



VIABILIDADE TÉCNICA NA FABRICAÇÃO DE PEÇA COMPLEXA COMPARANDO MANUFATURA ADITIVA VERSUS MANUFATURA SUBTRATIVA NO AÇO INOXIDÁVEL AISI-304L

Josias de Brittes Alixandre¹

Anderson Daleffe²

Rodrigo Concer³

Resumo: A competitividade do mercado na indústria metal mecânica faz com que as empresas do setor estejam em constante busca por tecnologias que atenda a demanda para a diversidade de produtos, onde esses permitam flexibilidade de projetos e menor consumo de matéria-prima. Neste sentido, a manufatura aditiva por fusão localizada (MAFL) vem com a proposta de flexibilidade na formação de geometrias complexas e com alta taxa para deposição de material metálico. O aço inoxidável AISI 304L, por exemplo, tem apresentado crescente consumo nas indústrias química, alimentícias, projetos de bens duráveis e instrumentos de corte. Como os aços inoxidáveis tem baixa usinabilidade por causa de sua baixa condução térmica, este trabalho tem a proposta de avaliar se a manufatura aditiva melhora ou piora a usinabilidade frente a um material que passou pelo processo convencional de fabricação. Corpos de prova foram obtidos através da manufatura aditiva onde um braço com controle numérico por computador (CNC *Computer Numeric Control*) depositou camadas formando a geometria complexa. Geometria essa projetada e programada com auxílio de *softwares* para desenhos assistido por computador (CAD *Computer Aided Design*) e manufatura assistida por computador (CAM *Computer Aided Manufacturing*). Logo fez-se a usinagem em máquinas de fresamento CNC do corpo manufaturado aditivamente e do corpo laminado, assim foi comparado o desgaste dos insertos de corte utilizado na usinagem dos dois processos. O resultado dos testes para desgaste dos insertos se deram positivos, pois o corpo obtido por manufatura aditiva com fusão localizada teve um maior desgaste comparado ao corpo laminado, indicando maior dificuldade na usinabilidade, mas isso não inviabiliza a tecnologia, pois o tempo de usinagem para o corpo manufaturado aditivamente apresentou uma redução.

Palavras-Chave: Aço inoxidável. Manufatura Aditiva. Viabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A indústria vem inovando com o objetivo de ser competitiva no mercado, buscando reduzir tempo de fabricação e custo com matéria-prima (KOVALENKO;

¹ Bacharel em Engenharia Mecânica UniSATC. E-mail: josiasalixandre@gmail.com

² Professor Dr. Centro Universitário UniSATC E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

³ Mestrando em Engenharia Metalúrgica UniSATC. Email: rodrigoconcer@gmail.com



2019). Nesse contexto surge a manufatura aditiva *Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM)*, onde modelos 3D (três dimensões) são fabricados a partir da deposição de material metálico.

Essa técnica tem despertado grande interesse por permitir flexibilidade no *design* dos modelos a serem fabricados com pouco desperdício de matéria-prima, quando comparado com a manufatura subtrativa (SILVA, 2018). Em comparação entre as duas manufaturas dependendo da geometria a ser fabricada a economia na matéria-prima chega a 80%. Mesmo sendo já na forma geométrica aproximada não isenta esse modelo de operações onde a manufatura subtrativa seja necessária para acabamentos (LIRA; 2008).

A manufatura aditiva tem diversas tecnologias, entre as quais se destaca o arco elétrico por fusão localizada, processo mais barato com alta taxa de deposição se comparada com a taxa de deposição para o processo de sinterização direta a laser de metal que é na ordem de 2-10 g/min. Já por arco elétrico está na faixa de 130 g/min (SURYAKUMAR et al., 2011). Apesar das vantagens tem-se os contras, pois esse processo necessita fazer a remoção do material excedente através de um processo de usinagem em máquinas CNC.

Portanto fez-se necessário correlacionar a usinabilidade do material laminado que passa somente pelo processo subtrativo com o de manufatura aditiva e subtrativa. Para tal comparar-se-á a usinabilidade de peças em aço inoxidável AISI 304L obtidas na MAFL, e relaciona-las ao desempenho de peças laminadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Manufatura aditiva torna uma forma virtual 3D em um corpo físico através da deposição de material camada a camada. Ha MAFL tem alta taxa de deposição de material e alta gama de materiais metálicos que podem ser usados para se construir formas com geometrias complexas. Essa deposição deixa superfícies com maior taxa de rugosidade que precisam ser retrabalhadas para garantir acabamentos superficiais e tolerâncias dimensionais, para isso se utiliza máquinas operatrizes com ferramentas de corte, essas ferramentas podem ter seu desgaste afetado pelo índice de usinabilidade do material metálico utilizado.

2.1 MANUFATURA ADITIVA

Segundo Ferraresi (2018, p.1) por volta da década de 1980 se iniciou as pesquisas para fabricação de peças por meio da adição de material camada por camada. No início das pesquisas se chamava prototipagem rápida (*Rapid Prototyping - RP*). Esse termo está relacionado a equipamentos capazes de produzir peças em 3D.

Conforme relata Gibson (2010, p.2), o processo de camada a camada consiste no fatiamento transversais da peça derivada de um modelo CAD conforme figura 1.

Figura 1: Exemplo de Fatiamento.



Fonte: Gibson et al. (2010)

É visível que esse fatiamento quanto menor for sua espessura mais próximo da dimensão final será o resultado. Todas as máquinas de manufatura aditiva (MA) utilizam esse conceito para fabricação das peças, no entanto, o que os diferem é o material utilizado, que irá determinar qual a espessura dessa camada e como elas se ligarão umas às outras (GIBSON, 2010).



