

## ANÁLISE DA POTÊNCIA DO LASER E VELOCIDADE DE VARREDURA DA FUSÃO SELETIVA A LASER NA CONSOLIDAÇÃO DE ESTRUTURAS COLUNARES POR VARREDURAS ÚNICAS NA LIGA DE CO-CR-MO

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

**MERGULHÃO; Marcello Vertamatti <sup>1</sup>, NEVES; Maurício Dadid Martins da <sup>2</sup>**

### RESUMO

### RESUMO

A fusão seletiva a laser (FSL) é uma das técnicas de manufatura aditiva (MA) via fusão em leito de pó por laser (FLP-L) de metal que têm se difundido notadamente nas indústrias aeroespacial e médica. Para obtenção de peças de elevada qualidade é necessária uma condição estável das características geométricas das varreduras do laser. O trabalho apresentado propõe estudar os parâmetros FSL de potência do *laser* e velocidade de varredura na consolidação de estruturas colunares por varreduras únicas do laser na liga de CoCrMo. O objetivo de análise foi de se obter uma correlação da energia incidida e formação de estruturas sólidas e sem presença de defeitos, como também de analisar a “janela de processamento” para a liga de CoCrMo. A análise das estruturas formadas por uma matriz de 3 níveis de potência por 5 níveis de velocidade de varredura evidenciou resultados de amostras com topografia de maior homogeneidade estrutural e presença de microestruturas com de defeitos de fusão. As estruturas colunares apresentaram melhores características geométricas em um intervalo de energia incidida de 0.14 a 0.18 J/mm.

### 1. INTRODUÇÃO

A consolidação de componentes metálicos baseado na fusão em leito de pó por laser (FLP-L do inglês *laser powder bed fusion - LPBF*) conhecida pela técnica de fusão seletiva a laser (FSL do inglês *selective laser melting - SLM*) tem sido desenvolvida sob diferentes perspectivas para: ampliar a diversidade de materiais metálicos <sup>1</sup>, compreender a influência de parâmetros e estratégias de consolidação <sup>2-4</sup> e simulações das variáveis do processo. A importância dos parâmetros de consolidação do processo FSL têm sido alvo de estudo em diversas ligas, como por exemplo no caso do Ti-6Al-4V <sup>5</sup>, CoCrMo <sup>6</sup> e aços *maraging* <sup>7</sup>. Além disso, as tecnologias permitem a fabricação de geometrias que dificilmente seriam fabricados por processos convencionais, como por exemplo as estruturas *lattice* <sup>8</sup>.

O processo FSL é de elevada complexidade em razão aos inúmeros parâmetros de consolidação. No entanto, a relação entre os principais parâmetros de consolidação de potência do *laser* ( $P - W$ ), velocidade de varredura ( $v - mm/s$ ), distância entre linhas de varredura ou hachura ( $H - mm$ ) e espessura de camada ( $e_c - mm$ ) é chave de análise para o processo FSL. A determinação da energia do feixe *laser* incidida na camada de pó, estabelece a densidade de energia ( $DE$  ou  $\psi$ , em  $J/mm^3$ ) <sup>9</sup>. A densidade de energia influencia a qualidade das peças fabricadas por FSL, em razão da correlação dos parâmetros do processo afetar a densificação do material particulado <sup>10</sup>. Sendo que os componentes fabricados por FSL são obtidos por varreduras sequenciais do laser de camada a camada, a qualidade de cada varredura fundida pelo laser, termo conhecido por inglês *single track*, é de extrema importância para se obter componentes de elevada qualidade física. Uma das vertentes da parametrização do processo FSL é o estudo das *singles tracks* sob substrato

