

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Influência da Geometria do Inseto na
Integridade Superficial e Resistência a Corrosão
em Revestimento Metálico Aspergido**

Daniel Torres Pereira

Prof. Orientador: Tatiane de Campos Chuvas

Prof. Co-Orientador: Humberto Nogueira Farneze

Rio de Janeiro

Junho de 2019

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**Influência da Geometria do Inseto na
Integridade Superficial e Resistência a Corrosão
em Revestimento Metálico Aspergido**

Daniel Torres Pereira

Projeto final apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior
do CEFET/RJ, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientador: Tatiane de Campos Chuvas

Prof. Co-Orientador: Humberto Nogueira Farneze

Rio de Janeiro

Junho de 2019

CEFET/RJ – Sistema de Bibliotecas / Biblioteca Central

P436 Pereira, Daniel Torres
Influência da geometria do inserto na integridade superficial e
resistência a corrosão em revestimento metálico aspergidos / Daniel
Torres Pereira.—2019.
x, 49f. : il. (algumas color.) , graf. , tabs. ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2019.

Bibliografia : f. 46-49

Orientadora : Tatiane de Campos Chuvás

Coorientador : Humberto Nogueira Farneze

1. Engenharia mecânica. 2. Corrosão. 3. Aspersão térmica. 4.
Fresagem. 5. Aspereza de superfície. I. Chuvás, Tatiane de
Campos (Orient.). II. Farneze, Humberto Nogueira (Coorient.). III.
Título.

CDD 620.1

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais Edio e Marianne e ao meu irmão Rômulo que me acompanharam e me deram todo suporte para poder chegar aqui.

À minha namorada Juliana que esteve sempre do meu lado e me apoiou durante este processo.

Aos meus orientadores, professora Tatiane de Campos Chuvas e professor Humberto Nogueira Farneze, pelo incentivo, orientação e dedicação.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, pela infraestrutura e pelo conhecimento fornecido.

Aos amigos da Machfer/Toolset e Sandvik Coromant, Valter e César que forneceram as ferramentas para o estudo.

À todos os amigos que me auxiliaram de alguma forma para realização deste trabalho.

RESUMO

O processo de Aspersão Térmica tem se destacado no mercado pela sua capacidade de proporcionar melhores propriedades mecânicas e de proteger o aço da sua eventual perda de material, através da aplicação de camadas de revestimento. Entretanto, existe uma demanda para ampliação do embasamento da aplicação de processos de usinagem, buscando melhorar a integridade superficial e resistência à corrosão dos revestimentos aspergidos termicamente. Neste sentido, este trabalho analisou a influência da geometria da ferramenta (raio da ponta) na integridade superficial após fresamento e, consequentemente na resistência à corrosão de revestimentos aspergidos. O tipo de Processo de Aspersão Térmica utilizado foi o Arco Elétrico. Foi realizado usinagem do material com uma fresa variando os raios de ponta 0,4mm e 0,8mm, posteriormente foram medidas as rugosidades das seções usinadas. A resistência à corrosão por pites foi avaliada pelo ensaio de potenciodinâmico cíclico em solução de 3,5% de NaCl. Os resultados obtidos no rugosímetro, indicam que a mudança do raio de ponta não influenciou na rugosidade da Liga Fe-Cr-Si-Co, entretanto na Liga Fe-Cr-Si-Ni apresentou valor de rugosidade média significadamente maior no raio de ponta de 0,8mm. Em relação ao ensaio potenciodinâmico cíclico, ambas as ligas apresentaram baixa resistência a corrosão por pite, sendo a Liga Fe-Cr-Si-Co mais resistente a corrosão que a liga Fe-Cr-Si-Ni.

Palavras-chave: Aspersão térmica. Integridade superficial. Corrosão por pite.

ABSTRACT

The Thermal Spray process has been outstanding in the market for its ability to provide better mechanical properties and to protect the steel from its possible loss of material through the application of coating layers. However, there is a demand to increase the base of the application of machining processes, seeking to improve the surface integrity and corrosion resistance of thermally coated coatings. In this sense, this work analyzed the influence of the tool geometry (tip radius) on surface integrity after milling and, consequently, on the corrosion resistance of sprayed coatings. The type of Thermal Spray Process used was the Electric Arc. Machining of the material was performed with a milling cutter varying the 0.4mm and 0.8mm tip radii, after which the roughness of the machined sections was measured. The resistance to pitting corrosion was evaluated by the cyclic potentiodynamic test in 3.5% NaCl solution. The results obtained in the rugosimeter indicate that the tip radius change did not influence the roughness of the Fe-Cr-Si-Co alloy. However, in the Fe-Cr-Si-Co alloy, the mean roughness value was significantly higher in the 0.8mm tip radius. In relation to the cyclic potentiodynamic test, both alloys showed low resistance to pitting corrosion, Fe-Cr-Si-Co alloy being more corrosion resistant than Fe-Cr-Si-Ni alloy.

Key-Words: Thermal Spray. Surface Integrity. Pitting Corrosion.

SUMÁRIO

1. Introdução	11
2. Revisão Bibliográfica	13
2.1. Aspersão térmica	13
2.1.1. Aspersão térmica por arco elétrico	14
2.2. Corrosão	16
2.2.1. Tipos de corrosão	16
2.3. Fresamento	20
2.3.1. Materiais das ferramentas de corte	23
2.3.2. Geometria da Ferramenta de corte	24
2.3.3. Integridade superficial	25
2.4. Fresamento de materiais revestidos aspergidos	28
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Materiais	29
3.2. Métodos	31
3.2.1. Fresamento de topo	31
3.2.2. Ensaio de rugosidade	34
3.2.3. Ensaio de Potenciodinâmico Cíclico	35
4. Resultados e Discussão	38
4.1. Rugosidade	38
4.2. Corrosão por pite	40
Conclusões	44
Sugestão para trabalhos futuros	45
Referência Bibliográfica	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Métodos de aspersão térmica.....	13
Figura 2: Processo de aspersão térmica por arco elétrico [4].....	15
Figura 3: Representação da corrosão por pites [13].....	18
Figura 4: Curvas de polarização anódica de alguns aços inoxidáveis [18].....	19
Figura 5: Curvas representativas da polarização potenciodinâmica cíclica de duas ligas, determinadas a 25°C na solução 3,5% NaCl [17].....	19
Figura 6: Distribuição de calor ferramenta-cavaco-peça [6].....	21
Figura 7: Fresa Tangencial (a) e de topo (b) ([21] modificado).....	22
Figura 8: Ângulos de usinagem [24].....	25
Figura 9: Classificação da integridade superficial [1].....	26
Figura 10: Representação da rugosidade Ra [28].....	27
Figura 11: Espectro de EDS dos elementos de liga da Liga 1 [10].....	30
Figura 12: Espectro de EDS dos elementos de liga da Liga 2 [10].....	30
Figura 13: Fresadora Diplomat 3001- FVF 2000.....	31
Figura 14: Representação esquemática da ferramenta (a) e do inserto de metal duro (b) [6].	32
Figura 15: Montagem para a operação de fresamento.	34
Figura 16: Rugosímetro utilizado no ensaio de rugosidade	34
Figura 17: Montagem do Ensaio em Corrosão.....	35
Figura 18: Esquema de montagem da célula eletrolítica.....	36
Figura 19: Eletrodo de trabalho.....	36
Figura 20: Valores teóricos e experimentais das rugosidades.....	39
Figura 21: Rugosidade média(Ra) do fresamento da liga de Inconel 718 ([34]: modificado).....	40
Figura 22: Curvas de polarização potenciodinâmica cíclica de cada condição avaliada da Liga 1, levantadas mediante ensaios em solução aquosa 3,5% de NaCl.	41
Figura 23: Curvas de polarização potenciodinâmica cíclica de cada condição avaliada da Liga 2, levantadas mediante ensaios em solução aquosa 3,5% de NaCl.	41
Figura 24: Imagens por MO dos pites formados após os ensaios de polarização potenciodinâmica. (a) Liga 1 Raio 0,4. (b) Liga 1 Raio 0,8. (c) Liga 2 Raio 0,4. (d) Liga 2 Raio 0,8.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de aspersão e suas características [4, 8]	14
Tabela 2: Vantagens e desvantagens do uso de aspersão por arco elétrico [9, 10, 11] .	16
Tabela 3: Tipos e características de corrosão [12]	17
Tabela 4: Materiais de ferramenta de corte e suas características [23]	23
Tabela 5: Revestimentos da ferramenta [23].....	24
Tabela 6: Composição química dos arames aplicados (% em peso)	29
Tabela 7: Revestimentos estudados.....	29
Tabela 8: Descrição técnica fresadora Diplomat 3001	32
Tabela 9: Características dos insertos de teste	33
Tabela 10: Parâmetros de corte.....	33
Tabela 11: Parâmetros obtidos das curvas de polarização potenciodinâmica cíclica ...	42
Tabela 12: Parâmetros obtidos das curvas de polarização potenciodinâmica cíclica da amostra revestida com Incoloy 825.	43

Lista de Abreviaturas e Siglas

HVOF – High Velocity Oxi-Fuel

Vc – Velocidade de corte

F – Avanço

Fz – Avanço por dente

Vf – Velocidade de avanço

Ap – Profundidade de corte

Ae – Penetração de trabalho

CBN – Nitreto Cúbico de Boro

Ra – Rugosidade média do perfil

Rz – Rugosidade máxima

Re – Raio de ponta

CVD – Chemical Vapor Deposition

PVD – Physical Vapor Deposition

EPCA – Potencial de Circuito Aberto

EPITE – Potencial de Pite

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

MO - Microscópio Óptico

Capítulo 1

1. Introdução

Nas áreas onde o petróleo está armazenado no fundo dos oceanos, como o pré-sal, faz-se necessário à utilização do processo de perfuração que inclui o uso de ferramentas especiais, as quais operam a 3.000 metros de profundidade e com pressões de até 700 bar.

O óleo e o gás são transportados por essas ferramentas durante todo o processo de perfuração e, devido à passagem destes fluidos, há formação de diversos desgastes físicos e químicos, sendo um fator muito recorrente a corrosão, principalmente a corrosão por pite, a qual é mais comum neste caso [1].

Diante deste cenário, surge como alternativa o uso de materiais com revestimento metálico aspergido, também conhecido como metalização, a qual consiste na deposição de um revestimento metálico ou não metálico sobre um substrato preparado. Este revestimento pode ser gerado através da queima de um gás combustível criando partículas finas e aquecidas, as quais, em sua maioria, são estáveis a temperaturas elevadas. Após aquecidas estas partículas, que mudaram para um estado fundido, são chocadas contra a peça de trabalho, formando-se lamelas que aderem ao material base [2, 3, 4]. A natureza dos processos é sinérgica, ou seja, existem muitos componentes e variáveis envolvidas, que quando trabalhado em conjunto e aplicado corretamente, produz um efeito muito maior do que o quando são considerados individualmente, pois depende da natureza e comportamento das microestruturas. No entanto, cada componente e variável da operação devem ser entendidos para permitir a seleção e operação adequadas do processo específico [5].

Materiais aspergidos são largamente utilizados em situações *off-shore*. Na indústria naval são utilizadas na reparação de navios, em mancais de rolamento, eixo de bombas, áreas de vedação e outras aplicações. Já na indústria de exploração de petróleo é utilizada nas linhas de perfuração. Isto ocorre, pois, o material oferece maior resistência mecânica e à corrosão. Essas áreas tem uma superfície mais durável, aumentando sua vida útil. Reparo de bombas é outro atrativo deste processo, onde é possível recuperar até 5 mm de espessura desgastada e aumentar a sua resistência a corrosão [2, 5].