Entre as vantagens do processo de MA está a liberdade de *design*, no desenvolvimento de formas complexas, podendo usar uma cadeia maior de materiais, e ainda pode-se citar que o tempo de fabricação no desenvolvimento é relativamente menor se comparado com o processo de manufatura tradicional destacando-se a economia de matéria-prima, pois a remoção de material será baixa. Logo subentende-se que MA tem um grande mercado de aplicação, pois essa liberdade de fabricação pode se aplicar em implantes médicos, na indústria de ferramentaria, no desenvolvimento de peças exclusivas para automóveis, recuperação de moldes e matriz. (EDUARDO et al., 2015). Assim como repor peças de máquinas já antigas que não a peças para reposição no mercado (ALBERTO MAWAKDIYE, 2022).

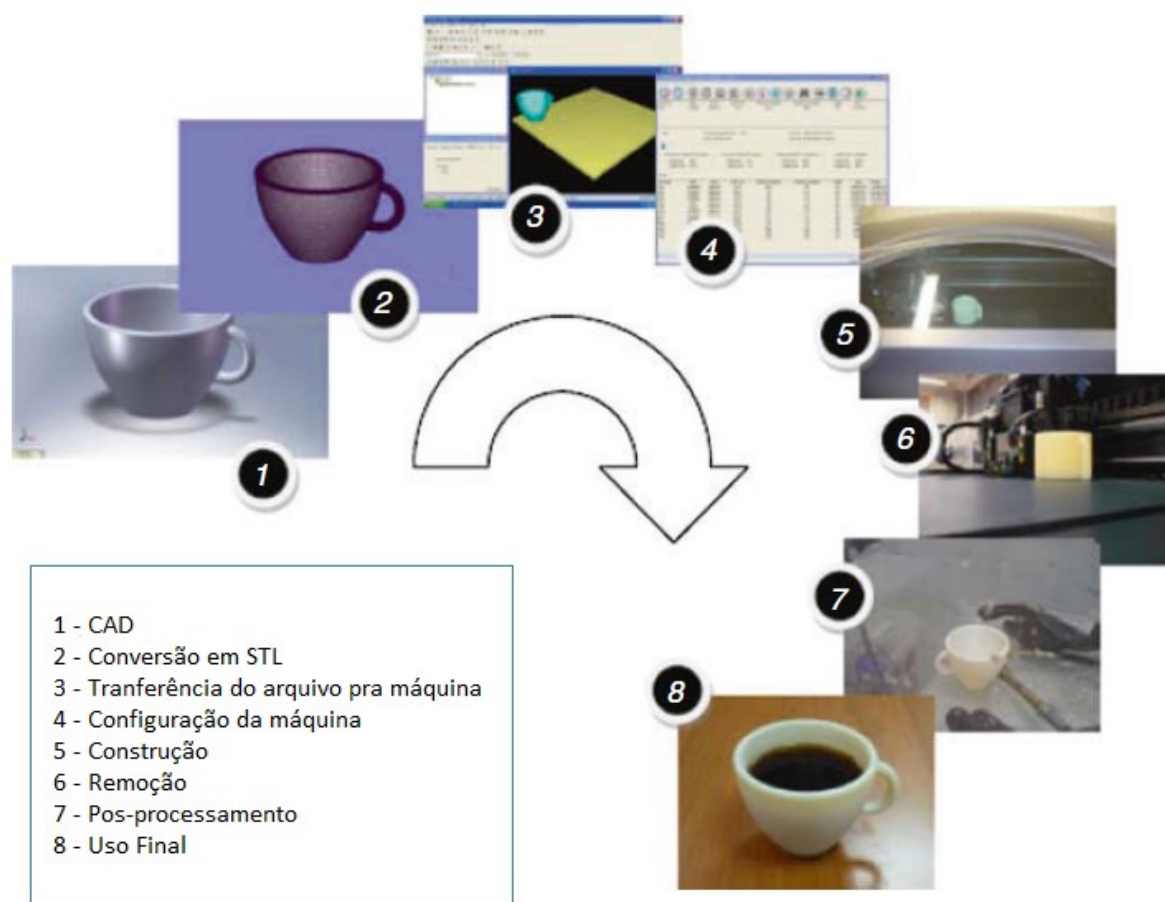
Segundo Ian Gibson, et al., (2010, p. 3):

A manufatura aditiva envolve uma série de etapas que vão da construção do modelo CAD virtual para a parte física final. Produtos diferentes envolverão MA de maneiras diferentes e para diferentes graus. Produtos pequenos e relativamente simples podem fazer uso de MA apenas para modelos de visualização, enquanto produtos maiores e mais complexos com maior engenharia o conteúdo pode envolver MA durante vários estágios e iterações ao longo do processo de desenvolvimento. Além disso, estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produto podem exigir apenas peças com alta rugosidade, com MA sendo usado por causa da velocidade em que podem ser fabricados. Em fases posteriores do processo, as peças podem exigir limpeza cuidadosa e pós-processamento (incluindo lixamento, preparação de superfície e pintura) antes de serem usados, com MA sendo útil aqui devido à complexidade de forma que pode ser criada sem a necessidade de considerar ferramentas.

Logo o processo de MA tem seus inúmeros benefícios, pois de um modelo virtual, obtém-se formas complexas, que teria custo maior se não impossíveis de fabricá-los por meio dos processos tradicionais (SANTOS,2017). Com a MA se tem menor tempo de manufatura e redução no custo de matéria-prima. Mas é necessário ter um bom preparo técnico para controlar as variáveis que o processo demanda.

Como mostrado na figura 2 a diferentes estágios para o processo da MA, pois se inicia com o modelamento em 3D, estudo de espessura para o fatiamento das camadas, execução e tratamento final na peça concluída.

