



AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO E ANÁLISE MICROESTRUTURAL DO ELETRODO UTP 7200D ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDAGEM SMAW

Henrique Cechinel Casagrande¹

Emilio Zappellini²

Marcio Afonso³

Romilto Tomaz⁴

Carlos Antonio Ferreira⁵

Anderson Daleffe⁶

Lirio Schaeffer⁷

Resumo: Em decorrência do avanço tecnológico no ramo metal mecânico, bem como, contribuir no ramo científico para tal, se traz neste artigo um estudo sobre os comportamentos mecânicos para o eletrodo de soldadura UTP 7200D, mais especificamente, entender o comportamento para este material em relação ao desgaste abrasivo e qual sua estrutura metalográfica. Processos de soldagem representam um desafio devido à grande variedade de ligas disponíveis e são amplamente utilizados nas indústrias metalúrgicas, visando união de materiais e incremento de camada extra de revestimento almejando ganhos de rendimentos, onde sobre um núcleo de material menos resistente, recobre-se, este, por um material com propriedades superiores, estabelecendo ganhos no quesito custo X benefício. O conhecimento das características tribológicas dos materiais sujeitos ao desgaste por abrasão é fundamental para a otimização e definição dos elementos de máquinas, e é fator determinante na quantificação da vida útil dos dispositivos mecânicos. Neste artigo, avaliaram-se as propriedades de resistência ao desgaste abrasivo do revestimento depositado através do eletrodo de solda UTP 7200D (sobre um substrato de aço SAE 1020) e estudou-se sua estrutura metalográfica. Este eletrodo, usualmente é indicado para serviços onde são exigidas as propriedades do aço manganês austenítico, sob condições de impacto elevado, compressão, atrito e abrasão moderada, proporcionando elevada resistência a trincas. As amostras foram submetidas a ensaio de desgaste utilizando um abrasômetro do tipo roda de borracha, padronizado pela norma ASTM G65-91 e obtido os valores de perda de massa. As propriedades mecânicas de um material estão relacionadas a sua microestrutura, sendo de grande importância conhecê-las qualitativamente, avaliando

¹ Mestrando Eng. Metalúrgica. UniSATC, 2024. E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com

² Mestrando Eng. Metalúrgica. UniSATC, 2024. E-mail: emiliozap@gmail.com

³ Mestrando Eng. Metalúrgica. UniSATC, 2024. E-mail: souzamarcioafonsode@gmail.com

⁴ Mestrando Eng. Metalúrgica. UniSATC, 2024. E-mail: romiltothomaz1@gmail.com

⁵ Doutorando, UFRGS. UniSATC, 2024. E-mail: carlos.ferreira@satc.edu.br

⁶ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁷ Prof. Dr. UFRGS. E-mail: schaefer@ufrgs.br



o seu comportamento microestrutural e sua composição química em diferentes zonas, avaliando-se a constituição e estrutura dos metais com o objetivo de relacioná-los com as propriedades mecânicas e processos de fabricação. Essa estrutura revela os agregados e fases de uma liga metálica em função de sua composição química ou processos de transformação aplicados à mesma. A partir dos resultados obtidos foi possível afirmar que o eletrodo UTP 7200D não obteve resistência ao desgaste abrasivo para trabalhos com revestimento. O material depositado obteve a perda média de 2,92 gramas, enquanto comparado com a literatura um metal utilizado como britador com cobertura de carboneto de tungstênio perde em torno de 0,4 gramas no mesmo tempo aplicado aos dois casos. Entretanto, para avaliação microestrutural, a região soldada apresentou dendritas que se formam quando o material solidifica em movimento, fenômeno esse que caracteriza um processo complexo na solidificação com este eletrodo. Já para a região da fronteira entre metal de base e metal depositado, é possível perceber a ferrita de Widmanstätten. Este tipo de ferrita é característica de soldagem com superesfriamento, onde possui dureza maior comparado com a ferrita poligonal, o que nem sempre é desejado devido ao aumento da fragilidade da zona afetada pelo calor.

Palavras-chave: UTP 7200 D, Eletrodo revestido, Soldagem SMAW, Desgaste Abrasivo, Análise metalográfica.

1 INTRODUÇÃO

Para muitos o termo “soldagem” teve seu início a poucas décadas. Mas, ao contrário do que muitos pensam há indícios de união de materiais há cerca de quatro mil anos aos arredores dos rios Nilo e Tigre-Eufrates, através da soldagem por forjamento (MEDEIROS, 2018).

A soldagem é um processo de fabricação que tem boa amplitude em sua utilização. Ocorre pelo simples fato de, ao ser necessário obter coalescência (união) entre dois metais ou não metais é necessário utilizar este processo. Logo, foi possível utilizar o processo de soldagem não somente na indústria, mas até mesmo nas residências, devido a praticidade do processo e ampla gama de máquinas e derivados de soldagem que surgiram na última década.

Dentro do grande campo desse processo, é possível ter diferentes tipos de soldagem. Para este artigo se faz necessário ressaltar a soldagem a arco elétrico, mais especificamente o processo de arco elétrico tipo eletrodo revestido (SMAW – Shielded Metal Arc Welding).

Na indústria metal mecânica é comum trabalhar-se com diferentes tipos de materiais, especificamente os metais. Assim sendo, um metal possui diferentes tipos de resistência que caracterizam tal. Pode-se ter resistência a condutividade elétrica,



condutividade térmica, resistência química e resistência mecânica. Para esta última, se faz necessário destacar a resistência ao desgaste, mais especificamente resistência ao desgaste abrasivo.

É necessária alta resistência mecânica ao desgaste quando há um grande esforço por atrito entre materiais. Processos como na área da mineração por exemplo, estão em constante esforço abrasivo entre máquina e minérios. As partes que estão em contato direto com tal situação precisam possuir características bem definidas, bem como o elemento de fixação permanente de tais partes (soldagem). Assim sendo, busca-se compreender o funcionamento do eletrodo revestido de alta resistência mecânica UTP 7200 D.

O artigo demonstra uma abordagem do ensaio de desgaste abrasivo tipo roda de borracha, bem como análise metalográfica das amostras ensaiadas para entender a característica do material ao desgaste e juntamente identificar as características estruturais do mesmo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na sequência, procederemos à apresentação da revisão literária abordada neste estudo.

