

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CAMILA LEAL WOSGERAU

**UTILIZAÇÃO DOS ARAMES TUBULARES AWS E309 E AWS E71T
PARA A RECUPERAÇÃO DAS PAREDES DE DIGESTORAS
UTILIZADOS NO PROCESSO KRAFT DE CELULOSE: ESTUDO DA
VIABILIDADE ECONOMICA UTILIZANDO OS PARÂMETROS DA
TAXA DE CORROSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

CAMILA LEAL WOSGERAU

**UTILIZAÇÃO DOS ARAMES TUBULARES AWS E309 E AWS E71T
PARA A RECUPERAÇÃO DAS PAREDES DE DIGESTORAS
UTILIZADOS NO PROCESSO KRAFT DE CELULOSE: ESTUDO DA
VIABILIDADE ECONOMICA UTILIZANDO OS PARÂMETROS DA
TAXA DE CORROSÃO**



Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Coordenação de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Regis Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Denilson M. de Aguiar

PONTA GROSSA

2018

	<p>Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	
---	---	---

TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

UTILIZAÇÃO DOS ARAMES TUBULARES AWS E309 E AWS E71T PARA A RECUPERAÇÃO DAS PAREDES DE DIGESTORAS UTILIZADOS NO PROCESSO KRAFT DE CELULOSE: ESTUDO DA VIABILIDADE ECONOMICA UTILIZANDO OS PARÂMETROS DA TAXA DE CORROSÃO

por

Camila Leal Wosgerau

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 01 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Oscar Regis Junior
Prof. Orientador

Profa. Dra. Ana Maria Bueno
Membro titular

Prof. Dr. Luciano Augusto Lourençato
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

RESUMO

Wosgerau, Camila L. **Utilização dos arames tubulares AWS E309 e AWS E71T para a recuperação das paredes de digestoras utilizados no processo kraft de celulose: estudo de viabilidade econômica utilizando os parâmetros da taxa de corrosão.** 2018. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2018.

O setor metal mecânico utiliza grande quantidade de materiais metálicos. Esses materiais são submetidos a vários esforços, sendo assim, tem-se a necessidade de realizar testes padronizados, para prevenir acidentes, a corrosão e a parada inesperada da produção. O trabalho a seguir busca verificar a viabilidade econômica na recuperação, por solda de revestimento, das paredes de digestores descontínuos utilizados no processo Kraft com os arames tubulares AWS E309 LMo e AWS E71T. Deste modo procura-se evidenciar qual material é mais vantajoso economicamente, tendo como contrapartida um aumento da vida útil do material pela diminuição da taxa de corrosão. Ao longo deste, serão analisados dados obtidos através de experimentos práticos. O trabalho a seguir irá possibilitar uma escolha assertiva do material metálico para realização do revestimento do costado da digestora.

Palavras-chave: Viabilidade econômica, corrosão eletroquímica, taxa de corrosão, aço ASTM 516 grau 60, licor negro.

ABSTRACT

Wosgerau, Camila L. **Use of the AWS E309 and AWS E71T tubular wires for the recovery of the walls of digestors used in the cellulose kraft process: economic viability study using the corrosion rate parameters.** 2018.55p. Work Completion of course (Production Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa. 2018.

The mechanical metal industry uses large amounts of metallic materials. These materials are subjected to various efforts, therefore, there is the need for standardized testing, to prevent accidents, corrosion and unexpected stop of the production. The work then aims to verify the economic viability of recovery, by coating welding, the batch digester walls used in the Kraft process with cored wires AWS E309 LMo and AWS E71T. Thus seeks to show what material is most economically advantageous in return for an increase in the lifetime of the material by decreasing the corrosion rate. Throughout this, data obtained through practical experiments will be analyzed. The following work will enable an assertive choice of the metal material for coating the side of the digester.

Keywords: economic viability, electrochemical corrosion, corrosion rate, ASTM steel 516 grade 60, black liquor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação da pilha eletroquímica	17
Figura 2: Classificação dos processos de soldagem	33
Figura 3: Massa do Metal de Solda a ser Depositado em função da Espessura do Metal Base e do Tipo da Junta	39
Figura 4: - Efeito da posição de soldagem e espessura da chapa sobre o tempo de realização de 1m de solda.....	40
Figura 5: Potenciostato PGSTAT30	43
Figura 6: Termostato TC-501	43
Figura 7: Eletrodo de Referência de Calomelano Saturado	44
Figura 8: Eletrodo de trabalho	44
Figura 9: Contra Eletrodo	45
Figura 10: Projeção da taxa de corrosão por ano	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Combinações metálicas e meios sujeitos a corrosão sob tensão	19
Tabela 2: Classificação dos fluídos	20
Tabela 3: Categoria de vaso de pressão.....	21
Tabela 4: Segurança periódica.....	22
Tabela 5: Propriedades mecânicas do aço ASTM A 516 grau 60	22
Tabela 6: Composição química do aço ASTM A 516 grau 60	23
Tabela 7: Composição arame tubular AWS E309 LMO	23
Tabela 8: Composição arame tubular AWS E71T-1D	24
Tabela 9: Perguntas referente á operação adotada	35
Tabela 10: Aspectos referente ao processo de soldagem	36
Tabela 11: Aspectos de produtividade do processo	38
Tabela 12: Composição do licor negro.....	45
Tabela 13: Especificações dos arames tubulares	47
Tabela 14: Valores de E_{corr} , β_a , β_c , R_p e T_{xcorr} do aço ASTM A 516 Gr 60	48
Tabela 15: Valores de E_{corr} , β_a , β_c , R_p e T_{xcorr} do aço E309 LMO	49
Tabela 16: Valores de E_{corr} , β_a , β_c , R_p e T_{xcorr} do aço E71T 1D	49
Tabela 17: Custo de recuperação de amostragem do costado	51

