

**1º TERMO ADITIVO AO ACORDO DE COOPERAÇÃO INSTITUCIONAL Nº
170/2023**

**1º Termo Aditivo ao Acordo de
Cooperação Institucional nº 170/2023
celebrado entre a Fundação
Universidade Federal de São Carlos -
UFSCar e a Indústria e ARCELORMITTAL
BRASIL S.A. - ARCELORMITTAL, com a
interveniência da Fundação de Apoio ao
Desenvolvimento Científico e
Tecnológico – FAI•UFSCar em
02/12/2023.**

Pelo presente instrumento de aditamento, de um lado, a **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**, fundação pública federal, com sede na Rodovia Washington Luiz, Km 235, São Carlos, SP, inscrita no CNPJ sob o nº. 45.358.058/0001-40, representada pela sua Reitora, a Profa. Dra. Ana Beatriz de Oliveira, inscrita no CPF nº 214.458.668-38, doravante denominada **UFSCar**; e, de outro lado

a **ARCELORMITTAL BRASIL S.A. - ARCELORMITTAL**, pessoa jurídica de direito privado, inscrita no CNPJ sob o n. 17.469.701/0001-77, sediada na Avenida Carandaí, n. 1.115, 26º andar, bairro Funcionários, Belo Horizonte/MG, Brasil, CEP: 30.130-915, com unidade industrial no endereço da Av. Eng. José Kalil, 273, Distrito Industrial I, CEP 14.711-124, Bebedouro/SP, doravante denominada “**ARCELORMITTAL**”, neste ato legalmente representada por seus representantes legais, nos termos do seu estatuto social, que abaixo assina;

com intervenção da

FUNDAÇÃO DE APOIO INSTITUCIONAL AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, entidade de direito privado, sem fins lucrativos, inscrita no CNPJ-MF sob o nº. 66.991.647/0001-30, com sede na Rodovia Washington Luís, Km 235 - São Carlos, SP, neste ato representada na forma de seu Estatuto por seu representante legal, que abaixo assina, doravante denominada **FAI•UFSCar**, em conformidade com o processo administrativo UFSCar nº 23112.018964/2023-47;

CONSIDERANDO o Acordo de Cooperação Institucional nº 170/2023 firmado entre a **UFSCar** e a **ARCELORMITTAL**, com a intervenção da **FAI•UFSCar**, em 02 de dezembro de 2023, para a execução do projeto “EMBRAPII: Uso de sucata de usinagem de aço inoxidável na produção de pó metálico para aplicação em



manufatura aditiva”, sob a coordenação do Prof. Dr. Piter Gargarella, do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, inserido dentro do escopo da **UNIDADE EMBRAPII-UFSCar-Materiais em Estruturação**, doravante simplesmente Acordo;

CONSIDERANDO o interesse das partes nos acréscimos de atividades ao seu objeto e valores;

CONSIDERANDO a necessidade de ajuste de prazo e do cronograma de execução;

Resolvem celebrar o presente Termo Aditivo ao referido Acordo de Cooperação Institucional nº 170/2023, nos termos e condições seguintes:

CLÁUSULA PRIMEIRA - DO OBJETO

1.1 Constitui objeto do presente Termo Aditivo o acréscimo de atividade e ajuste de valores inicialmente pactuados ao Acordo conforme Plano de Trabalho anexo a esse termo e ajuste da redação da cláusula quinta dos recursos financeiros.

1.2 Também constitui objeto do presente Termo Aditivo, a prorrogação de vigência do Acordo para até 31/12/2026.

CLÁUSULA SEGUNDA – DOS VALORES ACRESCIDOS

2.1- Pelo presente Termo Aditivo, ficam acrescidos ao Acordo o valor de R\$ 767.708,62 (setecentos e sessenta e sete mil, setecentos e oitos reais e sessenta e dois centavos), totalizando a importância total do Acordo no valor de R\$ 1.786.791,99 (um milhão, setecentos e oitenta e seis mil, setecentos e noventa e um reais e noventa e nove centavos), passando a redação da cláusula quinta do acordo a prevalecer com a seguinte redação:

V.1- Os recursos financeiros necessários à realização do Projeto de Extensão objeto deste Acordo são no valor de R\$ 1.076.672,35 (um milhão e setenta e seis mil, seiscentos e setenta e dois reais e trinta e cinco centavos), os quais serão aportados à FAI•UFSCar conforme previsto no Plano de Trabalho anexo a este instrumento, através de depósito bancário em conta corrente específica discriminada no corpo do documento fiscal a ser emitido pela FAI.UFSCar.

V.1.1- A ARCELORMITTAL custeará 45,23% (quarenta e cinco vírgula vinte e três por cento) dos recursos financeiros do Projeto, por meio do aporte financeiro de R\$ 487.030,99 (quatrocentos e oitenta e sete mil e trinta reais e noventa e nove centavos).

V.1.2- A **EMBRAPII** custeará 54,77% (cinquenta e quatro vírgula setenta e sete por cento) dos recursos financeiros do Projeto, por meio do aporte financeiro de R\$ 589.641,36 (quinhentos e oitenta e nove mil, seiscentos e quarenta e um reais e trinta e seis centavos).

V.1.3- A UFSCar, representando a UNIDADE EMBRAPII-UFSCar-Materiais em Estruturação, para além de todo o aporte intangível, inerente ao conhecimento prévio, know-how, pesquisas e atividades previamente realizadas, contribuirá com o Projeto por meio de contrapartida não financeira (econômica) correspondente ao montante de R\$ 710.119,64 (setecentos e dez mil, cento e dezenove reais e sessenta e quatro centavos).

V.1.4- O valor total do Projeto equivale à R\$ 1.786.791,99 (um milhão, setecentos e oitenta e seis mil, setecentos e noventa e um reais e noventa e nove centavos), correspondendo a soma das contribuições financeiras e não financeiras (econômica) das Partes, conforme anteriormente disposto.