Figura 2: Etapas do Processo



Fonte: Adaptado de Gibson et, al (2010)

Há vários processos de MA de metais onde pode-se citar a Lazer Sinterizado e Arco elétrico (LIRA; 2008). O arco elétrico se destaca por sua maior deposição de material e maquinário envolvido para execução do processo mais barato (SURYAKUMAR et al., 2011). No entanto esse processo gera defeitos na sua microestrutura pela variação na temperatura que a forma sofre (SILVA, 2018). Portanto, levanta-se a questão de quanto isso impacta na usinabilidade de um corpo obtido por essa tecnologia.

2.2 – MANUFATURA ADITIVA POR FUSÃO LOCALIZADA (MAFL)

O processo de fusão localizada MIG/MAG convencional tem muitas aplicações na MA pela alta taxa para a deposição de material e variação de seus materiais. Nesse contexto, falando dos aços com sinterização Seletiva a Lazer (SLS)



(PALHAIS, 2015) a taxa de deposição é de 1 kg/h, enquanto por fusão localizada é de 5–6 kg/h. No entanto, MAFL traz desvantagens se compará-lo com SLS. Pois, as altas temperaturas aumentam as tensões residuais causando distorções na forma, a tolerância geométrica e rugosidade da peça ficam afetadas, consequentemente é necessário adicionar operações de usinagem para acabamento da mesma (TABERNERO et al., 2018). Volpato (2007), relata que a prototipagem confecciona geometrias complexas com maior grau de liberdade quando comparado ao método tradicional de fabricação.

2.5 USINABILIDADE

O índice de usinabilidade dos materiais se tornou indispensável para garantia de viabilidade de novos processos, criação de materiais, aprimoramento de ferramentas e maquinas operatrizes (LAZARO FAZOLO DE ASSIS, 2010).

Segundo Ferrarese (1970) a usinabilidade nada mais é que uma grandeza tecnológica que é apresentada numericamente na comparação com um grupo de propriedades de usinagem do metal relacionado com padrão. Logo essas propriedades formadas no processo de usinagem dos metais são aquelas que influenciam nas grandezas medíveis, tais como vida da ferramenta de corte, acabamento superficial.

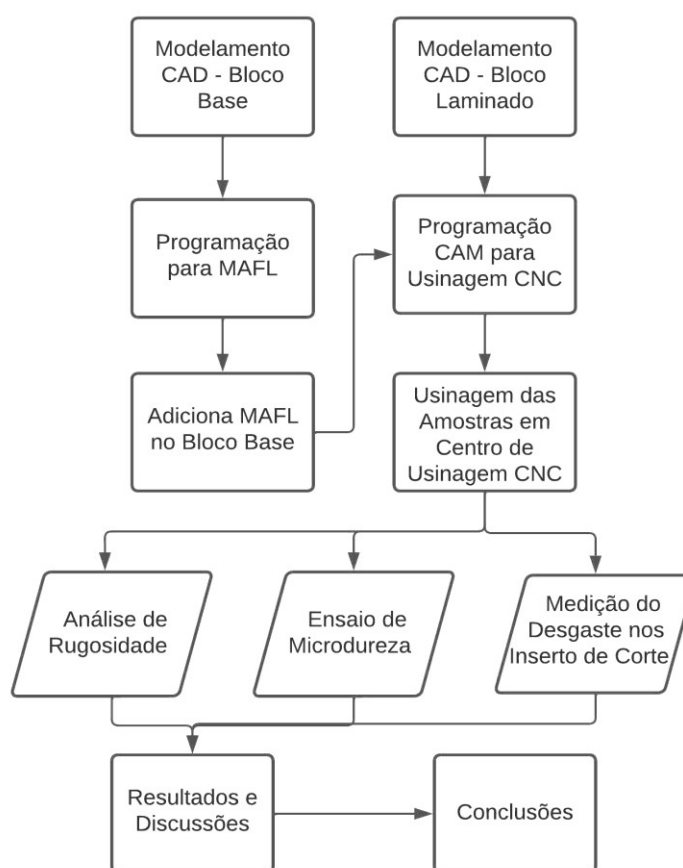
Baptista (2002) salienta que as condições de corte como velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, ferramenta, maquina operatriz e fluidos de corte são variáveis que influenciam o índice da usinabilidade de um material. Logo os fatores que mais impactam a usinabilidade é o material da peça, processo mecânico e condições de usinagem.

Há diversas operações de usinagem, mas nos ateremos nas operações de fresamento visto como operação versátil que produz geometrias diversas e tem elevada taxa para remoção de material por suas ferramentas possuírem vários gumes de corte.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A metodologia aplicada nesse estudo consiste em analisar a viabilidade da MAFL pelo critério da usinabilidade em aço inoxidável AISI 304L. Iniciou-se com o modelamento 3D no *software SolidWorks*, programação CAM no *software Edgecam* e após fez-se a usinagem de um corpo de prova laminado com geometria complexa e outro pelo método de MAFL, logo se levantaram-se os dados e feito o comparativo entre os dois corpos. A metodologia empregada está detalhada no diagrama da figura 3.

