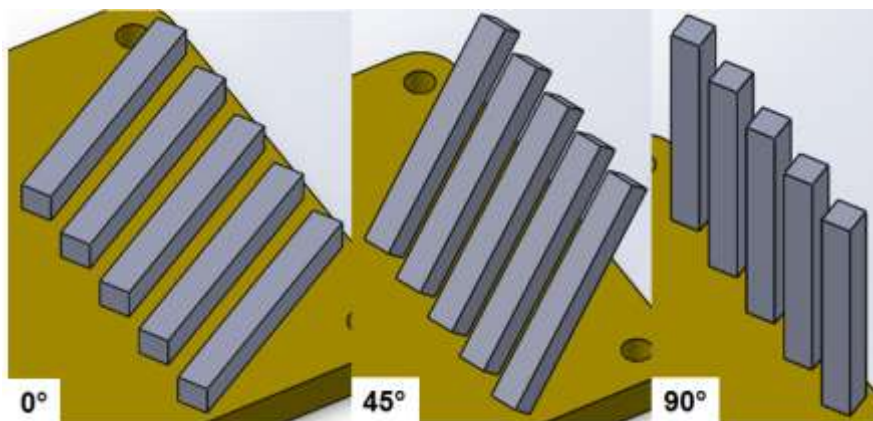


Figura 1. Corpos de prova com volume de 27000 mm^3 adotados na primeira etapa do experimento.

A simulação da produção do corpo de prova acima ocorreu adotando-se os parâmetros expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados na simulação da fabricação dos corpos de prova.

Fatores	Níveis			Variável Resposta
Ângulo de fabricação (°)	0	45	90	Tempo
Quantidade de camadas	500	2830	4000	
Potência do Laser (W)	200	300	400	
Quantidade de Peças (unidade)	1	5	10	
Espessura da camada (t) (μm)		30		
Geometria/Volume (forma/ mm^3)		1/27000		

2.2 Etapa II: Tempo de fabricação em peças com volumes diferentes

Na sequência foi realizada a análise do tempo de fabricação das peças com diferentes geometrias, que estão expostas na Figura 2.

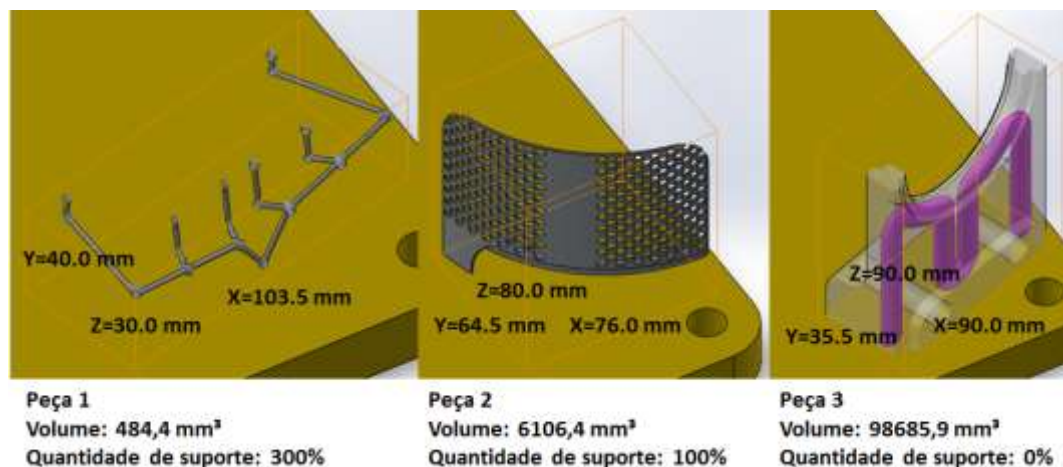


Figura 2. Peças com volumes e geometrias diferentes utilizadas na simulação do processo de fabricação por SLM.

Na Tabela 3 encontra-se o detalhamento das dimensões das peças apresentadas acima.

Tabela 3. Características das peças acima.