V.2- A FAI•UFSCar gerenciará os recursos financeiros recebidos no âmbito deste acordo, garantindo o controle contábil/financeiro específico destes recursos, conforme estabelecido no Projeto de Extensão.

V.2.1- Os recursos financeiros da conta do Projeto devem ser objeto de aplicação de baixo risco. Os rendimentos decorrentes devem obrigatoriamente ser informados à EMBRAPII pelo sistema de acompanhamento, e revertidos exclusivamente aos objetivos do Plano de Ação da UNIDADE EMBRAPII-UFSCar-Materiais em Estruturação, salvo disposição em contrário contida em Orientação Operacional dos programas de parcerias estratégicas da EMBRAPII.

V.3- Do valor total apresentado na subcláusula V.1 acima, a FAI•UFSCar deverá destinar os recursos financeiros, conforme especificado na planilha orçamentária do Projeto aprovado pelo Conselho de Extensão da UFSCar da seguinte forma:

V.3.1- A importância financeira de R\$ 808.653,55 (oitocentos e oito mil, seiscentos e cinquenta e três reais e cinquenta e

cinco centavos) para cobertura das despesas relativas à execução do Projeto de Extensão;

V.3.2- A importância de R\$ 107.667,23 (cento e sete mil, seiscentos e sete reais e vinte e três centavos) a título de ressarcimento das despesas administrativas e operacionais da FAI-UFSCar, conforme aprovado pelo Conselho Deliberativo da FAI-UFSCar e pelo Conselho de Extensão;

V.3.3- As importâncias estimadas como retribuição pelo uso do patrimônio, tangível ou intangível, nome e imagem, redes de tecnologia de informação, conhecimento e documentação acadêmicos da UFSCar, a ser incorporada ao Fundo de Apoio das Atividades de Extensão – FAEX, gerido pela Pró-Reitoria de Extensão da UFSCar, e como ressarcimento pela utilização da infraestrutura, laboratórios, salas de aula, recursos humanos, materiais de apoio e de escritório, a ser incorporada ao Fundo de Apoio às Atividades de Extensão do Departamento ou Unidade Executora – FAED, gerido pela Pró-Reitoria de Administração da UFSCar, estão isentas para esse Projeto, conforme aprovado pelo Conselho de Extensão.

V.3.4- A importância de R\$ 160.351,56 (cento e sessenta mil, trezentos e cinquenta e um reais e cinquenta e seis centavos) a título de ressarcimento das despesas administrativas e operacionais da UNIDADE EMBRAPII-UFSCar-Materiais em Estruturação, conforme previsto nas disposições do Manual de Operações EMBRAPII.

2.2- Do valor de R\$ 487.030,99 (quatrocentos e oitenta e sete mil e trinta reais e noventa e nove centavos), mencionado no item **V.1.1** do Acordo, do qual R\$ 287.030,99 (duzentos e oitenta e sete mil e trinta reais e noventa e nove centavos) já foram quitados pela ARCELORMITTAL por meio da nota fiscal 9178; e o valor de R\$ 200.000,00 (duzentos mil reais) acrescidos pelo presente termo, será aportado pela ARCELORMITTAL, mediante apresentação de documento fiscal emitidos pela FAI-UFSCar, com vencimento de acordo com a tabela abaixo:

Parcela	Valor	Vencimento
1	R\$ 150.000,00	Nas assinaturas do presente aditivo
2	R\$ 50.000,00	Fevereiro/2026

CLÁUSULA TERCEIRA – DA PRORROGAÇÃO DA VIGÊNCIA

3.1 O presente Aditivo, entra em vigor a partir da data de sua assinatura e prorroga a vigência do Acordo para até 31 de dezembro 2026.

CLÁUSULA QUARTA – DA RATIFICAÇÃO

4.1 Permanecem válidas e inalteradas as demais disposições do Acordo, não alteradas por este Termo Aditivo.

E POR ESTAREM ASSIM JUSTAS E ACORDADAS, as Partes assinam eletronicamente o presente Termo, acompanhadas das testemunhas abaixo identificadas.

São Carlos, assinado e datado eletronicamente.

Dra. Ana Beatriz de Oliveira
Reitora – UFSCar

Targino de Araújo Filho
Diretor Executivo – FAI•UFSCar

Nome: Kioshi Marcio Kaneko
Cargo: Gerente de Pesquisa em Processo – **ARCELORMITTAL BRASIL S/A**

Nome: Gladistone de Souza Guerra
Cargo: Gerente de Pesquisa em Prod. e Aplicação - **ARCELORMITTAL BRASIL S/A**

Ciente e de Acordo:

Piter Gargarella
Coordenação Técnica

Ernesto Chaves Pereira de Souza
Coordenação Geral

Testemunhas:

1- _____
Nome: Luan Ariel de Oliveira
E-mail: luan.oliveira@fai.ufscar.br

2- _____
Nome: Mariane G. de Miranda Salustre
E-mail: mariane.salustre@arcelormittal.com.br



EMBRAPII: Uso de sucata de usinagem de aço inoxidável na produção de pó metálico para aplicação em manufatura aditiva

Projeto EMBRAPII UFSCar-Arcelor Mittal

Proponentes:

- Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
- Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa)
- Unidade EMBRAPII-UFSCar (Materiais Avançados)
- ArcelorMittal Tubarão

Equipe:

- Professor Piter Gargarella, Coordenador do Projeto (DEMa/UFSCar)
- Professor Claudemiro Bolfarini, Integrante (DEMa/UFSCar)
- Professor Cláudio S. Kiminami, Integrante (DEMa/UFSCar)
- Dr. Mariane G. M. Salustre, Integrante (ArcelorMittal Tubarão)
- MSc. João Batista Ribeiro Martins, Integrante (ArcelorMittal Tubarão)
- Eng. Murilo Loureiro (ArcelorMittal Tubarão)
- Alunos de Graduação-DEMa (03) e mestrando PPGCEM-DEMa (01)

27/06/2025

1. Síntese do Projeto

Modalidade: Acordo de Cooperação Institucional EMBRAPII-UFSCar (Materiais Avançados).