2.1 SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO

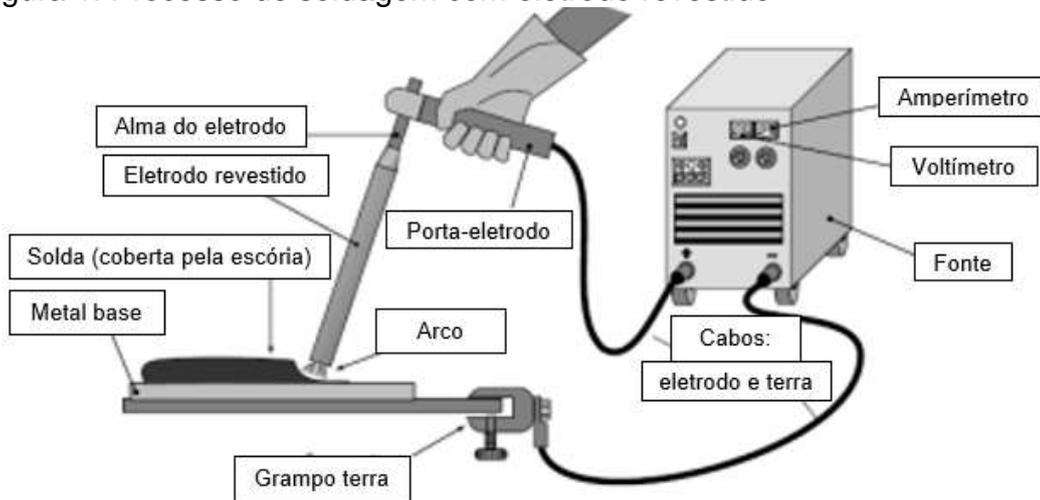
Este processo é conhecido como soldagem a arco de metal revestido (Shielded Metal Arc Welding - SMAW), ou soldagem manual por arco metálico (Manual Metal Arc Welding - MMA). É um processo de soldagem que, para ocorrer o arco elétrico é necessário que o eletrodo revestido (consumível) entre em contato com a peça a ser soldada (metal base). Quando em contato, ocorre a fusão do eletrodo e metal de base. O eletrodo possui material de adição e revestimento. O material de adição faz a deposição de metal, enquanto o revestimento fornece uma proteção ao cordão de solda contra os gases da atmosfera, bem como proporciona um resfriamento mais lento do cordão (MEDEIROS, 2018).

Ao ser iniciado o arco fotovoltáico, o cordão é protegido por uma atmosfera gasosa oriunda da queima do revestimento, bem como, o revestimento possui densidade menor que o material de adição e por este fator acaba criando uma

camada logo acima do cordão, desenvolvendo assim, a escória protetora (FILHO, 2005).

Segundo Filho (2005) apud Brandi (1988), o eletrodo é formado por uma alma, podendo ser trefilada ou fundida, responsável pela condução de corrente elétrica e pela adição de metal na junta. Já a alma, é coberta por um revestimento composto por diferentes tipos de materiais conforme as características do metal de base.

Figura 1: Processo de soldagem com eletrodo revestido



Fonte: Medeiros, 2018.

A Figura 1 detalha o processo de soldagem por eletrodo revestido. O eletrodo por sua vez, é conectado ao um polo através do porta-eletrodo por um cabo. Já o outro polo, para gerar diferença de potencial (DDP) deve ser conectado pelo grampo terra (MEDEIROS, 2018).

2.1.1 Diâmetro do eletrodo e espessura do revestimento

Para Filho (2005) apud Wegrzyn (1980), o controle de magnitude da corrente elétrica tem como principais influenciadores o diâmetro da corrente e a espessura do revestimento. Entretanto, a voltagem e o comprimento do arco, são parâmetros que dependem das habilidades do soldador e do tipo de revestimento.

O presente estudo trará as características mecânicas ao desgaste abrasivo para o eletrodo UTP 7200 D, dessa forma, sabe-se que tão importante quanto a alma do eletrodo que ditará quais resistências predominantes o cordão de soldadura terá, o seu revestimento tem influência sobre tal. Assim sendo, para este eletrodo em questão, utiliza-se o revestimento do tipo básico, que segundo Infosolda (2023), este



contém grande quantidade de carbonatos de cálcio ou outro material fluorita. No momento da fusão, a escória básica acaba gerando uma camada protetora, que ao entrar em contato com o dióxido de carbono (CO₂) gerado pela decomposição do carbonato, cria uma camada superficial protegendo assim o cordão dos agentes atmosférico.

2.2 ELETRODO UTP 7200 D.

Segundo UTP Maintenance (2014), este eletrodo é utilizado quando há necessidade de soldagem que necessitam de resistência ao impacto extremo, atrito e compressão. Tal eletrodo, por possuir uma quantidade elevada de manganês, como é possível observar na Tabela 1, é considerado um aço manganês austenítico, dessa forma, aumentando a resistência mecânica ao desgaste, bem como outros elementos de liga como cromo (Cr) e carbono (C) que elevam a dureza deste material. A Tabela 1 também traz os valores de corrente elétrica para cada tipo de espessura.

Tabela 1: Composição química UTP 7200.

Elementos	Valores (%)
Carbono (C):	0,7
Manganês (Mn):	13
Níquel (Ni):	4
Cromo (Cr):	4,5
Ferro (Fe):	restante
Espessura (mm)	Corrente (A)
3,25	100 - 140
4,00	140 - 180
5,00	170 - 200

Fonte: UTP Maintenance, 2014.

A norma técnica para este eletrodo denominasse AWS A5.13. Quando submetido a soldagem pode chegar a uma dureza de 200 a 250 HB, e endurecido com o trabalho pode ter valores de 400 a 450 HB (UTP Maintenance, 2014).

2.3 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

É necessário realizar pré-testes para uma soldagem eficaz. Busca-se parâmetros ideais de soldagem, tal como intensidade da máquina, bem como velocidade de alimentação e movimentação da tocha (ARTAZA et al., 2017).

