

Variação da frequência de pulso na manufatura aditiva de alumínio com gtaw alimentado**Variation of pulse frequency in additive aluminum manufacturing with feed gtaw**

DOI:10.34117/bjdv6n11-428

Recebimento dos originais: 19/10/2020

Aceitação para publicação: 19/11/2020

Miguel Guilherme Antonello

Mestre em Engenharia de Produção

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria - CTISM

Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima N° 1000, CTISM Prédio 05A Pavilhão de Máquinas I, Santa Maria, RS, Brasil, 97105-900.

Email. antonello@ctism.ufsm.br

Diego Raimundi Corradi

Doutor em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ

Núcleo de Inovação, Pesquisa e Ensino em Mecatrônica - NIPEM, Departamento das Engenharias de Telecomunicações e Mecatrônica - DETEM, Campus Alto Paraopeba - CAP, Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ, Rodovia MG 443, km 7, Ouro Branco, MG, 36420-000

Email. diego.corradi@ufsj.edu.br

Fagner Guilherme Ferreira Coelho

Mestre em Engenharia Mecânica

Pitágoras

Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, 31270-901 - Belo Horizonte - MG, Brasil.

Email: fgfcoelho@ufmg.br

Alexandre Queiroz Bracarense

PhD

MB WeldWorks

Rua Castelo de Guimarães, 438 - apto 402 - Bairro Castelo - 31330-250 - Belo Horizonte - MG

Email: bracarense@mbweldworks.com

Ariel Rodriguez Arias

Doutor em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, 31270-901 - Belo Horizonte - MG, Brasil.

Email: arielra@demec.ufmg.br

RESUMO

Utilizando o processo GTAW alimentado para realizar a manufatura aditiva sobre chapas de alumínio, neste trabalho buscou-se verificar o efeito da variação de frequência de pulso sobre a altura da parede depositada. Como objetivo complementar, buscou-se identificar se a variação de frequência de pulso teria o efeito de minimizar o transbordamento das camadas posteriores durante o processo de manufatura aditiva. Para a realização deste trabalho utilizou-se uma fonte inversora MaxxiTIG 200P AC/DC, regulada para corrente alternada e ajuste de frequência de pulso em duas condições que seguem: 50 e 200 Hz. Manteve-se o balanço da onda AC igual a 50%, ou seja, a mesma parcela para o semiciclo positivo e negativo. Inicialmente ajustou-se uma condição de soldagem que possibilitasse a abertura e manutenção do arco sobre a chapa de alumínio. Posterior a isso, foi alimentado o arame constantemente e automaticamente. Foram feitos três corpos de prova para cada condição e em cada conjunto de passes para a realização da parede foi mantida a mesma frequência de pulso. Após o processo de deposição foi realizado o corte transversal dos corpos de prova e macrografia para a análise do perfil geométrico dos cordões depositados. Observou-se que o aumento da frequência de pulso proporciona uma maior altura da parede e menor largura dos cordões. Já com relação ao transbordamento, o aumento da frequência de pulso proporcionou uma redução no transbordamento dos cordões predecessores e posteriores devido o pequeno desvio na largura destes cordões ao passo que se aumentou a altura da parede.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Variação de Frequência, Alumínio, GTAW Alimentado.

ABSTRACT

Using the powered GTAW process to perform additive manufacturing on aluminum plates, this work sought to verify the effect of the variation of pulse frequency on the height of the deposited wall. As a complementary objective, we sought to identify whether the variation in pulse frequency would have the effect of minimizing the overflow of the posterior layers during the additive manufacturing process. In order to carry out this work, a MaxxiTIG 200P AC / DC inverter source was used, regulated for alternating current and pulse frequency adjustment in two conditions that follow: 50 and 200 Hz. The AC wave balance was maintained equal to 50% , that is, the same portion for the positive and negative semicycle. Initially, a welding condition was adjusted that would make it possible to open and maintain the arc on the aluminum plate. After that, the wire was fed constantly and automatically. Three specimens were made for each condition and in each set of passes for the realization of the wall, the same pulse frequency was maintained. After the deposition process, a cross section of the specimens and macrography was performed to analyze the geometric profile of the deposited strands. It was observed that the increase in the pulse frequency provides a greater height of the wall and less width of the cords. Regarding the overflow, the increase in pulse rate provided a reduction in the overflow of the predecessor and posterior cords due to the small deviation in the width of these cords while the height of the wall was increased.

