



Artigo

# Influência da temperatura de sinterização na resistência à corrosão do aço inoxidável aisi 316l em meio salino, obtido por metalurgia do pó

Pedro Paulo Dos Santos Lima<sup>[1]</sup>, José Pinheiro Da Silva Filho<sup>[2]</sup>, Manoel Quirino Da Silva Júnior<sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup> Universidade Federal Rural do Semi-árido; pedropaulo318@hotmail.com

<sup>[2]</sup> Universidade Federal Rural do Semi-árido; pinheiro\_filho\_@hotmail.com

<sup>[3]</sup> Universidade Federal Rural do Semi-árido; manael.quirino@ufersa.edu.br

Recebido: 27/05/2019;

Aceito: 27/07/2019;

Publicado: 07/10/2019.

**Resumo:** A influência da corrosão nos materiais é objeto de estudo em vários ramos da tecnologia e engenharia, pois a mesma é uma característica muito importante que pode direcionar se tal material deve ser utilizado em aplicações específicas, como por exemplo vigas de sustentação em plataformas de petróleo off-shore (mar), dutos e encaixões. Seguindo esse enfoque que o presente estudo busca analisar amostras de aço inoxidável AISI 316 L, da classe dos aços inoxidáveis austeníticos (% carbono inferior a 0,08). Produzidas por um processo de fabricação relativamente novo, mas que está ganhando destaque no ramo industrial, a metalurgia do pó. Analisaram-se 3 amostras com mesma pressão de compactação (3 toneladas/mm<sup>2</sup>), porém com temperatura de sinterização diferentes: 900 °C, 1000 °C e 1100 °C. O período de ataque corrosivo estipulado para o estudo das mesmas foi cerca de 30 dias, a solução sintetizada segue as informações da norma ASTM D1141 (Métodos para substituição a água oceânica). Após retiradas dos recipientes em que estavam correndo realizaram-se microscopias ópticas nas 3 amostras, observando que o aumento da temperatura influencia em um consequente aumento no nível de corrosão, que apresentou-se predominantemente na forma de pites. Através das microscopias pode-se fazer uma comparação com as anteriores ao processo e observar melhor as mudanças ocorridas.

**Palavras-chave:** Aço inoxidável 316 L; metalurgia do pó; temperatura de sinterização; pressão de compactação; corrosão.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo sobre a influência de agentes externos na ciência dos materiais e engenharia sempre foi bastante desafiador, porque muitos parâmetros devem ser considerados para que o projeto elaborado seja validado. Um dos parâmetros mais observados e estudados no âmbito laboratorial e industrial é a corrosão. Esse fenômeno é caracterizado como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente que está contido aliado ou não a esforços mecânicos, que resultam em alterações indesejáveis no mesmo, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso [1].

Uma alternativa buscada na ciência dos materiais para tentar amenizar esse fator, é o emprego de aços inoxidáveis. Esses materiais são conhecidos justamente por sua característica de suportar maiores níveis de oxidação. Os aços inoxidáveis obtêm essa especificidade intrínseca devido aos teores de cromo contidos no interior do material. A amostra que será analisada é de um tipo de aço inoxidável conhecido como: AISI 316 L. Ele é pertencente da classe dos aços austeníticos que são muito comuns, possuem uma boa resistência à corrosão, elevada tenacidade e boa soldabilidade [2].

Outro parâmetro que é considerado no estudo, que faz um grande diferencial é a forma como as amostras foram adquiridas, ou seja, o processo de fabricação utilizado. No caso do estudo analisaram-se amostras de Aço

Inoxidável 316 L (com molibdênio), produzidas à pressão constante e temperaturas variáveis, pelo processo de sinterização e metalurgia do pó. A metalurgia do pó, apesar de não muito utilizada nas indústrias em comparação a outros processos, se mostra com grande potencial que vem sendo demonstrado por sua crescente nos últimos anos, devido sua versatilidade e gama de aplicações [3]. A mesma é definida basicamente, como sendo um processo físico, termicamente ativo, que faz com que um aglomerado de partículas de determinado material, iniciamente em contato mútuo, adquira resistência mecânica. Um diferencial dessa técnica é a capacidade de um bom monitoramento das propriedades físicas e mecânicas do material utilizado durante o processo de fabricação do mesmo [4].

Enfim, a pesquisa busca trazer resultados experimentais simples, mas ao mesmo tempo coerentes e que expressem de forma clara qual o nível e tipo de corrosão predominante apresentado nessas amostras de aço inoxidável AISI 316 L, após certo período de ataque em solução especificada segundo norma, D1141 da ASTM para preparação de substância de água do mar [5]. Simulando as condições reais segundo o qual esse material possa vir a necessitar em suas aplicações. Com tudo isso, pode-se ao final fazer um comparativo, através da análise metalográfica do aço antes e após o ataque.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aços inoxidáveis

Os aços inoxidáveis são materiais que apresentam como característica principal a resistência à oxidação e corrosão. Esses aços possuem teores de Cromo superiores a 12%, que permite a existência dessa peculiaridade intrínseca. Com isso tornam-se objetos de estudo e aplicações para engenharia, pois além de possuírem as características mencionadas, tem propriedades mecânicas excelentes a altas temperaturas e elevada tenacidade [2].