Figura 2: Determinação de parâmetros de soldagem



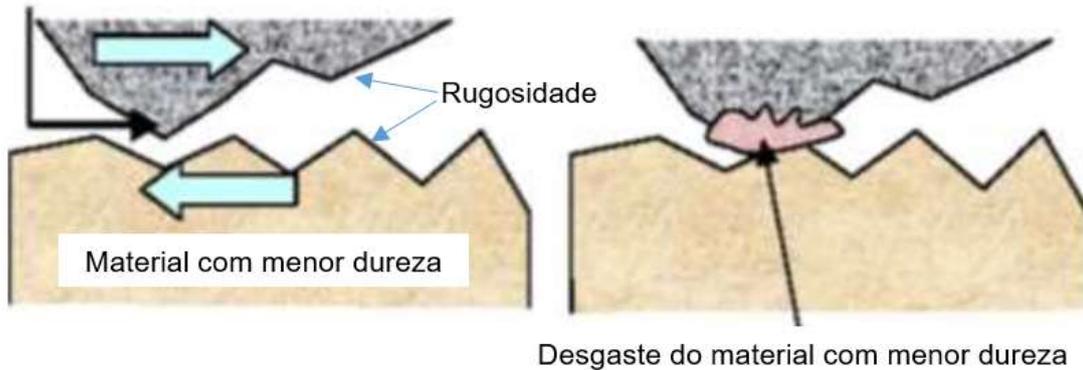
Fonte: Artaza et al (2017).

Segundo Nunes (2009), é válido realizar testes para buscar parâmetros ideais, variando corrente e velocidade de soldagem. As camadas de solda devem possuir sobreposição de 30 a 50% entre os passes laterais.

2.4 DESGASTE ABRASIVO

Segundo Geremia (2016), o desgaste abrasivo acontece quando partículas duras ou asperezas forçam uma superfície enquanto se movem, resultando na perda de massa dessa superfície. Isso ocorre quando duas ou três superfícies em movimento relativo interagem e se desgastam devido à sua rugosidade, como no caso de um mancal de uma máquina. Às vezes, a remoção de material de uma das superfícies pode resultar em um desgaste abrasivo de três corpos, como no exemplo em que uma partícula do eixo pode ser removida e na sequência se prende entre o eixo e o mancal.

Figura 3: Ilustração desgaste abrasivo



Fonte: Geremia, 2016.

Para Langbehn e Daleffe (2023), este tipo de desgaste é responsável pela redução de vida útil de máquinas e ferramentais na indústria em geral. Dito isto, quando há desgaste abrasivo com esforços por impacto, ou até mesmo vibrações, é necessário tratamentos térmicos superficiais para melhorar a resistência superficial e manter o núcleo tenaz.

Se tem desgaste abrasivo quando partículas se movem ou são empurradas contra uma superfície em movimento, causando atrito e desgaste, resultando na remoção de material da superfície. Esse fenômeno pode ocorrer quando há deslizamento ou força entre as partículas e a superfície, e pode causar amassamento ou deslocamento da superfície (ASTM G40-17).

Segundo Kettermann (2000), dentre os vários tipos de desgaste, o abrasivo já era responsável por mais da metade dos casos de desgaste em equipamentos industriais. Esse por sua vez é considerado o mais severo e é comumente encontrado em diversos setores da indústria.

Existem vários tipos de abrasão descritos na literatura, incluindo abrasão por goivagem, abrasão a alta tensão (moagem) e abrasão a baixa tensão (riscamento), sendo este último o foco deste estudo. A abrasão a baixa tensão ocorre quando partículas livres deslizam sobre uma superfície, com baixas tensões envolvidas que não chegam a superar a resistência ao esmagamento do material abrasivo. O material desgastado é removido da superfície em ângulos de agressão baixos, gerando micro usinagem na superfície (RIBEIRO, 2004).

Os abrasivos com arestas cortantes causam um desgaste mais rápido, enquanto a dureza da superfície minimiza a penetração dessas arestas, reduzindo a velocidade do desgaste. Esse tipo de abrasão geralmente ocorre na superfície de equipamentos que manuseiam abrasivos de diferentes granulometrias, como terra, areia, carvão e minérios em geral. Equipamentos agrícolas, de escavação, transporte e manuseio de minérios, bem como equipamentos em usinas sucroalcooleiras, facas e martelos desfibradores, exaustores, roletes, bagaceiras e outros, podem sofrer com esse tipo de desgaste (RIBEIRO, 2004).

2.5 ENSAIO ABRASIVO TIPO RODA DE BORRACHA

Segundo Kettermann (2017), como a abrasão é responsável por pelo menos metade dos problemas de desgaste na indústria, especialmente a abrasão a baixa tensão, muitos laboratórios estão estudando esse fenômeno para desenvolver técnicas e materiais que possam minimizá-lo. A severidade do desgaste abrasivo em um sistema depende de vários fatores, como tamanho, forma e dureza das partículas abrasivas, a magnitude da tensão aplicada por elas, a frequência de contato e a dureza da superfície que sofre o desgaste. Para avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de baixa tensão, é comum utilizar a roda de borracha e areia conforme Figura 4.

Figura 4: Diagrama esquemático do equipamento de ensaio.



Fonte: KETTERMANN, 2017.



Novos métodos de teste de desgaste são frequentemente desenvolvidos para simular aplicações específicas. Um dos métodos mais comuns é a configuração usada para abrasão de três corpos, que envolve um corpo de prova, uma roda giratória e partículas abrasivas. Essa configuração é baseada nas normas ASTM G65, que exigem o uso de um abrasômetro e a medição da perda de volume em mm³ para obter o resultado de cada teste. A máquina de ensaio abrasivo de Brinell foi a precursora de todos os tipos de ensaios abrasivos que surgiram posteriormente, usando um disco giratório de ferro fundido e fluxo de areia seca para desgastar os corpos de prova. No entanto, a taxa de abrasão dessa máquina mudou com o tempo devido ao aumento da área de contato entre a roda e o corpo de prova (S. WIROJANUPATUMP, P.H. SHIPWAY, 2000).

Para corrigir esse problema, Haworth substituiu a roda de ferro por uma de borracha. Atualmente, todos os testes de abrasão padronizados pela ASTM são baseados no trabalho de Brinell e Haworth (S. WIROJANUPATUMP, P.H. SHIPWAY, 2000).