Duração: 36 meses

Valor total do projeto: R\$ 1.786.791,99

Valor da contrapartida ArcelorMittal (28.2 %): R\$ 487.030,99

Valor da contrapartida UFSCar (38.8 %): R\$ 710.119,64

Valor da contrapartida EMBRAPII (33.0 %): R\$ 589.641,36

Identificação dos objetivos a serem atingidos:

O objetivo do presente trabalho é avaliar o uso de sucata de usinagem de aço inoxidável e de cobre na produção de pós metálicos para aplicação em manufatura aditiva (MA), buscando aumentar o valor agregado da sucata. Serão comparados os pós e peças fabricados por MA a partir desses materiais reciclados com aqueles obtidos utilizando material virgem.

Etapas

1. Produção e caracterização de pó de aço 316L utilizando material virgem (material de referência).

-Duração de 12 meses.

-Principais entregáveis:

- i. 15 Kg de pó de aço 316L (material de referência);
- ii. Resultados da caracterização física, morfológica e microestructural dos pós produzidos.

2. Produção de lingotes de aço 316L a partir de sucata de usinagem.

-Duração de 6 meses.

-Principais entregáveis:

- i. Desenvolvimento do processo de limpeza mecânica/química da sucata de usinagem;
- ii. 30 Kg de lingotes de aço 316L obtidos a partir de sucata de usinagem;
- iii. Resultados da caracterização microestrutural e química dos lingotes.

3. Produção e caracterização de pó de aço 316L obtido a partir da sucata de usinagem.

-Duração de 12 meses.

-Principais entregáveis:

- i. 15 Kg de pó de aço 316L obtido a partir de sucata de usinagem;
- ii. Resultados da caracterização física, morfológica e microestrutural dos pós produzidos.

4. Fabricação de peças por Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF) utilizando pó de aço 316L obtido com material virgem e com material reciclado e caracterização das peças produzidas.

-Duração de 18 meses.

-Principais entregáveis:

- i. Peças impressas utilizando os pós de aço 316L reciclado e virgem;
- ii. Resultados da caracterização química, mecânica e microestrutural das peças obtidas.

5. Produção de pó de cobre virgem (material de referência) e de pó de cobre reciclado (obtido a partir de sucata de usinagem), fabricação de peças por LPBF utilizando esses pós e caracterização dos pós e peças produzidos.

-Duração de 12 meses.

-Principais entregáveis:

- i. 15 Kg de pó de cobre puro (material de referência) e 15 Kg de pó de cobre reciclado;
- ii. Resultados da caracterização física, morfológica e microestrutural dos pós produzidos.
- iii. Peças impressas utilizando os pós de cobre reciclado e virgem;
- iv. Resultados da caracterização química, mecânica e microestrutural das peças obtidas.

Acompanhamento bimestral, com síntese dos macro entregáveis a cada 06 meses.

2. Justificativa e objetivos

A Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF) é a principal técnica de manufatura aditiva de metais [1]. Através dela, peças com geometrias complexas são produzidas camada por camada. A Figura 1 mostra o princípio de funcionamento do método de LPBF. Inicialmente, uma camada de pó de espessura predeterminada é colocada sobre um substrato (Figura 1(a)). Em seguida, ocorre a fusão seletiva de regiões da camada de pó (Figura 1(b)) de acordo com um modelo da peça feito em CAD. Cada camada é uma fina secção do modelo e quanto mais fina esta for, mais próxima do modelo será a peça final. O Substrato é então recuado para o interior da câmara (Figura 1(c)) e uma nova camada de pó é colocada, ocorrendo novamente a fusão seletiva por laser. O metal fundido adere a camada anterior e se solidifica rapidamente. O processo se repete até que a peça final seja obtida.

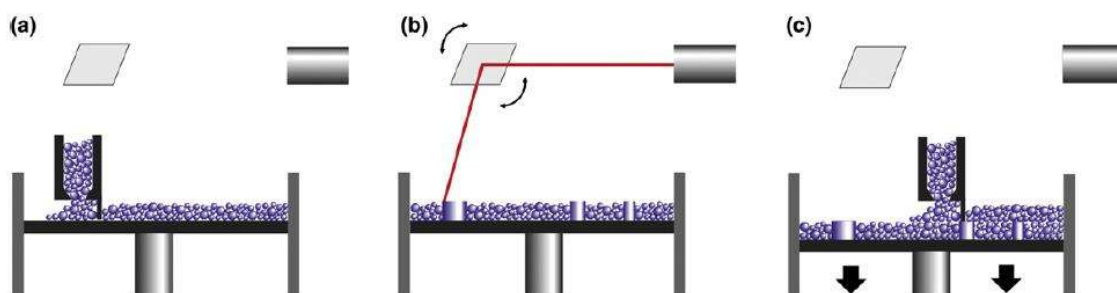
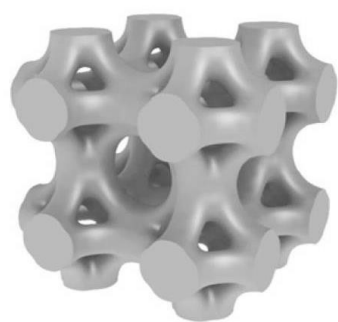


Figura 1 – Representação esquemática do processo de Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF) [2]. **(a)** Uma camada de pó é colocada em um substrato. **(b)** O feixe de laser irá então fundir regiões da camada de pó definidas previamente através do desenho em CAD. A região fundida irá solidificar rapidamente, formando parte da peça. **(c)** Na etapa seguinte, o substrato é recuado para o interior da câmara e uma nova camada de pó é colocada. O processo então se repete até que a peça desejada seja obtida.