Entretanto, mesmo com estes materiais especiais, o acabamento superficial mostrou-se um importante fator para evitar diversos tipos de corrosão [1]. Devido a isso, o processo de usinagem é amplamente utilizado a fim de obter o acabamento desejado para a operação e aumentar a vida útil do componente. Nos processos de usinagem, fatores como dureza e lubri-refrigeração devem ser observados. A seleção de parâmetros de corte, geometria e desgaste da ferramenta contribuem na integridade superficial dos materiais e, conseqüentemente, para a aplicação do produto fabricado [6].

Dentro deste contexto, este estudo tem como objetivo analisar a influência da geometria da ferramenta (raio da ponta) na integridade superficial e, conseqüentemente na resistência à corrosão de revestimentos aspergidos.

Capítulo 2

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Aspersão térmica

A aspersão térmica é um processo sinérgico, assim é necessário selecionar os parâmetros necessários para atender o objetivo final. Independentemente disto, os processos são divididos em dois grupos, de acordo com a fonte de calor utilizada, conforme mostrado na Figura 1 [7]. Na Tabela 1 resume os principais tipos de aspersão e suas principais características [4, 8].

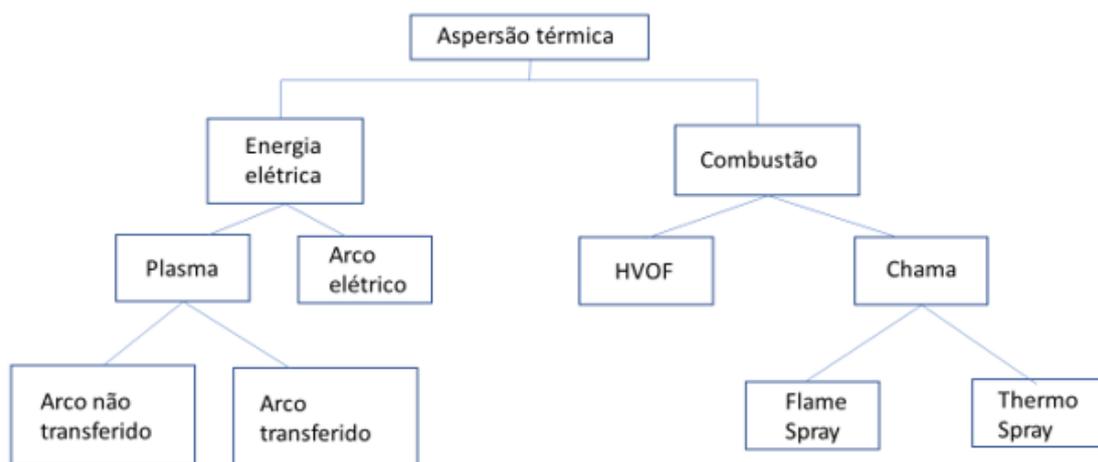


Figura 1: Métodos de aspersão térmica.

Tabela 1: Tipos de aspersão e suas características [4, 8].

Tipos de aspersão	Características
Chama convencional - utilizando pó	Utiliza uma chama de combustível de oxigênio para criar uma zona de aquecimento, no bico da pistola. O pó entra na zona de aquecimento é fundido e acelerado até chocar com substrato pela força dos gases.
Chama utilizando arame	A chama de combustível do oxigênio cria uma zona de aquecimento. Um fio, vareta ou arame, com baixo teor de oxidação, é conduzido até o bico da pistola por roletes onde é alimentado pela tocha, fundido e depois chocado ao substrato pelas forças dos gases e do ar comprimido.
HVOF (<i>High Velocity Oxi-Fuel</i>)	Desenvolvido mais recentemente, por volta de 1980. O aumento da energia cinética é alcançado pela queima da mistura de oxigênio e outros combustíveis, à alta pressão na câmara de combustão. Após a queima os gases se expandem e são liberados para fora da pistola com velocidades supersônicas.
Arco elétrico	Dois arames são forçados até um ponto onde encontram gás e, devido a diferença de potencial, geram um arco elétrico que funde as pontas, conhecido como pulverização por arco. Este é o método mais econômico para aplicação de revestimento metálicos resistentes à corrosão.
Plasma	Um arco é formado entre o eletrodo e o bico da pistola, que atua como um segundo eletrodo. Normalmente argônio e ou nitrogênio são transportados pelos eletrodos, onde são aquecidos a altas temperaturas até formarem um gás na forma de plasma. Durante este processo, o plasma é refrigerado por água, evitando que as altas temperaturas fundam o equipamento.
Combustão	Utiliza a queima de um gás combustível (propano, acetileno e hidrogênio) e a combustão do oxigênio para aquecer o material.

2.1.1. Aspersão térmica por arco elétrico

A pulverização por arco é o método mais econômico para aplicação de revestimento metálico resistentes à corrosão. O custo de energia deste processo é menor que os métodos concorrentes, pois obtém-se o aquecimento das partículas através de uma diferença de potencial, que varia entre 18 e 40V, projetada no bico da pistola, conforme mostrado na Figura 2 [4].

As características microestruturais do material pulverizado dependem da concepção da estrutura do equipamento, das configurações de energia e da pressão do ar. O sistema é constituído por uma fonte de energia, de um controlador de arame e uma pistola de arco. Geralmente, o resultado da pressão de atomização de ar baixa são revestimentos mais ásperos, enquanto a alta pressão produz textura de superfície mais lisa. Os óxidos podem ser reduzidos aumentando as taxas de alimentação, a qual é uma função da amperagem, e substituindo o ar por gases inertes. A ausência de uma chama de combustão faz com que não haja o aquecimento do substrato, fator este fundamental em alguns processos em que o substrato não deve ser aquecido [9]. Entretanto, os materiais aplicados neste método têm que ser eletricamente condutores, sendo isto um fator limitante [10, 11]. As vantagens e as desvantagens do processo de aspersion térmica por arco são apresentadas na Tabela 2 [9, 10, 11].

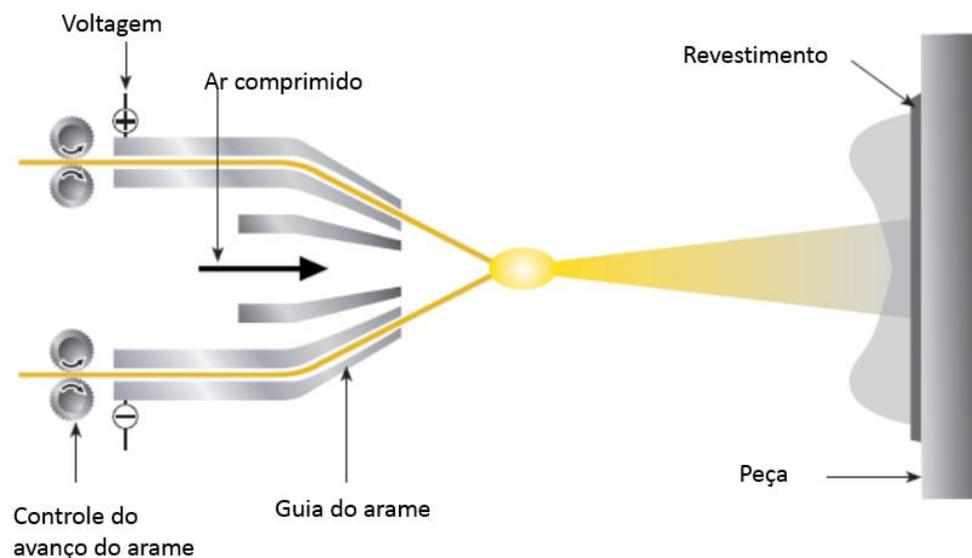


Figura 2: Processo de aspersion térmica por arco elétrico [4].

Tabela 2: Vantagens e desvantagens do uso de aspersão por arco elétrico [9, 10, 11].

Vantagem	Desvantagem
Facilidade de uso e manutenção	Alto nível de porosidade
Alta coesão intermelar	Revestimentos mais ásperos
Portátil /Baixo custo operacional	Tipos de materiais aplicados pelo processo a arco limitado

2.2. Corrosão

Corrosão pela sua definição mais simples é o processo do material em retornar ao seu estado termodinâmico, ou seja, retornar ao seu estado de origem quando foi retirado da terra, onde posteriormente foi refinado pelo homem [12]. Isso ocorre por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, oxidação, ou seja, retirada de elétrons e redução, ganho de elétrons. A oxidação ocorre no ânodo, onde átomos carregados positivamente deixam a superfície e entram em um eletrólito com íons, os quais tendem a deixar sua carga negativa, e se transportam do cátodo por um caminho condutivo. No cátodo ocorre a redução onde os íons livres são consumidos [13, 14].

A corrosão também está diretamente ligada a perda de desempenho. No caso de sobrecarga de bombas, a corrosão pode prejudicar o funcionamento do sistema como um todo e, em casos mais extremos, levar até a fratura da tubulação e a contaminação do ambiente [13].

2.2.1. Tipos de corrosão

O processo de corrosão são reações químicas heterogêneas entre o metal e meio corrosivo. A Tabela 3 apresenta um resumo de alguns tipos de corrosão e suas principais características [12].

Tabela 3: Tipos e características de corrosão [12].

Tipo de corrosão	Característica
Uniforme	Mais comum. Ocorre em toda a extensão do material.
Intragranular	Ocorre nas fronteiras dos grãos, devido a ela agir como um anodo e os grãos como catodo.
Galvânica	Quando dois materiais, com diferentes potenciais são conectados eletricamente, ocorrendo a corrosão isolada do material metálico que funciona como anodo.
Pite	Perda de metal localizada em uma área, e com grande profundidade. Este tipo de corrosão é mais suscetível em aços inoxidáveis e suas ligas. Também pode ocasionar a perda da película passiva do material.

2.2.2. Corrosão por pite

A corrosão por pite é caracterizada por uma perda de metal localizada, que pode vir ocasionar a quebra da película passiva do material, processo de formação de uma camada de óxido na superfície de aços inoxidáveis na presença de oxigênio. [12,15]. Essa perda localizada em alguns casos é de difícil inspeção, pois a corrosão pode acontecer de forma superficial, não visível. Mesmo não alterando de forma significativa o peso do material, essa corrosão pode, por exemplo, tornar uma tubulação ou componente de perfuração de petróleo inutilizável, devido aos enfraquecimentos localizados [12].

O contato elétrico entre metais dissimilares, área do metal onde as concentrações de oxigênio diferem, ocorrendo diferença de pH, é a principal causa do pite [12,16]. Esse contato causa uma diferença de potencial, onde o material perde a camada passiva e se torna anódico e o meio se torna catódico, ocorrendo uma corrosão galvânica localizada. Na Figura 3 pode ser observado o esquema de corrosão por pite [13].

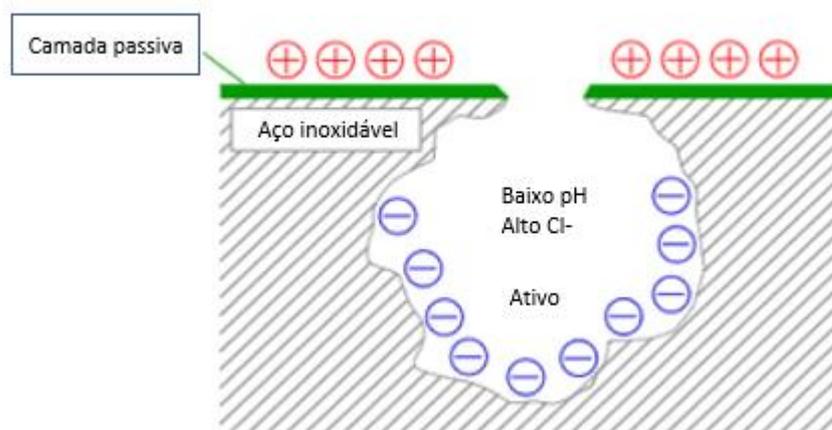


Figura 3: Representação da corrosão por pites [13].