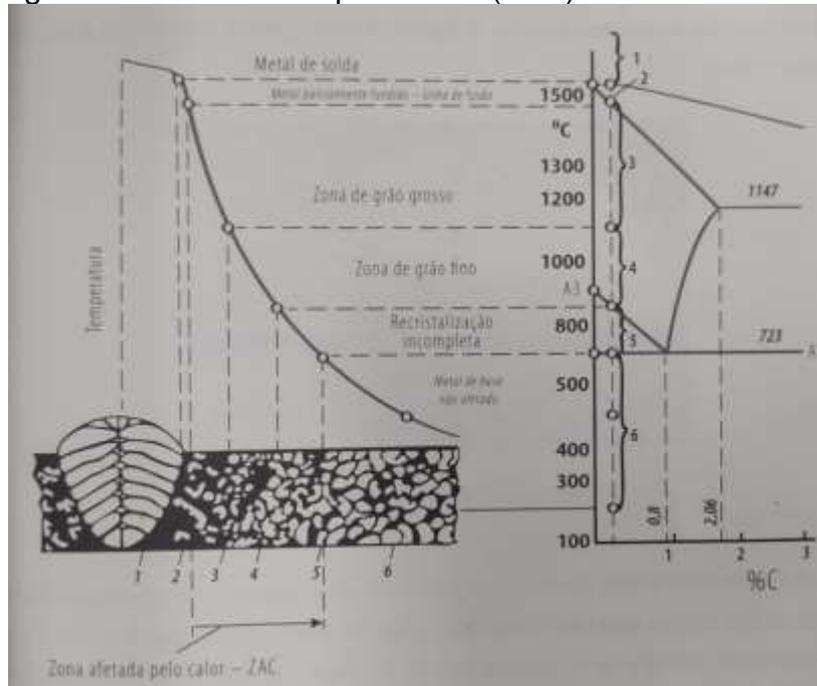
2.6 ENSAIO METALOGRÁFICO

Os processos de soldagem que utilizam a fusão localizada necessitam de uma fonte de energia intensa, formando assim, regiões com elevadas temperaturas. Esse fator desenvolve uma gama de gradientes térmicos, ou melhor, existe diferença de temperatura ao longo do cordão em curto espaço de tempo. Ou seja, ocorre variação de microestruturas e propriedades (ALMENDRA, 2013. Pág. 112).

2.6.1 Zona afetada pelo calor (ZAC)

Devido aos gradientes térmicos resultantes do processo de soldagem, ocorre variações na microestrutura e propriedades mecânicas no material. Essas transformações podem ser compreendidas na Figura 5. (ALMENDRA, 2013, Pág. 118).

Figura 5: Zona Afetada pelo Calor (ZAC)



Fonte: Almendra, 2013. Pág. 119.

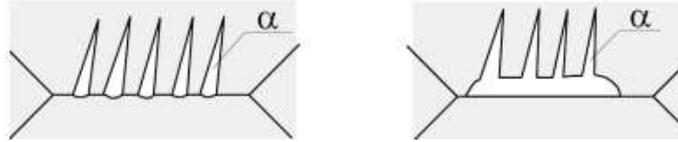
A Figura 5 traz às características de uma ZAC bem como as áreas afetadas.

- 1: Zona do metal de solda – Local com temperatura acima da temperatura de fusão.
- 2: Zona de penetração – Área parcialmente líquida.
- 3: Zona de recristalização completa.
- 4: Zona de recristalização completa.
- 5: Zona de recristalização incompleta.
- 6: Zona sem mudança de estrutura.

2.7 FERRITA DE WIDMANSTÄTTEN

Para Lessa 2011, a Ferrita de Widmanstätten são placas (conforme Figura 6), que se precipitam, e na sequência crescem em torno dos grãos austeníticos. Comumente acontece quando os grãos austeníticos são maiores, e quando o teor de carbono fica entre 0,2 e 0,4%.

Figura 6: Morfologia das placas de ferrita de Widmanstätten.

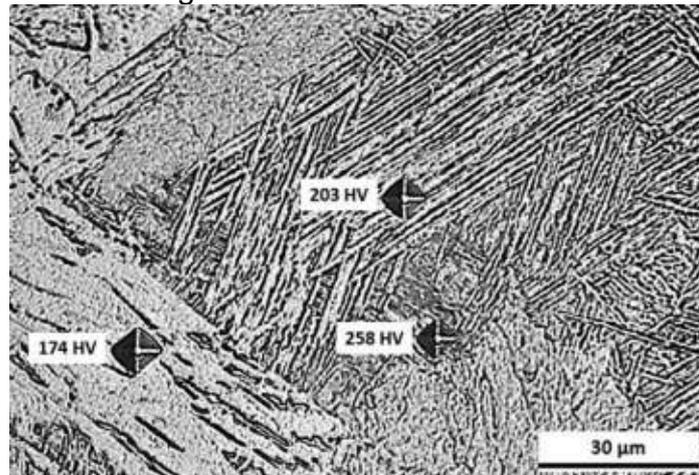


Fonte: Lessa (2011) apud Pinheiro (2001).

O fator que caracteriza esta fase é o superesfriamento relativamente baixo (LESSA, 2011).

A Figura 7 detalha um aço com 0,06% em peso de carbono, 0,3% de manganês e 0,1% de silício (GREWAL et al, 2016).

Figura 7: Comparação de micro dureza entre diferentes regiões da amostra.



Fonte: Grewal et al (2016).

Grewal et al (2016), realizaram a medição de dureza em três regiões. Regiões essas que contêm ferrita poligonal com cerca de 174 HV, ferrita de Widmanstätten com 203 HV e região martensítica com 258 HV.

Assim, conforme mostrado na Figura 7, a ferrita de Widmanstätten pode causar efeito indesejado na peça soldada pelo fato de possuir maior dureza. Conforme Yang e Chang (1997), a ferrita de Widmanstätten é indesejável pois possui baixa tenacidade em aços de baixa liga, provocando assim efeito de fragilidade no metal. Yang e Chang (1997) também confirmam que essa fase é estimulada quando o tamanho de grão austenítico é muito grande.



3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Essa etapa trata dos procedimentos utilizados para realização deste artigo, bem como sua contribuição para o desenvolvimento do conhecimento científico.

3.1 AÇO SAE 1020

Para iniciar o cordão de solda é necessário utilizar como base um metal de deposição. Dessa forma, adotou-se como metal de base três amostras de aço SAE 1020. As amostras possuem as seguintes dimensões; 25,4 x 12,7 x 76,2 mm.

Tabela 2: Composição química do aço SAE 1020.