Eles são classificados em 5 categorias [2]:

- Martensíticos: São ligas Ferro e cromo (11-18%), com teor de carbono, em geral, acima de 0,1%. Possuem composições que interceptam o campo austenítico no diagrama de fases sendo portanto endurecíveis por têmpera. Incluem-se nesta família os aços: (AISI) 403, 410, 414, 416, 420, 431, 440A, B e C, 501.

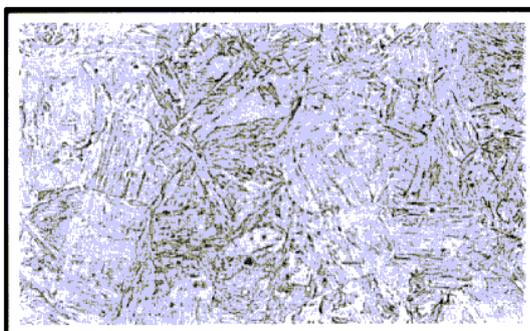


FIGURA 1. Aço inoxidável ABNT 420 - Microestrutura típica. [6]

- Ferríticos: Ligas Fe+Cr essencialmente ferríticas e que não endurecem por têmpera. Com teores de cromo de 16 a 30% e de carbono inferiores a 0,5%. Os principais são: (AISI) 405, 430, 430F, 446, 502.

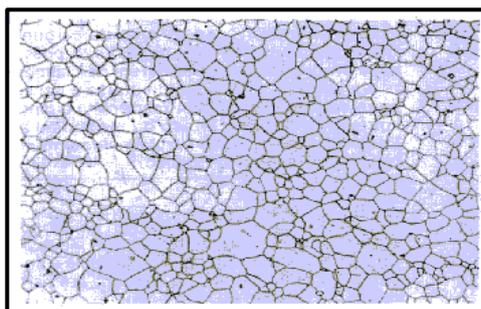


FIGURA 2. Aço inoxidável ferrítico ABNT 409 - Microestrutura típica. [6]

- Austeníticos: São ligas compostas de ferro, cromo (16-30%), níquel (8-35%) e carbono, em geral, inferior a 0,08%, sendo essencialmente austeníticas após o tratamento comercial. Além disso não são magnéticos. Incluem-se aços da família: (AISI) 301, 302, 304, 304L, 308, 310, 316, 316L, 317, 321 e 347. Esses aços são divididos em austeníticos estáveis que matêm sua estrutura mesmo após de serem conformados a frio e metaestáveis que mudam sua estrutura para martensítica. A alta plasticidade e a capacidade de encruamento, permite que esses aços sejam trabalhados a frio até atingir valores excepcionais de limite de escoamento e ruptura [2].

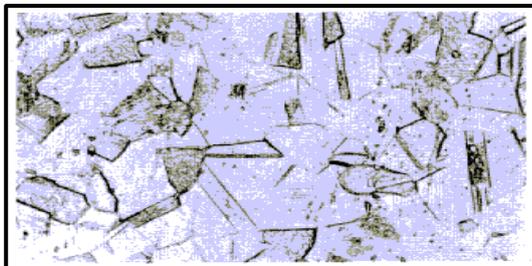


FIGURA 3. Aço inoxidável austenítico ABNT 304 - Microestrutura típica. [6]

- Ferríticos-austeníticos (duplex): Microestrutura com austenita e ferrita em quantidades semelhantes são obtidas com composições balanceadas de ferro, cromo (18-27%), níquel (4-7%), molibdênio (1-4%) e outros elementos como nitrogênio. Apresentam propriedades muito interessantes para diversas aplicações. Incluem-se nesta família: AISI 329, UNS S32304 e S31803.

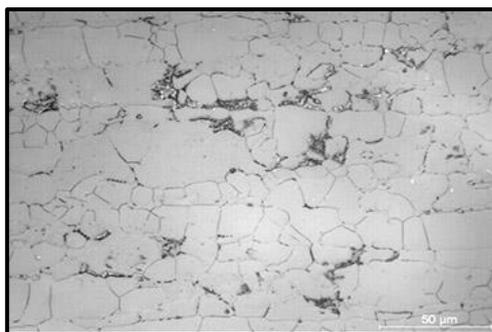


FIGURA 4. Aço inoxidável duplex em ataque eletrolítico. Micrografia. [7]

- Endurecidos por precipitação: São ligas de ferro, cromo (12-17%), níquel (4-8%), molibdênio (0-2%) com adições que permitem o endurecimento da martensita de baixo carbono por precipitação de compostos intermetálicos (alumínio, cobre, titânio e/ou niôbio).