A norma ASTM G61 [17] especifica os procedimentos para a técnica de polarização potenciodinâmica cíclica. Onde pode ser determinado o potencial de pite (E_{PITE}) e também o potencial de repassivação (E_{REP}). Atinge-se a reversão da direção de varredura do potencial, quando a densidade de corrente alcança um determinado valor. Desta forma, a densidade de corrente volta a diminuir e o varrimento na direção catódica é continuado até a curva descendente cruzar com a curva ascendente.

Na Figura 4 é apresentado o aumento brusco no valor da densidade de corrente indicando que o potencial de pite foi atingido [18]. O potencial de repassivação (E_{REP}) é indicado quando o potencial em que a curva de retorno (varredura no sentido catódico) cruza com a curva de polarização anódica. A Figura 5 mostra as curvas representativas da polarização potenciodinâmica cíclica, apresentadas na norma ASTM G61 [17].

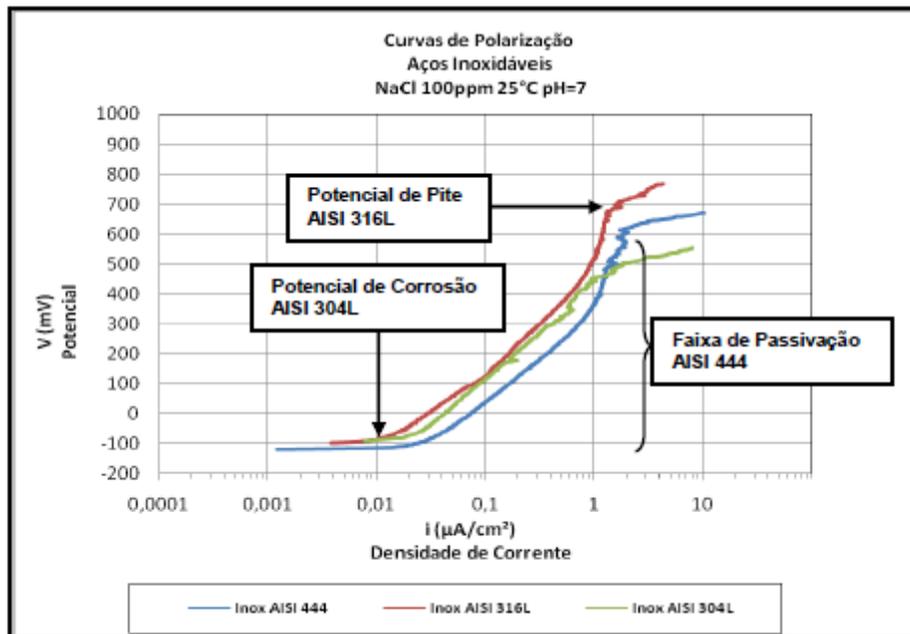


Figura 4: Curvas de polarização anódica de alguns aços inoxidáveis [18].

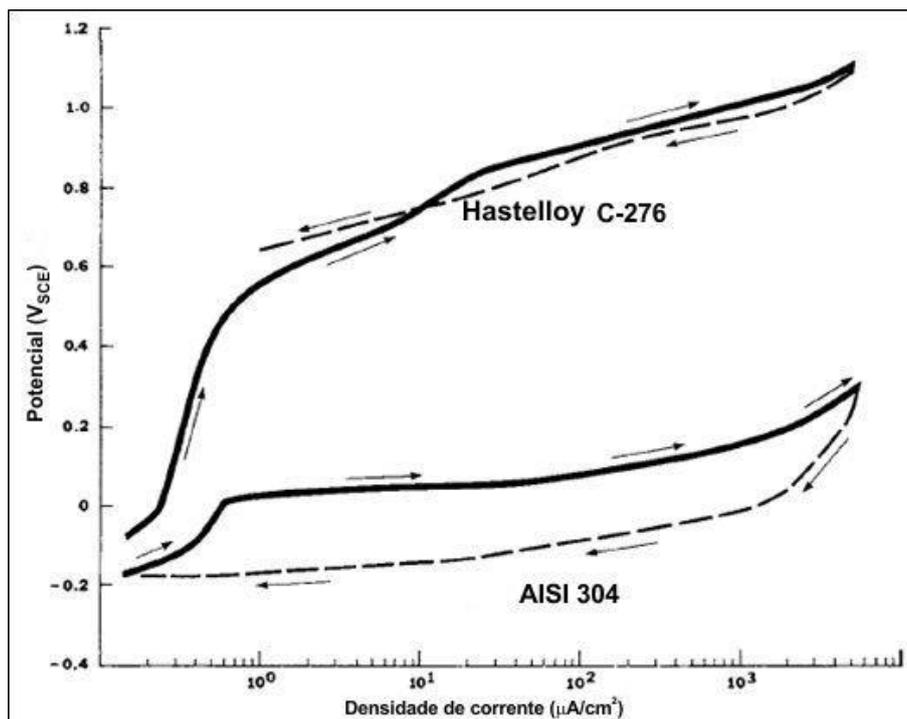


Figura 5: Curvas representativas da polarização potenciodinâmica cíclica de duas ligas, determinadas a 25°C na solução 3,5% NaCl [17].

2.3. Fresamento

A definição de usinagem é a transformação de matéria-prima por meio da remoção de material na forma de cavacos, a qual pode ser dividida em duas partes: convencional e não-convencional. Na usinagem convencional, o cavaco é retirado por cisalhamento, sendo exemplo de operações desse tipo o fresamento, torneamento, mandrilhamento e furação. Já nas operações de usinagem não convencional a remoção de material é dada por outros tipos de processamentos, como o laser, plasma e ultrassom [19].

Os parâmetros de corte para usinagem convencional devem ser definidos [20]:

- Velocidade de corte (V_c): Velocidade instantânea da rotação da ferramenta em torno da peça.
- Avanço (F): É o movimento relativo entre a peça e a ferramenta. O avanço que gera a remoção de cavaco. Em certos casos pode ser considerado avanço o movimento da mesa da máquina.
- Avanço por dente (F_z): Distância percorrida por um dente da ferramenta desde o momento que toca a peça até o momento que irá tocá-la novamente.
- Velocidade de avanço (V_f): É a velocidade instantânea devido a um determinado avanço.
- Profundidade de corte (a_p): Quanto a ferramenta penetra na peça, medindo perpendicularmente ao eixo de trabalho.
- Penetração de trabalho (a_e): Quanto a ferramenta penetra na peça, medindo perpendicularmente ao avanço.

Durante o processo de corte há geração de calor devido ao atrito da ferramenta e o material, o que normalmente é dividido, na usinagem convencional, em 80% para o cavaco, 10% para ferramenta e 10% para a peça, como mostra a Figura 6 [6]. Esta distribuição de calor é importante, pois a troca térmica influencia diretamente na vida útil da ferramenta de corte, a desgastando e podendo levá-la a quebra inesperada. Por isso, os parâmetros de corte adequados e a aplicação de fluido de corte são importantes durante o processo.

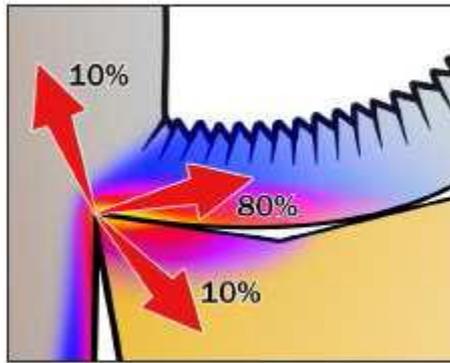


Figura 6: Distribuição de calor ferramenta-cavaco-peça [6].

Em particular, o fresamento, operação de usinagem em que há a remoção de material (cavaco) com uma ferramenta de múltiplas arestas (denominada fresa), executa movimentos pré-programados sobre uma peça, podendo usinar qualquer formato. Devido a este fato, é considerado o método de usinagem mais flexível entre os processos convencionais. Geralmente o movimento de avanço não é feito pela ferramenta e sim pela mesa, permitindo a passagem da peça sob a ferramenta, que lhe dá a forma desejada [21].

Os tipos de fresas mais comuns são a tangencial (ou de topo) e a frontal (Figura 7). A fresa de topo é versátil, sendo produzida com dois, três ou mais canais, podendo ser de dentes helicoidais ou retos. São utilizadas em faceamento, ranhuras, bolsões, rebaixos, rasgos de vários diâmetros, cortam tanto na periferia como na parte frontal. Neste tipo de fresamento a superfície gerada se encontra perpendicular a ferramenta e a penetração de trabalho (a_e) é maior que a profundidade de corte (a_p). Geralmente não se deve exceder $2/3$ do comprimento da aresta de corte para evitar vibrações. Em altas taxas de remoção de material, a deflexão e a vibração são fatores limitantes da profundidade de corte [21]. Para determinação do melhor método de operação, a resistência da máquina e o escoamento de cavaco devem ser considerados. As fresas de topo, por exemplo, podem variar o seu tipo de passo, sendo largo para usinagens mais estáveis e seguras e passos curtos para usinagens mais severas [22].

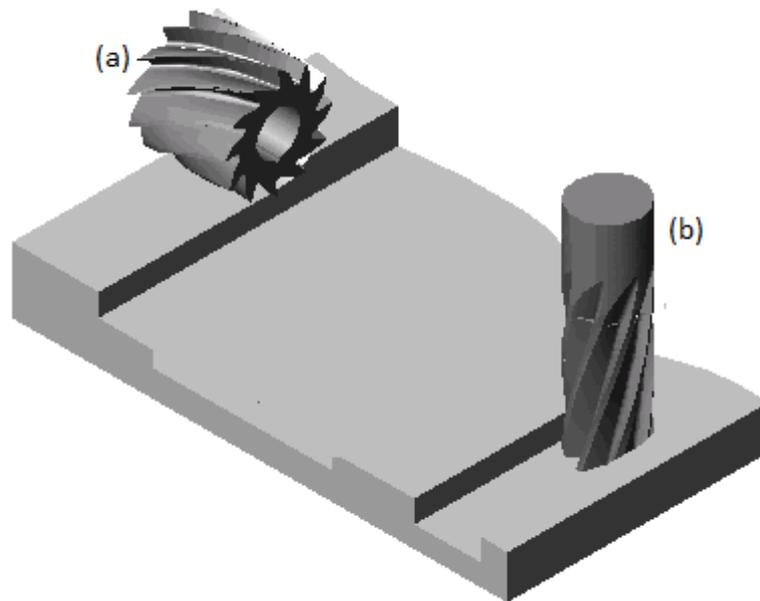


Figura 7: Fresa Tangencial (a) e de topo (b) ([21] modificado).

Entretanto há um lado negativo no fresamento, devido a flexibilidade dessa usinagem, muitas variáveis são incorporadas ao processo, tornando difícil a otimização. Variáveis estas como o tipo de movimento, discordante ou concordante, tipo de ângulo de posição (10° , 45° ou 90° , por exemplo), de operação, de mergulho, faceamento, cantos a 90° , entre outros fatores [21].