Elementos	Valores (%)
Carbono (C)	0,18 – 0,23
Enxofre (S) máx.	0,05
Manganês (Mn)	0,3 – 0,6
Fósforo (P)máx.	0,03

Fonte: Beltrán (2019)

A Tabela 2 traz a composição química do aço SAE 1020. Percebe-se o baixo teor de carbono que compõe este material. O teor de carbono é o fator predominante de dureza nos aços. Porém, ressaltasse que este material foi utilizado somente como substrato, não interferindo na análise com o material de deposição.

3.2 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

No processo de soldagem com eletrodo revestido foi utilizado uma máquina de solda Arc 406 da marca ESAB e eletrodo de alto rendimento (130%) com revestimento básico UTP 7200 D, com Ø 4,0 mm por 450 mm de comprimento. Para ajustar os cordões de solda, foram realizados três testes com eletrodo 6013 e corrente de 100 A, o material foi depositado em uma chapa de aço SAE 1020.

Inicialmente a corrente utilizada no processo de soldagem com eletrodo revestido UTP 7200D foi de 160 A, em seguida reduzida para 150 A, de acordo com a faixa de corrente recomendada pelo fabricante.

A estratégia de deposição de material ocorreu intercalando o sentido de soldagem em cada passe. Foram realizados um total de dois passes e dois cordões com 30% de penetração. Depois da deposição do primeiro passe, foi retirado a escória para receber o próximo passe. Os corpos de prova receberam resfriamento em ar ambiente. A Figura 8 apresenta como ficaram os corpos de prova com a adição do revestimento UTP 7200D:

Figura 8: Deposição de material nos corpos de prova.



Fonte: Do autor (2023).

O processo de soldagem foi realizado com auxílio de EPI (Equipamento de proteção individual) e ambiente de trabalho destinado para realizar processos de soldagem.

3.3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A chapa base de aço 1020, que recebeu a deposição de material por processo de soldagem, possui geometria retangular com 25,4 mm de largura, 12,7 mm de espessura e 76,2 mm de comprimento. O material foi fornecido pela universidade UniSatc, sem acabamento ou tratamento superficial para limpeza.

Foi necessário desbastar o corpo de prova soldado para eliminar o excesso de solda. A peça foi esquadrejada na fresadora universal ROMI U30 na face superior e lateral, em seguida retificada na retífica plana Mello P36. É possível observar na Figura 9 a usinagem realizada nos corpos de prova:

Figura 9: Corpos de provas usinados.



Fonte: Do autor (2023).

O procedimento de usinagem na face superior do corpo de prova fornece uma superfície reta possibilitando realizar o ensaio de desgaste por roda de borracha, logo a face lateral proporciona efetuar uma análise de penetração do revestimento no material de base.

3.4 ENSAIO ABRASIVO TIPO RODA DE BORRACHA

O ensaio de desgaste abrasivo utilizado foi o método de roda de borracha, seguindo a norma ASTM G65, e areia com norma NBR - 7214. Os corpos de prova foram desmagnetizados devido o processo de retifica, em seguida as peças foram banhadas em água corrente. Foi mensurada a rugosidade das superfícies retificadas com o auxílio do rugosímetro Mitutoyo modelo SJ-310. A massa inicial e final dos materiais foram mensuradas com uma balança de precisão Marte modelo AUX320.

Foram ensaiados três corpos de prova, no qual cada peça era fixada no equipamento e submetida ao desgaste da roda de borracha e areia por 30 minutos com uma força de 128 N e velocidade de rotação da roda de borracha em 200 RPM.

Na Figura 10, demonstra-se o equipamento abrasômetro utilizado e seus respectivos corpos de prova:

Figura 10: Abrasômetro e corpos de prova ensaiados.



Fonte: Uggioni (2017) e do autor (2023).

Os dados obtidos com o ensaio são convertidos em perda de volume através da equação (1):

$$V_p = \frac{(m_i - m_f) \cdot 1000}{d} \quad (1)$$

Onde:

V_p = volume perdido (mm^3);

m_i = massa inicial (g);

m_f = massa final (g);

d = densidade do material (g/cm^3);

3.5 ENSAIO METALGRÁFICO

O ensaio metalográfico consiste em relacionar a estrutura do material com as suas propriedades físicas, com o processo de fabricação, com o desempenho de suas funções e outros (MONFERRATO, 2023).



As amostras foram cortadas em uma serra fita e na sequência retificadas em uma retífica plana Mello P36. O processo de retífica contribui para retirada de imperfeições superficiais causadas no processo de corte por serra.

Em seguida, as amostras foram lixadas com lixa de granulometria 220, 320, 400, 600 e 1200. A operação de lixar tem como objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície dando um acabamento uniforme a superfície, preparando-a para o polimento. O lixamento manual consiste em se lixar a amostra sucessivamente com lixas de granulometria cada vez menor, mudando-se de direção (90°) até desaparecerem os traços da lixa anterior.

O processo de ataque químico tem como objetivo permitir a identificação dos contornos de grão e as diferentes fases na microestrutura. Um ácido é colocado em contato com a superfície da peça por certo tempo. Os reagentes são escolhidos de acordo com o material e dos constituintes macroestruturais que se deseja contrastar na análise metalográfica microscópica.

As amostras foram submetidas ao ensaio microestrutural através do microscópio Olympus modelo SC30, conforme norma ABNT NBR 15454.