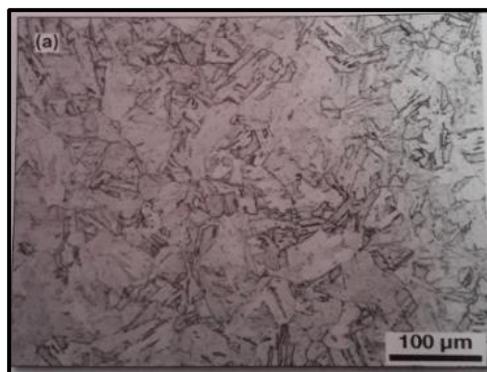


FIGURA 5. Aço inoxidável endurecido por precipitação UNS 17400. Micrografia. [6]

## 2.2 Aço inoxidável AISI 316 L

O aço inoxidável AISI 316 L da classe dos austeníticos possui diversas aplicações, entre elas estão: equipamentos hospitalares, válvulas e peças de tubulações, peças para construção naval, para a indústria

química, petrolífera, têxtil e etc. Em sua composição estão presentes os seguintes elementos: carbono (máx 0,03 %), níquel (12 %), cromo (17 %), molibdênio que o diferencia do AISI 316, com uma porcentagem de 2,5 %, além de outros elementos como manganês e enxofre. O molibdênio também possibilita ao material a característica da resistência à corrosão localizada. Além de possibilitar o aumento a resistência ao ataque corrosivo em meios clorados e não oxidantes. Para se evitar uma diminuição dessa capacidade resistiva do material, deve-se eliminar a carepa formada por processos de solda e conformação a quente. Outras características apresentadas são boa conformabilidade a frio, embora exija mais esforços de conformação do que aços não ligados. No estado solubilizado pode apresentar leve magnetismo que se eleva em função do grau de deformação a frio [8].

TABELA 1. Ficha técnica de aços inoxidáveis. [9]

Aço Inoxidável AISI 316 L (Ficha técnica adaptada)						
Dureza	Fornecimento	Recozimento (°C)	Resistência ao desgaste	Tenacidade	Usinabilidade	Deformação
Máx 180 (HB)	Solubilizado	1050/1070	Ótima	Boa	Média	Ruim

2.3 Metalurgia do pó

A metalurgia do pó é um processo de fabricação não convencional que é utilizado para produzir compostos metálicos ou cerâmicos através da produção do pó e de sua consolidação pela aplicação de pressão e calor sob temperaturas abaixo do ponto de fusão do constituinte majoritário. As etapas de processamento de um material metálico por essa técnica envolvem, entre outras, a obtenção e moagem do pó, bem como a conformação e sinterização de peças a partir do mesmo [10]. A imagem a seguir pode demonstrar resumidamente as etapas do processo:

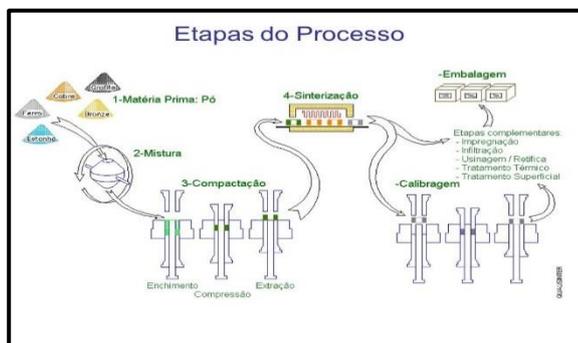


FIGURA 6. Etapas do processo de metalurgia do pó (Generalizado). [11]

O processo é bem versátil por possibilitar a produção de peças com formas definitivas ou praticamente definitivas, dentro de tolerâncias muito estreitas, geralmente sem necessidade de operações de usinagem posteriores ou de qualquer outro tipo de acabamento, além de serem peças com propriedades mecânicas já definidas que são controladas durante o processo de fabricação. Através desse processo peças que seriam praticamente impossíveis de se fabricar por meio de outras técnicas são produzidas, além disso possibilita a obtenção de peças em larga escala, por esse motivo pode ser bastante competitivo [10].

As etapas fundamentais do processo são as seguintes[12]:

**Compactação:** Aplicação de pressão nos pós, à temperatura ambiente, no interior de matrizes, cujas cavidades correspondem normalmente à forma e dimensões finais. Essas pressões são aplicadas por punções na matriz do material a ser fabricado, em que se distribui uma certa quantidade de toneladas por centímetro quadrado. A depender da matriz a ser utilizada, bem como o material a ser produzido essa pressão é escolhida;

**Sinterização:** Aquecimento a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão do metal ou liga metálica considerada, sob condições controladas de temperatura, tempo e ambiente. Essa operação confere a resistência mecânica e outras propriedades obtidas da etapa anterior.

Apesar das várias vantagens essa técnica também apresenta algumas limitações, uma das quais é a quantidade de peças a serem produzidas para que o processo seja competitivo com as técnicas convencionais. Outra limitação importante está relacionada com as dimensões das peças a serem produzidas, que apesar de já existirem algumas técnicas sofisticadas para vencer essa barreira como: a compactação a quente, com o aumento das dimensões das peças são requeridas prensas de compactação de capacidade maior, que apresentam um custo elevado e deixam o processo com um custo-benefício não adequado [12].