Uma das principais características desse tipo de processamento é a versatilidade. É possível a produção de peças com formas intrincadas, dimensões variadas e elevada precisão dimensional. *Designs* especiais como *scaffolds* e peças com vários canais internos podem ser fabricadas e suas densidades customizadas (Figura 2). É importante mencionar que esses tipos de peças só podem ser fabricadas pelo método de manufatura aditiva [1]. Outra vantagem é o aproveitamento de toda a matéria prima inicial, visto que o pó não utilizado durante a fusão por laser pode ser reaproveitado novamente na produção de outro componente. Essa técnica

possui menos de 30 anos de uso [1] e tem sido utilizada principalmente na produção de peças de ligas tradicionais a base de Fe [3-5], Ti [6, 7] e Al [8-10].



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Scaffold com módulo elástico isotrópico e capacidade de carga maximizada [11]. (b) Peça produzida por LPBF. A peça possui vários canais internos possíveis de serem feitos apenas através de técnicas de manufatura aditiva [12].

Embora conceitualmente simples, sabe-se que o processo de LPBF é influenciado por mais de 100 variáveis diferentes [13] e faz-se necessário um estudo minucioso da influência dos principais parâmetros na qualidade da peça a ser produzida. Uma das principais variáveis do processo de LPBF é o tipo de pó utilizado. A composição química do pó é importante pelas propriedades que ela confere. Por exemplo, características como condutividade térmica, capacidade térmica, calor latente de fusão e ponto de fusão influenciam diretamente no balanço de calor do processo. Baixas pressões de vapor podem levar à indesejada evaporação de material e a refletividade no comprimento de onda do laser utilizado pode levar ao requerimento de maior ou menor fornecimento de energia [13].

O pó deve apresentar uma distribuição Gaussiana de tamanho de partículas, com tamanho médio inferior a 75 μm [14]. Uma distribuição estreita de tamanho de partículas irá garantir maior fluidez do pó metálico e uniformidade da poça de fusão, de modo que partículas menores preencham espaços vazios deixados pelas maiores. Isso garante maior densidade e, conseqüentemente, melhores propriedades mecânicas para a peça processada. A literatura demonstra que o tamanho médio do pó d_{50} deve ser menor que 63 μm , porém o tamanho não pode ser muito pequeno, uma vez que aglomerados podem ser formados, o que prejudica a fluidez do pó.

A morfologia também é uma característica bastante importante [15-17]. Partículas com morfologia esférica possuem maior fluidez e conseqüente maior empacotamento, o que auxilia na uniformidade das camadas ao serem processadas. Além disso, ausência de porosidade e

partículas satélites são importantes, uma vez que melhoram as propriedades mecânicas do produto final e o desempenho do pó, respectivamente. Ademais, pode-se citar a rugosidade superficial, que influencia na absorvidade da energia do LASER.

Pós com uma alta umidade tem sua fluidez diminuída e por isso devem passar por processos de secagem depois da fabricação e serem estocados em lugares com atmosfera controlada. Devido ao fato dos pós utilizados em manufatura aditiva geralmente terem distribuição de tamanho menor que aqueles utilizados em processos convencionais de metalurgia do pó, faz-se necessário o desenvolvimento de novos procedimentos de secagem e manipulação do pó. O controle da oxidação das partículas também é importante uma vez que óxidos podem remanescer mesmo após o processo de MA.

O método mais utilizado para a produção de pó metálico para o processo de manufatura aditiva é a atomização a gás, devido principalmente a alta produtividade e baixo custo desse processo. Pós metálicos são formados devido a fragmentação do fluxo de metal fundido através de gases (ar, nitrogênio, argônio ou hélio) em alta velocidade. Portanto, a atomização ocorre pela transferência de energia cinética do meio de atomização para o metal. Logo, a razão gás/metál (taxa de gás/taxa de metal) é o fator dominante no controle do tamanho das partículas, uma vez que o tamanho médio das partículas é inversamente relacionado à raiz quadrada da razão gás/metál [18].

Uma explicação detalhada do processo de atomização a gás é feita baseando-se na Figura 3. Em um primeiro momento, o material é depositado em um cadinho, onde ocorrerá sua fusão através de forno de indução. Ainda no cadinho, pode-se observar o conjunto existente entre termopar e o *stop rod*, vareta cerâmica que fecha o orifício inferior do cadinho, impossibilitando o vazamento do metal fundido. Considera-se este primeiro agrupamento como “câmara de fusão”. Posteriormente, quando se alcança a temperatura de vazamento desejada, o *stop rod* é levantado e o metal fundido pode fluir pelo orifício inferior no cadinho (bocal), e é por lá que o material é vazado para a câmara de atomização, devido às diferenças de pressões entre a câmara de fusão e a de atomização ou, até mesmo, devido à pressão atmosférica. Dessa maneira, o fluxo de metal fundido será atomizado através da utilização de jatos de gás em alta pressão, e, conseqüentemente as partículas se solidificam durante a queda. Também ocorre a formação de *splats* que são pequenas folhas ou placas que sofreram quebra ineficiente (incompleta) e se aderem na parede do atomizador ou, então, se dirigem ao coletor. A última etapa é a coleta do pó atomizado nos coletores, que são de dois tipos: um logo abaixo da câmara de atomização, sendo que é neste que o pó mais grosseiro se deposita; e um segundo coletor que é visto ao lado da câmara, chamado de ciclone, o qual recolhe o pó mais fino.

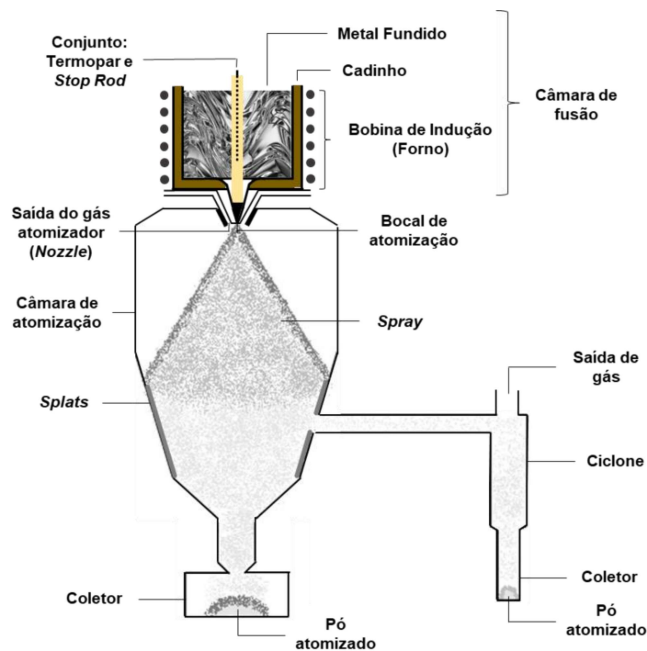


Figura 3 – Figura esquemática de um atomizador a gás, identificando seus principais componentes.