Keywords: Additive Manufacturing, Frequency Variation, Aluminum, Powered GTAW.

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva tem conquistado espaço dentre os processos de fabricação, principalmente pela possibilidade de construir geometrias complexas aos olhos dos processos baseado na remoção de material, como a usinagem. Outra característica, ainda não totalmente

consolidada, é a de minimizar ou extinguir o desperdício de material, como por exemplo na forma de cavacos quando se realiza um processo de usinagem para obter melhor acabamento superficial.

O conceito desta tecnologia de manufatura aditiva é baseado no processo de adicionar camadas de materiais para construir gradualmente uma peça no decorrer do tempo. O material de adição utilizado é aquecido por uma fonte de calor, onde este passa pelas etapas de fusão até a solidificação para obter a forma mais próxima da geometria final da peça projetada.

Vantagem da tecnologia da manufatura aditiva sobre o processo de usinagem baseado em máquinas de comando numérico computadorizado (CNC) é que a complexidade da geometria da peça não é um empecilho para a fabricação. Sendo que a vantagem da manufatura aditiva aumenta conforme aumenta a complexidade da geometria, pois o processo se efetiva do mesmo modo, camada por camada, tanto para peças de geometria simples como complexa. Enquanto o processo de usinagem CNC exige um planejamento na tomada de decisões sobre escolha das ferramentas, sequência de usinagem e como acessar a peça, com isso quanto maior a complexidade da geometria, mais tempo de usinagem é necessário (Groover, 2012).

Uma ampla gama de materiais está sendo utilizada atualmente na manufatura aditiva, o que inclui metais, polímeros, cerâmicas e concreto. Na produção de peças metálicas, a manufatura aditiva baseada em processos de soldagem a arco elétrico vem sendo tema de estudo de diversos pesquisadores e engenheiros pelo mundo. Em comparação com os demais processos de manufatura aditiva aplicados na fabricação de componentes metálicos, estes apresentam um menor custo de equipamentos e matéria prima, uso mais eficiente de materiais e altas taxas de deposição. Entretanto, por ser uma tecnologia recente, ainda apresenta algumas desvantagens como o elevado grau de anisotropia das peças fabricadas, o insatisfatório acabamento superficial e o elevado aporte térmico que resulta em tensões residuais e distorções nos componentes produzidos.

A manufatura aditiva de materiais metálicos auxiliada por arco elétrico apresenta outros inconvenientes que requerem melhorias, um dos empecilhos é o transbordamento das camadas posteriores e a não manutenção da geometria do cordão. Com base nisso, este trabalho busca minimizar o problema do transbordamento com o intuito de manter a geometria planejada utilizando a variação da frequência de pulso da onda alternada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de desenvolvimento de peças pode envolver a prototipagem rápida que é o processo de manufaturar objetos para protótipos, normalmente com a utilização de materiais

não metálicos. Já a manufatura rápida é a produção de peças e componentes para todo o ciclo de vida do produto. No final dos anos 1990 diversos grupos de pesquisas começaram a explorar diferentes processos de soldagem a arco como o MIG, TIG e PAW para construir objetos por meio de deposição com solda. Contudo o processo de manufatura rápida baseada em processos tradicionais de soldagem tem sido desenvolvido (Karunakaran *et al.*, 2012).

A baixa resolução superficial, limitação de materiais e a necessidade de múltiplos processos foram algumas limitações da manufatura aditiva. Algumas vantagens surgiram com as pesquisas na área computacional que permitiram a otimização da aplicação da manufatura aditiva na fabricação de geometrias complexas, juntamente com o aprimoramento das resoluções possíveis e o aumento da disponibilidade de materiais para o processo. A melhora na precisão e resolução das máquinas permitiu criar peças com melhor resistência mecânica, além de melhorar as velocidades de produção e tornar o processo concorrente aos métodos tradicionais de fabricação (SILVA; SANTANDREA; BRANDÃO; XAVIER & VOLPINI, 2020).

A manufatura aditiva pode ser utilizada para fabricar produtos com menores restrições quando comparada com os processos tradicionais tais como a fundição, forjamento e usinagem. Esta flexibilidade é útil quando se deseja adicionar funcionalidades para as peças como os compartimentos para alocar a fiação elétrica através das estruturas e a redução de massa destes componentes. Além da manufatura aditiva permitir produção de peças complexas (Horgar *et al.*, 2018).