## 2.4 Corrosão

A corrosão é definida como sendo um processo de deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causa alterações prejudiciais indesejáveis no material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso [1]. Por esse motivo a corrosão é, claramente, um assunto primordial a ser levado em consideração quando projetam-se estruturas ou outras peças que sofrem degradação pelo ambiente em que estão expostas.

### 2.4.1 Formas de corrosão

Como observamos anteriormente a corrosão é um modo de destruição do material que se espalha através da sua superfície. Ela pode ocorrer sob diferentes formas, e o conhecimento das mesmas é muito importante para estudos que são realizados sobre os processos corrosivos. As formas de corrosão podem ser apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque, suas diferentes causas e mecanismos existentes [1]. Logo abaixo estão as várias formas de corrosão apresentadas:

Uniforme: Se processa em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme de espessura;

Por placas: Se localiza em regiões da superfície metálica e não em toda sua extensão, formando placas com escavações;

Alveolar: Acontece na superfície metálica produzindo sulcos ou alveolos, caracterizado por apresentar fundo arredondado e profundidade geralmente menor que seu diâmetro;

Puntiforme ou pite: Ocorre em pontos ou pequenas áreas localizadas na superfície metálica, produzindo *pites* (cavidades com fundo anguloso e profundidade geralmente maior que seu diâmetro);

Intergranular: Se processa entre grãos da rede cristalina do material metálico, causando a perda de suas propriedades mecânicas quando solicitado ao material esforços mecânicos como tensão fraturante;

Intagranular: Corrosão sob tensão fraturante, porém de menor intensidade que ocorre nos grãos da rede cristalina do material, assim como o anterior perde propriedades mecânicas;

Filiforme: Se processa sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções e que não se cruzam;

Esfoliação: Acontece de forma paralela à superfície metálica. Ocorre em chapas ou componentes extrudados que tiveram seus grão achatados e alongados, criando regiões de inclusão no material;

Grafitica: Ocorre no ferro fundido cinzento em temperatura ambiente e o ferro metálico é convertido em produtos de corrosão, restando a grafita intacta.

Dezincificação: Corrosão ocorrida em ligas de cobre-zinco (latões).

Empolamento pelo hidrogênio: O hidrogênio atômico penetra no material metálico, por ter um pequeno volume se difunde rapidamente para regiões de descontinuidades, exercendo certa pressão e apresenta formato de bolhas;

Em torno do cordão de solda: Ocorre em aços com teores de carbono acima de 0,03% e está localizado em torno do cordão de solda.

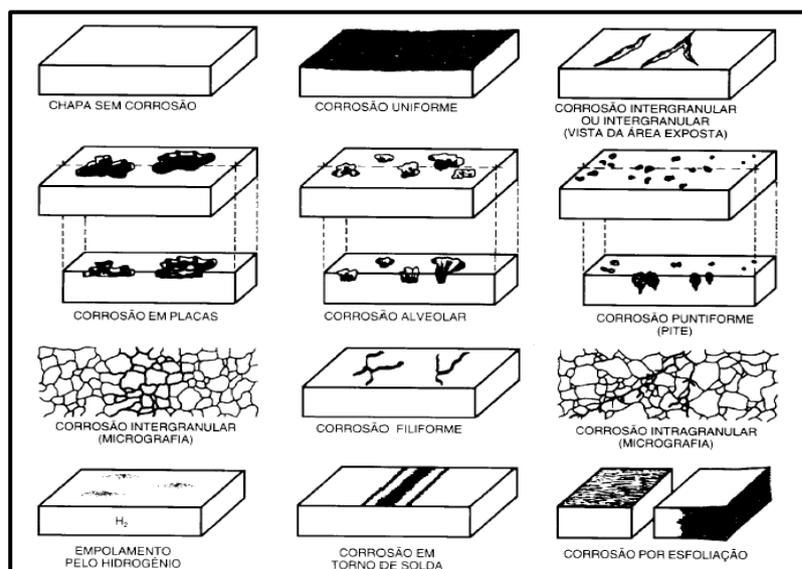
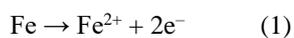


FIGURA 7. Formas de corrosão. [1]

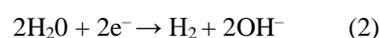
#### 2.4.2 Tipos de corrosão

Corrosão eletroquímica é um processo espontâneo, passível de ocorrer quando o metal está em contato com um eletrólito, onde acontecem, simultaneamente, reações anódicas e catódicas [13]. É mais frequente na natureza e se caracteriza por realizar-se necessariamente na presença de água, na maioria das vezes a temperatura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão. Como exemplo tem-se a formação da ferrugem (Equações 1 a 6).

Reação anódica (oxidação):



Reação anódica (redução):



Neste processo, os íons  $\text{Fe}^{2+}$  se deslocam para a região catódica, enquanto os íons  $\text{OH}^{-}$  direcionam-se para a anódica. Com isso, em uma região intermediária, ocorre a formação do hidróxido ferroso:



Com baixo teor de oxigênio, o hidróxido ferroso sofre a seguinte transformação:



Por sua vez, caso o teor de oxigênio se apresente de forma elevada, tem-se:



Com isso, o produto final da corrosão, ou seja, ferrugem, consiste nos compostos  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (pigmentação preta) e  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (alaranjada).