Número da Peça	Dimensões (mm)	Volume total (mm³)	Quantidade de suporte (%)
1	X = 103.50	484,4	300
	Y = 40.00		
	Z = 30.00		
2	X = 76.00	6106,4	100
	Y = 64.50		
	Z = 80.00		
3	X = 90.00	98685,94	0
	Y = 35.50		
	Z = 90.00		

As peças expostas na Figura 2, por apresentarem diferentes volumes e formas geométricas, foram analisadas em apenas uma direção, conforme parâmetros descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros adotados na simulação da fabricação das peças expostas na fig. 2.

Fatores	Níveis			Resposta
Volume (mm³)	484,4	6106,4	98685,94	Tempo (h)
Potência do Laser (W)	200	300	400	
Quantidade de Peças (unidade)	1	5	10	
Espessura da camada (t) (µm)		30		

Neste caso, também foi realizada uma variação no número de peças fabricadas e na potência, mas não houve variação da direção de fabricação em virtude das formas geométricas que no processo de produção podem sofrer avarias dependendo do ângulo de fabricação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados da simulação do tempo de fabricação por SLM em duas etapas: (i) peças com mesmo volume e fabricadas em diferentes direções; (ii) peças com volumes diferentes. Em ambas as etapas as simulações foram realizadas utilizando diferentes valores de potência (200 W, 300 W e 400 W) e diferentes valores para a quantidade de peças fabricadas no mesmo substrato (1, 5 e 10 peças).

3.1 Etapa I: Tempo de fabricação em peças com volumes iguais

A Figura 3 apresenta os tempos gastos para a fabricação dos corpos de prova com mesmo volume (Figura 1) e diferentes direções de acordo com os parâmetros apresentados anteriormente na Tabela 2.

Em uma análise simples, é possível visualizar que a redução do tempo de fabricação varia em relação a direção de fabricação e a quantidade de peças fabricadas ao mesmo tempo na plataforma. Pois peças fabricadas a 0° (em relação a plataforma de fabricação) possuem menor número de camadas do que as peças fabricadas à 90°, como é possível visualizar na Tabela 2. Já a fabricação de maior quantidade de peças na mesma plataforma divide entre todas as peças o tempo utilizado para a deposição da camada de pó, reduzindo assim o tempo de fabricação por peça.

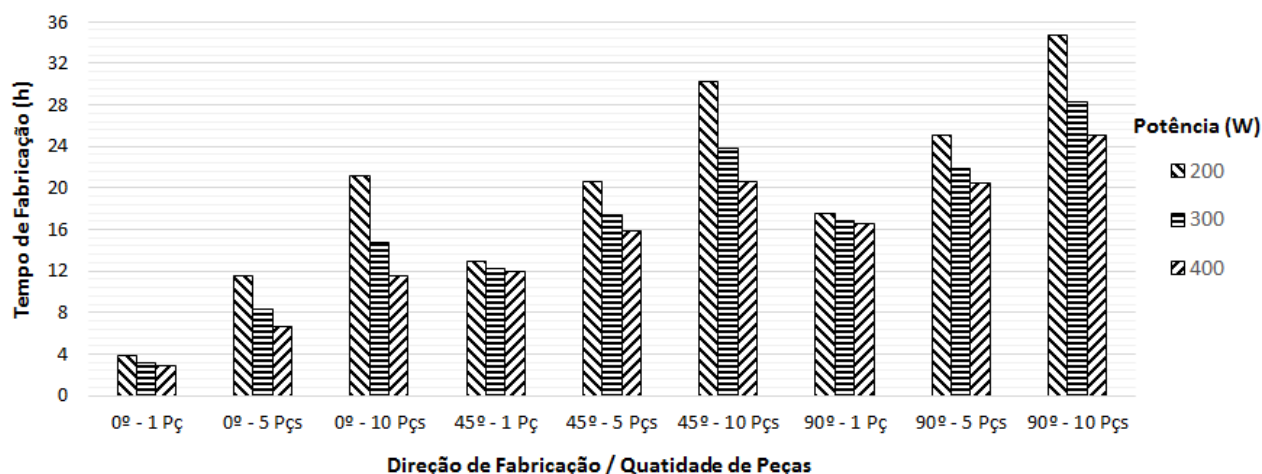


Figura 3. Tempo de fabricação de peças com volumes iguais, potências do laser e direções de posicionamento diferentes.