Recentemente o processo de manufatura aditiva utilizando o arco elétrico tem se tornado viável para produzir peças metálicas em larga escala com baixo custo usando arame alimentado. A orientação da alimentação tem sido estudada e otimizada para obter depósitos sem defeitos. A alimentação do arame frontalmente tem eliminado a ocorrência de poros e micro trincas em ligas de tungstênio, quando comparado com a alimentação do arame lateralmente (Marinelli *et al.*, 2019).

O processo de manufatura aditiva a arco com alimentação de arame emprega o arco elétrico como fonte de calor para fundir e depositar o arame alimentado, sendo este arame depositado no decorrer da trajetória para fabricar diretamente os componentes metálicos camada por camada. Além disso, esta tecnologia promete reduzir parte do custo de produção reduzindo o desperdício de material (Williams *et al.*, 2016).

Um dos empecilhos da manufatura aditiva a arco elétrico com alimentação do arame é a ondulação lateral da parede deposita, que também pode ser observada no corte da seção transversal do cordão. Mesmo para iguais alturas e larguras de camadas pode-se obter

diferentes ondulações. Para menores correntes, menores velocidades de alimentação do arame e maiores velocidades de soldagem se obtêm menores ondulações laterais da parede depositada (Geng *et al.*, 2018).

O acúmulo de várias camadas quando se utiliza o processo de manufatura aditiva a arco elétrico com arame alimentado causa efeitos não desejados devido aos múltiplos ciclos térmicos e refusão de óxidos superficiais, o que torna esse processo difícil quando empregado com ligas de alumínio, geralmente no que diz respeito ao refino dos grãos, baixa porosidade e alta resistência. Com isso novas abordagens são necessárias para melhorar o uso da manufatura aditiva a arco em ligas de alumínio e uma delas é o uso de vibração da peça durante a soldagem com o objetivo de minimizar os defeitos (Zhang *et al.*, 2019).

Nas ligas de alumínio, a camada de óxido de alumínio dificulta o processo de soldagem destes materiais, sendo fundamental para qualidade da solda fazer a remoção desta camada de óxido. O uso de corrente alternada no processo de soldagem do alumínio faz uma ação de limpeza removendo esta camada superficial de óxido durante o semiciclo positivo do eletrodo (Villani *et al.*, 2016).

O tempo do ciclo positivo da corrente alternada (CA), durante o processo de soldagem TIG, tem efeitos significativos na altura e na largura de paredes finas fabricadas em alumínio. De acordo com os resultados apresentados, a largura efetiva aumenta e a altura diminui com o aumento do tempo de ciclo positivo (Ayarkwa *et al.*, 2017).

Os parâmetros para a entrada do arame alimentado na poça de fusão, durante o processo de soldagem GTAW alimentado, têm influência no modo de transferência do metal fundido para a poça de fusão. Estes parâmetros são o ângulo de entrada do arame na poça de fusão e a altura de entrada da ponta do arame até o substrato. Ambos estes parâmetros cooperam para determinar o modo de transferência entre transferência por contato ininterrupto (*bridging*) ou transferência globular. Maiores alturas da ponta do arame alimentado até o material base criam um espaço maior entre a gota e a superfície da poça de fusão favorecendo a transferência globular (Geng *et al.*, 2017).

Além dos parâmetros elétricos de regulagem da fonte de soldagem se tem os parâmetros geométricos de posicionamento da tocha e do arame alimentado. O compromisso da combinação entre estes parâmetros pode resultar em um cordão com melhor aparência e consequentemente menores defeitos geométricos das paredes.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

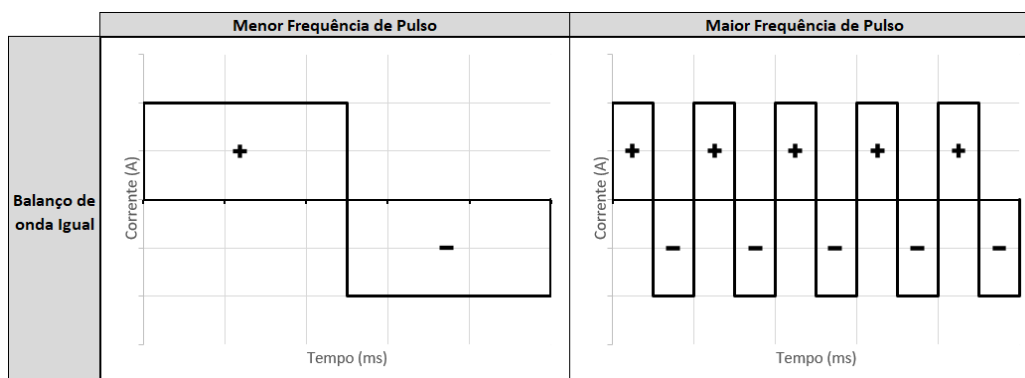
Para a realização desse experimento foi utilizado o substrato de alumínio 5052 com dimensões de 30x110x3 mm e como material de adição o arame maciço ER-4043 com 1 mm de diâmetro. A fonte de calor foi fornecida pela inversora MaxxiTIG 200P AC/DC regulada em corrente alternada (CA) e balanço de onda igual a 50%. O balanço de onda igual a 50% significa que se tem a mesma proporção do ciclo positivo e negativo para cada período da onda alternada.