Uma grande gama de variáveis afetam o processo de atomização a gás, como a distância dos jatos de gás até a corrente de metal líquido, velocidade e vazão de gás, velocidade e vazão de metal, geometria e ângulo do nozzle, temperatura de vazamento e tensão superficial do material, entre outras [19]. Algumas dessas variáveis são relacionadas ao tipo de equipamento utilizado e portanto são fixas, como o tipo de processo e *nozzle* utilizado, pressão máxima de gás, etc. Outras variáveis como temperatura de fusão, diâmetro do bocal e pressão de atomização podem ser ajustadas de forma a otimizar o processo visando aumentar a quantidade de pó com as características específicas para o processo de LPBF (tamanho de partículas abaixo de 75 microns, superfície do pó lisa e morfologia esférica, com reduzida quantidade de defeitos como porosidade e partículas satélites). Como estas variáveis dependem da composição química da liga, a otimização quantitativa exige análise caso a caso. Essas propriedades terão impacto significativo na fluidez do pó e no empacotamento das camadas, e consequentemente, na densidade e porosidade dos componentes fabricados [16, 20]. Ferramentas estatísticas como Design de Experimentos (DOE), gráfico de pareto, diagrama de efeitos principais (main effects plots) e coeficiente de correlação de Spearman podem ser utilizados nesse processo de otimização.

Depois que o pó com as características ideais é produzido, processo de secagem e armazenamento adequado são necessários para manter sua fluidez. Esse condicionamento

depende do tipo de pó produzido e detalhes como temperatura e tempo de secagem e forma de armazenamento (em vácuo ou em atmosfera seca) precisam ser determinados.

Frente a isso, o objetivo do presente trabalho é avaliar o uso de sucata de usinagem de aço inoxidável e de cobre na produção de pós por atomização a gás e de peças por manufatura aditiva por LPBF, buscando aumentar o valor agregado da sucata. O pó e as peças de aço e de cobre obtidas a partir da sucata serão comparados com aqueles obtidos a partir de material virgem, com o intuito de observar as principais diferenças na qualidade e propriedades do pó e peças produzidas.

3. Detalhamento Técnico

O projeto será dividido em 2 partes referentes a sucata e material virgem, como mostrado na figura 4. A primeira parte é dedicada ao processamento das sucatas (cavacos de usinagem) de aço 316L e cobre. Será realizada a preparação das sucatas, com posterior fusão e produção de pós por atomização a gás. Esses pós serão então utilizados na manufatura aditiva por Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF). Tanto os pós quanto as peças fabricadas por LPBF serão caracterizadas. A segunda parte é dedicada ao processamento do aço 316L e cobre virgens, que serão considerados as referências para o presente trabalho. O aço 316L e cobre virgens serão atomizados a gás para a produção de pó, sendo estes posteriormente processados por LPBF. Os pós e as peças LPBF produzidos com os materiais virgens também serão caracterizados. Será realizada uma comparação das propriedades dos pós e peças fabricadas por manufatura aditiva utilizando material virgem e reciclado.

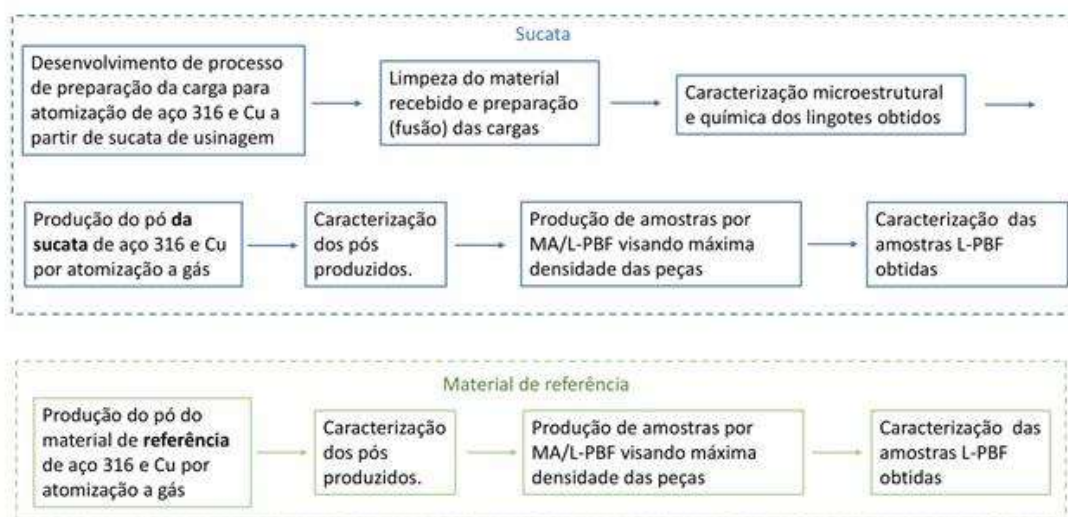


Figura 4 – O presente trabalho será dividido em duas partes como mostrado na figura. A parte 1 será sobre o processamento das sucatas de aço e de cobre e a parte 2 será sobre o processamento do aço e de cobre virgens, que serão os materiais de referência.

Detalhamento das etapas

WP1. Produção e caracterização de pó de aço 316L utilizando material virgem (material de referência).

Objetivo: Preparar pó de aço 316L por atomização a gás utilizando material virgem e realizar sua caracterização. Esse material será utilizado na comparação com o material preparado a partir de sucata.