4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

4.1 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

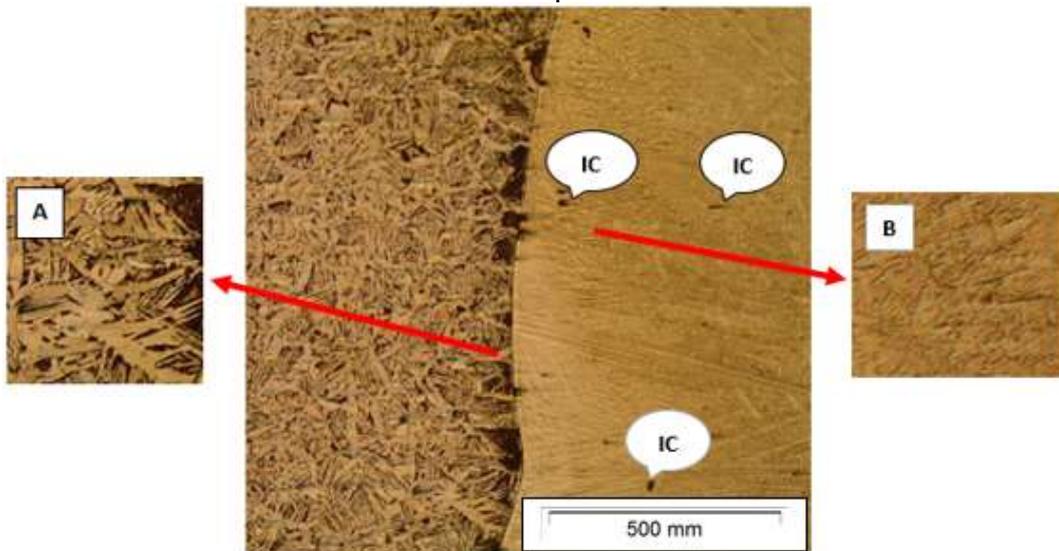
Durante a análise metalúrgica do eletrodo UTP 7200D, observou-se um comportamento atípico em relação à reatividade do material ao ataque com ácido nítrico. Diante da ineficácia do ácido nítrico, recorreu-se ao ataque com ácido vifeira por um período de 20 segundos, o que resultou na revelação de características microestruturais cruciais, incluindo a presença de ferrita de Widmanstätten na fronteira e dendritas no material soldado.

A presença dessas estruturas é indicativa de um processo de soldagem e solidificação complexos, fornecendo detalhes sobre a formação e a evolução da microestrutura do eletrodo UTP 7200D.

A presença de ferrita de Widmanstätten, característica da zona de transição da solda para o material de base, sugere a ocorrência de um processo de resfriamento lento após a soldagem, permitindo a formação dessas estruturas microscópicas distintas. Essa observação é fundamental para compreender não

apenas o processo de soldagem em si, mas também as propriedades mecânicas e a integridade estrutural do material soldado em condições operacionais. Na Figura 11 constam as imagens obtidas através do microscópio, e destaca-se ferrita de Widmanstätten (A), a formação de dendritas (B), e inclusões na região de soldagem (IC).

Figura 11: Fronteira entre metal base e depositado.



Fonte: Do autor (2024).

Na Figura 12, é possível fazer uma avaliação da diferença entre material de base (B), a região da fronteira (F), e a região de deposição do eletrodo (E).

Figura 12: Material de Base (B), Fronteira (F), e Eletrodo (E)



Fonte: Do autor (2024).

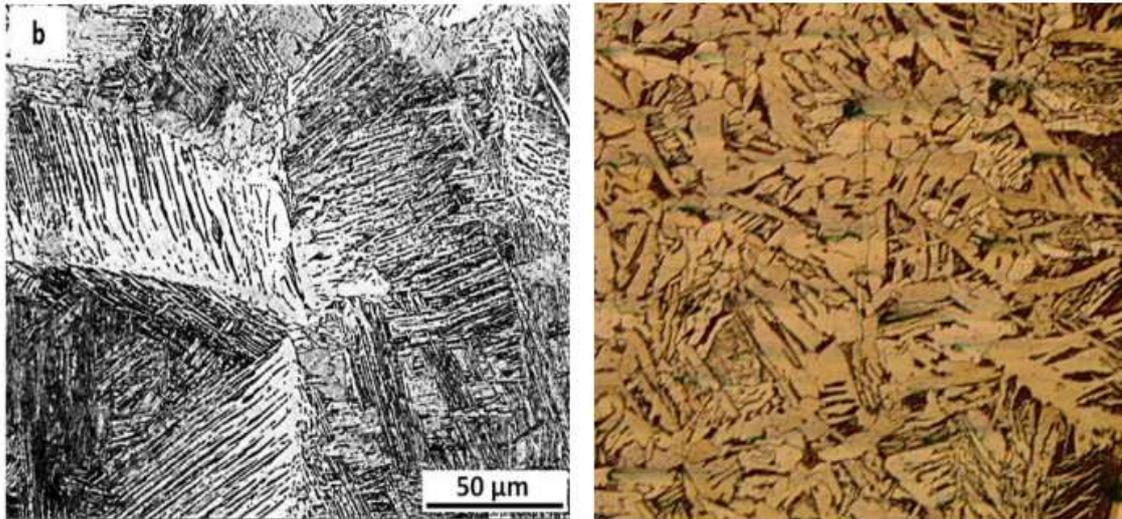
Na Figura 12, destaca-se ferrita (Fe), perlita (Pe), ferrita poligonal (FP) e regiões de dendrita (De).

Além disso, a identificação de dendritas (De) no material soldado indica um processo de solidificação direcional durante a soldagem, onde os grãos de metal se

cristalizam a partir do líquido em movimento. A presença dessas dendritas pode influenciar significativamente as propriedades mecânicas do material soldado.

A Figura 13 traz uma comparação entre um aço 0,06%, 0,3% e 0,1% em peso de; carbono, manganês e silício, respectivamente.

Figura 13: Comparação literária com a amostra estudada.



Fonte: Grewal et al (2016) e, do autor (2024).

Nota-se a semelhança entre as lamelas de ferrita de Widmanstätten entre as duas imagens (esquerda literária e direita do autor).

4.2 DESGASTE ABRASIVO

Primeiramente, foi avaliado a rugosidade da superfície antes de iniciar o ensaio abrasivo, conforme norma ASTM G65.

Os valores de rugosidade longitudinal e transversal dos corpos de provas são demonstrados na tabela abaixo:

	Corpo de prova N°1			Corpo de prova N°2			Corpo de prova N°3			Média (µm)
Longitudinal	0,221	0,157	0,146	0,151	0,172	0,132	0,148	0,111	0,152	0,137
Transversal	1,167	1,156	1,138	1,255	1,096	1,064	1,436	1,384	1,29	1,37



Os valores de rugosidade transversal estão acima de 0,8 μm , sendo um valor maior comparado a norma ASTM G65.

Os valores de desgaste do corpo de prova revestido com eletrodo UTP 7200D obtidos pelo ensaio de borracha são apresentados conforme a tabela 3.

O revestimento proporciona ao material base a capacidade de resistir condições de elevado impacto, atrito e abrasão com grau moderado. O depósito com alto teor de manganês e níquel como elemento ligado dificulta a o surgimento de trincas e endurecimento da superfície devido ao trabalho mecânico a frio.