Para suportar o eletrodo com diâmetro de 2,4 mm, sendo este eletrodo não consumível de tungstênio puro, foi utilizado uma tocha manual refrigerada a gás modelo TIG SR-26. O eletrodo inicialmente foi colocado sem afiação e ângulo de 180°. O gás inerte para realizar a proteção da poça de fusão foi o argônio com uma vazão igual a 9 l/min, medida com fluxômetro na ponta do bocal cerâmico N° 7. A tocha foi posicionada perpendicular ao substrato para realizar a deposição das camadas na posição plana. A movimentação da tocha se deu com a utilização de uma bancada automatizada desenvolvida no laboratório.

O eletrodo de tungstênio foi posicionado a uma distância de 5 mm medidos da ponta do eletrodo até a borda do bocal cerâmico e a distância do bocal até a peça foi mantida em 7,5 mm, com isso permanecendo um comprimento de arco igual a 2,5 mm. Para manter os 2,5 mm de comprimento de arco em cada camada, foi utilizado um gabarito com esta dimensão.

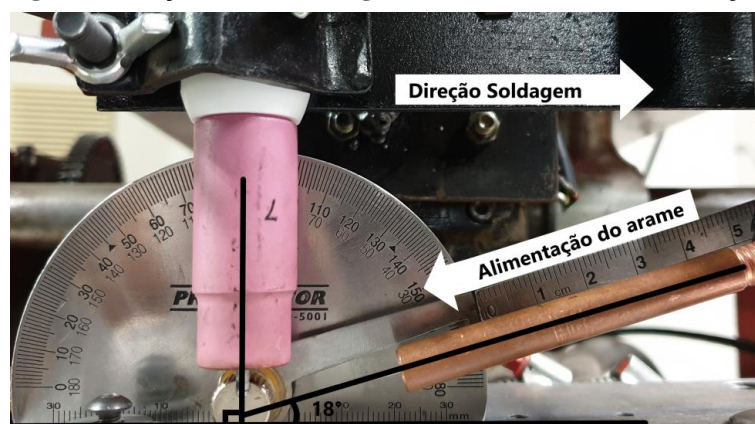
As frequências de pulso utilizadas foram 50 Hz e 200 Hz. Esta frequência de pulso é a quantidade de períodos da onda alternada medidos em um segundo. Sendo que cada período é composto pelo ciclo positivo e negativo. De forma qualitativa a Fig. (1) representa as duas condições para um igual balanço de onda (50%), uma condição para a menor frequência de pulso que nesta representação tem apenas um período formado pelo ciclo positivo e negativo. Já para a segunda condição se tem uma maior frequência de pulso, considerando o mesmo recorte de tempo (ms), observa-se um maior número de períodos.

Figura 1. Variação da frequência de pulso para igual balanço de onda.



Os parâmetros de soldagem utilizados foram uma corrente inicial de 80 A durante 5 segundos para a frequência de pulso igual a 50 Hz e 90 A durante o mesmo tempo para a frequência de pulso de 200 Hz. Este tempo de 5 segundos foi necessário para a remoção inicial da camada de óxido e a formação da poça de fusão. Após esses 5 segundos, ao iniciar a movimentação da tocha com uma velocidade de soldagem de 3 mm/s, a corrente era estabelecida em 55 A em ambas as frequências de pulso. A velocidade de alimentação do arame foi definida em 17 mm/s com ângulo de entrada na poça igual a 18° a partir do substrato, conforme indicado da Fig. (2).

Figura 2. Posição da tocha e ângulo de entrada do arame de adição.