Quando um dente da fresa entra no corte está sujeito a um choque. O tipo correto de contato entre a aresta e o material na entrada e na saída deve ser levado em consideração para uma maior vida útil do inserto e da ferramenta. Por este fator, o estudo do movimento de corte é importante para melhor aproveitamento da ferramenta, formação do cavaco e do acabamento da peça fabricada [6].

Considerada como a “regra de ouro da usinagem”, toda fresa deve começar o corte entrando na peça em rolagem, diminuindo a espessura de cavacos na saída e permitindo altos avanços. Outro fator importante é manter a fresa em constante contato com a peça, deve-se sempre rolar nos cantos, para evitar o aumento da espessura do cavaco e a largura do corte (a_e) precisa ser sempre 70% do diâmetro da fresa [6].

2.3.1. Materiais das ferramentas de corte

A seleção do material da ferramenta de corte é um fator importante ao planejar uma operação bem sucedida, pois os materiais da ferramenta de corte possuem diferentes combinações de dureza, tenacidade e resistência ao desgaste e são divididos em classes e propriedades específicas. Uma escolha de material errado pode ocasionar um desgaste prematuro da ferramenta, dificultando o processo de usinagem.

Os três maiores grupos de materiais são os aços rápidos, carbonetos sinterizados e materiais cerâmicos [20]. Na Tabela 4 são mostradas características e aplicações de cerâmicas, Nitreto cúbico de Boro (CBN) e diamante e na Tabela 5 os revestimentos da ferramenta e sua importância [23].

Tabela 4: Materiais de ferramenta de corte e suas características [23].

Materiais das ferramentas de corte	Características
Metal duro	Metal duro é um material da metalurgia do pó, composto basicamente por partículas de carboneto de tungstênio (WC) e um ligante de cobalto metálico (Co). Os pós de metal duro podem variar de médios a grossos, oferecendo uma combinação de alta dureza a quente e tenacidade.
Cerâmica	As ferramentas de corte de cerâmica possuem alta resistência ao desgaste com altas velocidades de corte. Suas superfícies são lisas, geralmente, são aplicados em aços resistentes ao calor e tem como desvantagem a baixa resistência a choques térmicos e a choques mecânicos.
CBN	Pode ser utilizado com altas velocidades de corte, pois é um material com alta dureza a quente, que também apresenta boa tenacidade e resistência a choques térmicos. Essa classe é utilizada na usinagem de aço endurecidos, com dureza superior a 45 HRC, substituindo o método de retificação tradicional.
Diamante Policristalino	É um composto de diamante sinterizado com um ligante metálico. Como o diamante é o material mais duro, é o mais resistente a abrasão e ao desgaste, porém se dissolve em ferros em altas temperaturas. É indicado para usinagem de ligas não ferrosas.

Tabela 5: Revestimentos da ferramenta [23].

PVD	É um revestimento por deposição física de vapor, formadas em temperaturas de 400 à 600°C. Esse tipo de revestimento agrega resistência ao desgaste, devido a sua dureza e tenacidade à aresta. É indicado para quando há necessidade da utilização de arestas afiadas e tenazes.
CVD	É um revestimento por deposição química de vapor, formadas em temperaturas de 700 à 1050°C. Possui alta resistência ao desgaste e boa adesão ao metal duro. É indicado quando é necessário alta resistência ao desgaste.

2.3.2. Geometria da Ferramenta de corte

A geometria da ferramenta (Figura 8) tem um efeito significativo no desempenho da usinagem. Entre os principais ângulos e dimensões da ferramenta de corte têm-se [24, 25]:

- **Ângulo de posição:** ângulo formado entre a aresta de corte e a direção do cavaco. Tem por função distribuir a largura do cavaco sobre uma área maior ou menor, dependendo do ângulo escolhido.
- **Ângulo de saída:** local onde o cavaco entra em contato com a ferramenta. Devido a isso, o ângulo redireciona o cavaco, curva e flexiona o mesmo a fim de causar sua quebra. O ângulo de saída está diretamente relacionado ao tipo de geometria negativa e positiva. À medida que a superfície de saída se torna mais negativa, resulta na maior pressão de corte, devido a isto a ponta de corte é mais robusta. Já nas geometrias positivas, a ponta de corte não é tão resistente e quebra com mais facilidade, por isso a pressão de corte não é alta, gerando menor calor, cavaco mais frio e menor força de corte.
- **Ângulo de folga:** permite que a aresta de corte entre em contato com a peça. Quando um ângulo de folga é definido incorretamente, a ponta de corte não usina o material. O ângulo de folga está situado na faixa de 5° a 10°, pois acima disto não haverá efeito na operação de corte.

- Raio de ponta: a adição do raio de ponta suaviza o corte e distribui o cavaco sobre uma área maior, além disso, o inserto fica mais forte e com menos risco de quebra. Raio de ponta mais arredondados tendem a produzir melhores acabamentos.

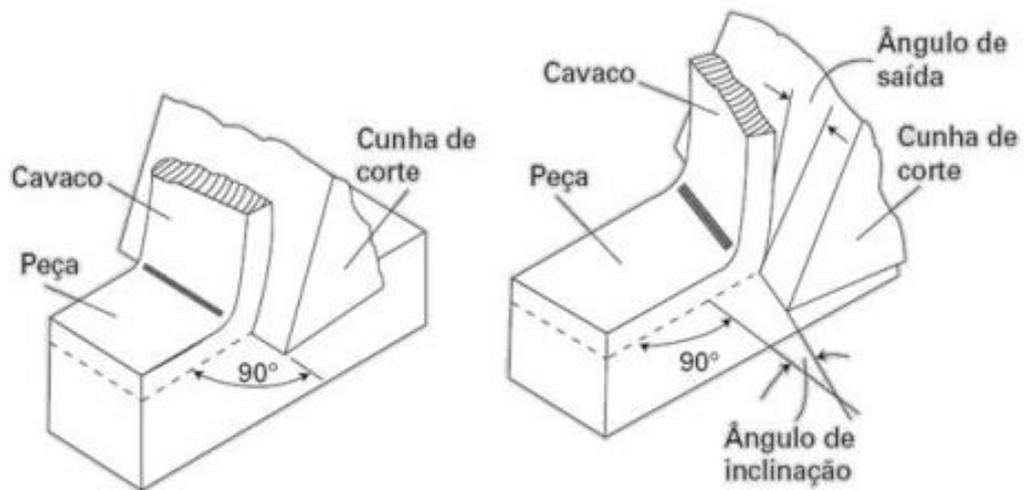


Figura 8: Ângulos de usinagem [24].

2.3.3. Integridade superficial

O acabamento é a operação final, e em muitos casos, a única operação que irá determinar a qualidade de peça. Após o desbaste ou o semi-acabamento, é realizado o acabamento para fabricar peças dentro de tolerâncias e acabamentos superficiais especificados em projeto. As exigências feitas sobre uma aresta de corte para acabamento, durante a usinagem são diferentes comparadas com uma aresta para desbaste. Taxa de remoção e tenacidade são fatores importantes no desbaste, já para o acabamento, a precisão e a resistência ao desgaste são mais importantes [26].

A integridade superficial abrange as solicitações da superfície bem como camadas mais profundas da peça. A Figura 9 mostra uma classificação das modificações realizadas em superfícies usinadas [1].

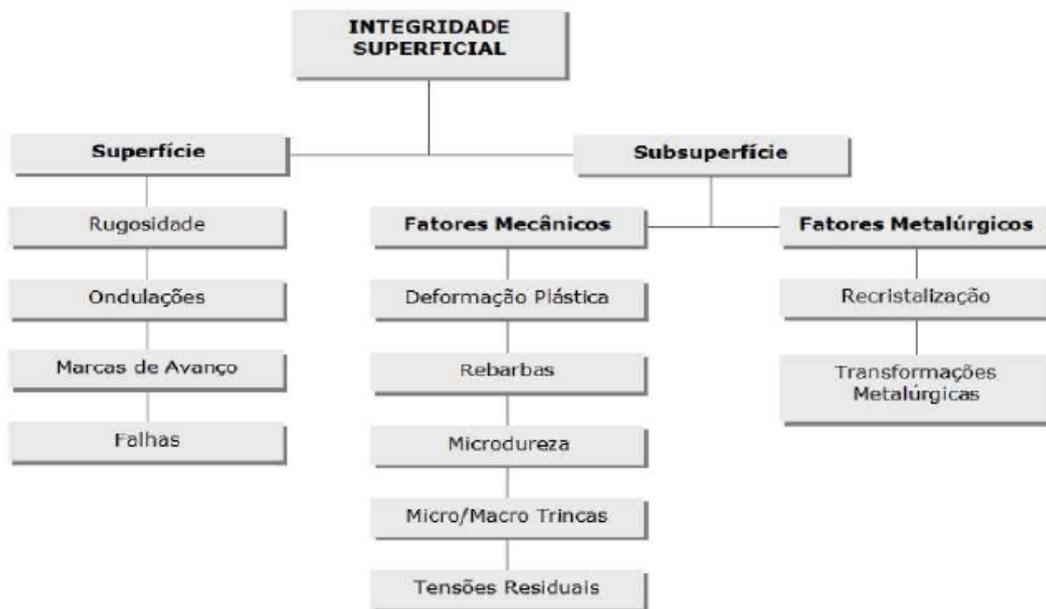


Figura 9: Classificação da integridade superficial [1].

O acabamento superficial gerado na peça pela aresta de corte é em grande parte um produto da relação entre a faixa de avanço e o raio de ponta, assim como o desgaste da ferramenta e a velocidade de corte e pode ser subdividido em três categorias: falhas, ondulações e rugosidade. As falhas são defeitos gerais na peça, que ocorrem de forma indesejada e inesperada, como bolhas, trincas e inclusões. As ondulações são irregularidades macroscópicas, que podem ocorrer devido a um mal posicionamento da peça na máquina ou por uma vibração da ferramenta, por exemplo. A rugosidade é definida como uma irregularidade microscópica, sendo inevitáveis durante o processo de usinagem [26, 27].

Segundo a Norma ABNT NBR ISO 4288 [28] existem diversos parâmetros que quantificam a rugosidade. Contudo, em usinagem, um dos principais parâmetros utilizados é a chamada rugosidade média (R_a - *Roughness Average*), que calcula a rugosidade com base no desvio aritmético médio do perfil avaliado da norma (Figura 10).

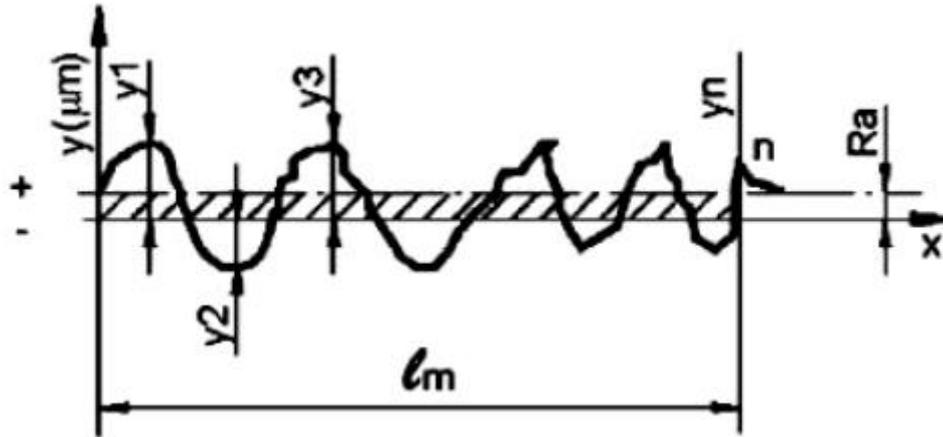


Figura 10: Representação da rugosidade Ra [28].