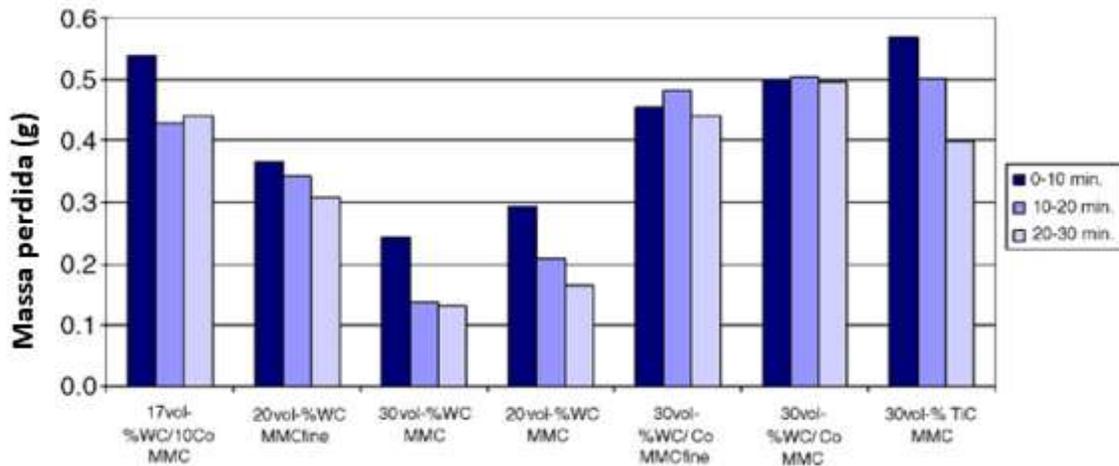
Tabela 3: Massa perdida em gramas (g) após 30 minutos.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Início (g)	212,5958	199,2009	173,8087
Final (g)	209,6524	196,7070	170,4294
Diferença (g)	2,9434	2,439	3,3793
ΔV (mm^3)	378	313,5	434,4

Fonte: Do autor (2024).

Abaixo, foi utilizado um aço ferramenta do tipo Ralloy ®WR6 e realizado desgaste abrasivo para diferentes tipos de revestimento. O reforço depositado foi metal duro (WC – Co), carboneto de tungstênio fundido (WC) e carboneto de titânio (TiC). Note-se que para o valor de tempo com 30 minutos, nenhuma das condições alcançou perda de 1 grama. Vale salientar, que conforme Sanna et al (2007), estes materiais citados na Figura 14, foram ensaiados simulando um britador cônico, o que se encaixa com este estudo que simula a recuperação de dentes de máquinas que sofrem desgaste abrasivo com revestimento utilizando eletrodo UTP 7200D.

Figura 14: Comparação ensaio abrasivo com diferentes condições para um britador cônico.



Fonte: Sanna et al (2007).

Já para Minatto et al (2020), ao utilizar a deposição de um arame tubular indicado contra desgaste em componentes e peças mecânicas, através do processo MIG (Metal Inert Gas), ou gás inerte, o autor utilizou três ligas de revestimento duro. Dessas três, duas aplicações com composição química similares de FeCrC+Nb e uma liga FeCrC+Ti, indicados para soldagem de aço manganês em ligas metálicas. Salienta-se que por possuir um elevado teor de cromo as ligas apresentaram grande quantidade de carbonetos (entre 52,38 – 64,72%).

Contudo, os autores mostram uma resistência ao desgaste abrasivo em baixa tensão superior aos resultados obtidos neste estudo. No entanto, ressaltam que materiais extremamente duros podem responder de forma ineficaz devido a fragilidade quando exigido aplicações associadas ao impacto.

5 CONCLUSÃO

A deposição de material através do processo de soldagem, apresentou facilidade de controlar a poça de fusão e realizar a estratégia de soldagem estabelecida.

Após realizar os processos de usinagem para extrair o sobremetal em excesso dos corpos de prova, o acabamento deixado pela retífica manifestou acabamento superficial longitudinal mediano de 0,154 μm , cumprindo a norma ASTM G65, que trata de uma rugosidade média de até 0,8 μm .



É possível concluir, através do ensaio no abrasômetro, que os corpos de prova com revestimento UTP 7200D apresentaram em média 2,938 g de desgaste abrasivo. O comportamento do eletrodo utilizado foi adequado e recomendado para revestimento e união de peças Níquel-Mânganes, porém não atende trabalhos que exijam desgaste abrasivo, visto que comparado com a literatura, o valor de desgaste é elevado.

A análise metalográfica mostrou uma estrutura contendo ferrita de Widmanstätten, sendo está um padrão microestrutural característico formado durante o processo de resfriamento, e nem sempre desejado devido ao seu aumento de dureza. Ela consiste em placas finas de uma fase, muitas vezes ferrita, intercaladas com placas de outra fase, frequentemente austenita ou outra fase não equilibrada. No material depositado (UTP 7200D), obteve-se formação de dendritas, formada devido ao material entrar em solidificação ainda quando estava em movimento, devido a uma solidificação rápida após o processo de soldagem.

Ressalta-se que o eletrodo UTP 7200D possui em sua composição química um teor equivalente a 13% de manganês, o que junto com carbono forma carboneto com este elemento. Porém, o carboneto de manganês muitas vezes é considerado com baixa resistência ao desgaste entre os carbonetos, explicando assim os resultados obtidos no ensaio de desgaste abrasivo.

REFERÊNCIAS

ALMENDRA, Antonio. **SOLDAGEM. Área Metalurgia**. Editora: SENAI-SP, 2013. Pag. 112.

ALMENDRA, Antonio. **SOLDAGEM. Área Metalurgia**. Editora: SENAI-SP, 2013. Pag. 119.

ARTAZA, T.; ALBERDI, A.; MURUA, M.; GORROTXATEGIA, J.; FRIAS, J.; PUERTAS, G.; MELCHOR, M. A.; MUGICA, D.; SUÁREZ, A. Design and integration of WAAM technology and in situ monitoring system in a gantry machine. **Elsevier**. Pontevedra, v.13, p. 778-785, junho 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917308223>> Acesso em: 11 de junho de 2023.