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

ou de camadas anteriores a fim de se verificar as estruturas formadas. Diversos autores<sup>11-13</sup> abordam o estudo das *single tracks* de maneiras distintas para compreender os parâmetros de consolidação com as melhores formações da estrutura formada. Segundo Yadroitsev et al.<sup>13</sup> apresentaram que houve uma faixa correspondente para formações de varreduras únicas estáveis e de varreduras instáveis dependendo dos parâmetros de consolidação. No caso, as instabilidades foram evidentes em baixa velocidade de varredura, em forma de distorções e irregularidades. Já em velocidades excessivamente altas deram origem ao efeito de esferoidização do material particulado (efeito *balling*). As varreduras estáveis ocorreram em uma faixa de velocidade maior para maiores potências do *laser* e verificou-se que a penetração no substrato tem um efeito estabilizador na fusão das varreduras únicas contínuas. O estudo de Guo et al.<sup>14</sup> verificou que as varreduras únicas contínuas eram necessárias para a formação de camadas simples com qualidade de impressão. No caso, o aumento excessivo da distância entre varreduras (ou *hatching*) do laser não ocorria o sobrepasso entre varreduras, levando em consideração os parâmetros do tamanho do pó, velocidade de varredura, potência do *laser* e espessura da camada de pó. Recentemente, Wang et al.<sup>12</sup> avaliaram as *single tracks* na liga de 316L em termos do processo de solidificação e as características microestruturais do crescimento de grãos em diferentes velocidades de varredura. Nos experimentos realizados verificou-se que nas poças de fusão por FLP-L os grãos são curvados e que o efeito do gradiente térmico variado e a forma da poça de fusão decorre de um crescimento competitivo de grãos. No caso, a orientação dos grãos é variável de acordo com a velocidade de varredura, sendo que em velocidades baixas grãos crescem epitaxialmente no limite da poça de fusão. Com a diminuição da velocidade grãos orientados de forma vertical tendem a se curvar, em relação a orientação de varredura do laser.

A FSL-L da liga de CoCrMo recentemente tem sido estudada de forma mais ampla sob o aspecto das diferentes características do processo FSL, principalmente na análise dos parâmetros de consolidação que são de extrema importância e possuem pouca abordagem científica<sup>15,16</sup>. No aspecto de aplicabilidade, a liga CoCrMo é uma liga muito importante para área da odontologia e biomédica, em razão as características de biocompatibilidade e resistência mecânica, desgaste e corrosiva<sup>17</sup>. Segundo Zhou et al.<sup>18</sup>, os estudos analisando varreduras únicas e a relação entre os parâmetros de consolidação na fabricação de peças densas verificou-se que a condição estabelecida para 100% de densidade correspondeu com uma energia de densidade máxima usando velocidade de varredura baixa. No entanto, amostras processadas com energias recomendadas ( $E = 76 \text{ J/mm}^3$ ) pelos fabricantes produziram amostras com densidades menores de 99 %, em razão a defeitos originados pela falta de fusão. Estes defeitos estariam associados aos principais parâmetros do processo que originam varreduras instáveis e que, conseqüentemente, alteram as características das poças de fusão. De acordo com Darvish et al.<sup>19</sup>, a análise dos parâmetros FSL podem ser interferidos quando utilizados valores de potências nominais da máquina são inferiores que a potência analisada, e portanto, o estudo investigou a falta de fusão pelo dimensionamento das poças de fusão em máquina com potência nominal elevada. Assim como no trabalho de Zhou et al.<sup>18</sup>, Darvish et al. verificaram que a energia indicada ( $E = 69 \text{ J/mm}^3$ ) pelo fabricante, utilizando os parâmetros recomendados, não são suficientes para que ocorra uma adequada poça de fusão a fim de minimizar defeitos de porosidade. De modo geral, o estudo apontou que houve redução dos defeitos pelo aumento da potência do laser (de 180 para 220 W) visto que se aumentou a estabilidade e a sobreposição entre as poças de fusão. No entanto, não houve um comportamento linear nos valores de penetração da poça na faixa de 260 a 300W para o aumento nas potências de 240 e 320 W, o qual houve redução na diminuição de penetração<sup>19</sup>. Em razão aos estudos relacionados, o presente trabalho visa analisar as características físicas e microestruturais de varreduras únicas do laser via técnica de FLP-L para a liga de CoCrMo. O estudo teve por objetivo inovador realizar esta vertente da análise dos parâmetros FSL pela consolidação de estruturas colunares em um equipamento nacional com uma alta potência nominal (400 W) utilizando baixas potências do laser e faixas de velocidades de varreduras.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