A corrosão química, também conhecida como seca, por não necessitar de água, corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, sem transferência de elétrons de uma área para outra. No caso

de um metal, o processo consiste numa reação química entre o meio corrosivo e o material metálico, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície. Ex.: Zinco em contato com ácido sulfúrico [13].



Por fim, a *corrosão eletrolítica* se caracteriza por ser um processo eletroquímico, que se dá com a aplicação de corrente elétrica externa, ou seja, trata-se de uma corrosão não-espontânea. Esse fenômeno é provocado por correntes de fuga e ocorre com frequência em tubulações de petróleo e água [13].

### 2.5 Norma ASTM D1141

Como mencionou-se anteriormente, um dos problemas que mais causam danos aos materiais é a corrosão, esse fator está diretamente relacionado com o ambiente em que se encontra a peça, podendo intensificar ou reduzir seu efeito degradativo. Considerando essa problemática, estudos são realizados para tentar simular as condições de tais ambientes. Um local bastante reproduzido em testes experimentais é a solução de água do mar. A mesma é feita com base na norma ASTM D1141 (2013), (*Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water*), que apresenta 3 soluções de estoque para a substituição da água oceânica. A primeira e a segunda são adicionados sal para uma certa quantidade e concentrações específicas de certos elementos químicos em ambas as soluções, como: Cloreto de magnésio  $\text{MgCl}_2$ , Cloreto de potássio  $\text{KCl}$ , ..., a terceira mostra as concentrações de outros elementos químicos, com a adição de metais pesados como exemplo o chumbo (Pb) para se obter a solução de água do mar com essas características [5]. Abaixo está posta uma tabela com os elementos com suas respectivas concentrações que são necessários à solução:

TABELA 2. Componentes químicos de solução de substituição da água do mar. [5]

Componente	Concentração g/L
NaCl	24,53
$\text{MgCl}_2$	5,20
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	4,09
$\text{CaCl}_2$	1,16
KCl	0,695
$\text{NaHCO}_3$	0,201
KBr	0,101
$\text{H}_3\text{BO}_3$	0,027
$\text{SrCl}_2$	0,025
NaF	0,003
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	0,0000994
$\text{Mn}(\text{NO}_2)_2$	0,0000340
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	0,0000308
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	0,0000096
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	0,0000066
$\text{AgNO}_3$	0,00000049

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

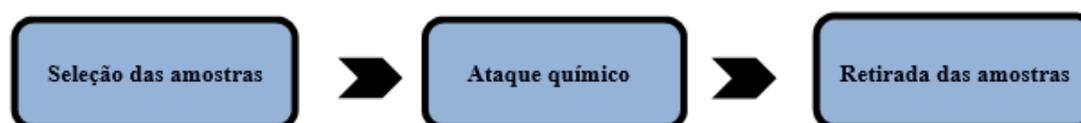


FIGURA 8. Etapas das análises experimentais. (Autoria própria) 2018

### 3.1 Seleção das amostras

O experimento proposto tem como objetivo chave analisar a influência da temperatura de sinterização de aços inoxidáveis que sofreram processo de oxidação, provocados por condições artificiais com base na norma ASTM D1141. Para seleção das amostras foram considerados como parâmetros principais a temperatura de sinterização e pressão de compactação das mesmas, com base no seu processo de fabricação por metalurgia do pó. O aço inoxidável analisado foi o AISI 316 L, da classe dos austeníticos. Como se trata de uma simples análise comparativa foram utilizadas apenas 3 amostras, que tinham sido sintetizadas e realizado o seu estudo metalográfico nos trabalhos de Lopes e Alves (2018). Abaixo apresenta-se uma tabela sobre as mesmas, algumas medições foram realizadas em temperatura ambiente (aprox. 20 °C), tais como dimensões e massa para auxiliar na posterior análise, para esse procedimento foi utilizada uma balança analítica digital: *jugo*, modelo *Fa2204b* com exatidão de 0,1 mg e capacidade máxima de 220 g [14].

TABELA 3. Parâmetros das amostra de aço Inox AISI 316L (antes de colocado na solução corrosiva).  
(Autoria própria) 2018

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Temperatura de sinterização	900 °C	1000 °C	1100 °C
Pressão de compactação	357,7 Mpa	342,35 Mpa	344,12 Mpa
Comprimento	10,430 mm	10,191 mm	2,422 mm
Diâmetro	10,235 mm	10,462 mm	10,435 mm
Massa	4,6036 g	4,8194 g	1,0316 g



FIGURA 9. Balança analítica pesagem. (Autoria própria) 2018 [15].