Metodologia: a ArcelorMittal irá fornecer tarugos do aço 316L. Será realizada análise térmica desse material por calorimetria diferencial de varredura para determinação da temperatura liquidus e será analisada a composição química por ICP-OES e S-OES. Posteriormente esse material será atomizado a gás no Laboratório de Atomização e Revestimento do DEMa/UFSCar utilizando os parâmetros de processo que maximizam produção de partículas de morfologia esférica com diâmetro médio em torno de 40 microns. O pó obtido será separado por peneiramento, determinando o diâmetro médio de partículas e distribuição mássica por tamanho. As partículas com tamanho de interesse para a manufatura aditiva terão sua morfologia e microestrutura caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura e ótica e medição da densidade relativa e fluidez por funil de Hall ou Carney.

Entregáveis: 15 Kg de pó de aço 316L obtido a partir de material virgem e caracterização física, morfológica e microestrutural desses pós.

Duração: 12 meses.

WP2. Produção de lingotes de aço 316L a partir de sucata de usinagem.

Objetivo: Produção de lingotes de aço 316L a partir de sucata de usinagem para serem utilizados na produção de pó por atomização a gás.

Metodologia: a ArcelorMittal irá fornecer cerca de 45 Kg de sucata de usinagem de aços inoxidáveis. Essa sucata é uma mistura dos aços inoxidáveis austeníticos 304 e 316. Será desenvolvido processo de limpeza mecânica/química da sucata de usinagem. Na sequência será realizada a fusão, ajustando a composição do material para obter no final aço 316L, e

tratamento do fundido visando limpeza e garantia da composição química desejada. Serão preparados lingotes em quantidade e geometria adequada para o processo de atomização a gás. O material obtido sofrerá caracterização microestrutural e química por ICP-OES e S-OES e também será realizada análise térmica por calorimetria diferencial de varredura para determinação da temperatura liquidus.

Entregáveis: desenvolvimento de metodologia de limpeza mecânica/química da sucata de usinagem, preparação de 30 Kg de lingotes de aço 316L a partir da sucata, e caracterização microestrutural e química dos lingotes.

Duração: 6 meses.

WP3. Produção e caracterização de pó de aço 316L obtido a partir da sucata de usinagem.

Objetivos: Preparar pó de aço 316L por atomização a gás utilizando sucata de usinagem e realizar sua caracterização. Os resultados serão comparados com os resultados obtidos no WP1.

Metodologia: o material obtido no WP2 será atomizado a gás no Laboratório de Atomização e Revestimento do DEMa/UFSCar utilizando os parâmetros de processo que maximizam produção de partículas de morfologia esférica com diâmetro médio em torno de 40 microns. O pó obtido será separado por peneiramento, determinando o diâmetro médio de partículas e distribuição mássica por tamanho. As partículas com tamanho de interesse para a manufatura aditiva terão sua morfologia e microestrutura caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura e ótica e medição da densidade relativa e fluidez por funil de Hall ou Carney.

Entregáveis: 15 Kg de pó de aço 316L obtido a partir de cavaco de usinagem e caracterização física, morfológica e microestrutural dos pós produzidos.

Duração: 12 meses.

WP4. Fabricação de peças por Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF) utilizando pó de aço 316L obtido com material virgem e com material reciclado e caracterização das peças produzidas.

Objetivo: produzir peças pelo método de manufatura aditiva de LPBF utilizando pó obtido de material reciclado e de material virgem, com a caracterização posterior das peças obtidas. Será realizada a comparação das propriedades das peças obtidas com esses dois tipos de materiais.

Metodologia: Produção de amostras com forma quadrática ou cilíndrica por Fusão em Leito de

Pó à Laser (LPBF) no Laboratório de Processamento por Laser do DEMa/UFSCar. Determinação dos parâmetros ótimos (potência, velocidade, superposição de trilhas e estratégia de varredura) tendo como critérios a máxima densidade (a densidade será medida pelo método de Arquimedes). Produção de amostras para ensaios de tração por LPBF utilizando os parâmetros ótimos determinados. Medida de densidade pelo método de Arquimedes e caracterização do comportamento mecânico (Dureza e ensaio de tração) utilizando máquina universal de ensaios mecânicos INSTRON. Caracterização microestrutural e das fases formadas por microscopia eletrônica de varredura e ótica e difração de raios X.

Entregáveis: Peças impressas utilizando os pós de aço 316L reciclado e de referência e caracterização química, microestrutural e mecânica das peças obtidas.

Duração: 18 meses.

5. Produção de pós de Cu virgem (material de referência) e de Cu reciclado (obtido a partir de sucata de usinagem), fabricação de peças por LPBF utilizando esses pós e caracterização dos pós e peças obtidas.

Objetivo: Preparar pós de cobre por atomização a gás utilizando material virgem e sucata de usinagem e realizar suas caracterizações, comparando os resultados obtidos. Produzir peças pelo método de manufatura aditiva de LPBF utilizando esses pós, com a caracterização posterior das peças obtidas. Será realizada a comparação das propriedades das peças obtidas com material virgem e reciclado.

Metodologia: O cavaco de usinagem de cobre será preparado como definido no WP2, seguindo mesmo procedimento utilizado na preparação da sucata de aço. O lingote de cobre reciclado e de material virgem serão atomizados a gás no Laboratório de Atomização e Revestimento do DEMa/UFSCar utilizando os parâmetros de processo que maximizam produção de partículas de morfologia esférica com diâmetro médio em torno de 40 microns. Os pós obtidos serão separados por peneiramento, determinando o diâmetro médio de partículas e distribuição mássica por tamanho. As partículas com tamanho de interesse para a manufatura aditiva terão sua morfologia e microestrutura caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura e ótica e medição da densidade relativa e fluidez por funil de Hall ou Carney. Será também realizada a produção de amostras com forma quadrática ou cilíndrica por Fusão em Leito de Pó à Laser (LPBF) no Laboratório de Processamento por Laser do DEMa/UFSCar. Será realizada a determinação dos parâmetros ótimos de processo (potência, velocidade, superposição de trilhas

e estratégia de varredura) para esses dois pós, tendo como critérios a máxima densidade (a densidade será medida pelo método de Arquimedes). Será realizada a produção de amostras para ensaios de tração por LPBF utilizando os parâmetros ótimos determinados. Elas terão sua densidade medida pelo método de Arquimedes, tendo posteriormente seu comportamento mecânico caracterizado através de ensaio de dureza e ensaio de tração, utilizando máquina universal de ensaios mecânicos INSTRON. Também será realizada caracterização microestrutural e das fases formadas por microscopia eletrônica de varredura e ótica e difração de raios X.