## 2.1. Matéria prima

A material prima utilizada no estudo é a liga de CoCrMo atomizada a gás adquirida na empresa Sandvik® e com faixa granulométrica restrita ao processo FSL de 15 a 45 µm. A confirmação da composição química do pó e distribuição granulométrica foi realizada conforme norma de caracterização de pós metálicos utilizados em processos de manufatura aditiva (ASTM F3049-14).

## 2.2. Fabricação FSL e análise das amostras

A avaliação da influência dos parâmetros de consolidação da técnica de fusão seletiva a *laser* alterados foram a potência do *laser* ( $P$  - W) e velocidade de varredura ( $v$  - mm/s) conforme apresentado na Tabela 1. A espessura de camada ( $e_c$ , dado em µm) foi mantida constante em 30 µm. A avaliação dos parâmetros foi obtida por meio de amostras de pequenas dimensões: 7 mm de comprimento por 10 mm de altura, em forma de coluna, a qual consiste na formação de uma amostra densificada por meio de uma única linha de varredura do laser. A cada camada o sentido de varredura foi alternado. O estudo desenvolvido na máquina nacional de FSL foi conduzido no modelo OmniSint 160, da empresa Omnitek Tecnologia LTDA (São Paulo, Brasil). O equipamento possui *laser* de fibra de Yttróbio (comprimento de onda de 1071 nm) de potência nominal de 400 W. O *laser* de modo de saída contínuo possui um diâmetro focal do feixe é de aproximadamente 70 µm. A relação entre a energia incidida foi realizada por meio de duas relações, as quais são apresentadas na Tabela 1, sendo a: energia ( $E$  - J/mm) incidida pela relação entre potência sobre velocidade de varredura e densidade de energia ( $DE$  - J/mm<sup>3</sup>) pela relação entre potência sobre a razão entre velocidade de varredura, diâmetro do feixe laser e espessura de camada.

Tabela 1 - Relação dos parâmetros FSL e energias incidida na formação das colunas de CoCrMo da matriz 3x5 ( $P = 94/ 125/ 147$  W por  $v = 500$  a 1300 mm/s).

### **Estruturas colunares**

**L1**

**L2**

**L3**

**L4**

**L5**

**L6**

**L7**

**L8**

**L9**

**L10**

**L11**

**L12**

**L13**

**L14**

**L15**

### **Parâmetros FSL**

**$P$  (W)**

94

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

94

94

94

94

125

125

125

125

125

147

147

147

147

147

***v (mm/s)***

500

600

700

800

900

700

800

900

1000

1100

900

1000

1100

1200

1300

**Energia**

***E (J/mm)***

0.19

0.16

0.13

0.12

0.10

0.18

0.16

0.14

0.13

0.11

0.16

0.15

0.13

0.12

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br  
<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

0.11

**DE ( $J/mm^3$ )**

89.5

74.6

63.9

56.0

49.7

85.0

74.4

66.1

59.5

54.1

77.8

70.0

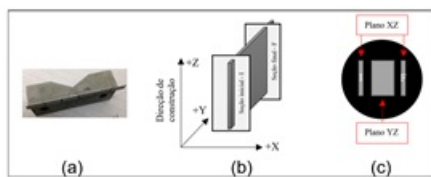
63.6

58.3

53.8

A porosidade foi obtida pela relação entre, a diferença da área total e escura pela área total das imagens nas seções de corte longitudinal (topo - plano XY) e transversal (camada - plano YZ), em relação ao sentido de fabricação. O dimensionamento da espessura das colunas foi realizado por meio da análise de imagens de microscopia óptica com o uso do software ImageJ®. Nesta análise as colunas foram seccionadas na transversal em duas regiões da amostra, sendo na seção inicial (I) e outra na seção final (F), vide esquema da Figura 1b. Para a análise microestrutural das colunas houve a utilização do plano longitudinal das amostras, aproveitando o corte no plano transversal anterior (vide Figura 1c). A caracterização microestrutural das amostras foi realizada por microscopia óptica - MO (Olympus - BX51M) e microscopia eletrônica de varredura - MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura MEV Philips XL30) após devida preparação metalográfica e ataque eletrolítico.