Figura 3: Diagrama para Etapas do Processo



Fonte: O autor (2022)

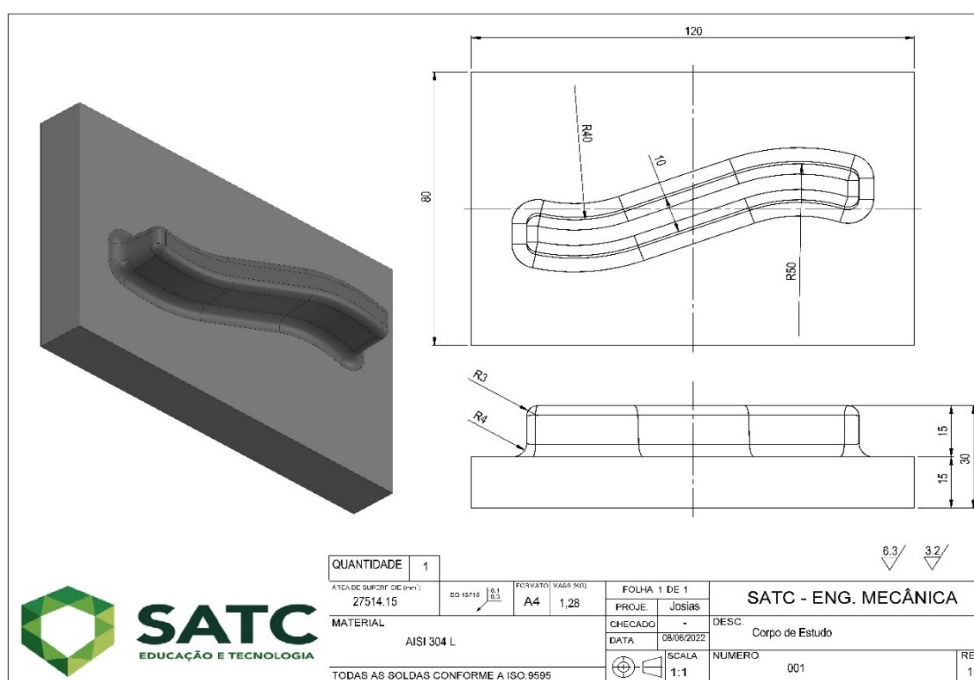
Como apresentado na figura 3 determinou-se o material de estudo com suas características definidas, logo esses materiais foram processados gerando assim Quatro corpos de prova, sendo um bloco laminado processado pelo método tradicional

de usinagem e três corpos obtidos pelo processo de MAFL que passou pela remoção do material excedente, onde se fez a coleta de dados dos dois processos. Logo após fez-se testes laboratoriais e ensaios, para então confrontar os dados e definir a viabilidade entre os dois processos de fabricação.

3.1 CORPO DE ESTUDO

O material utilizado para fabricação dos corpos de prova é o aço inoxidável AISI 308L. O aço inoxidável 308L pertence à família dos austenítico. Onde a composição química Possui de 17% a 25% de cromo e de 7% a 20% de níquel em sua estrutura química, e quanto maior a redução no teor de carbono e a presença de molibdênio, maior sua resistência à corrosão (ABINOX, 2021). As dimensões do corpo de teste são apresentadas na figura 4.

Figura 4: Corpo de Estudo Com Geometria Complexa



Fonte: O autor (2022)

Logo se adquiriu um bloco laminado de aço inoxidável com as dimensões 120 mm, 80 mm, 40 mm para fazer o processamento pelo método de usinagem tradicional. E mais três chapas nas dimensões 120 mm, 80 mm, 15 mm para ser a



base da MAFL que tem a função de realizar a sustentação do material depositado, onde a MAFL deixou com sobremetal de em média 5mm cada parede para então fazer usinagem posterior.

3.2 PROGRAMA CNC PARA OBTER FORMA COMPLEXA VIA MAFL

Para que houvesse a deposição de material no formato das curvas complexas, desenvolve-se a programação dos caminhos que a tocha percorreu de forma digitado na própria máquina, baseada na forma 3D. Onde a distância entre os cordões tem 4,65 mm lateralmente e passes para formar as camadas de 3 mm de altura, na qual obtiveram-se paredes com espessura o suficiente para haver o sobremetal, para assim posteriormente fazer a usinagem de remoção do material excedente.

3.3 ARAME DE SOLDA INOX

Utilizou-se o arame de aço inoxidável 308L, da marca Golden Bridge, comercializado em bobina de 15 kg e com 1,2 mm de diâmetro, seguindo a norma ISO 14343 e a especificação AWS A5.9 de fabricação de consumíveis de solda. E conforme o fabricante, as propriedades químicas estão detalhadas na Tabela 2. Utilizou-se arame de aço inoxidável 308L pois é o arame recomendado pelo fabricante citado para operações de soldagem no aço inoxidável 304L.

Tabela 2: Composição Química do Arame Conforme Dados do Fabricante.

AISI 308L	Composição Química %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu
	0,024	1,72	0,48	19,76	9,83	0,006	0,018	0,01	0,06

Fonte: Ferreira (2021)