É possível também identificar que com o aumento da potência reduz-se o tempo de fabricação, pois de acordo com a fórmula da densidade de energia, apresentada anteriormente, com o aumento da potência, consequentemente aumenta-se a velocidade de escaneamento do laser. Na Tabela 5 é possível visualizar a redução do tempo de fabricação com o aumento da potência do laser de 200 W para 400 W nas quantidades e direções de fabricação analisadas.

Tabela 5. Redução do tempo de fabricação com o aumento da potência do laser de 200 W para 400 W – peças com volumes iguais.

Quantidade de Peças (unidade)	Direção de Fabricação					
	0°		45°		90°	
	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem
1	1	26%	1	7%	1	6%
5	5	42%	5	23%	5	19%
10	10	45%	10	32%	10	28%

Nas diferentes quantidades de peças e direções de fabricação apresentadas, o aumento da potência do laser resultou na redução do mesmo valor em horas para cada uma das quantidades avaliadas. Porém estes valores, em porcentagem, representaram maior redução para as peças fabricadas a 0° e menor redução na direção de 90°. Também é possível identificar que conforme aumenta-se a quantidade de peças fabricadas no mesmo substrato, aumenta-se a redução do tempo de fabricação. Na Tabela 6 é possível visualizar a redução do tempo de fabricação com o aumento da quantidade de peças de 1 para 10 nas potências e direções de fabricação analisadas.

Tabela 6. Redução do tempo de fabricação por peça com o aumento da quantidade de peças de 1 para 10 fabricadas no mesmo substrato – peças com volumes iguais.

Potência (W)	Direção de Fabricação					
	0°		45°		90°	
	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem
200	2	46%	10	77%	14	80%
300	2	54%	10	81%	14	83%
400	2	60%	10	83%	14	85%

Nas diferentes potências e direções de fabricação apresentadas, o aumento da quantidade de peças fabricadas no mesmo substrato resultou na redução do mesmo valor em horas para cada uma das potências avaliadas. Porém estes valores, em porcentagem, representaram maior redução para as peças fabricadas a 90° e menor redução na direção de 0°, acredita-se que ocorra devido a maior quantidade de camadas nas peças fabricadas a 90° e menor a 0°. Também é possível identificar que conforme aumenta-se a potência do laser, aumenta-se a redução do tempo de fabricação por peça, pois o escaneamento de cada camada da peça ocorre por meio da fusão de filetes sequenciais que formam a camada. A espessura do filete está relacionada principalmente com o diâmetro do feixe de laser, que normalmente não é variável. Sendo assim, a velocidade de escaneamento do laser incide em apenas uma direção da área escaneada em cada camada, conforme ilustra a Figura 4.

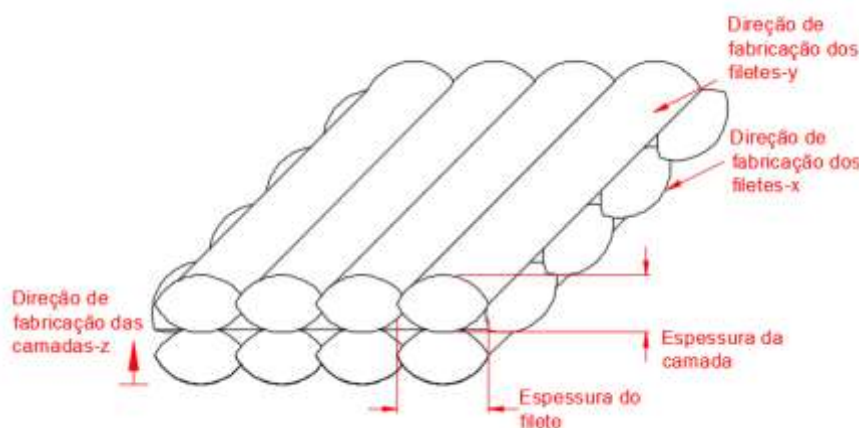


Figura 4. Detalhamento da fabricação das camadas no processo SLM.

A Figura 5 apresenta o gráfico de pareto dos efeitos principais no tempo de fabricação das peças e interação dos fatores para identificar a influência dos parâmetros direção e potência no tempo de fabricados por SLM das peças fabricadas com volumes iguais.