Figura 1 - a) esquema de montagem das colunas para análise da morfologia superficial, b) esquema de corte das seções das colunas para análise dimensional e microestrutural e c) esquema de análise microestrutural dos planos de corte das colunas.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização da matéria prima

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br  
<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

A confirmação da composição química do pó caracterizado por espectrômetro de fluorescência de raios X por energia dispersiva é apresentada na Tabela 2. A mesma apresentou uma composição química similar aos elementos químicos da norma ASTM F3049. O resultado da distribuição granulométrica do pó de CoCrMo evidenciou valores de: D10 = 19,70  $\mu\text{m}$ , D50 = 28,20  $\mu\text{m}$ , D90 = 43,40  $\mu\text{m}$  e de Dm = 30,20  $\mu\text{m}$ , e foi possível identificar que a faixa granulométrica compreende-se entre aproximadamente 20 a 45  $\mu\text{m}$ .

Tabela 2 - Composição química dos elementos majoritários do pó da liga de CoCrMo e referência segundo a norma (% em massa).

**Elementos**

**Co**

**Cr**

**Mo**

**Fe**

**Ni**

**C**

**Si**

**Pó**

**CoCrMo**

61,31  $\pm$  0,06

29,09  $\pm$  0,04

7,13  $\pm$  0,01

0,30  $\pm$  0,01

-

-

0,49  $\pm$  0,01

**NORMA**

**ASTM F75**

Balanço

27,00 - 30,00

5,00 - 7,00

0,75 max

0,50 max

0,35 max

1,00 max

**3.2. Análise microestrutural das colunas**

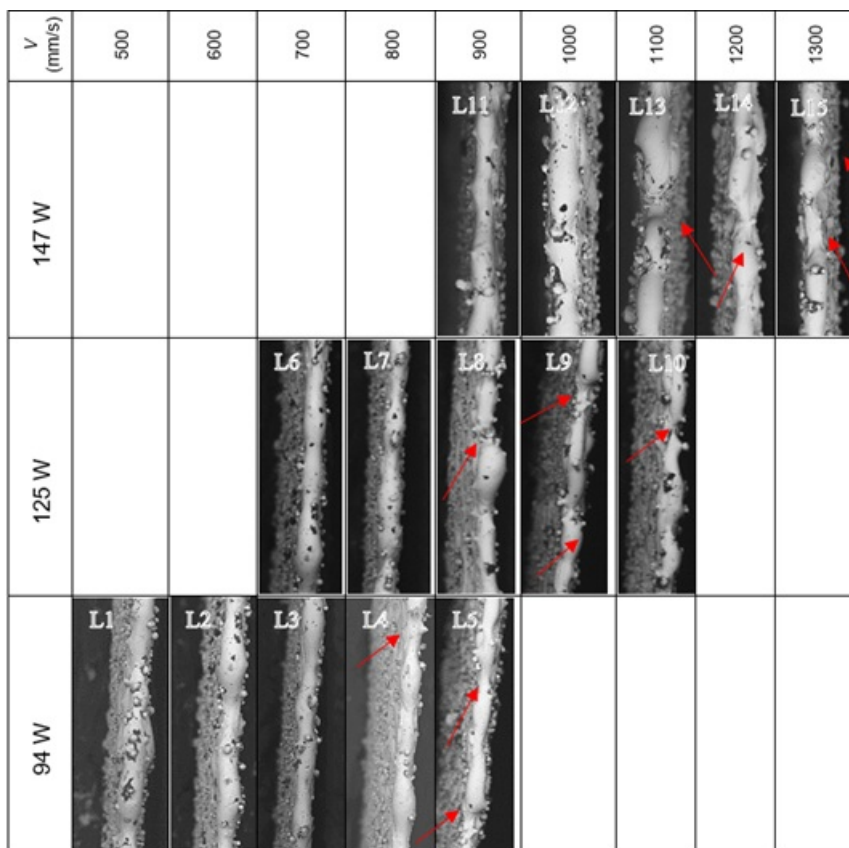
Na Figura 2 é possível avaliar a topografia de formação das colunas pela relação de potência do laser versus a velocidade de varredura obtidas por varreduras únicas. A avaliação da relação entre  $P$  versus  $v$  para formação das colunas evidenciou a qualidade da camada final obtida. A formação de uma topografia de maior homogeneidade foi verificada nas amostras L6 e L11, colunas formadas pelas potências de 147 W e 125 W. A formação de linhas de varredura com a presença de defeitos é verificada nas outras amostras. Observa-se que a formação de uma geometria contínua de material é melhor distribuída nas amostras com velocidades menores. Este caso é constatado na  $P = 94\text{W}$  nas colunas L1 e L2 ( $v = 500$  e  $600$  mm/s); na  $P = 125$  W nas colunas L6 e L7 ( $v = 600$  e  $700$  mm/s) e na  $P = 147$  W nas amostras L11 e L12 ( $v = 900$  e  $1000$  mm/s). A medida em que se eleva a velocidade ocorre uma descontinuidade da linha (destacada pelas setas em vermelho), a qual poder induzir a formações de porosidade nas peças consolidadas. Esta ocorrência pode ser observada para a:  $P = 94\text{W}$  nas colunas L4 e L5 ( $v = 800$  e  $900$  mm/s),  $P =$