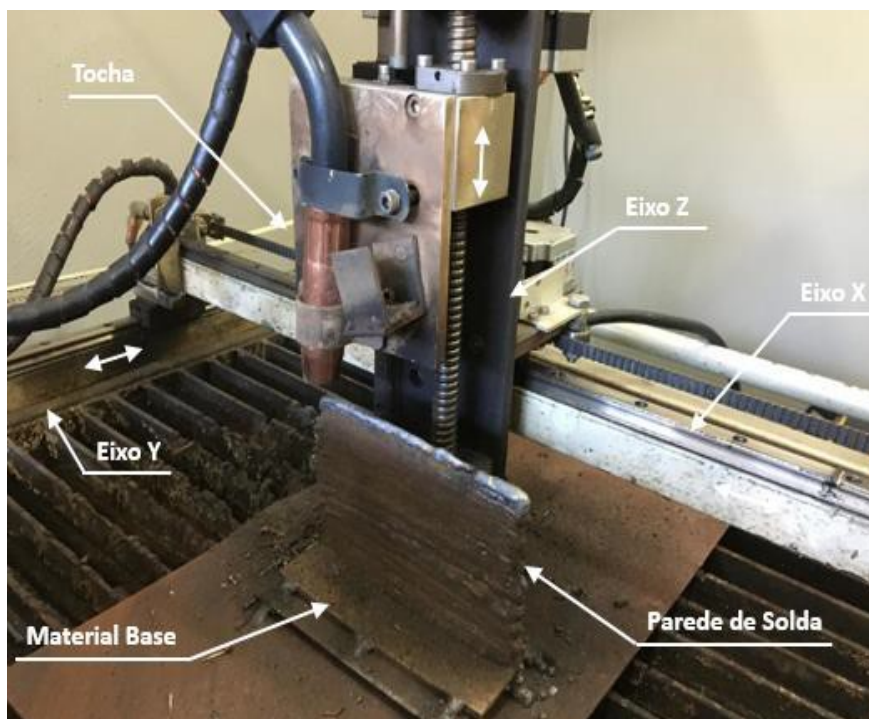
Utilizou-se arame de aço inoxidável 308L pois é o arame recomendado pelo fabricante citado para operações de soldagem no aço inoxidável 304L.

3.4 MÁQUINA DE SOLDA MIG – CNC

Para a construção do corpo de prova manufaturado aditivamente, usou-se uma máquina de solda (marca ESAB, modelo *Smashweld 250E*) adaptada e interligada a um braço CNC, em que possui comunicação externa com *software* para programação dos caminhos em três eixos: X, Y e Z.

A tocha da máquina de solda é acoplada ao braço CNC onde realiza a movimentação dos eixos para deposição do arame na peça em uma bancada conforme figura 6.

Figura 6: Máquina CNC para MAFL



Fonte: Ferreira (2021)

Os parâmetros de soldagem utilizados estão na tabela 3, onde os valores podem variar conforme as tolerâncias existentes na máquina de solda.



Tabela 3: Propriedades Utilizadas na Máquina Soldagem.

Arame Aço Inoxidável AWS A5.9 ER308L	
Parâmetros de	Valores
Tensão	25 (V)
Corrente	200 (A)
Deposição	2,5 (kg/h)
Gás de Proteção	Ar

Fonte: Ferreira (2021)

3.5 CENTRO DE USINAGEM CNC.

A máquina CNC utilizada para executar a usinagem dos corpos de prova, foi centro de usinagem vertical ROMI - D600. Onde suas dimensões de curso nos seus eixos são: X600 mm, Y530 mm e Z580 mm e rotação máxima igual a 1000 rpm (INDÚSTRIAS ROMI S.A., 2021).

3.6 RUGOSIDADE

Determinou-se a rugosidade superficial, de acordo com a norma ABNT NBR 6405/1988. O parâmetro de rugosidade utilizado foi o Ra (*Roughness average*), sendo uma média aritmética dos valores dos picos do perfil de rugosidade, seu valor é dado em micrômetro (μm). O comprimento de amostragem (λ) foi de 1,25 mm, que é a distância percorrida pelo apalpador do rugosímetro para identificar a rugosidade e com velocidade de 0,5 m/s. O rugosímetro utilizado para coleta de dados foi Mitutoyo SJ-310.

3.7 ENSAIO DE MICRO DUREZA

O ensaio de micro dureza Vickers (HV) foi executado conforme a norma ASTM E18 (2017) utilizando um microdurômetro modelo HMV-2TADW da marca SHIMADZU®. Na análise dos corpos de prova foi efetuada 10 medições na face, com força de 1,961N, no tempo de penetração igual a 10 segundos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os três corpos manufaturados aditivamente atendem as especificações prevista para obter a forma geométrica desejada. A simulação CAM nos apresenta dados já confirmando o ganho de tempo para usinagem dos corpos obtidos por MAFL em relação ao processo tradicional de manufatura. Confrontando os dados se percebe que rugosidade, microdureza e vida útil dos insertos de corte são alterados pelo processo de MAFL.

4.1 ANALISE DO CORPO OBTIDO POR MAFL

Os cordões da MAFL apresentam certa homogeneidade a partir de em média 15 mm das pontas no sentido longitudinal, apresentando boa fusão entre os cordões lateralmente, como mostrado na figura 8. Os corpos atendem as especificações prevista para sobremetal deixando em média 5 mm para usinagem posterior.

Figura 8: Corpo – Obtido por MAFL





Fonte: O autor (2022)

Na sequência foi levantado as características dos corpos obtido por MAFL medindo-se as alturas média entre os corpos e suas larguras. Para cálculo do volume utilizou-se o comprimento dos corpos que é de 120 mm e largura e altura conforme figura 8 Os dados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Caracterização dos Corpos

	Altura Média (mm)	Largura Média (mm)	Volume Médio (mm³)
MAFL Corpo 1	17,50	21,50	45150,00
MAFL Corpo 2	17,50	23,50	49350,00
MAFL Corpo 3	15,50	22,50	41850,00
Média	16,83	22,50	45450,00