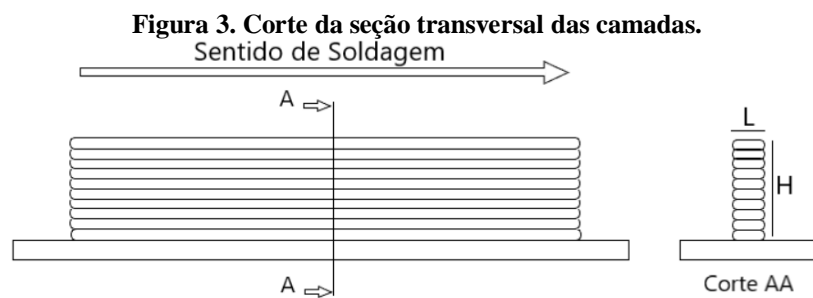
A posição de entrada do arame foi à frente da poça, ou seja, o arco movimentou-se de encontro ao sentido de alimentação do arame. O prolongamento de uma linha imaginária do centro do eletrodo de tungstênio, ao interseccionar a extensão de uma linha imaginária concêntrica ao arame alimentado, fica posicionada exatamente sobre o substrato. Com isso, se tem uma altura de entrada da ponta do arame até o substrato igual a zero e a transferência de metal por *bridging*.

Foram depositados 10 cordões de solda todos na mesma direção e sentido. Primeiramente foi realizado um cordão sobre chapa com o intuito de fazer a limpeza catódica do substrato e posterior a isso depositou-se as 10 camadas. Antes de depositar cada camada sobre sua antecessora, aguardava-se a temperatura de pré passe atingir 60 °C com o uso de um termômetro infravermelho Instrutherm modelo TI-870. Este termômetro possui faixa de medição de -50 °C até 550 °C e uma precisão de +-2% da leitura. O tempo decorrido para atingir os 60 °C era entre 90 e 120 segundos.

Na bancada foi possível obter a informação de quanto subiu a tocha, em milímetros, quando se utilizava o gabarito para manter o comprimento de arco igual a 2,5 mm. Com isso,

em cada passe foi anotado quanto a tocha se elevava para manter esse valor de comprimento de arco, sempre medido na posição onde seria feito o corte transversal.

Após a deposição da parede formada pelos 10 cordões de solda, todos realizados no mesmo sentido de soldagem, os corpos de prova foram seccionados transversalmente a 55 mm da borda do substrato. O corte foi realizado com serra na posição conforme mostra a Fig. (3).



Posterior ao corte, os corpos de prova foram lixados até lixa de granulometria 1500 e atacados com o reagente Keller (95 ml água destilada, 2,5 ml ácido nítrico, 1,5 ml ácido clorídrico e 1,0 ml ácido fluorídrico). O ataque foi feito por esfregamento com algodão embebido no ácido até revelar as camadas. Esta sequência de etapas possibilitou obter a largura (L) e a altura (H) de cada parede depositada, assim como visualizar cada passe individualmente.

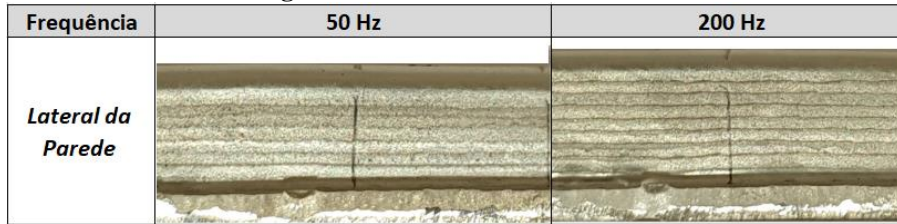
A medida da altura das paredes (H) foi medida diretamente com o uso de um paquímetro analógico com resolução igual a 0,02 mm e posteriormente calculado a média e o desvio padrão dos três corpos de prova para cada uma das duas condições. Já a medida das larguras (L) de cada camada foi realizada sobre as imagens das macrografias com o auxílio de um software de desenho auxiliado por computador, mediu-se a largura dos dez cordões traçando uma linha horizontalmente de borda a borda.