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

125 W nas colunas L8 a L10 ( $v = 800/900$  e  $700$  mm/s) e  $P = 147$  W nas colunas L13 a L15 ( $v = 1100/1200$  e  $1300$  mm/s).

Figura 2 - Topografia obtida por MEV das colunas formadas por linhas de varreduras únicas (setas vermelhas indicam a descontinuidade do material ao longo da linha de varredura).

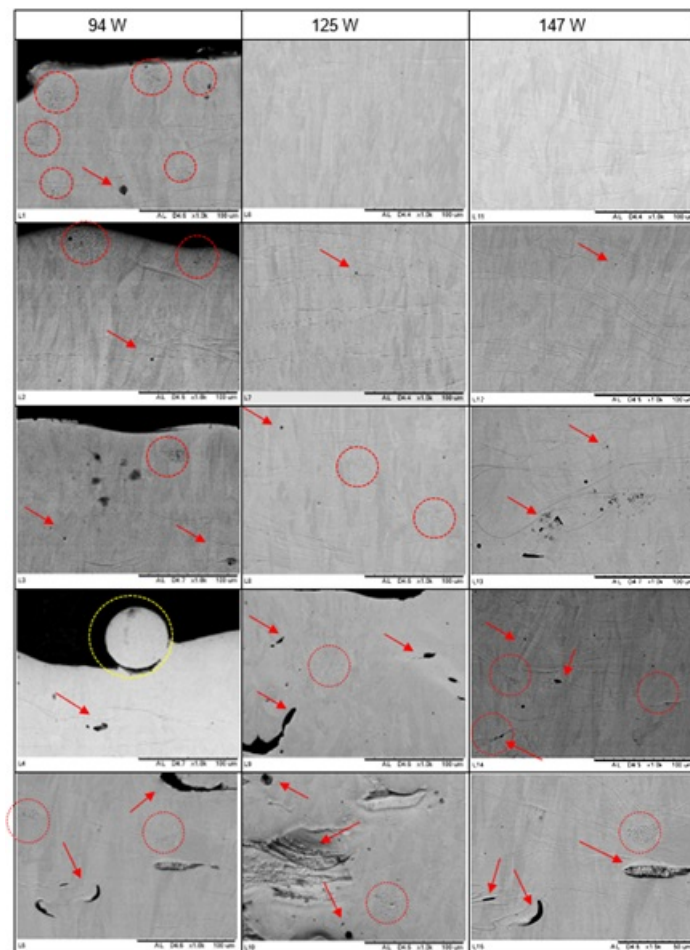


Na Figura 3 observam-se as combinações de potência do *laser* e velocidade de varredura evidenciaram diversos defeitos característicos do processo FSL. Nas imagens apresentadas é possível verificar a formação inconsistente da fusão visíveis pelos limites de fusão (demarcados pela penetração das poças), formação de porosidade, falta de fusão entre as camadas (destacados pelas setas em vermelho) e falta de fusão completa das partículas de pó de CoCrMo (destacados pelos círculos em vermelho). Como também é possível identificar a esferoidização do material particulado, descrito pelo fenômeno de *balling* (destacado pelo círculo em amarelo).

Figura 3 - Microestrutura da seção transversal das estruturas colunares formadas por linhas de varreduras únicas nas potências de 94, 125 e 147 W e respectivas velocidades de varredura na faixa de 500 a 1300 mm/s

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br



O estudo do efeito da  $P$  e  $v$  na formação das colunas evidenciou que as amostras consolidadas em velocidades menores ( $v = 500$  mm/s) promoveu a formação de poças de fusão de maior homogeneidade dimensional e de baixa presença de porosidade.

No entanto, ainda é verificada a presença de uma microestrutura característica da partícula de pó de CoCrMo sem a completa fusão (destacada pelos círculos em vermelho). Neste caso, a energia não foi suficiente para completa fusão da partícula de CoCrMo, promovendo apenas uma coalescência das partículas, e que estas alteram os fenômenos de solidificação possíveis de serem observados pela microestrutura das amostras. O efeito da baixa eficiência da fusão das partículas de pó pode ser verificado até em velocidades superiores (vide linha de  $v = 900$  mm/s na Figura 3).