Alguns autores equações que visam estimar os valores de rugosidade teórica para os principais processos de usinagem com geometria de corte definida. A Equação 1 apresenta a rugosidade média (Ra) teórica que leva em consideração o raio da ponta da ferramenta e o avanço [29, 30].

$$Ra = \frac{r_e}{2} - \sqrt{\frac{r_e^2}{4} - \left(\frac{f_z^2}{4^2}\right)} \quad (1)$$

Onde: r_e = Raio de ponta da ferramenta (mm)

f_z = Avanço por faca (mm/dente)

Quando o processo de fresamento é realizado em condições ideais, a distância entre o pico e o vale desta superfície representa a rugosidade máxima (Rz), que também é usado como parâmetro de avaliação de superfícies usinadas [30].

Hassostis [31] investigou em ligas de aço carbono, o relacionamento entre a resistência à corrosão por pite e a rugosidade obtida pelo processo de usinagem em diferentes condições de corte. As superfícies usinadas foram submetidas a um teste por imersão que acelerava a corrosão. Em seguida, foram analisadas em um estereoscópio que revelou que os corpos exibiram diferentes comportamentos de acordo com as condições de usinagem. Eles identificaram uma correlação entre a resistência à corrosão e os parâmetros de rugosidade; mostraram que a perda de massa está relacionada com a

rugosidade e concluíram a importância da seleção dos parâmetros de corte apropriados para o controle da corrosão.

Os pites ocorrem quando o filme de óxido protetivo é quebrado em pequenos pontos isolados. A taxa de ataque tende a aumentar devido às diferenças no potencial elétrico entre os arredores da superfície passiva e o pite ativo. Esta ação é acentuada pela presença de soluções salinas. Uma superfície lisa, livre de pequenos pites ou pequenas depressões localizadas, reduz o potencial para a formação de pites iniciar-se [32].

2.4. Fresamento de materiais revestidos aspergidos

Após o processo de aspersão térmica, a superfície das peças fica com acabamento irregular e grosseiro, o que pode prejudicar sua aplicação. Assim, após a operação a rugosidade deve ser readequada, afim de não criar corrosão localizada como por exemplo, quando o material for lançado ao mar. Dessa forma, surge a necessidade de trabalhar as peças por outros processos de acabamento, como a usinagem. Contudo, este é um desafio para o processo de usinagem, tendo em vista que o material apresenta uma superfície irregular e a dureza irá depender da espessura e do número de camadas formadas no revestimento. Portanto, o revestimento pode possuir diferentes características de rugosidades e dureza [2, 33].

Os fatores que mais influenciam na integridade superficial são o material, o formato e a condição da superfície. Sendo este último diretamente relacionado na escolha da aresta de corte, ou seja, do raio do inserto. Embora a profundidade de corte em materiais aspergidos termicamente seja pequena, a variação da dureza e da condição do material influencia no processo. Há casos que *blanks* podem ter uma superfície muito dura, ao passo que embaixo podem existir vazios. Adicionalmente, é característica do processo possuir sobremetal pequeno, cerca de 0,5 mm, exigindo uma aresta de corte viva, porém robusta que proporcione bom controle de cavacos e bom acabamento [26].

Há grande dificuldade para usinar materiais aspergidos, pois os mesmos não se comportam de forma homogênea. Devido a este fator, não há muitos estudos sobre a usinagem desses materiais, sendo um desafio para este estudo a influência da dinâmica da usinagem na integridade superficial.

Capítulo 3

3. Materiais e Métodos

3.1. Materiais

Neste trabalho foram utilizadas chapas de aço carbono SAE 1020 com dimensões 100x150x4,5mm, aplicada uma liga afim de aumentar a aderência e posteriormente, revestidos através de aspersão térmica por arco elétrico. É verificado a aplicação de três tipos de arames, Tabela 6, que, por combinação, formou dois tipos de ligas a serem estudadas (Tabela 7).

Tabela 6: Composição química dos arames aplicados (% em peso).

Arames	Fe	Co	Cr	Ni	B	Mn	W	Mo	C	Si	Cu	P	N	Nb
I	66,1	-	27	-	3,5	1,8	-	-	-	1,6	-	-	-	-
II	3,6	58,4	28,8	1,9	-	0,9	4,9	0	1,1	0,3	-	-	-	-
III	68,5	-	19,6	9,1	-	1,5	-	0,5	0	0,3	0,4	0	0,1	0

Tabela 7: Revestimentos estudados.

Condição	Combinação
Liga 1	I+II
Liga 2	II+III

Brito [10] utilizou a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para estudar aspectos de difícil avaliação por microscopia óptica (MO), para cada micrografia foi obtido espectro (EDS), de análise pontual, indicando os elementos de liga presentes. Uma vez que o trabalho mencionado utilizou as mesmas ligas que deste estudo, será representado os gráficos de espectro de Brito [10] para identificar os elementos de cada Liga.

Na Figura 11 [10] é indentificado os elementos da Liga 1, sendo estes Cr, Fe, Co e Si.

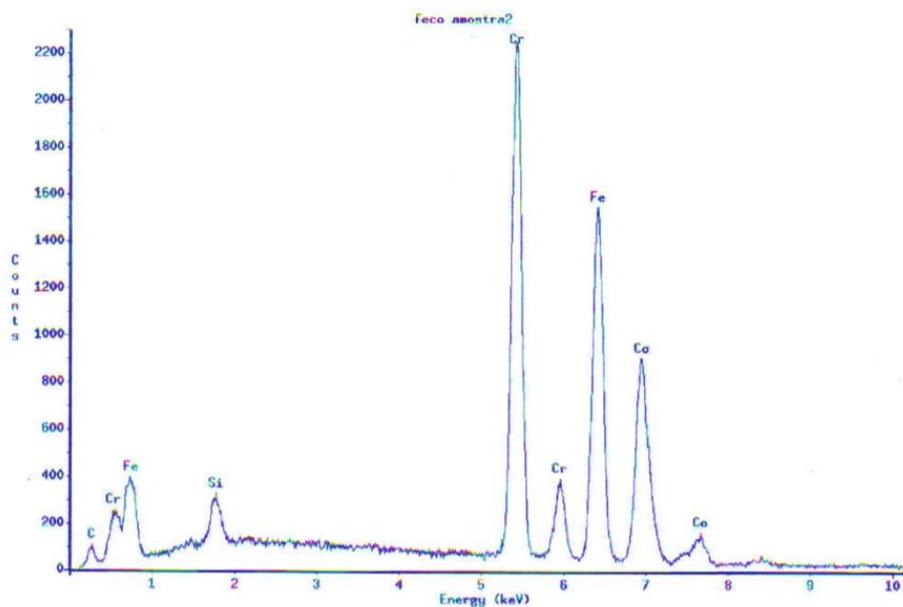


Figura 11: Espectro de EDS dos elementos de liga da Liga 1 [10].

Na Figura 12 [10] é indentificado os elementos da Liga 2 , sendo estes Ni, Cr, Si e Fe.

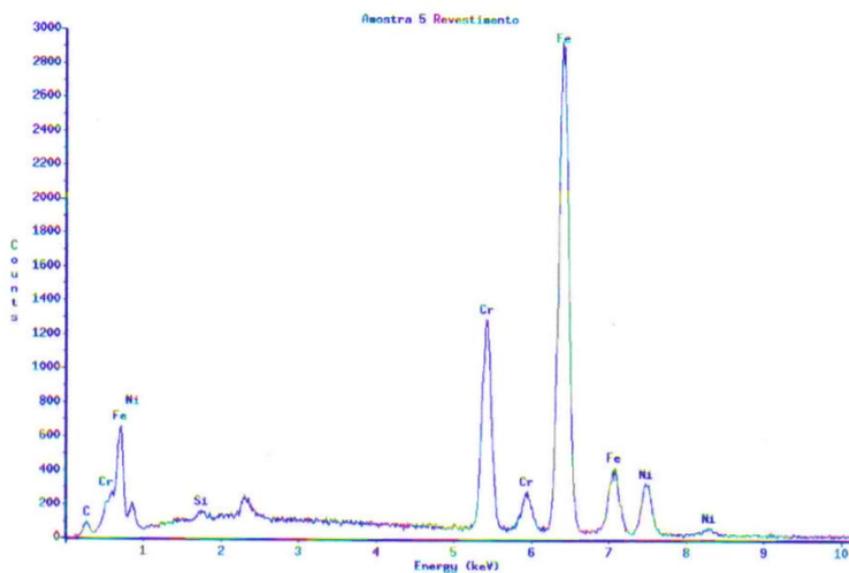


Figura 12: Espectro de EDS dos elementos de liga da Liga 2 [10].

Portanto, pode-se identificar que diferencia as duas Ligas é o alto teor de Cr na Liga 1 e a presença de Ni na Liga 2.

3.2. Métodos

3.2.1. Fresamento de topo

A usinagem das amostras foi realizada no laboratório de usinagem LABUS (Laboratório de Usinagem - CEFET-RJ) utilizando a fresadora Diplomat 3001 FVF-2000 (Figura 13), com suas principais características descritas na Tabela 8.



Figura 13: Fresadora Diplomat 3001- FVF 2000 .

Tabela 8: Descrição técnica fresadora Diplomat 3001.

Tamanho da Mesa	230x1067mm
Cone de Fixação da Máquina	ISO 30
Curso longitudinal (eixo X) / Automático	768mm / 730mm
Curso transversal (eixo Y)	305mm
Curso Vertical (eixo Z)	406mm
Rotação máxima	4500 rpm
Potência do motor principal	3HP 220v/380v – 03 fases – 60Hz
Curso da árvore	127mm
Peso líquido aproximado	1050kg

O porta ferramentas utilizado foi o R390-020A20-11L (Figura 14) da Sandvik Coromant, com dimensões de 110mm de comprimento, 20mm de diâmetro e duas arestas de corte. Os insertos escolhidos também foram do mesmo fabricante, e possuem os códigos R390-11T308M-PM S30T e R390-11T304M-PM S30T, revestido de TiAlN pelo processo PVD e com alta resistência a deformação. Suas características estão citadas na Tabela 9.



(a)



(b)

Figura 14: Representação esquemática da ferramenta (a) e do inserto de metal duro (b) [6].

Tabela 9: Características dos insertos de teste.

R390-11T308M-PM S30T		R390-11T304M-PM S30T	
Raio de ponta (mm)	0,8	Raio de ponta (mm)	0,4
Ângulo da aresta de corte principal	90°	Ângulo da aresta de corte principal	90°
Comprimento efetivo da aresta de corte (mm)	10	Comprimento efetivo da aresta de corte (mm)	10
Comprimento da aresta alisadora (mm)	1,2	Comprimento da aresta alisadora (mm)	0,9

Foram realizados ensaios de fresamento nas ligas para determinar a influência da integridade superficial na corrosão por pite. Como parâmetros de corte foram definidos os valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Parâmetros de corte.

Velocidade de corte (m/min)	Rotação (rpm)	Velocidade da mesa (mm/min)	Avanço por faca (mm)	Profundidade de corte (mm)
25	400	80	0,1	0,5

Cada liga foi usinada em 2 seções, conforme apresentado na Figura 15, de forma que cada seção foi submetida a um raio de corte diferente. Para cada condição foram utilizados inserto novos a fim de excluir o efeito do desgaste de ferramenta no acabamento superficial.