Foram produzidos 03 corpos de prova para cada frequência de pulso, totalizando 06 corpos de prova. Com os resultados dos parâmetros analisados para estes corpos de prova, foi possível calcular a média e o desvio padrão amostral destas condições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

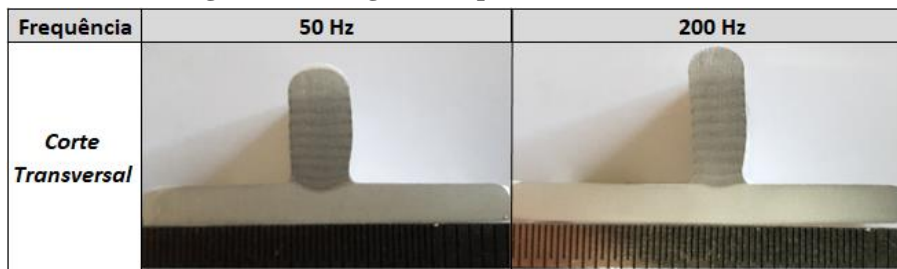
Com base nos resultados obtidos após a realização dos dez cordões para formar cada parede, se observa qualitativamente na Fig. (4) o aspecto da lateral dos cordões para a frequência de 50 e 200 Hz. Manteve-se as duas paredes apresentadas na mesma escala dimensional com relação a base. O corte transversal foi realizado exatamente na marcação vertical que aparece no meio de cada parede.

Figura 4. Vista lateral das camadas.



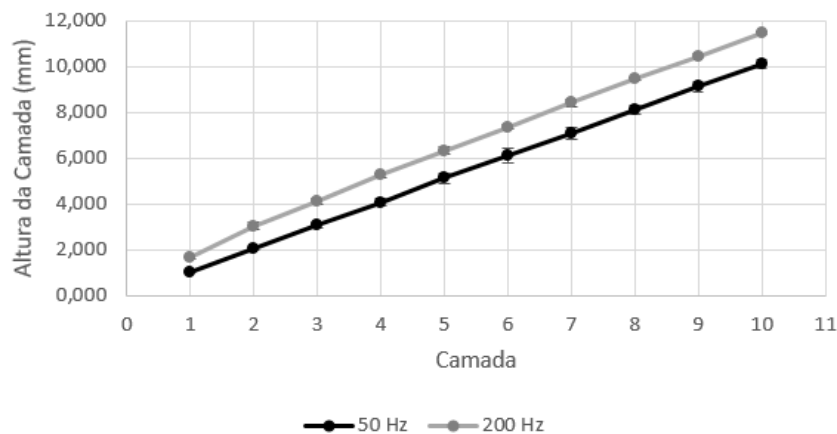
Na macrografia do corte transversal é possível visualizar os dez cordões empilhados de uma outra perspectiva, na Fig. (5) está representado os cordões sobrepostos para as duas condições de frequências utilizadas. Visualmente, tanto na Fig. (4) quanto na Fig. (5) é perceptível um incremento na altura final da parede na maior frequência utilizada que é a de 200 Hz.

Figura 5. Macrografia da parede e suas camadas.



De forma quantitativa, com a análise dos resultados obtidos durante a deposição plotou-se o gráfico da altura de cada camada. Essa altura individual foi registrada com base no valor do incremento em que a tocha subia para manter o comprimento do arco de 2,5 mm. O menor incremento identificado pela bancada na movimentação da altura da tocha é de 0,125 mm. Observa-se na Fig. (6) que a evolução, tanto da camada com o uso da frequência de 50 Hz quanto de 200 Hz, se apresenta quase como uma reta. Estes resultados foram obtidos pela média dos três corpos de prova para cada condição. A linha preta representa as camadas depositadas na frequência de 50 Hz e apresentam um desvio padrão levemente maior que a linha cinza que representa a frequência de 200 Hz.

Figura 6. Incremento de altura das camadas.
 Comparação da Altura das Camadas



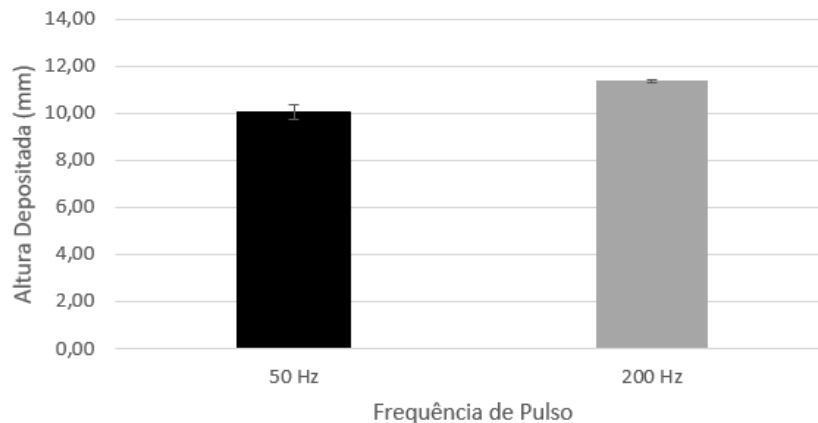
Não se tem um paralelismo entre as linhas de 50 e 200 Hz que representam o crescimento das camadas. Para a frequência de 200 Hz nota-se uma maior inclinação, o que denota um leve aumento em cada camada depositada que é atestada pelo afastamento entre as duas linhas, onde evidencia o acúmulo das alturas das camadas anteriores com a camada analisada. A linha preta que representa a frequência de 50 Hz tem uma inclinação menor, que demonstra que o incremento da altura em cada camada depositada é menor quando comparado com a maior frequência de pulso.