O aumento da velocidade de varredura resulta em uma menor energia térmica fornecida ao volume da camada de pó. Esta condição reduz o aporte de calor absorvido pelo material, e prejudica a formação de camadas densas e interconectadas (com penetração entre poças de fusão). Com o aumento da velocidade de varredura é indicado a presença dos defeitos de falta de fusão entre camadas (indicada pelas setas vermelhas) e o fenômeno de *balling* (esfera de pó formada na superfície da amostra consolidada com  $v = 800$  mm/s, vide Figura 3). Verifica-se que uma adequada relação entre a potência de *laser* e velocidade de varredura pode promover uma geometria da fusão, em termos de profundidade da poça, favorável a formação de uma microestrutura de maior homogeneidade, sem a presença de defeitos e formação de estruturas heterogêneas na amostra.

### 3.3. Análise dimensional das colunas

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br



A influência dos parâmetros de consolidação de  $P$  e  $v$  na formação das colunas pode ser observado na Tabela 3 e na Figura 4. O aumento da velocidade de varredura para os três níveis de potência do laser (94, 125 e 147 W) indicou uma diminuição da espessura média das colunas consolidadas. No caso da potência do laser de 147 W é possível verificar que a influência sobre a espessura da coluna formada é menor, tendendo a um comportamento mais linear em relação as menores potências do laser de 94 e 125 W.

Tabela 3 - Resultado da espessura média das colunas consolidadas de CoCrMo obtidas pela relação de potência do laser versus velocidade de varredura.