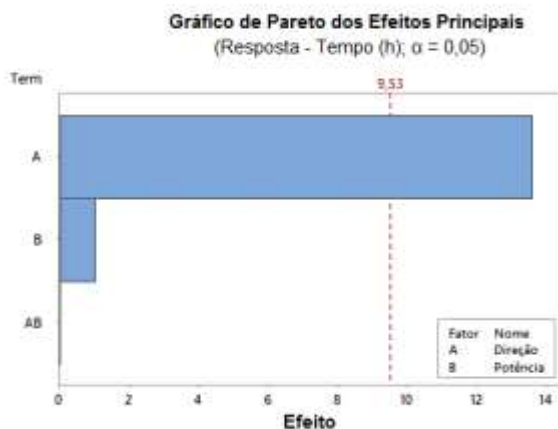


Fig. a) Gráfico de pareto dos efeitos principais.

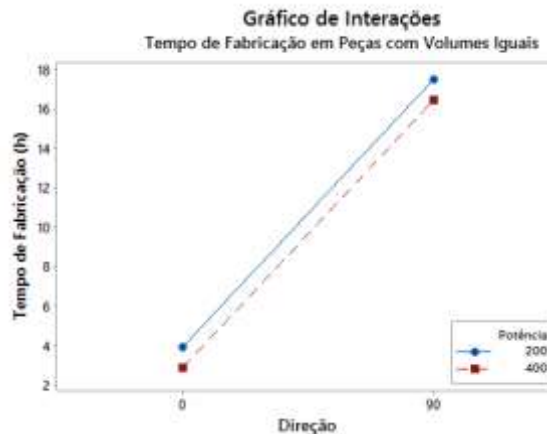


Fig. b) Gráfico de interações.

Figura 5. Influência da direção de fabricação e da potência do laser no tempo de fabricação de peças pelo processo de fusão seletiva a laser.

Através do gráfico da Figura 5(a) é possível afirmar que a direção de fabricação possui grande influência no tempo de fabricação das peças. Já a potência do laser tem pouca influência e a interação direção e potência possuem nenhuma influência sobre o tempo de fabricação das peças fabricadas com mesmo volume. Em relação ao gráfico da Figura 5(b) a interação entre os fatores parece não existir.

3.2 Etapa II: Tempo de fabricação em peças com volumes diferentes

A Figura 6 apresenta os tempos gastos para a fabricação de peças com volumes diferentes (Figura 2) e direções iguais conforme parâmetros apresentados nas Tabelas 3 e 4.

É possível visualizar que a redução do tempo de fabricação varia em relação ao volume e a quantidade de peças fabricadas ao mesmo tempo na plataforma devido a peça 1 possuir menor volume e menor altura e a peça 3 maior volume e maior altura, como é possível visualizar na Figura 2. Já a fabricação de maior quantidade de peças na mesma plataforma, assim como na Etapa I, divide entre todas as peças o tempo utilizado para a deposição da camada de pó, reduzindo assim o tempo de fabricação por peça.