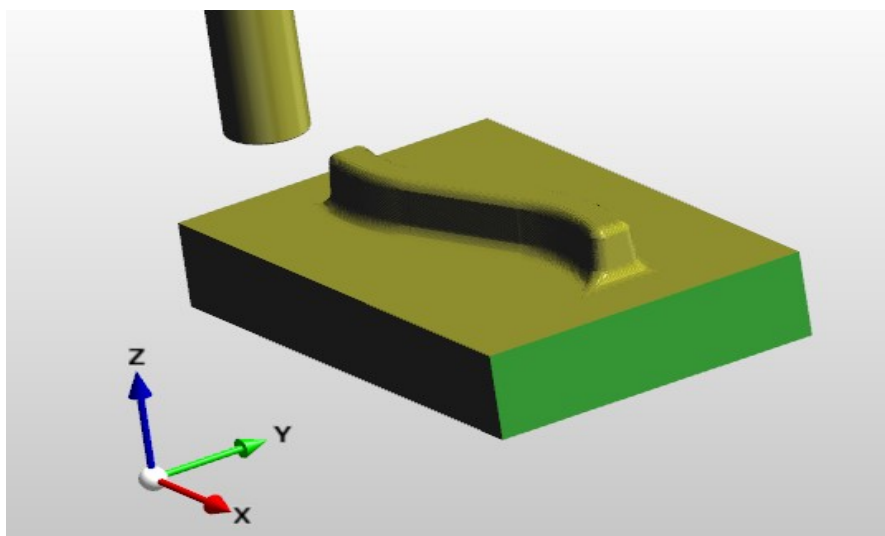
Fonte: O autor (2022)

Para se atingir a altura objetivo dos corpos foi feito 6 cordões de solda, com altura média para cada cordão de 3,0 mm/camada.

4.2 PROGRAMAÇÃO CAM

A programação CAM foi dividida em duas partes, pois o corpo laminado precisou de uma estratégia para desbaste do material excedente, e outra para perfilar a forma com geometria complexa, o tempo de usinagem via *software* CAM é de 32 minutos. Já no corpo obtido por MAFL utilizou-se somente a estratégia de perfilamento. Onde o tempo de simulação para usinagem é de 12 minutos, uma redução de 62%. Como apresenta a simulação CAM na figura 9 não há nenhuma colisão na programação ou deformação na forma 3D.

Figura 9: Simulação CAM



Fonte: O autor (2022)

4.3 USINAGEM DOS CORPOS

A usinagem dos corpos obtidos por MAFL foi executada por completo, pois com um jogo de insertos se executou toda a operação prevista, teve desgaste considerável, conforme tabela 8, mas nada que comprometesse a forma geométrica do corpo. O tempo de usinagem foi de 17min utilizando as condições de corte recomendadas, e o acabamento superficial ficou de boa aparência conforme mostrado na figura 10.

Figura 10: Corpo MAFL Usinado



Fonte: O autor (2022)

Após a usinagem dos corpos obtido pelo método de manufatura aditiva identificou-se falhas na fusão dos cordões de solda laterais. Isso indica que os passes laterais devem ter uma menor dimensão ou a corrente configurada na máquina de solda deve ser aumentada para melhor espalhar os cordões. Falha ampliada e mostrada na figura 11.

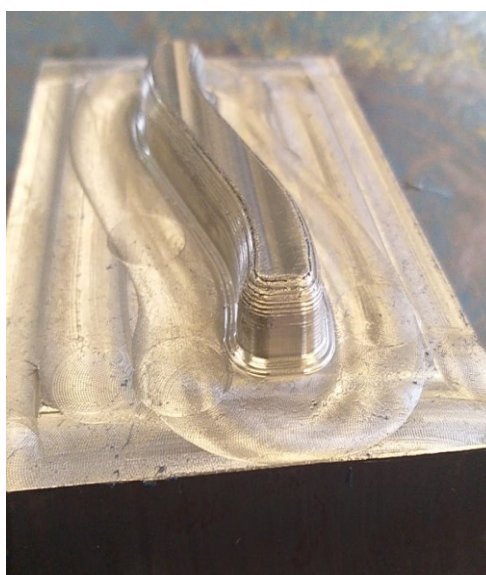
Figura 11: Defeito na Fusão dos Cordões



Fonte: O autor (2022)

Já no corpo laminado não se conseguiu a atingir a forma geométrica final com apenas um jogo de insertos, em 9 minutos de usinagem com 4,5 mm de profundidade houve desgaste que não possibilitava a continuação da usinagem. O resultado obtido na usinagem do corpo laminado é mostrado na figura 12.

Figura 12: Corpo Laminado Usinado

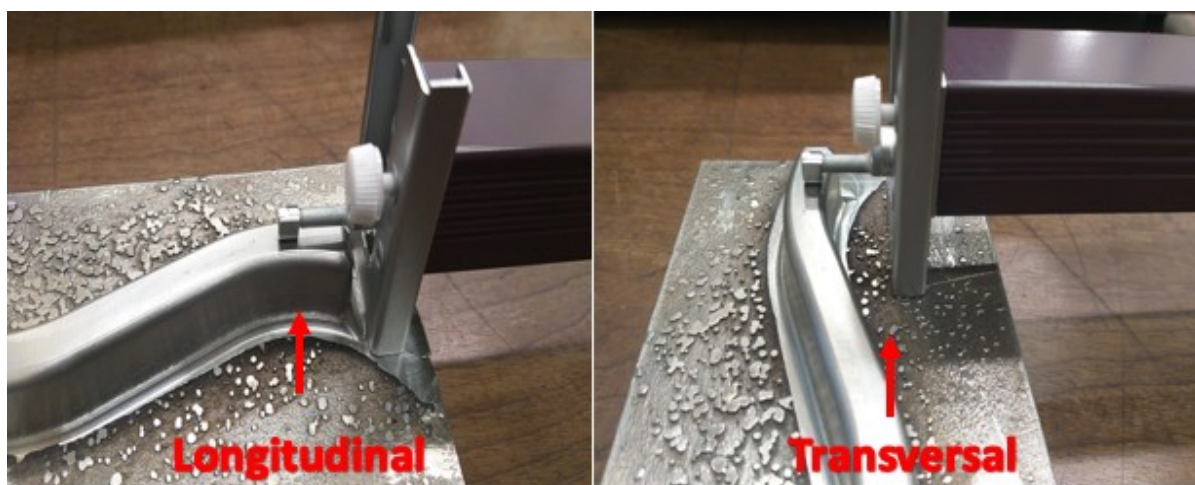


Fonte: O autor (2022)

4.4 ANÁLISE DE RUGOSIDADE

As medidas de rugosidade foram obtidas com parâmetro Ra, as medições se deram nas faces superiores dos corpos, no sentido longitudinal e transversal conforma figura 13. Tanto no laminado quanto no corpo obtido pela MAFL, cada corpo foi submetido a 6 medições. Os dados obtidos estão mostrados na tabela 5.