Com apenas 10 camadas já foi possível verificar este maior incremento na frequência de pulso de 200 Hz, com base nesse comportamento é possível afirmar que quanto maior o número de cordões depositados, maior será o afastamento das duas linhas que representam a altura da camada nas diferentes frequências de pulso.

Após finalizada a décima camada chegou-se à altura total das paredes depositadas. Na Fig. (7) está representado na barra de cor preta a altura total da parede utilizando a frequência de pulso de 50 Hz, já a barra de cor cinza indica a altura total da parede quando utilizado a frequência de pulso de 200 Hz.

É possível constatar que na maior frequência de pulso utilizada se obteve uma maior altura final da parede e um menor desvio padrão amostral, o que demonstra que os valores dos corpos de prova fabricados ficaram mais próximos da média que no caso da frequência de 50 Hz. Na frequência de pulso de 200 Hz se teve um aumento médio na altura das paredes de 1,33 mm quando comparado com a frequência de pulso de 50 Hz.

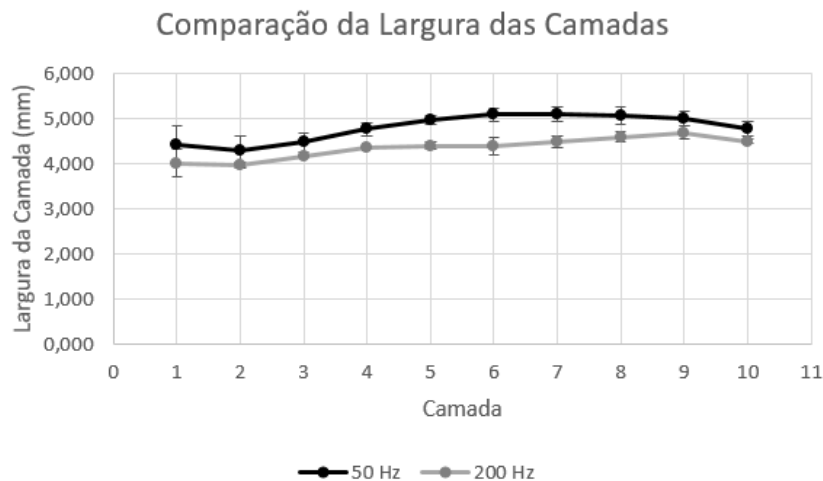
A altura média das três paredes construídas na frequência de pulso de 50 Hz foi de 10,05 mm com um desvio padrão amostral de 0,31 mm. Já na frequência de pulso de 200 Hz se teve uma altura média de 11,37 mm e um desvio padrão amostral igual a 0,06 mm.

Figura 7. Altura total das camadas.

Além da altura da parede, outro parâmetro analisado foi a largura de cada cordão depositado. Na Fig. (8) está representada a média da largura dos três corpos de prova nas duas condições, inclusive com o seu respectivo desvio padrão amostral. A largura do cordão foi medida de borda a borda em cada camada, traçando uma linha horizontal com o uso de um software de desenho auxiliado por computador.

Voltando na Fig. (5) e comparando o perfil lateral das paredes depositadas, nota-se que o contorno descrito pela Fig. (8) em cada condição de frequência de pulso é igual ao perfil lateral. Se verifica no primeiro cordão depositado sobre a base um maior desvio padrão amostral da largura e ao passo que aumenta o número do cordão empilhado esse desvio padrão tornou-se menor. Na décima camada por não haver uma deposição posterior sobre ela, encontrou-se uma largura menor que a sua anterior. Denota-se que quando se faz a deposição sobre uma camada precedente, esta camada se refunde o seu topo com a base da camada em deposição e isso aumenta ligeiramente a sua largura.