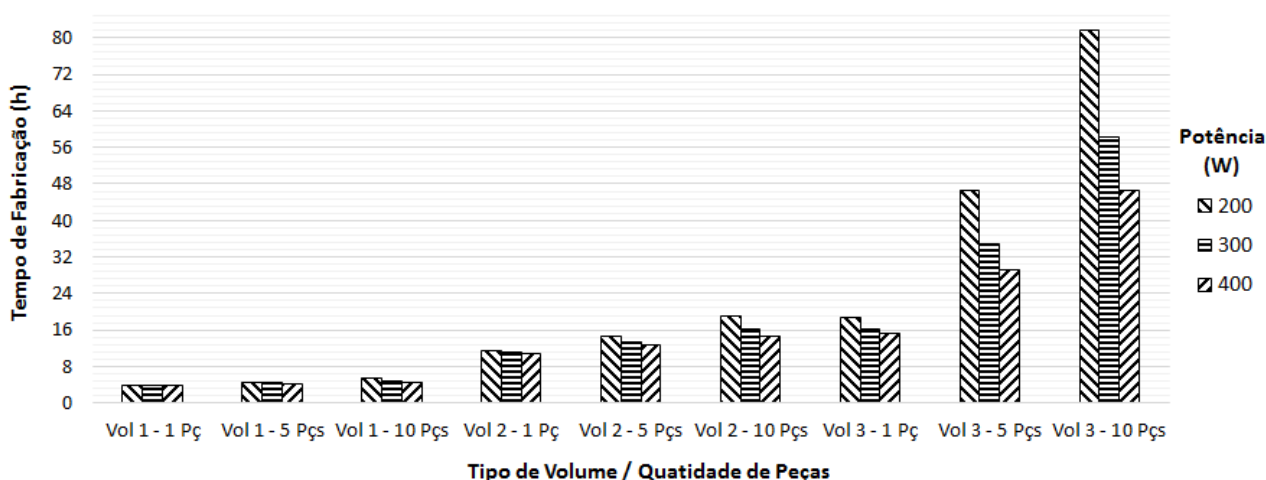


Figura 6. Tempo de fabricação de peças de diferentes geometrias e volumes fabricadas com diferentes potências.

Conforme era de se esperar, nesta etapa também é possível identificar que para peças com volumes diferentes, com o aumento da potência reduz-se o tempo de fabricação. Na Tabela 7 é possível visualizar a redução do tempo de fabricação com o aumento da potência do laser de 200 W para 400 W para as quantidades e volumes das peças analisadas.

Tabela 7. Redução do tempo de fabricação com o aumento da potência do laser de 200 W para 400 W - peças com volumes diferentes.

Quantidade de Peças (unidade)	Direção de Fabricação					
	Vol 1		Vol 2		Vol 3	
	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem
1	0	0%	1	4%	4	19%
5	0	9%	2	14%	18	37%
10	1	13%	4	23%	35	43%

Nas diferentes quantidades e volumes das peças avaliadas, o aumento da potência do laser resultou em uma redução crescente em relação ao aumento das quantidades e volumes das peças. Representando maior redução nas peças fabricadas em maior quantidade e com o maior volume. Na Tabela 8 é possível visualizar a redução do tempo de fabricação com o aumento da quantidade de peças de 1 para 10 nas potências do laser e volumes das peças analisadas.

Tabela 8. Redução do tempo de fabricação por peça com o aumento da quantidade de peças de 1 para 10 fabricadas no mesmo substrato – peças com volumes diferentes.

Potência (W)	Direção de Fabricação					
	Vol 1		Vol 2		Vol 3	
	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem	Horas	Porcentagem
200	4	87%	9	83%	11	56%
300	4	88%	9	85%	11	64%
400	4	89%	9	86%	11	69%

Nas diferentes potências de fabricação e volumes das peças analisadas, o aumento da quantidade de peças fabricadas no mesmo substrato resultou na redução do mesmo valor em horas para cada uma das potências avaliadas. Porém estes valores, em porcentagem, representaram maior redução para as peças fabricadas com menor volume e menor redução nas peças fabricadas com maior volume, acredita-se que ocorra devido a maior quantidade de camadas nas peças fabricadas com maior volume e menor quantidade de camadas nas peças com menor volume, conforme identificado na etapa I. Também é possível identificar que conforme aumenta-se a potência do laser, aumenta-se a redução do tempo de fabricação por peça, também conforme identificado na etapa I.

A Figura 7 apresenta o gráfico de pareto dos efeitos principais no tempo de fabricação das peças e interação dos fatores para identificar a influência dos parâmetros volume e potência no tempo de fabricados por SLM das peças fabricadas com volumes diferentes.

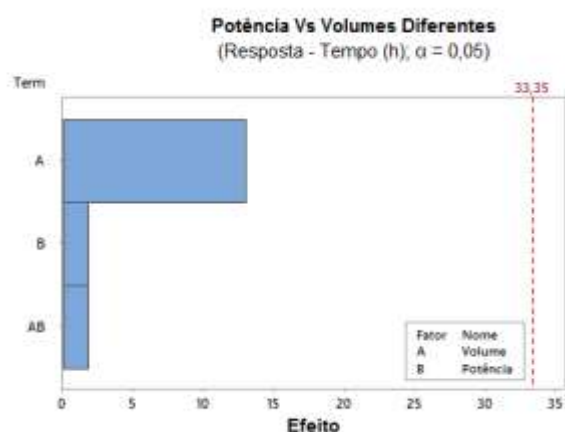


Fig. a) Gráfico de pareto dos efeitos principais.