**P (W)**

**94**

**V (mm/s)**

**500**

**600**

**700**

**800**

**900**

**Espessura ( $\mu\text{m}$ )**

87.33  $\pm$  12.62

87.88  $\pm$  11.41

82.51  $\pm$  13.74

73.91  $\pm$  13.70

72.10  $\pm$  8.14

**Energia - P/V (J/mm)**

0.188

0.157

0.134

0.118

0.104

**P (W)**

**125**

**V (mm/s)**

**700**

**800**

**900**

**1000**

**1100**

**Espessura ( $\mu\text{m}$ )**

84.81  $\pm$  11.95

83.12  $\pm$  11.05

71.25  $\pm$  8.98

66.73  $\pm$  14.43

55.23  $\pm$  9.92

**Energia - P/V (J/mm)**

0.179

0.156

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

0.139

0.125

0.114

**P (W)**

**147**

**V (mm/s)**

**900**

**1000**

**1100**

**1200**

**1300**

**Espessura ( $\mu\text{m}$ )**

85.38  $\pm$  16.50

82.79  $\pm$  11.10

79.51  $\pm$  16.13

77.92  $\pm$  11.00

77.33  $\pm$  13.54

**Energia - P/V (J/mm)**

0.163

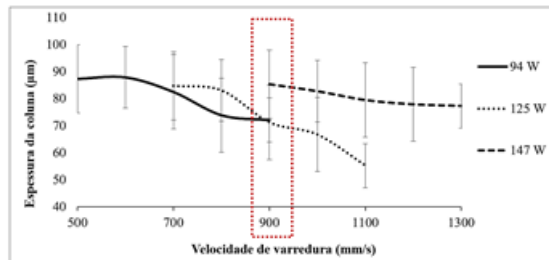
0.147

0.134

0.123

0.113

Figura 4 - Representação da influência da potência do laser e da velocidade de varredura na espessura da coluna consolidada.



Conforme destacado (tracejado em vermelho) na Figura 4, a análise do resultado da espessura das colunas para uma velocidade de varredura de 900 mm/s verifica-se que o aumento da potência do laser aumenta a espessura das colunas, respectivamente de 72,10, 71,25 e 85,38  $\mu\text{m}$ . No caso, a energia (vide Tabela 3) resulta em maior calor incidido na camada de pó originando o aumento da espessura da coluna formada pelos traços únicos de varredura. Portanto, há uma relação entre a energia incidida e a dimensão da espessura da coluna formada governada pela potência do laser e velocidade de varredura.

#### 4. CONCLUSÕES

A fabricação de colunas por varreduras únicas pode indicar uma metodologia eficaz de investigação de parâmetros de consolidação FSL, visto que é possível analisar: qualidade do

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

cordão, dimensões de espessura mínima, penetração da poça na camada e defeitos microestruturais.

As análises microestruturais das estruturas colunares evidenciaram uma maior densificação, homogeneidade das poças de fusão e estabilidade das varreduras em densidade de energia na faixa de 70 a 85 J/mm. A relação entre a densidade de energia e qualidade das estruturas formadas não evidenciaram uma relação para a potência de 94 W, tendo um comportamento análogo as potências maiores analisadas de 125 W e 147 W.

Uma relação adequada entre potência do *laser* e velocidade de varredura promove geometrias de fusão com uma microestrutura de elevada homogeneidade e diminuindo a ocorrência de defeitos. Estas geometrias foram favoráveis para as potências do laser de 125 W e 147 W em menores velocidades de varredura analisadas para cada nível de potência. Verificou-se uma correlação entre a largura da coluna formada e o nível de energia incidida, sendo que quanto maior a energia incidida na camada de pó maior é o tamanho da largura formada.

Em relação aos trabalhos referenciados foi possível obter parâmetros FSL adequados para a consolidação de amostras da liga de CoCrMo em potências inferiores que 200 W. Ainda assim torna-se necessário a consolidação de amostras de dimensões superiores para análise complementar dos parâmetros avaliados.