Figura 13: Análise de Rugosidade



Fonte: O autor (2022)

Tabela 5: Rugosidade Superficial - Longitudinal

Processo	Laminado	Média MAFL	Δ
Menor (μm)	0,523	0,297	0,226
Maior (μm)	0,577	0,562	0,015
Média(μm)	0,558	0,423	0,135
Desvio Padrão	0,020	0,060	-

Fonte: O autor (2022)

É notado na tabela 5 que a rugosidade no corpo obtido por MAFL tem um menor valor quando comparado com o corpo laminado. Essa variação é representada pelo delta (Δ) mostrado nas tabelas 5 e 6.

Foram feitas medições no sentido transversal da peça, de igual modo cada corpo foi submetido a 6 medições. Os resultados são mostrados na tabela 6.



Tabela 6: Rugosidade Superficial - Transversal

Processo	Laminado	Média MAFL	Δ
Menor (μm)	0,462	0,145	0,317
Maior (μm)	0,601	0,465	0,136
Média(μm)	0,532	0,293	0,239
Desvio Padrão	0,047	0,054	-

Fonte: O autor (2022)

Assim como nas medições longitudinais as transversais também têm menor valor médio na rugosidade no corpo obtido por MAFL.

4.5 ENSAIO DE MICRODUREZA

Na tabela 7 estão apresentados os valores encontrados nas faces dos corpos de prova tanto o de MAFL quanto corpo laminado. O desvio padrão foi tomado de 10 medições.

Tabela 7: Resultado Dureza Vickers

Processo	Média (HV)	Desvio Padrão
MAFL	213	30
Laminado	148	4,6

Fonte: O autor (2022)

O dado de dureza Vickers conforme a norma AISI/UNS para o aço inoxidável 304L é de 155 HV. o valor médio encontrado nas faces dos corpos laminado é de 5% menor, do que indica a norma AISI/UNS. E ainda o valor médio encontrado nas faces dos corpos obtidos por MAFL é de 27% maior do que a norma AISI/UNS.

A diferença nos resultados se dá devido ao processo de MAFL, pois seu resfriamento com velocidade diferente do corpo laminado provoca tensões na estrutura do aço inoxidável (TABERNERO et al., 2018). O alto desvio padrão se explica por ter quatro cordões de solda lateralmente, pois suas extremidades têm maior dureza.



4.6 VIDA UTIL DOS INSERTOS

A vida útil do inserto utilizado na MAFL apresentou um desgaste maior que o corpo laminado, mas sem avarias nos insertos para executar toda a usinagem do corpo. O desgaste percebido nos insertos foi de arestas postiça conforme figura 7, sendo um desgaste comum para aços inoxidáveis por serem mais dúctil.

Tabela 8: Desgaste nos Insertos de Corte

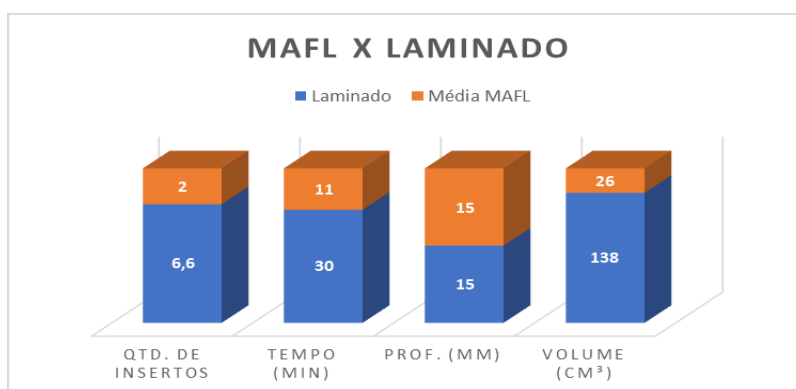
Processo	Laminado	MAFL	Δ	% de Desgaste
Volume retirado (cm ³)	41,50	26,00	15,50	37%
Média (mm)	3,179	2,335	0,843	27%
Desgaste (mm/cm ³)	0,077	0,090	0,013	-17%
Desvio Padrão	0,212	0,042	0,171	-

Fonte: O autor (2022)

Analisando a tabela 8 percebe-se que o processo de MAFL tem um maior desgaste nos insertos em média de 17% a mais, desgaste este de 0,013 mm por cm³ usinado, conforma mostrado na coluna do Δ .

Quando analisado para a usinagem completa do corpo com 15 mm de profundidade, seria necessário 6,6 insertos para usinagem do corpo laminado. Enquanto que, no corpo MAFL 2 insertos de corte são necessários para completa usinagem. Esse valor se dá pelo menor volume de material para retirar no corpo manufaturado, que é 81% menor que o corpo laminado, como mostrado no gráfico 1.

Gráfico 1: Relação MAFL e Laminado



Fonte: O autor (2022)



5 CONCLUSÃO

O estudo realizado sobre os impactos que a manufatura aditiva tem sobre peças com superfícies complexas foi bem satisfatório, pois conseguiu-se obter a forma 3D planejada, ressalva ficou no sobremetal nas pontas onde a MAFL começa e termina que deve ter maior sobremetal comparado com as laterais.