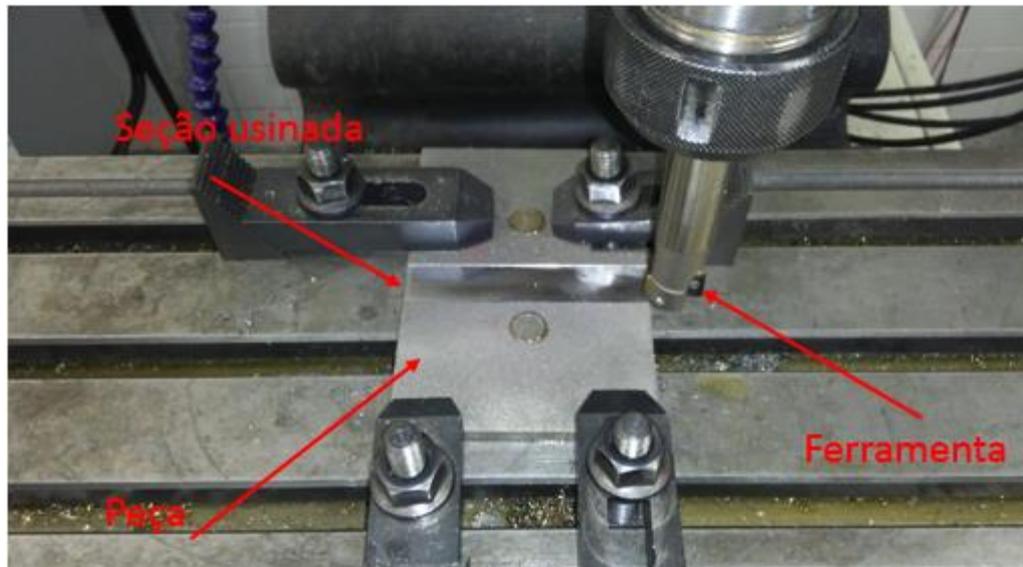


Figura 15: Montagem para a operação de fresamento.

3.2.2. Ensaio de rugosidade

A rugosidade média (R_a) das amostras foi medida utilizando o rugosímetro Mitutoyo SJ 210 (Figura 16) no LABUS/CEFET-RJ. Foram realizadas três medições aleatórias da rugosidade em cada uma das seções usinadas de cada amostra. Os parâmetros do rugosímetro foram estabelecidos em um *cut off* de 0,8mm e um comprimento a ser percorrido pela haste de 2,5mm.



Figura 16: Rugosímetro utilizado no ensaio de rugosidade.

Após obtidos todos os valores de R_a experimentais, foram feitos os cálculos para a rugosidade média teórica, considerando a variação do raio da ponta da ferramenta (R_e), conforme a Equação 1 apresentada no item 2.3.3.

3.2.3. Ensaio de Potenciodinâmico Cíclico

A avaliação da sensibilidade do material à corrosão por pite foi realizada pelo teste de polarização potenciodinâmica cíclica, utilizando um potenciostato galvanostato Autolab® modelo PGSTAT204, pertencente ao Laboratório de Materiais (LAMAT) do CEFET/RJ. A célula eletroquímica empregada foi composta de um eletrodo de trabalho, um contra eletrodo de platina e um eletrodo de referência de calomelano saturado (Figuras 17 e 18). A célula foi mergulhada numa solução de 3,5 % de NaCl e mantida à temperatura ambiente, conforme a norma ASTM G 61 [17].

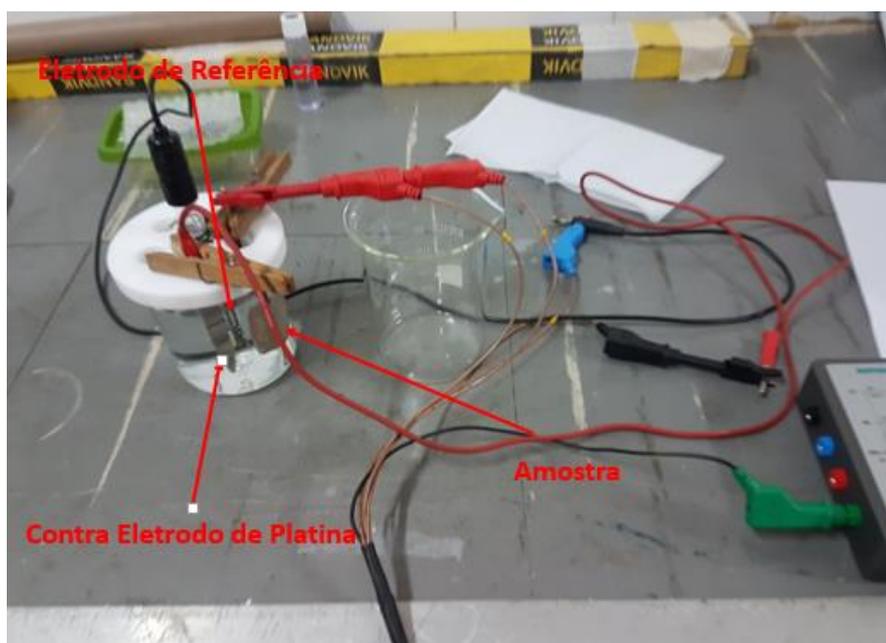


Figura 17: Montagem do Ensaio em Corrosão.

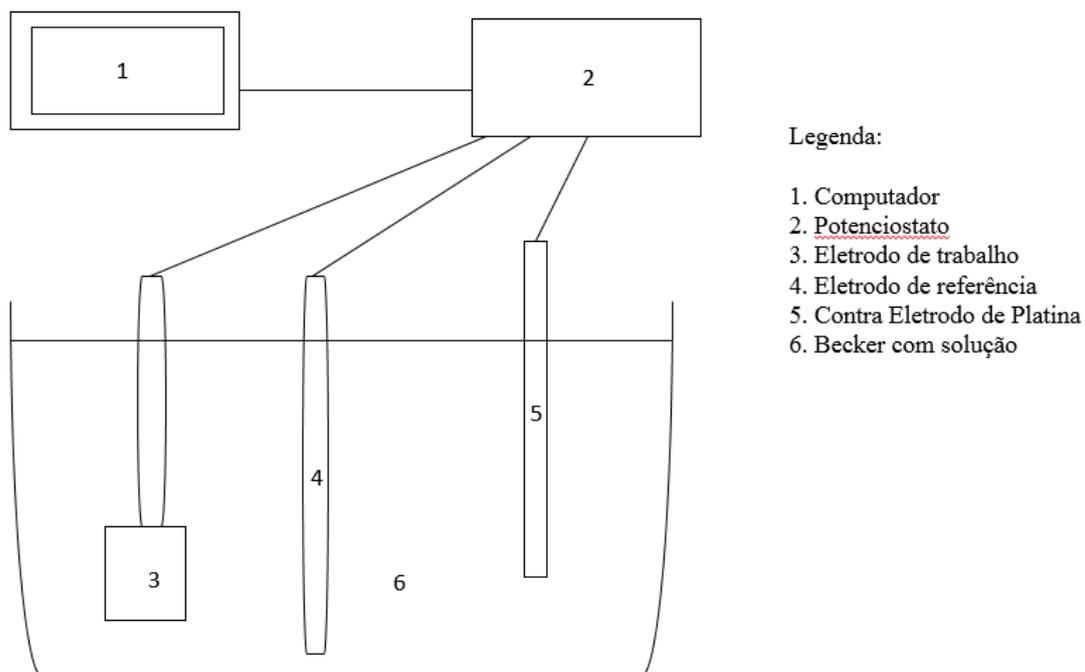


Figura 18: Esquema de montagem da célula eletrolítica.

As laterais e vértices do corpo de prova foram cuidadosamente recobertas com esmalte incolor, para evitar a corrosão por frestas, selecionando sempre uma janela de exposição no centro da amostra usinada, conforme apresentado na Figura 19. A varredura foi iniciada utilizando o *software* Nova 2.1, a partir do potencial de circuito aberto (E_{PCA}), com taxa de 1mVsce/s . O potencial seguiu no sentido anódico até ser atingida a densidade de corrente de 1mA/cm^2 e revertido, em seguida, no sentido catódico.

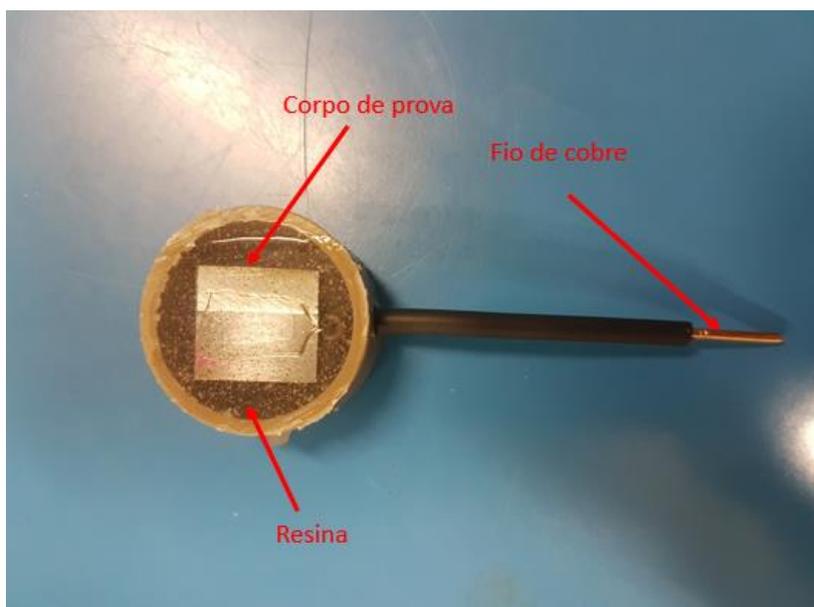


Figura 19: Eletrodo de trabalho.

3.2.4. Ensaio com Microscópio Óptico

Foi realizado a análise das amostras a fim de identificar a corrosão por pite visualmente utilizando o estereoscópio PZO – Labimax do LAMAT do CEFET/RJ, Figura 20.



Figura 20: Estereoscópio PZO - Labimax.

Capítulo 4

4. Resultados e Discussão

No capítulo anterior foi descrito a metodologia experimental aplicada às duas amostras de material aspergido termicamente, como também todos os equipamentos utilizados para a realização dos testes. Os parâmetros experimentais escolhidos foram descritos para melhor compreensão a respeito dos resultados obtidos, os quais serão analisados e discutidos neste capítulo.

Inicialmente foi discutido a influência da geometria do inserto na integridade superficial e resistência a corrosão em revestimento metálico aspergido. Em seguida, a rugosidade de cada amostra foi analisada variando o raio de ponta da ferramenta e mantendo os parâmetros em todas as seções de cada amostra. Por fim, foi realizado o ensaio de corrosão por pite e comparou-se as amostras com outro material voltado para o mesmo nicho de utilização industrial.

4.1. Rugosidade

A análise de rugosidade foi realizada após a usinagem do material, visto que o acabamento superficial das amostras é consequência de todos os parâmetros analisados anteriormente. A discrepância entre os valores teóricos e experimentais ocorreram devido a fatores como vibração, deformação e fluxo lateral do cavaco, os valores teóricos foram calculados com a Equação 1.

A Figura 21 mostra os valores teóricos (T) e experimentais das rugosidades encontradas nas superfícies usinadas das Ligas 1 e 2 (L1 e L2), com raios de ponta (R_e) de 0,4 e 0,8 mm. Observa-se que a Liga 1 (L1) apresentou maiores valores médios (R_a) experimentais, acarretando um pior acabamento superficial, e a variação de raio de ponta não provocou uma diferença considerável na rugosidade da superfície usinada. É possível verificar que as superfícies usinadas na Liga 2 (L2) sofreram maiores variações nos

valores de rugosidade, entre os raios de ponta (R_e) utilizados, onde o raio 0,8 mm apresentou pior acabamento superficial.