Entregáveis: 15 Kg de pó de cobre puro e 15 Kg de pó de cobre reciclado obtido a partir de cavaco de usinagem e caracterização física, morfológica e microestrutural dos pós produzidos. Peças impressas utilizando os pós obtidos de material reciclado e de material virgem e caracterização química, microestrutural e mecânica das peças obtidas.

Duração: 12 meses.

Cronograma

	Tarefas	2024			2025			2026		
WP1	Produção e caracterização de pó de aço 316L utilizando material virgem (material de referência).									
WP2	Produção de lingotes de aço 316L a partir de sucata de usinagem.									
WP3	Produção e caracterização de pó de aço 316L obtido a partir da sucata de usinagem.									
WP4	Fabricação de peças por Fusão em Leito de Pó a Laser (LPBF) utilizando pó de aço 316L obtido com material virgem e com material reciclado e caracterização das peças produzidas.									
WP5	Produção e caracterização de pós de cobre obtidos utilizando material virgem (material de referência) e material reciclado, fabricação de peças por LPBF utilizando esses dois pós e caracterização das peças produzidas.									

4. Plano de aplicação dos recursos financeiros:

Primeira parcela: Dezembro/2024

Aporte ArcelorMittal: R\$ 287.030,99 Aporte Embrapii: R\$ 336.297,51

Segunda parcela: para as assinaturas do presente termo aditivo

Aporte ArcelorMittal: R\$ 150.000,00 Aporte Embrapii: R\$ 190.007,88

Terceira parcela: Fevereiro/2026

Aporte ArcelorMittal: R\$ 50.000,00 Aporte Embrapii: R\$ 63.335,96

5. Previsão inicial de início e fim das atividades:

Início: 01/01/2024

Fim: 31/12/2026

6. Referências bibliográficas

- [1] E.C. Santos, M. Shiomi, K. Osakada, T. Laoui, Rapid manufacturing of metal components by laser forming, International Journal of Machine Tools and Manufacture 46(12) (2006) 1459-1468.
- [2] S. Pauly, L. Löber, R. Petters, M. Stoica, S. Scudino, U. Kühn, J. Eckert, Processing metallic glasses by selective laser melting, Materials Today 16(1) (2013) 37-41.
- [3] J. Krell, A. Röttger, K. Geenen, W. Theisen, General investigations on processing tool steel X40CrMoV5-1 with selective laser melting, Journal of Materials Processing Technology 255 (2018) 679-688.
- [4] J. Lee, J. Choe, J. Park, J.-H. Yu, S. Kim, I.D. Jung, H. Sung, Microstructural effects on the tensile and fracture behavior of selective laser melted H13 tool steel under varying conditions, Materials Characterization 155 (2019) 109817.
- [5] A. Riemer, S. Leuders, M. Thöne, H.A. Richard, T. Tröster, T. Niendorf, On the fatigue crack growth behavior in 316L stainless steel manufactured by selective laser melting,

Engineering Fracture Mechanics 120 (2014) 15-25.

[6] H. Attar, S. Ehtemam-Haghighi, N. Soro, D. Kent, M.S. Dargusch, Additive manufacturing of low-cost porous titanium-based composites for biomedical applications: Advantages, challenges and opinion for future development, *Journal of Alloys and Compounds* 827 (2020) 154263.

[7] N. Soro, H. Attar, X. Wu, M.S. Dargusch, Investigation of the structure and mechanical properties of additively manufactured Ti-6Al-4V biomedical scaffolds designed with a Schwartz primitive unit-cell, *Materials Science and Engineering: A* 745 (2019) 195-202.

[8] J.H. Martin, B.D. Yahata, J.M. Hundley, J.A. Mayer, T.A. Schaedler, T.M. Pollock, 3D printing of high-strength aluminium alloys, *Nature* 549 (2017) 365.

[9] L. Xi, D. Gu, S. Guo, R. Wang, K. Ding, K.G. Prashanth, Grain refinement in laser manufactured Al-based composites with TiB₂ ceramic, *Journal of Materials Research and Technology* 9(3) (2020) 2611-2622.

[10] L. Xi, P. Wang, K.G. Prashanth, H. Li, H.V. Prykhodko, S. Scudino, I. Kaban, Effect of TiB₂ particles on microstructure and crystallographic texture of Al-12Si fabricated by selective laser melting, *Journal of Alloys and Compounds* 786 (2019) 551-556.

[11] V.J. Challis, A.P. Roberts, J.F. Grotowski, L.-C. Zhang, T.B. Sercombe, Prototypes for Bone Implant Scaffolds Designed via Topology Optimization and Manufactured by Solid Freeform Fabrication, *Advanced Engineering Materials* 12(11) (2010) 1106-1110.

[12] <http://www.twi-global.com>).

[13] M. Van Elsen, Complexity of selective laser melting : a new optimisation approach, *Materials Engineering*, KU Leuven, Leuven, 2007.

[14] S. Dietrich, M. Wunderer, A. Huissel, M.F. Zaeh, A New Approach for a Flexible Powder Production for Additive Manufacturing, *Procedia Manufacturing* 6 (2016) 88-95.

[15] R. Baitimerov, P. Lykov, D. Zharebtsov, L. Radionova, A. Shultc, K.G. Prashanth, Influence of Powder Characteristics on Processability of AlSi12 Alloy Fabricated by Selective Laser Melting, *Materials* 11(5) (2018) 742.