Figura 8. Largura das camadas.



A linha cinza da Fig. (8) representa as larguras dos cordões para a frequência de pulso de 200 Hz, percebe-se uma menor largura dos cordões quando comparados com a linha preta que representa a frequência de pulso igual a 50 Hz. Além da frequência de pulso de 200 Hz proporcionar uma menor irregularidade nos valores da largura, o que corresponde a uma menor ondulação lateral das camadas depositadas. Quando se observa a linha preta, que representa a frequência de pulso de 50 Hz, se constata uma maior largura dos cordões depositados e uma maior sinuosidade que corrobora com um pior acabamento lateral da parede depositada.

Na maior frequência de pulso utilizada se obteve uma menor largura dos cordões depositados e uma maior regularidade do perfil, mesmo o perfil apresentando a mesma tendência da menor frequência. Como a velocidade de alimentação do arame foi mantida constante nas duas condições de frequência de pulso pressupõe-se a mesma taxa de deposição de material. Com isso, se na frequência de pulso de 200 Hz se tem uma maior altura da parede, conseqüentemente se espera uma menor largura conforme demonstrado pela Fig. (8).

5 CONCLUSÕES

As conclusões obtidas com a realização deste experimento mostram que:

- Para a frequência de pulso igual a 50 Hz obteve-se a menor altura das camadas e maior largura de todos os cordões depositados. Um maior desvio padrão foi observado nesta frequência de pulso.

- O aumento da frequência de pulso para 200 Hz proporcionou um aumento médio de 1,33 mm na altura da parede depositada. E uma conseqüente redução da largura dos cordões, pois o volume de material depositado foi igual nas duas condições.

- Quanto maior a frequência de pulso maior a altura das camadas depositadas e menor foi o desvio padrão nesta frequência. Conseqüentemente se teve um estreitamento da parede na maior frequência utilizada.

- O uso de uma maior frequência de pulso proporcionou um melhor acabamento lateral da parede, devido a redução do transbordamento das camadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Colégio Técnico Industrial de Santa Maria e a Universidade Federal de Santa Maria por incentivarem a qualificação do seu quadro de docentes. A Universidade Federal de Minas Gerais pelo suporte técnico. Também a empresa Balmer por disponibilizar a inversora de soldagem.

REFERÊNCIAS

AYARKWA, K.; WILLIAMS, S.; DING, J. Assessing the effect of TIG alternating current time cycle on aluminium wire+ arc additive manufacture. *Additive Manufacturing*, v. 18, p. 186-193, 2017. ISSN 2214-8604.

GENG, H. et al. Formation and improvement of surface waviness for additive manufacturing 5A06 aluminium alloy component with GTAW system. *Rapid Prototyping Journal*, v. 24, n. 2, p. 342-350, 2018. ISSN 1355-2546.

GENG, H. et al. Optimization of wire feed for GTAW based additive manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 243, p. 40-47, 2017. ISSN 0924-0136.

GROOVER, M. P. *Fundamentals of Modern Manufacturing: materials, processes, and systems*. Fifth Edition. John Wiley & Sons, 2012.

HORGAR, A. et al. Additive manufacturing using WAAM with AA5183 wire. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 259, p. 68-74, 2018. ISSN 0924-0136.

KARUNAKARAN, K. et al. Rapid manufacturing of metallic objects. *Rapid Prototyping Journal*, v. 18, n. 4, p. 264-280, 2012. ISSN 1355-2546.

MARINELLI, G. et al. Development of Wire+ Arc Additive Manufacturing for the production of large-scale unalloyed tungsten components. 2019.

SILVA, P. C.; SANTANDREA, R. S.; BRANDÃO, L. C.; XAVIER, M. V. A.; VOLPINI, V. L. Manufatura aditiva: Revisão sistemática da literatura. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 84502-84515, nov. 2020.

VILLANI, P.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. Soldagem: Fundamentos e Tecnologia. Elsevier Brasil, 2016. ISBN 8535278818.

WILLIAMS, S. W. et al. Wire+ arc additive manufacturing. Materials Science and Technology, v. 32, n. 7, p. 641-647, 2016. ISSN 0267-0836.

ZHANG, C.; GAO, M.; ZENG, X. Workpiece vibration augmented wire arc additive manufacturing of high strength aluminum alloy. Journal of Materials Processing Technology, v. 271, p. 85-92, 2019. ISSN 0924-0136.