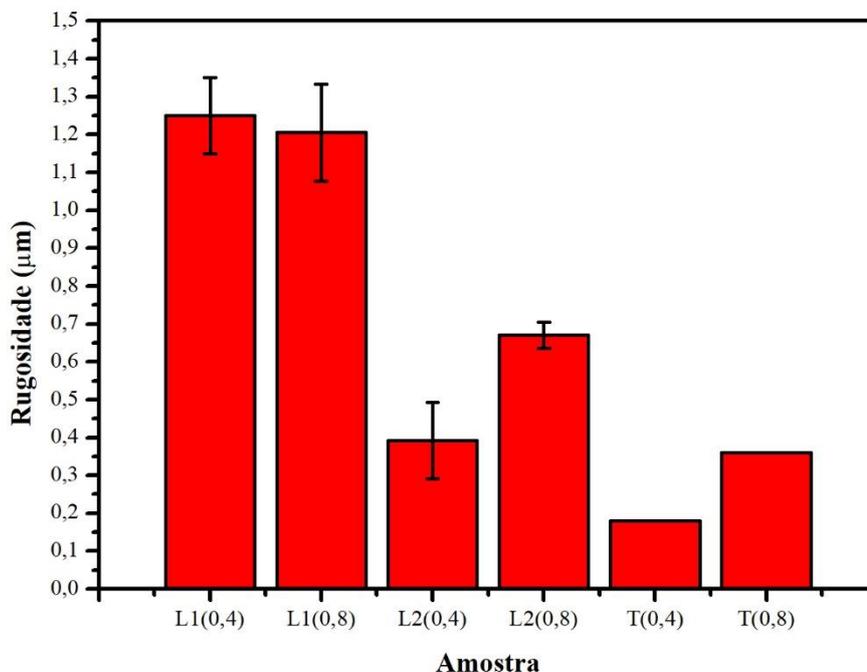


Figura 21: Valores teóricos e experimentais das rugosidades.

Quando os resultados de rugosidade são comparados em relação a composição química, verifica-se que a Liga que possui níquel apresentou menor rugosidade, indicando uma possível influência deste elemento de liga na integridade da superfície usinada.

Os resultados de rugosidade foram comparados com os obtidos no estudo de Filho [34], que realizou o ensaio de fresamento em uma liga de Inconel 718, utilizando ferramenta interiça de metal duro, mantendo a velocidade de corte de 15m/min e variando o avanço por dente, conforme mostrado na Figura 22.

Comparando os resultados apresentados na Figura 21 com a Figura 22, observa-se que a Liga 2 obteve a melhor rugosidade média entre as três ligas. Indicando que apesar de o Inconel 718 ter maior teor de níquel, comparando com as Ligas, há uma possível influência dos parâmetros de corte e raio de ponta na integridade superficial.

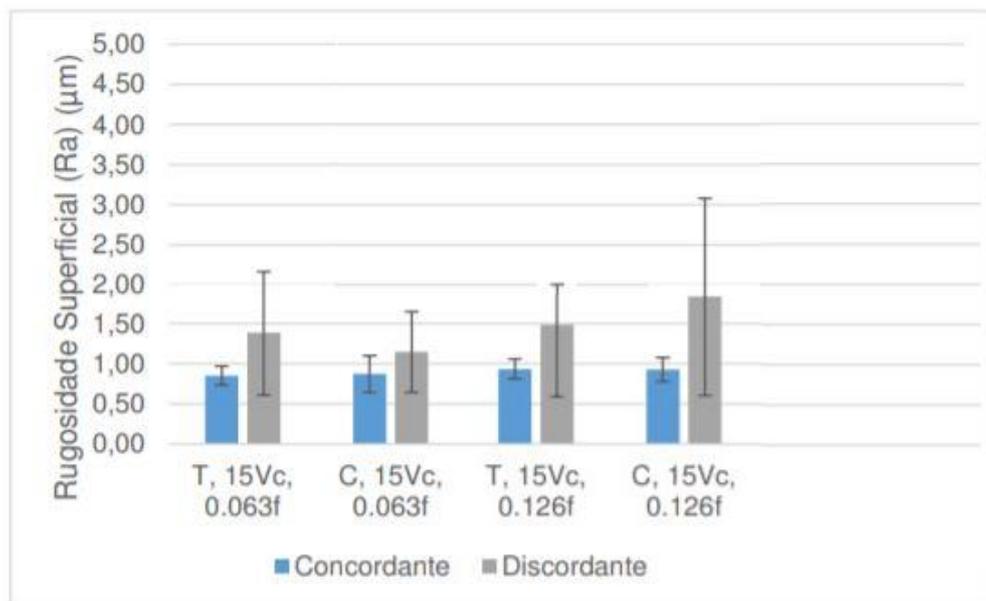


Figura 22: Rugosidade média(Ra) do fresamento da liga de Inconel 718 ([34]: modificado).

4.2. Corrosão por pite

A polarização potenciodinâmica cíclica permite determinar o potencial de pites (E_{PITE}), e o potencial de circuito aberto (E_{PCA}), segundo a norma ASTM G-61 [17].

Para a determinação do potencial de pites, foi traçado um gráfico da densidade de corrente versus potencial. O potencial de pites é dado no ponto em que há um aumento abrupto da densidade de corrente,. Quanto maior for o E_{PITE} e o E_{PCA} , maior será a resistência à corrosão por pite do material, já a diferença de E_{PITE} e E_{PCA} indica o intervalo de apassivação do material.

É observado na Figura 23 e na Tabela 11 que a Liga 1, manteve a mesma resistência a corrosão por pite independentemente do raio da ferramenta. Na mesma tabela e na Figura 24 verifica-se uma resistência a corrosão aproximadamente de 60% menor utilizando a Liga 2, também é observado que novamente a mudança do raio da ferramenta não influenciou o material na resistência a corrosão por pite.

As Figuras 25 (a-d) mostram a evolução morfológica dos pites formados após o ensaio de polarização cíclica. Na Liga 2 verifica-se maior crescimento da propagação por pite comparando a Liga 1.

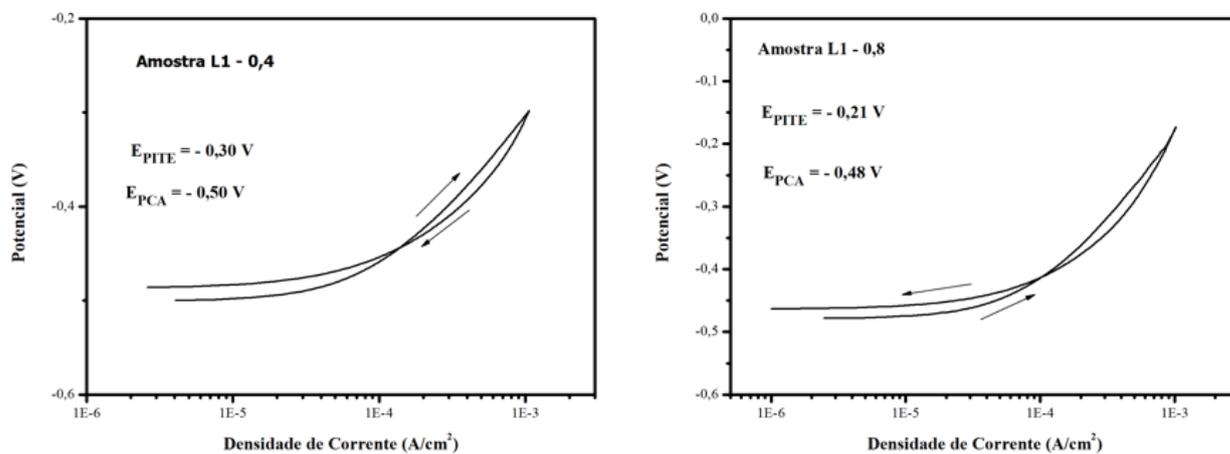


Figura 23: Curvas de polarização potenciodinâmica cíclica de cada condição avaliada da Liga 1, levantadas mediante ensaios em solução aquosa 3,5% de NaCl.

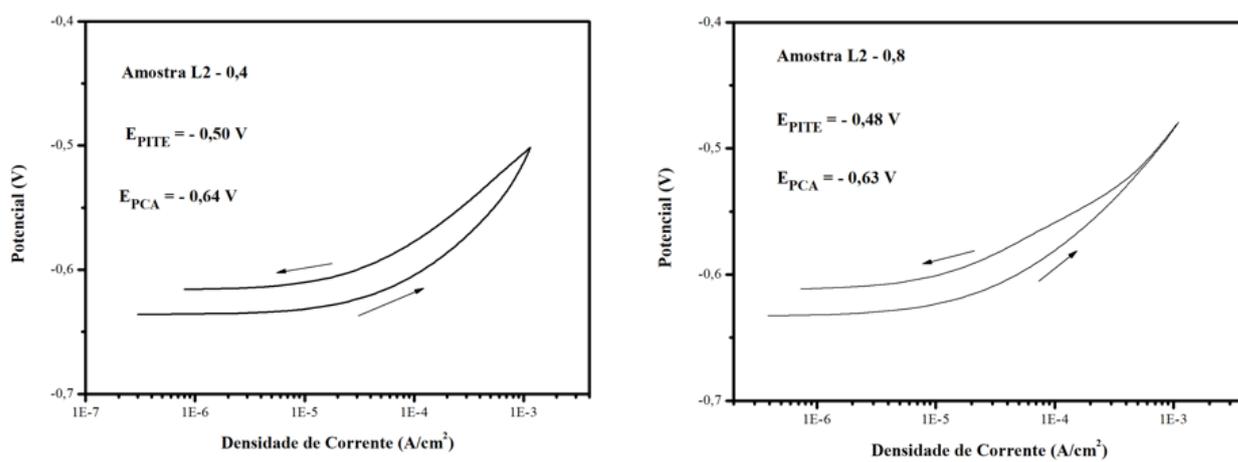


Figura 24: Curvas de polarização potenciodinâmica cíclica de cada condição avaliada da Liga 2, levantadas mediante ensaios em solução aquosa 3,5% de NaCl.