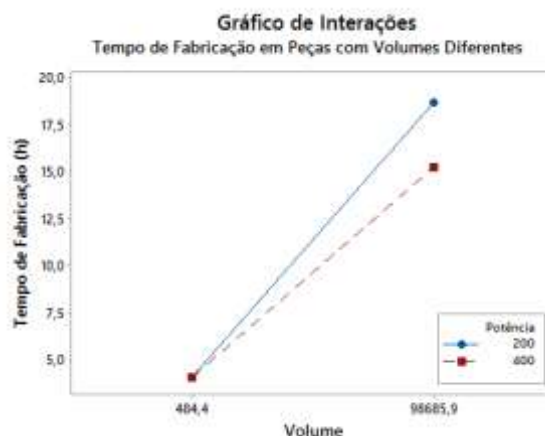


Fig. b) Gráfico de interações.

Figura 7. Influência do volume da peça produzida no tempo de fabricação.

Através do gráfico da Figura 7(a) é possível verificar que os fatores volume e potência não apresentam grande influência no tempo de fabricação das peças, porém o volume tende a influenciar no tempo, mais que a potência do laser e a interação entre os fatores. Acredita-se que um outro fator que possa estar influenciando mais o tempo de fabricação é a altura das peças fabricadas, devido ao tempo de deposição das camadas de pó. O gráfico da Figura 7(b) confirma a existência de pouca interação entre os fatores, principalmente nas peças fabricadas com menor volume.

4. CONCLUSÕES

O processo de fabricação por fusão seletiva a laser possui um enorme potencial para a produção de componentes complexos com densidade muito próxima da densidade dos materiais fabricados por métodos convencionais, porém entre as desvantagens dessa técnica está o tempo de fabricação.

Com a intenção de reduzir tempo de fabricação, normalmente aumenta-se a potência do laser e a espessura da camada, mas há outros fatores que devem ser levados em consideração como o ângulo de fabricação, o volume da peça e a quantidade de peças. Sabendo-se da importância do tempo de fabricação, principalmente para as empresas prestadoras de serviço, constatou-se que quanto maior a potência do laser menor o tempo de fabricação, porém, com peças de geometria complexas o volume das mesmas, influencia mais que a potência do laser. Observou-se também na simulação da fabricação da peça 3, exposta na Figura 2, que as dimensões e o volume das peças limitam o número de peças a ser produzida, em virtude do tamanho da plataforma da máquina onde as peças são fabricadas.

Com a simulação da produção da peça 1, verificou-se que independentemente do número de peças o processo se mostrou mais rápido a 0º grau que nos demais ângulos de fabricação.

Nesse trabalho realizou-se a simulação do tempo de fabricação de peças, por meio de um programa que está em desenvolvimento, inicialmente apenas para máquinas de fusão seletiva a laser com plataforma de fabricação nas dimensões 250 x 250 mm², sendo necessário o estudo do tempo de fabricação nas demais máquinas.

Há ainda a necessidade de analisar se as densidades das peças consideradas nesse artigo são próximas a densidade do material de fabricados por métodos convencionais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul, pelo suporte prestado no decorrer da realização deste trabalho. Pesquisa vinculada ao projeto UFSM-043821.