### 3.2 Ataque químico

A segunda etapa do estudo é a parte em que, colocam-se de fato, as amostras adquiridas do aço Inox AISI 316L para sofrerem o processo corrosivo. Para isso foi preparada uma solução, com base na norma ASTM D1141 (2013), objetivando “simular” as condições que são encontradas em água do mar. Os procedimentos para fabricar a solução desejada seguiram um passo a passo indicado através da norma, onde pode-se verificar os elementos químicos necessários. Esses foram adicionados a um recipiente com água destilada em um volume de cerca de 5 litros. Os elementos foram colocados na solução com auxílio da balança analítica com as seguintes quantidades: Cloreto de potássio-KCl 3,475 g, Cloreto de sódio-NaCl 122,65 g, Cloreto de cálcio-CaCl<sub>2</sub> 5,8g e Cloreto de magnésio-MgCl<sub>2</sub> 26g [5].

Com a solução finalizada as amostras foram colocadas em recipientes menores, preenchidos com volume de aproximadamente 60 ml. O período de experimento foi escolhido como um tempo de cerca de 30 dias, o tempo relativamente longo do período de ataque se deve ao desejo de permitir que as amostras sofressem o máximo de corrosão possível. Outro fator a ser observado era a reposição do líquido que submergia as mesmas, para tentar manter o máximo possível as condições iniciais do experimento. Geralmente, reposições eram realizadas a cada 3 dias.

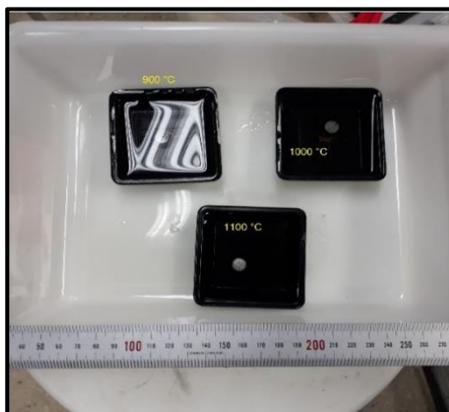


FIGURA 11. Amostras de aço Inox AISI 316L em ambiente corrosivo. (Autoria própria) 2018

### 3.3 Retirada das amostras

A parte final do experimento se dá após período especificado de cerca de 30 dias, é nessa etapa que as amostras foram analisadas e comparadas, tanto entre si, no que se refere as mudanças ocorridas para uma variação de temperatura de sinterização à pressão de compactação constante e entre as metalografias (anterior e posterior à análise), obtidas através da utilização de microscópio óptico invertido *Olympus*, modelo GX51, com câmera digital e polarizador, permitindo uma resolução espacial de 0,1mm [15].

O primeiro procedimento realizado foi o processo de limpeza semelhante ao que fora realizado para colocação das amostras. Porém, nessa etapa deve-se tomar cuidados mais rigorosos com a limpeza para evitar equívocos. Abaixo segue um passo-a-passo de como foi esse processo de limpeza inicial.

- Limpeza em água corrente;
- Limpeza com algodão;
- Utilização de secador elétrico para acelerar e garantir uma melhor secagem da peça.

Vale ressaltar que a utilização do secador foi utilizado somente na retirada das amostras e que seguidamente as mesmas foram envolvidas por plástico filme por algum tempo após sua retirada, pois não puderam ser analisadas de imediato.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por fim, a última parte do estudo sobre a corrosão do aço inoxidável AISI 316 L, obtido por metalurgia do pó se dá logo após a retirada das amostra da solução de água do mar. Nessa etapa foi realizado um estudo metalográfico de cada uma das 3 amostras, com ampliações de 100, 200, 500 e 1000X, observando os procedimentos de limpeza e conservação das mesmas como fora dito anteriormente.

Analisando a amostra 1 (900 °C): Percebeu-se que o material apresentou a predominância de corrosão sob a de (*Pites*), com formatos losangulares em uma intensidade relativamente grande, vale ressaltar que seria interessante o estudo da amostra em outros tipos de microscopia, como a elettrônica, pois poderia facilitar uma melhor visualização da corrosão e defeitos associados. Abaixo estão as imagens referentes a metalografia da amostra, foi escolhida uma ampliação de 200X pelo fato de apresentar uma imagem menos desfocada, possibilitando melhor compreensão das análises:

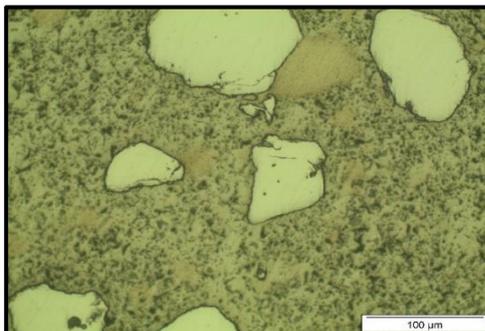


FIGURA 12. Amostra 1 (900°C) microscopia óptica antes do ataque corrosivo, 200X. (Autoria própria)