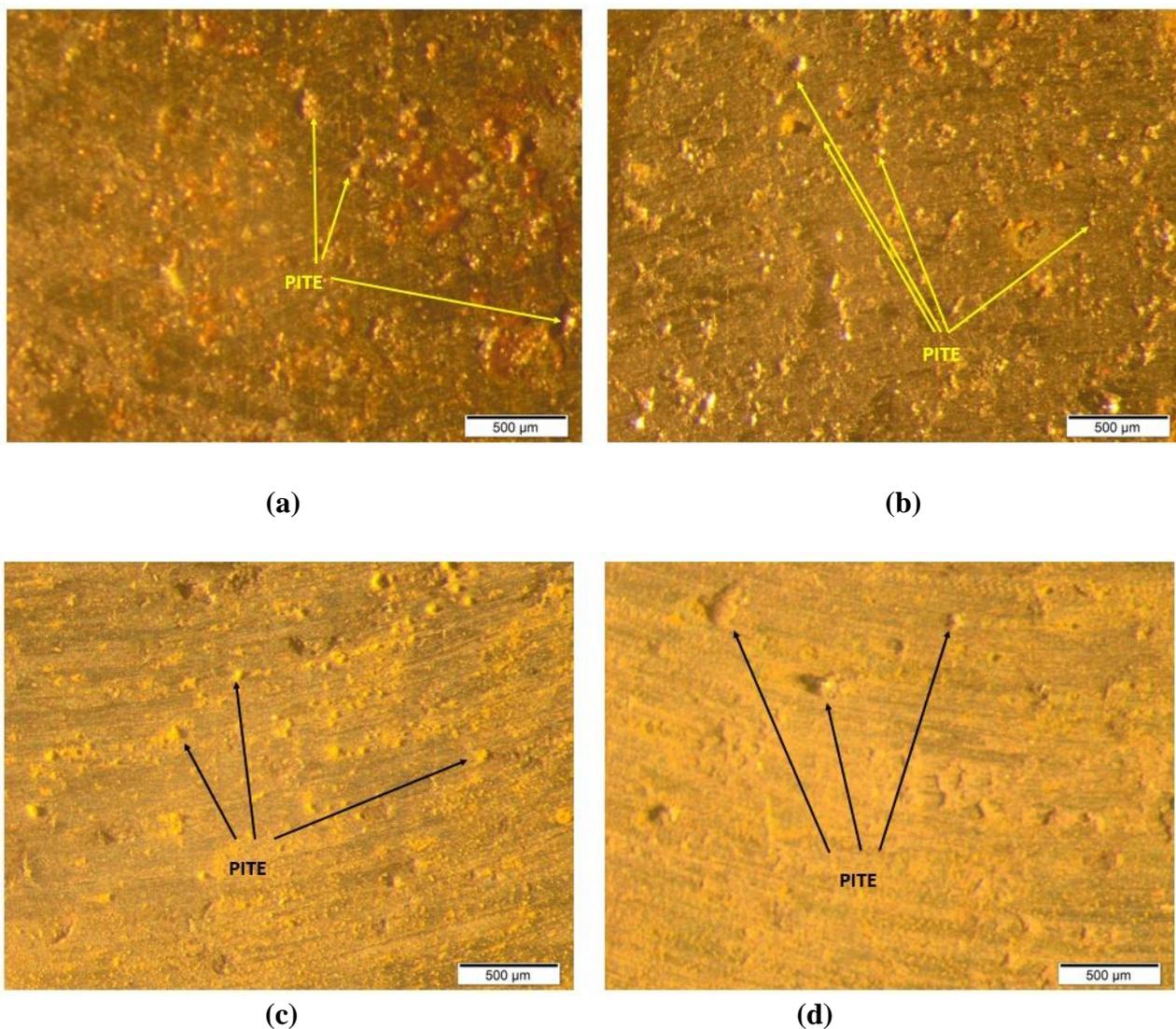


Figura 25: Imagens por MO dos pites formados após os ensaios de polarização potenciodinâmica. (a) Liga 1 Raio 0,4. (b) Liga 1 Raio 0,8. (c) Liga 2 Raio 0,4. (d) Liga 2 Raio 0,8.

Tabela 11: Parâmetros obtidos das curvas de polarização potenciodinâmica cíclica.

Condição	Resistência à corrosão por pite		
	EPITE (V)	EPCA (V)	EPITE - EPCA (V)
Liga 1- Raio 0,4	-0,3	-0,5	0,2
Liga 1- Raio 0,8	-0,21	-0,48	0,27
Liga 2- Raio 0,4	-0,5	-0,64	0,14
Liga 2- Raio 0,8	-0,48	-0,63	0,15

A fim de identificar o quanto as Ligas 1 e 2 são resistentes a corrosão, foi realizado análise comparativa com os resultados encontrados por Agüero [35], que avaliou a resistência a corrosão por pites do revestimento com a liga de Níquel Incoloy 825, pelo processo MIG pulsado, conforme resultados apresentados na Tabela 12.

Comparando os resultados apresentados nas Tabelas 11 e 12, para fins de referência, verifica-se, pelos resultados apresentados no E_{PITE} e E_{PCA} , que as ligas estudadas neste trabalho (L1 e L2) possuem resistência a corrosão por pites bem inferior à apresentada por um revestimento soldado com Incoloy 825.

É importante salientar que essa análise tomou como referência a liga Incoloy 825, devido a sua larga aplicação em equipamentos de processo, visto que não foram encontrados, na literatura pesquisada, trabalhos que referenciassem a resistência à corrosão por pites de revestimentos aspergidos termicamente.

Tabela 12: Parâmetros obtidos das curvas de polarização potenciodinâmica cíclica da amostra revestida com Incoloy 825.

Resistência à corrosão por pite		
E_{PITE} (V_{SCE})	E_{PCA} (V_{SCE})	$E_{PITE} - E_{PCA}$ (V_{SCE})
0,53	-0,33	0,86

Capítulo 5

Conclusões

O presente trabalho, que teve como objetivo a análise da influência da geometria do inserto na integridade superficial e resistência a corrosão em revestimento metálico aspergido permite concluir que:

- Na Liga 2 a geometria do inserto, apesar de ter influenciado a integridade superficial das amostras, não influenciou na resistência a corrosão.
- Na Liga 2 a geometria com raio do inserto de 0,4mm obteve-se menor Ra, portanto melhor integridade superficial, quando comparada com o raio do inserto de 0,8mm.
- Na Liga 1 a geometria do inserto não influenciou na integridade superficial como também não influenciou na resistência a corrosão.
- No ensaio de polarização, a Liga 1 apresentou resistência a corrosão maior que a Liga 2.
- De modo geral, pelos resultados obtidos os revestimentos estudados não possuem alta resistência a corrosão, quando comparados a um revestimento soldado com liga de Níquel.

Capítulo 6

Sugestão para trabalhos futuros

- Análise da integridade superficial variando os parâmetros de corte.
- Estudo da porosidade do revestimento.
- Utilizar outra técnica de aspersão térmica e/ou parâmetros de aspersão, com o objetivo de comparar com os valores encontrados neste trabalho.
- Análise mais detalhada das formas de corrosão por pite que ocorreram nas amostras por MEV.

Referência Bibliográfica

- [1] MORELO, F.; **Análise da influência do mandrilhamento na integridade superficial do aço inoxidável super duplex**, dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica do Paraná, Paraná, 2014.
- [2] PINHEIRO R. N.; **Avaliação da liga Cr-Ni-Mn usada como revestimento e obtida pelo processo de aspersão térmica**, dissertação de mestrado, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2017.
- [3] GOMES F. M. L.; **Estudo da susceptibilidade à corrosão sob tensão e à corrosão – Fadiga do aço API X65 aspergido termicamente utilizado em componentes off-shore**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- [4] **Processo de Aspersão Térmica**. Disponível em: <<http://www.comersul.com.br/secao.php?nome=aspersao-termica>>. Acesso em 23 set. 2018.
- [5] BATHIA A. **Thermal Spraying Technology and Applications, Course N°: T04-002**. Washington: *Department of The Army US.*, USA, 1999.
- [6] **Processo de usinagem**. Disponível em: <www.sandvikcoromant.com>. Acesso em 23 set. 2018.
- [7] **The National Shipbuilding Research Program, Thermal Spray Manual**. Maryland: *Naval Surface Warfare Center*, USA, 1996.
- [8] PAREDES, R. S. C. **Aspersão térmica**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

- [9] ANTUNES, J., **Avaliação da adesão e da resistência à corrosão de revestimentos de CR e CO obtidos através da técnica de aspersão térmica**, dissertação de mestrado, CEFET RJ, Rio de Janeiro, 2013.
- [10] BRITO V.; **Caracterização de revestimentos metálicos aspergidos termicamente por arco elétrico**, dissertação de mestrado, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2010.
- [11] MORAIS, T. C.; DIACENCO, A. A. **Estudo dos processos de aspersão térmica em materiais metálicos de forma a auxiliar a aplicação de camadas para diminuição de desgastes e corrosões na superfície do metal**, projeto de graduação, FEPI, Minas Gerais, 2016.
- [12] SCHWEITZER, Philip. **Fundamentals of corrosion. Mechanisms, causes and preventative methods**. CRC Press, 2010.
- [13] **Como acontece a corrosão.** Disponível em: <https://www.mecanicaindustrial.com.br/10-como-acontece-a-corrosao/>. Acesso em: 24 set. 2018.
- [14] MARCUS, P. **Corrosion Mechanisms in Theory and Practice**. 2 ed. Marcel Dekker, New York, 2002.
- [15] GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3ª edição, LTC, 1982.
- [16] HOEPPNER, D. W. "Pitting Corrosion: Morphology and Characterization". In: *Research and technology organization, Corrosion Fatigue and Environment Assisted Cracking in Aging Military Vehicles*, chapter. 5, Neuilly, France, RTO/NATO, 2011.
- [17] ASTM INTERNATIONAL. **G 61: Standard Test Method for Conducting Cyclic Potentiodynamic Polarization Measurements for Localized Corrosion Susceptibility of Iron-, Nickel-, or Cobalt-Based Alloys**, 2009.

- [18] SANCHES, L. P. **Estudo comparativo quanto a resistência à corrosão entre aços inoxidáveis utilizados em trocadores de calor**, projeto de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- [19] SANTOS, S. **Aspectos tribológicos da usinagem de materiais**. 1ª edição, Artliber, 2007.
- [20] ROSSI C. G., **Estudo das forças de corte no processo de fresamento de bordas de chapas utilizadas para a fabricação de tubos de aço com costura**, dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- [21] MACEDO E. M. S., **Análise de forças no fresamento de topo convencional e com altas velocidades de corte**, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- [22] MIRRES P. S., **Identificação experimental do chatter no fresamento de topo**, dissertação de mestrado, CEFET RJ, Rio de Janeiro, 2013.
- [23] SANDVIK, **Training Handbook**, 3ed, Elanders, 2010.
- [24] FITZPATRICK, M., **Introdução aos processos de usinagem**, 1ª ed., Amgh Editora LTDA, 2013.
- [25] MEDEIROS I., LIMA A., DINIZ L., GOMES K., SILVA A. **Estudo da interferência do raio de ponta da ferramenta sobre a rugosidade superficial em um processo de torneamento**, enciclopédia biosfera, v. 15, n. 28, p.1472-1484, Dez. 2018.
- [26] SANDVIK. **Application guide**, 1ed, Elanders. 1999.
- [27] BARROS R. C. G., **Estudo da integridade superficial após fresamento do aço UNS 15500 obtido por manufatura aditiva**, projeto de graduação, CEFET RJ, Rio de Janeiro, 2018.

- [28] ABNT NBR ISO 4288. **Especificações geométricas de produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade**, 2008.
- [29] RODRIGUES R. A., **Estudo da geometria de arestas de corte aplicadas em usinagem com altas velocidades de corte**, tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [30] HÜBNER H., **Estimação da rugosidade gerada no processo de fresamento frontal via redes neurais artificiais**, dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- [31] HASSIOTIS, N.D.; PETROPOULOS, G.P., **Influence of surface roughness on corrosion resistance of turned carbon steel parts**, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, p. 202 – 212, vol. 1, n° 2, 2006.
- [32] SHAPA Technical Bulletin, **The Surface Finish of Stainless Steel on Fabricated Items**, n° 1, 9 p., January, 2000.
- [33] CARNEIRO D. R. MATEUS, **Aspectos de resistência à corrosão de ligas de níquel-cromo e cobalto-cromo obtidas pelo processo de aspensão térmica por arco elétrico**, dissertação de mestrado, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2016.
- [34] FILHO A., **Fresamento de topo do inonel® 718 com ferramentas de metal duro microgrãos**, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2018.
- [35] AGÜERO, B. L. F. **Avaliação da Resistência à corrosão Localizada de Revestimentos Soldados com Ligas de Níquel pelo Processo MIG-Pulsado**, projeto de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.