A análise para desgaste dos insertos de corte, apresentou maior valor em relação ao laminado, mas não apresentou avarias. Mas quando analisado no contexto de viabilidade a MAFL reduz o tempo de usinagem e o consumo de insertos em aproximadamente 60%.

A viabilidade da manufatura aditiva para peças em aço inoxidável é confirmada no presente estudo, apesar de ter piorado a usinabilidade baseada no desgaste dos insertos em 17% não o inviabiliza.

Ao estudar a usinabilidade do aço inoxidável obtido por MAFL e comparar com a usinabilidade do mesmo material obtido por processos convencionais de fabricação comprovou-se que o processo de MAFL é promissor, pois o tempo de usinagem é menor que o processo convencional de fabricação.

Ao inspecionar as peças fabricadas MAFL no aço inoxidável AISI 308L, verificaram-se defeitos de fusão nas camadas.

Após conclusão deste estudo, sugerem-se futuros trabalhos envolvendo esse tema: (a) Analisar o impacto do tempo para resfriamento ao iniciar uma nova camada, para a fusão dos cordões de solda não apresentem defeitos na fusão das camadas; (b) Fazer alívio de tensão nos corpos obtidos por MAFL, a analisar seu impacto na usinabilidade; (c) Apresentar a viabilidade econômica da MAFL quando o corpo precisa utilizar o processo de usinagem para obter a forma final.

REFERÊNCIAS

ABINOX (Brasil). **Produção mundial: produção mundial de aço inoxidável.** [S. l.], p. 1-1, 9 out. 2021. Disponível em: <https://www.abinox.org.br/site/aco-inox-estatisticas-producao-mundial.php>. Acesso em: 9 out. 2021.

ALBERTO MAWAKDIYE, Alberto. Roldana high-tech: **Belgo Bekaert fabrica sua primeira peça por impressão 3D a partir de arame de aço, em projeto**



desenvolvido em parceria com o Senai de Minas Gerais. IPESI METAL MECÂNICA, São Paulo - SP, ano XLIII, n. 325, p. 20, jan. 2022.

BAPTISTA, A. L. B. **Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 55, n. 2, p. 103-109, abr. 2002.

BARBOSA, Patrícia Alves; MACHADO, Izabel Fernanda. **Strain Rate Effect on the Mechanical Behavior of Austenitic Stainless Steel during Machining.** Advanced Materials Research, [S. l.], p. 1-9, 19 abr. 2011.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 1970. 751 p.

FERRARESI, Henrique Nardon, 1991- **Efeito dos ciclos térmicos da manufatura aditiva por soldagem a arco sobre a dureza e microestrutura da zac de um ferro fundido nodular** [recurso eletrônico] / Henrique Nardon Ferraresi. - 2018.

GIBSON I., Rosen D., Stucker B. (2010) Extrusion-Based Systems. In: **Tecnologias de Fabricação de Aditivos.** Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1120-9_6. Acesso em: 2 out. 2021.

Indian institute of technology hyderabad (India). S. Suryakumara, K.P. Karunakaran b, Alain Bernard c, U. Chandrasekhar d, N. Raghavenderb, Deepak Sharmab. **Weld bead modeling and process optimization in Hybrid Layered Manufacturing,** Mumbai, ano 2011, n. 14, 5 Jan. 2011.

KOVALENKO, Oksana. **Avaliação de Aspectos da Estabilidade do Arco e da Geometria de Pré-formas em Manufatura Aditiva Utilizando o Processo MIG/MAG CMT com Foco na Liga TI-6AL-4V.** Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia, ano 2019, n. 244, 25 fev. 2019.

LAZARO FAZOLO DE ASSIS, Cleiton. **Efeito do fresamento com alta velocidade de corte na usinabilidade de aços ferríticos com grãos ultrafinos.** Programa de pós-graduação em engenharia mecânica, Ilha Solteira-SP, p. 125, 1 maio 2010. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94484/assis_clf_me_ilha.pdf;jsessionid=1F6A55FB8C50D7A86E9E7C0752484CC9?sequence=1. Acesso em: 16 abr. 2022.

LIRA, Valmir Martins. **Desenvolvimento de Processo de Prototipagem Rápida via Modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente de materiais alternativos.** Tese de doutorado. Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 199 f, 2008. Tese de doutorado Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 199, 13 out. 2008.

PALHAIS, Catarina Bela Cardoso. **PROTOTIPAGEM uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto.** Dissertação, [S. l.], p. 1-153, 1 abr. 2015.



SANTOS, Fernando. **Desenvolvimento de Estratégias para Manufatura Aditiva via Soldagem a Arco**. Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2017.

SILVA, Maria Inês Castro e; ASSUNÇÃO, Eurico Gonçalves; ALMEIDA, Maria Luísa Coutinho Gomes De. **Study of Deposition Strategies of a Wire + Arc Additive Manufactured Component Materials Engineering Examination Committee**, 2018.

TABERNERO, Iván; PASKUAL, Amagoia; ÁLVAREZ, Pedro; SUÁREZ, Alfredo. **Study on Arc Welding processes for High Deposition Rate Additive Manufacturing**. Conference on Electro Physical and Chemical Machining, [S. l.], p. 1-5, 23 abr. 2018.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem Rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher, 2007.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário – UNISATC pelo apoio a pesquisa através do uso de sua estrutura de laboratórios e a Fundação de Amparo a Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC pelo apoio financeiro na compra de equipamentos e insumos para pesquisa.



fapesc

Fundação de Amparo à
Pesquisa e Inovação do
Estado de Santa Catarina