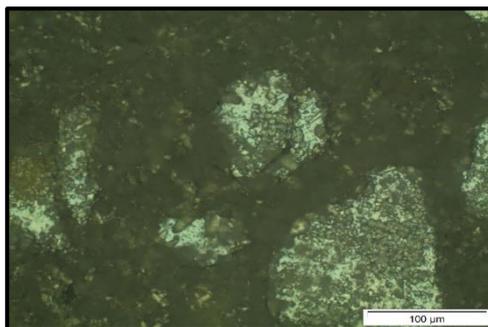


FIGURA 13. Amostra 1 (900°C) microscopia óptica após o ataque corrosivo, 200X. Autoria própria (2018)

Amostra 2 (1000°C): Assim como a amostra anterior notou-se a mesma forma de corrosão apresentada, por pites. Entretanto observou-se a existência dessa corrosão em um grau maior do que a anterior amostra. Segue abaixo as imagens das metalografias da mesma, seguindo o mesmo raciocínio da amostra anterior, a ampliação de 200X foi escolhida por apresentar uma melhor visualização geral:

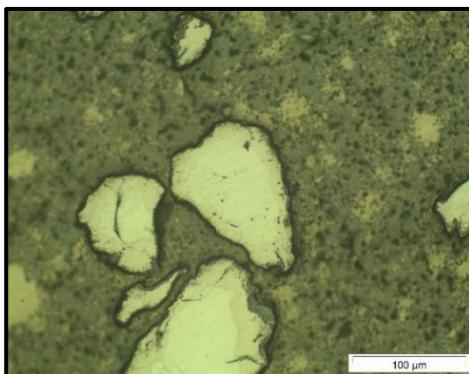


FIGURA 14. Amostra 2 (1000°C) microscopia óptica antes do ataque corrosivo, 200X. (Autoria própria)

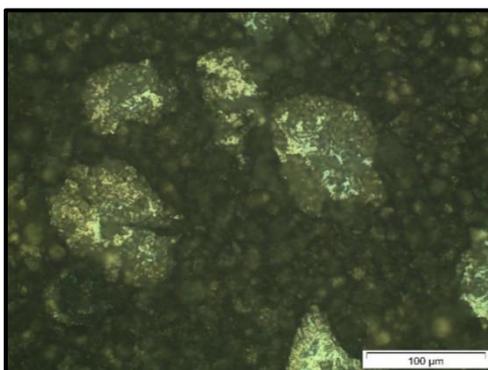


FIGURA 15. Amostra 2 (1000°C) microscopia óptica após o ataque corrosivo, 200X. (Autoria própria)

Por último a amostra 3 (1100 °C) apresentou algumas particularidades referentes à erros praticados durante o processo, um deles foi o fato da amostra não ter sido realizada em concomitância as amostras anteriores, pois a mesma foi fabricada em um período posterior. Além é claro de considerar pequenos erros experimentais que podem ter sido cometidos, assim como nas outras amostras, como: limpeza, preparação da amostra e/ou metalográfica, entre outros. Por esses motivos citados decidiu-se realizar uma macroscopia para evidenciar a corrosão após o ataque químico, pelo motivo de facilitar a visualização, pois observou-se que a relação de corrosão e material foi bastante intensa, gerando planos cristalográficos diferentes que prejudicariam bastante a análise correta. A corrosão como nas outras amostras se apresentou na forma de Pites como nas outras análises anteriores, porém essa última com o maior nível de intensidade das 3, como foi comentado anteriormente. Abaixo estão 3 figuras, uma delas com a microscopia óptica da amostra antes e depois do experimento, assim como nas outras análises e uma macroscopia referente exclusivamente a mesma.

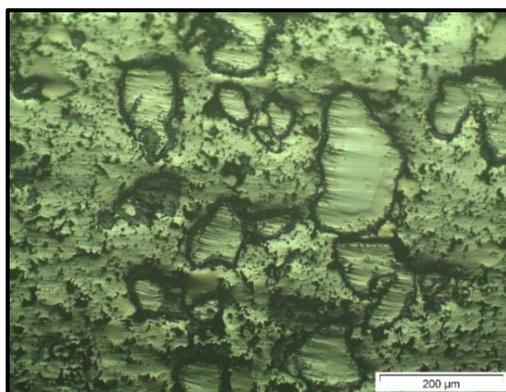


FIGURA 16. Amostra 3 (1100°C) microscopia óptica antes do ataque corrosivo, 100X. (Autoria própria)

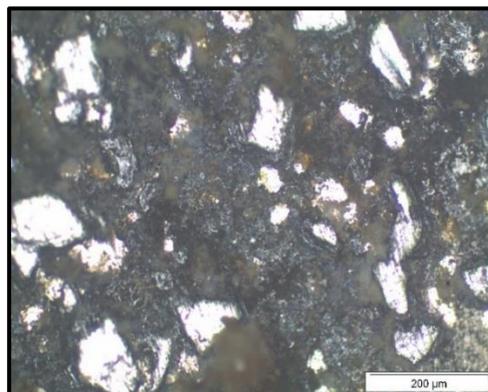


FIGURA 17. Amostra 3 (1100°C) microscopia óptica após o ataque corrosivo, 100X. (Autoria própria)



FIGURA 18. Amostra 3 (1100°C) macroscopia após o ataque corrosivo, 2X. (Autoria própria)