ASTM G40-17, Standard **Terminology Relating to Wear and Erosion**, **ASTM International, West Conshohocken**. PA, 2017, Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/G40.htm> .Acessado em: 13 junho 2023.



ASTM G65-16e1. **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken. PA, 2016. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/G65.htm> . Acesso em: 13 junho de 2023.

BELTRÁN, JOSÉ HERNANDO DÍAZ. **INFLUÊNCIA DO METAL DE ADIÇÃO E DO GÁS DE PROTEÇÃO NA SOLDAGEM MAG DE CHAPAS DE AÇO SAE 1020**. 2019. 30 F. Monografia (graduação em engenharia mecânica). universidade federal do rio grande do sul. porto alegre, 2019. disponível em: <HTTPS://LUME.UFRGS.BR/BITSTREAM/HANDLE/10183/211333/001113947.PDF?SEQUENCE=1&ISALLOWED=Y> ACESSO EM: 11 DE JUNHO DE 2023.

FILHO, A. **Análise da influência dos parâmetros do processo de soldagem com eletrodos revestidos na estabilidade do arco e características geométricas do cordão**. Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção com o requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2554/1/Dsserta%c3%a7%c3%a3o_200529447.pdf> Acesso em: 12 de junho 2023.

GEREMIA, D. **Desgaste abrasivo ou erosivo: 3 dicas para identificar a diferença e especificar melhor os seus revestimentos contra estes desgastes**. Disponível em: < <https://pt.linkedin.com/pulse/desgaste-abrasivo-ou-erosivo-3-dicas-para-identificar-darlan-geremia>>. Acessado em: 13 junho 2023.

GREWAL, R. CLODUALDO, A. CHADHA, K. SHAHRIARI, D. JHAZI, M. JONAS, J. **Formation of Widmanstatten ferrite at very high temperatures in the austenite phase field**. Acta Materialia 109 (2016) 23-31. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645416301331>> Acessado em: 18/04/2024.

J.R. Yang, L.C. Chang. **The effect of stress on the Widmanstfitten ferrite transformation**. MATERIALS, SCIENCE & ENGINNERING A223 (1997) I58-167. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509396104755> >. Acessado em: 18/04/2024.

INFOSOLDA. **Processo com eletrodo revestido – Fundamentos**. Fevereiro, 19. 2013. Disponível em: < [KETTERMANN, V. **Desgaste e os seus mecanismos**. Engenheiro de Materiais.2017, Disponível em: <http://engenheirodemateriais.com.br/2017/11/03/desgaste-e-os-seus-mecanismos/> Acesso em: 13 junho 2023](https://infosolda.com.br/164-processo-com-eletrodo-revestido-fundamentos/#:~:text=O%20revestimento%20b%C3%A1sico%20cont%C3%A9m%20grandes,do%20contato%20com%20a%20atmosfera.> . Acessado em 31 de agosto de 2023.</p></div><div data-bbox=)



LANGBEHN, J., DALEFFE, A. Caracterização do aço ASTM A-36 com revestimento de solda dura e cementação para uso em peças de desgaste abrasivo. **Revista Vincci**—Periódico Científico da UniSATC, v.8, n. 1, p. 379-301, jan./jun., 2023. Disponível em: < <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/315/282>>. Acessado em: 15 de julho de 2024.

LESSA, C. **Soldagem FHPP – Processo e metalurgia nas Transformações de fase em um aço Cr-Mn**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGE3M. Porto Alegre, 2011. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35603/000795175.pdf?sequence=1> >. Acessado em: 18/04/2024.

MEDEIROS, V. **Determinação dos parâmetros de soldagem mais adequados para união de tubos de parede fina pelo processo de eletrodo revestido**. 2018. Trabalho de conclusão de curso apresentado na graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA. Disponível em:< [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20556/3/Determina% c3%a7%c3%a3oP ar%c3%a2metrosSoldagem.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20556/3/Determina%c3%a7%c3%a3oP ar%c3%a2metrosSoldagem.pdf)> Acessado em: 12 de junho de 2023.

MINATTO, R., COSTA, A., DALEFFE, A. Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo de baixa tensão de três ligas metálicas aplicadas em revestimento duro sobre aço manganês hadfield. 03/11/2020. BrazilianJournal of Development. Disponível em:< <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19243/15437>>. Acessado em: 15 de julho de 2024.

MONFERRATO (Santa Catarina). **Ensaio de Metalografia: O que é e para que serve?** 2023. Disponível em: <https://monferrato.com.br/>. Acesso em: 15 set. 2023.

NUNES, E; MOTTA, M; ABREU, H; MIRANDA, H; FARIAS, J; JUNIOR, F. **Efeitos dos parâmetros de soldagem na microestrutura do aço inoxidável duplex UNS S31803 pelo processo eletrodo revestido**. 5º congresso brasileiro de pesquisa e desenvolvimento em petróleo e gás. Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais / universidade federal do Ceará. Disponível em:< https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54830/1/2009_eve_ebnunes.pdf> Acessado em: 12 de junho de 2023.

RIBEIRO, R. **Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira**. 2004, Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90838/ribeiro_r_me_ilha.pdf?sequence=1 Acesso em: 13 junho de 2023.

ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras**: uma abordagem pratica versão-3.0. Santo Angelo: Lemm Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais, 2010. 30 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod_resource/content/1/APOSTILA_METALOGRAFIA.pdf. Acesso em: 09 mar. 2024.



S. WIROJANUPATUMP, P.H. SHIPWAY. **Abrasion of mild steel in wet and dry conditions whith the rubber and steel wheel abrasion apparatus.**Wear. 239(2000) 91-101.

Sanna Ala-Kleme, Paivi Kivikyto-Reponen, Jari Liimatainen, Jussi Hellman, Simo-Pekka Hannula. **Abrasive wear properties of tool steel matrix composites in rubber wheel abrasion test and laboratory cone crusher experiments.** Wear 263 (2007) 180–187. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164807003791> >. Acessado em: 18/04/2024.

UTP MAINTENANCE. **Manutenção e Cladding.** Eletrodos para revestimentos duros. Pág. 10. 2014. Disponível em: < <https://sbrrevestimentos.com.br/assets/pdfs/utp-maintenance2014.pdf>>. Acesso em: 29 de agosto de 2023.

AGRADECIMENTOS

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