6. REFERÊNCIAS

- Abe, F.; Osakada, K.; Shiomi, M.; Uematsu, K.; Matsumoto, M. The manufacturing of hard tools from metallic powders by selective laser melting. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 111, p. 210-213, 2001.
- Badrossamay, M.; Childs, T. H. C. Further studies in selective laser melting of stainless and tool steel powders. *Inter. Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 47, p. 779-784, 2007.
- Brecher, C., 2015, “Advances in Production Technology”, SpringerOpen, 49-65.
- Fischer, P.; Romano, V.; Weber, H. P. Karapatis, N. P.; Boillat, E.; Glardon, R., 2003, “Sintering of commercially pure titanium powder with a Nd: Yag laser source”. *Acta Materialia*, v.51, n.6, p. 1651-1662.
- Concept Laser: X LINE 2000R and X LINE PCG Machine. Disponível em: <<https://www.concept-laser.de/en/products/machines.html>>. Acessado em: 25 de Janeiro de 2017.
- Harris, I. D., “Development and Implementation of Metals Additive Manufacturing” [Online]. Disponível em: <<http://ewi.org/eto/wp-content/uploads/2013/06/Additive-Manufacturing-DOT-Paper-2011.pdf>>. Acessado em: 22 de Janeiro de 2017.
- Leuders, S.; Vollmer, M.; Brenne, F.; Troster, T.; Niendorf, T., 2015, “Fatigue Strength Prediction for Titanium Alloy TiAl6V4 manufactured by Selective Laser melting. *Metallurgical and Materials Transactions A*, v. 46, i. 9, p. 3816-3823.
- Marques, S., 2014, “Estudo da Influência da Espessura da Camada e Velocidade do Laser na Microestrutura e Propriedades de Peças Fabricadas por Fusão Seletiva a Laser no Aço Maraging 300”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Tupy – IST, Joinville, Brasil.
- Poprawe, R., 2011, “Tailored Light 2: Laser application technology”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 257-259.
- Poprawe R., Hinke C., Meiners W., Schrage J., Bremen S., Merkt S. (2015) SLM Production Systems: Recent Developments in Process Development, Machine Concepts and Component Design. In: Brecher C. (eds) *Advances in Production Technology. Lecture Notes in Production Engineering*. Springer, Cham
- Sallica-Leva, E.; Jardini, A. L.; Fogagnolo, J. B. Microstructure and mechanical behavior of porous Ti6Al4V parts obtained by selective laser melting. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 26, p. 98-108, 2013.
- Thijs, L.; Verhaeghe, F.; Craeghs, T.; Humbeeck, J. V.; Kruth, J-P. A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti-6Al-4V. *Acta Materialia*, v. 58, p. 3303-3312, 2010.
- Yadroitsev, I., Bertrand, Ph. e Smurov, I., 2007, “Parametric analysis of the selective laser melting process”. *Applied Surface Science*, v. 253, i. 19, pp. 8064-8069.
- Yadroitsev, I.; Smurov, I. Surface morphology in selective laser melting of metal powders. *Physics Procedia*, v. 12, p. 264 – 270, 2011.
- Yasa, E. e Kruth, J-P., 2011, “Microstructural investigation of Selective Laser Melting 316L stainless steel parts exposed to laser re-melting”. 1st CIRP Conference on Surface Integrity (CSI), *Procedia Engineering*, v. 19, pp. 389395.
- Zhang, B., Dembinski, L. e Coddet, C., 2013, “The study of the laser parameters and environment variables effect on mechanical properties of high compact parts elaborated by selective laser melting 316L powder”. *Materials Science and Engineering A*, v. 584, pp. 21-31.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Os trabalhos escritos em português ou espanhol devem incluir (após direitos autorais) título, os nomes dos autores e afiliações, o resumo e as palavras chave, traduzidos para o inglês e a declaração a seguir, devidamente adaptada para o número de autores.

CATALOGUING FACTORS THAT INFLUENCE IN THE PROCESS OF SLM MANUFACTURING TIME

COBEF2017-0093

Resumo:

Selective Laser Melting (SLM) is an additive manufacturing process in which a piece is built layer by layer. This technique opens new perspectives for the development of metallic components with complex geometries in different sectors of the industry, such as: aerospace, pharmaceuticals, medical, among others. Due to the recent evolution and diffusion of the SLM process worldwide, this technique is more accessible to the industry. Although SLM technology provides many advantages over conventional manufacturing processes, it is still a slow and costly process, with a preview of the manufacturing time of a crucial task in the sale of services that use this process. However, the software used in SLM is segmented, specific to each step of the process, making it difficult to measure the total manufacturing time accurately. In this context, the objective of this work is to identify the main factors that influence the total time of manufacture of the SLM process. Through the analysis performed using a software prototype, it was observed that the laser parameters, the manufacturing techniques and the geometry of the manufactured parts, listed in this work, have a great influence on the total time of manufacture by SLM. Vertical in relation to the manufacturing substrate presented greater manufacturing time than the same piece manufactured in the horizontal, due to the deposition of the layers of raw material.

Keywords: *Selective Laser Melting, Manufacturing Time, Parameters.*