[16] D. Herzog, V. Seyda, E. Wycisk, C. Emmelmann, Additive manufacturing of metals, *Acta Materialia* 117 (2016) 371-392.

[17] G. Matsagopane, E.O. Olakanmi, A. Botes, S. Kutua, Conceptual Design Framework for Setting Up Aluminum Alloy Powder Production System for Selective Laser Melting (SLM) Process, *JOM* 71(5) (2019) 1840-1857.

[18] C. Schade, J.J. Dunkley, Atomization[1], in: P. Samal, J. Newkirk (Eds.), *Powder Metallurgy*, ASM International 2015, p. 0.

- [19] A. Lawley, Atomization of Specialty Alloy Powders, JOM 33(1) (1981) 13-18.
- [20] A. Strondl, O. Lyckfeldt, H. Brodin, U. Ackelid, Characterization and Control of Powder Properties for Additive Manufacturing, JOM 67(3) (2015) 549-554.

Piter Gargarella
Coordenação Técnica

Ernesto Chaves Pereira de Souza
Coordenação Geral

Documento**15712_Arcelormittal_UFSCar_EMBRAPII_Aditivo_PiterGargarella****Arquivo:**

Volume_000025\fad4b051d4ad4df98bc03305f833b79a.pdf

Data de envio para o processo de assinatura digital:

11/08/2025 17:55:25 (BRT/UTC-3)

Código de verificação:

C9CA-6F20-0104

Validação e status atual do documento:<https://assina.fai.ufscar.br/app/Documento/Protocolo/C9CA-6F20-0104>**Status**Processo de assinatura do documento finalizado em **14/08/2025****15:46:24 (BRT/UTC-3)**Sincronizado com a Horal Legal Brasileira - Projeto NTP.br
Observatório Nacional e NIC.br

Este processo de assinatura de documento
está em consonância com a MP 2.200-2, de
24 de agosto de 2001, garantindo sua
validade jurídica em todo território brasileiro.

**Assinaturas**

[124.828.817-30] Mariane G. de Miranda Salustre
mariane.salustre@arcelormittal.com.br
Assinou Eletrônico em: 11/08/2025 20:57:55 (BRT/UTC-3)



[215.115.488-27] Piter Gargarella
piter@ufscar.br
Assinou Eletrônico em: 11/08/2025 22:46:32 (BRT/UTC-3)



[214.458.668-38] Ana Beatriz de oliveira
biaoliveira@ufscar.br
Assinou Eletrônico em: 12/08/2025 06:31:12 (BRT/UTC-3)



[360.063.238-85] Luan Ariel de Oliveira
luan.oliveira@fai.ufscar.br
Assinou Eletrônico em: 12/08/2025 08:20:59 (BRT/UTC-3)



[108.900.218-13] Ernesto Chaves Pereira de Souza
ernesto@ufscar.br
Assinou Eletrônico em: 12/08/2025 11:30:29 (BRT/UTC-3)



[098.127.908-29] Kioshi Kaneko
kioshi.kaneko@arcelormittal.com.br
Assinou Eletrônico em: 12/08/2025 15:35:03 (BRT/UTC-3)



[911.391.046-91] Gladistone de Souza Guerra
gladistone.guerra@arcelormittal.com.br
Assinou Eletrônico em: 14/08/2025 10:39:08 (BRT/UTC-3)



[020.111.718-57] Targino de Araújo Filho
targino.araujo@fai.ufscar.br
Assinou Eletrônico em: 14/08/2025 15:46:24 (BRT/UTC-3)

Eventos

11/08/2025 17:55:25 [405.949.298-14] Eike Matheus Campanini **publicou**.

[] MARIA ANGELA COELHO DE MELLO **não visualizou**.

[375.779.688-89] Juliana Nayara Aguiar dos Santos **não visualizou**.

12/08/2025 08:10:03 [345.899.398-35] Mariana Barboza Gonçalves **visualizou**.

18/08/2025 10:10:08 [405.949.298-14] Eike Matheus Campanini **visualizou**.

[218.243.888-29] Marcio Henrique Okusu **não visualizou**.

11/08/2025 17:57:45 [264.703.248-35] Marcelo Renato Damin (IP: 200.133.233.101) **autorizou** o processo de assinatura. Visualizou em 11/08/2025 17:56:55.

11/08/2025 20:22:14 [218.555.388-73] Marcelo Ferro Garzon (IP: 189.7.87.48) **autorizou** o processo de assinatura. Não visualizou.

11/08/2025 20:57:55 [124.828.817-30] Mariane G. de Miranda Salustre (IP: 20.201.22.61) **assinou**. Visualizou em 15/08/2025 14:00:27.

11/08/2025 22:46:32 [215.115.488-27] Piter Gargarella (IP: 131.0.202.117) **assinou**. Visualizou em 11/08/2025 22:46:24.

12/08/2025 06:31:12 [214.458.668-38] Ana Beatriz de oliveira (IP: 187.43.166.141) **assinou**. Visualizou em 12/08/2025 06:31:07.

12/08/2025 08:20:59 [360.063.238-85] Luan Ariel de Oliveira (IP: 200.133.233.101) **assinou**. Visualizou em 12/08/2025 08:20:28.

12/08/2025 11:30:29 [108.900.218-13] Ernesto Chaves Pereira de Souza (IP: 179.241.18.140) **assinou**. Visualizou em 12/08/2025 11:30:22.

12/08/2025 15:35:03 [098.127.908-29] Kioshi Kaneko (IP: 189.16.234.147) **assinou**. Visualizou em 12/08/2025 15:35:28.

14/08/2025 10:39:08 [911.391.046-91] Gladistone de Souza Guerra (IP: 189.16.234.52) **assinou**. Visualizou em 14/08/2025 10:39:25.

14/08/2025 15:46:24 [020.111.718-57] Targino de Araújo Filho (IP: 177.34.169.159) **assinou**. Visualizou em 14/08/2025 15:46:16.