Outro fato que foi evidenciado pelas 3 amostras foi o ganho de massa, isso pode até parecer uma certa contradição, pois como elas passaram por um longo processo corrosivo deveriam reduzir sua massa, porém sabe-se que os materiais fabricados pelo processo de metalurgia do pó, no caso o Aço Inox AISI 316 L podem

se tornar bastante porosos em sua estrutura, pois são adquiridos através de pós metálicos compactados, sendo assim ao passar por um processo como esse, o material vai tender a acumular carepas de corrosão em seu interior, não eliminadas em uma limpeza mais superficial, fazendo com isso que aumente sua massa. Segue a tabela com um panorama geral dos parâmetros das 3 amostras, bem como as alterações notadas após o ataque químico.

TABELA 4. Parâmetros das mostra de aço Inox AISI 316L (retirado da solução corrosiva). (Autoria própria) 2018

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Temperatura de sinterização	900 °C	1000 ° C	1100 ° C
Pressão de compactação	357,7 Mpa	342,35 Mpa	344,12 Mpa
Comprimento	10,427 mm	10,187 mm	2,418 mm
Diâmetro	10,232 mm	10,460 mm	10,309 mm
Massa	4,7368 g	4,9051 g	1,0517 g
Intensidade de corrosão	Moderada/pequena	Moderada	Alta

## 5. CONCLUSÕES

O estudo realizado pode compreender uma característica de fundamental importância no que se refere a aplicação de materiais, a corrosão, com enfoque principal no aço Inoxidável AISI 316 L produzido pelo processo de metalurgia do pó, com pressão de compactação constante.

Pode-se analisar que o efeito corrosivo se intensifica com aumento na temperatura de sinterização durante sua fase de fabricação. Outro fator a ser analisado é a porosidade gerada com a metalurgia do pó, fazendo com que ocorresse um pequeno ganho de massa as amostras. Com base em tudo isso podem ser tomadas conclusões iniciais de como e em quais situações esse tipo de aço deve ser utilizado. Entretanto vale ressaltar que esse estudo ainda pode e deve ser implementado para que se cheguem à soluções mais completas. Caminhos interessantes seriam análises micro-eletrônicas, químicas, de resistência do material, entre outros aspectos importantes.

## REFERÊNCIAS

- [1] GENTIL, Vicente. Corrosão. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- [2] MEI, Paulo R. ; SILVA, André Luiz. Aços e ligas especiais. 3. ed. Sumaré: Blucher, 2010.
- [3] DELFORGE, Daniel Yvan; et al. Sinterização de uma mistura de cavaco de aço inoxidável com pó do mesmo material... Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 1, p. 95 – 100, 2007.
- [4] LOURENÇO, Jorge; MEDEIROS, Katarine; BRITO, F. Iran. Um estudo teórico sobre a sinterização na metalurgia do pó. Revista Holos, Natal, v. 3, n. 23, p. 204 – 211, 2007.
- [5] ASTM – American Society for Testing and Materials. D1141 - Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water. Pensilvânia, 2013.
- [6] COLPAERT, Hubertus. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- [7] ZEEMANN, Annelise. Tecmetal, 2013. Apresenta soluções de engenharia e inovações tecnológicas relacionados aos materiais. Disponível em: <<http://www.tecmetal.com.br/cases.php>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- [8] FAVORIT. 2012. Apresenta informações catalogadas de aços especiais. Disponível em: <<http://www.favorit.com.br/produtos/acos-inoxidaveis/aco-aisi-316-aisi-316-l>>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- [9] FAVORIT. 2012. Apresenta tabela técnica dos aços inoxidáveis AISI. Disponível em: <[http://www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos\\_inoxidaveis\\_0.html](http://www.favorit.com.br/sites/default/files/tabelas/acos_inoxidaveis_0.html)>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- [10] BRAGA, Neila de Almeida; FERREIRA, Neidenêi Gomes. Obtenção de titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó. Revista Química Nova, São José dos Campos, v. 30, n. 2, p. 450-457, 2007.
- [11] CORREA, Edmilson Otoni. 2010. Apresenta slides a respeito do tema metalurgia do pó. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1242773/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

- [12] CHIAVERINI, Vicente, Metalurgia do pó. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2001.
- [13] MERÇON, Fábio; GUIMARÃES, Pedro Ivo; MAINIER, Fernando Benedito. Corrosão: um exemplo usual de fenômeno químico. Revista Química Nova, Rio de Janeiro, v. 1, n. 19, p. 11-14, 2004.
- [14] CENTERLAB. 2015. Apresenta produtos e serviços no atendimento de laboratórios de análises químicas, hospitalares e universidades. Disponível em: <<http://centerlabsp.com.br/produtos/equipamentos-diversos/balancas/balanca-analitica-digital-220g-fa2204b>>. Acesso em: 25 mar. 2018.
- [15] OLYMPUS. 2016. Apresenta equipamentos para análise em laboratório. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/olympus/product-17434-1337063.html>>. Acesso em: 25 mar. 2018.