## 5. REFERENCIAS

1. Kempen, K. Expanding the materials palette for Selective Laser Melting of metals. *PhD Thesis Kathol. Univ. Leuven* 236 (2015).
2. Ramos, D., Belblidia, F. & Sienz, J. New scanning strategy to reduce warpage in additive manufacturing. *Addit. Manuf.* **28**, 554-564 (2019).
3. Tang, X. *et al.* Optimization of laser energy density and scanning strategy on the forming quality of 24CrNiMo low alloy steel manufactured by SLM. *Mater. Charact.* 110718 (2020). doi:10.1016/j.matchar.2020.110718
4. Song, Y. *et al.* Effect of scanning strategies on the microstructure and mechanical behavior of 316L stainless steel fabricated by selective laser melting. *Mater. Sci. Eng. A* **793**, 139879 (2020).
5. Shipley, H. *et al.* Optimisation of process parameters to address fundamental challenges during selective laser melting of Ti-6Al-4V: A review. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* **128**, 1-20 (2018).
6. Darvish, K., Chen, Z. W. & Pasang, T. Reducing lack of fusion during selective laser melting of CoCrMo alloy: Effect of laser power on geometrical features of tracks. *Mater. Des.* (2016). doi:10.1016/j.matdes.2016.09.086
7. Criales, L. E. *et al.* Laser powder bed fusion of nickel alloy 625: Experimental investigations of effects of process parameters on melt pool size and shape with spatter analysis. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* **121**, 22-36 (2017).
8. Hong, J. H. & Yeoh, F. Y. Mechanical properties and corrosion resistance of cobalt-chrome alloy fabricated using additive manufacturing. *Mater. Today Proc.* (2020). doi:10.1016/j.matpr.2020.05.543
9. Yadroitsev, I., Krakhmalev, P., Yadroitsava, I., Johansson, S. & Smurov, I. Energy input effect on morphology and microstructure of selective laser melting single track from metallic powder. *J. Mater. Process. Technol.* **213**, 606-613 (2013).
10. Shi, Q., Gu, D., Xia, M., Cao, S. & Rong, T. Effects of laser processing parameters on thermal behavior and melting/solidification mechanism during selective laser melting of {TiC}/{Inconel} 718 composites. *Opt. Laser Technol.* **84**, 9-22 (2016).
11. Wits, W. W., Bruins, R., Terpstra, L., Huls, R. A. & Geijselaers, H. J. M. Single scan vector prediction in selective laser melting. *Addit. Manuf.* **9**, 1-6 (2016).
12. Wang, Y. *et al.* Grain Structure and Texture of the SLM Single Track. *J. Mater. Process. Technol.* 116591 (2020). doi:10.1016/j.jmatprotec.2020.116591
13. Yadroitsev, I., Gusarov, A., Yadroitsava, I. & Smurov, I. Single track formation in selective laser melting of metal powders. *J. Mater. Process. Technol.* **210**, 1624-1631 (2010).
14. Guo, Y., Jia, L., Kong, B., Wang, N. & Zhang, H. Single track and single layer formation in selective laser melting of niobium solid solution alloy. *Chinese J. Aeronaut.* **31**, 860-866 (2018).
15. Yap, C. Y. *et al.* Review of selective laser melting: Materials and applications. *Applied*

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, marcellovertamatti@usp.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, mdneves@ipen.br

16. DebRoy, T. *et al.* Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. *Prog. Mater. Sci.* **92**, 112–224 (2018).
17. Koutsoukis, T. *et al.* Selective Laser Melting Technique of Co-Cr Dental Alloys: A Review of Structure and Properties and Comparative Analysis with Other Available Techniques. *J. Prosthodont.* **24**, 303–312 (2015).
18. Zhou, X. *et al.* 3D-imaging of selective laser melting defects in a Co-Cr-Mo alloy by synchrotron radiation micro-CT. *Acta Mater.* **98**, 1–16 (2015).
19. Darvish, K., Chen, Z. W., Phan, M. A. L. & Pasang, T. Selective laser melting of Co-29Cr-6Mo alloy with laser power 180–360 W: Cellular growth, intercellular spacing and the related thermal condition. *Mater. Charact.* **135**, 183–191 (2018).

**PALAVRAS-CHAVE:** Fusão em leito de pó, CoCrMo, parâmetros de consolidação, microestrutura, varreduras de linhas únicas