LISTA DE SIGLAS

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

NR – Norma Regulamentadora

AWS – *American Welding Society*

Na₂CO₃ – Carbonato de Sódio

Na₂SO₄ – Sulfato de Sódio

Na₂S – Sulfeto de Sódio

Na₂S₂O₃ – Tiossulfeto de Sódio

ASME – *American Society for Mechanical Engineers*

TH – Teste Hidrostático

PH – Profissional Habilitado

Mn – Manganês

Si – Silício

C – Carbono

P – Fósforo

S – Enxofre

Cr – Cromo

Mo – Molibidênio

Ni – Níquel

ZTA – Zona Térmica Afetada

CO₂ – Gás carbônico

FCAW – *Flux Cored Arc Welding*

TDEP – Taxa de deposição

FOP – Fator de Operação

E_t – Eletrodo de trabalho

E_r – Eletrodo de referência

C_e – Contra eletrodo

E_{cs} – Eletrodo de Calomelano Saturado

E_{cor} – Potencial de Corrosão

E_{Rep} – Potencial de Repouso

SPIE – Serviço Próprio de Inspeção de Equipamento

LISTA DE SÍMBOLOS

i_{corr} – Corrente de corrosão

I_{corr} – Corrente de corrosão por cm^2

β_a – Coeficiente de Tafel anódico

β_c – Coeficiente de Tafel catódico

Tx_{corr} – Taxa de corrosão ou taxa de penetração

F – Constante de Faraday

R_p – Resistencia a polarização

A – Área do eletrodo de trabalho em contato com o eletrólito

n – Números de elétrons transferidos

d – Densidade do material do eletrodo de trabalho

SUMÁRIO

RESUMO	2
ABSTRACT	3
Ministério da Educação	2
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE SIGLAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS	9
1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo	13
1.1.1 Objetivos Específicos	13
1.2 Justificativa.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. Processo KRAFT em Digestor Descontínuo	15
2.2. Licor Negro.....	16
2.3. Corrosão.....	16
2.3.1 Corrosão Eletroquímica.....	17
2.3.2. Corrosão Sob Tensão	18
2.4. Vasos de Pressão	19
2.5. NR 13	20
2.6 Aço ASTM A 516 grau 60.....	22
2.7 Revestimento	23
2.8. Aspecto Teórico da Cinética das Reações Eletroquímicas	24
2.9. Processo de Soldagem	32
2.9.1 Soldagem Arame Tubular.....	33
2.10 Viabilidade Econômica	34
2.10.1 Custos de Soldagem	35
2.10.1.1 Redução da Massa de Metal de Solda Depositado.....	39
2.10.1.2 Redução do Tempo Total de Soldagem	39
2.10.1.3 Redução do Custo de Metal de Solda Depositado.....	40
3. METODOLOGIA	42
3.1. Classificação da Pesquisa.....	42

3.2. Procedimento de Soldagem	42
3.3. Ensaio de corrosão	42
3.3. Custos	46
4. RESULTADO E ANÁLISES.....	48
4.1. Ensaio Eletroquímicos	48
4.2. Mensuração do custo de recuperação	49
5. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Devido à utilização em larga escala de materiais metálicos, em todos os setores da indústria, observou-se a necessidade de aplicação de testes padronizados, a fim de evidenciar suas características e otimizar suas propriedades. Deste modo torna-se possível realizar uma previsão assertiva com relação ao seu período de manutenção e a quais tipos de intemperes o material em questão poderá ser submetido sem comprometer sua estrutura, deste modo garantindo a produtividade do setor em que se encontra e a segurança dos operadores envolvidos.

Uma das intemperes que atinge as estruturas metálicas, é o processo de corrosão. Tal processo é ocasionado pela ação do tempo ou ambiente à qual o material está exposto. A corrosão ocasiona a ruptura de elementos metálicos através de um processo químico e eletroquímico, enfraquecendo e comprometendo o equipamento, bem como diminuindo sua vida útil. (GENTIL,1996).

Em consequência desse fator, torna-se imprescindível a realização de manutenções preditiva, com a intenção de monitorar e acompanhar a velocidade de corrosão dos metais. Desse modo é possível realizar a diminuição de manutenções corretivas não planejadas, fazendo com que a linha não seja interrompida de forma abrupta, ocasionando em uma queda na produtividade da mesma. (SCHERER, 2015).

Para dar início ao estudo, contextualiza-se o setor de aplicação a indústria de papel e celulose. A empresa selecionada para realização dos estudos utiliza-se do processo de beneficiamento conhecido como kraft, o qual possibilita a obtenção da pasta de celulose, através do cozimento, sob alta pressão, de cavacos. Tal processo dá-se através de digestores descontínuos, constituídos de aço ASTM A 516 grau 60, e após desgaste ocasionado pelo uso e ação dos fluído que acompanham o processo, tem-se a realização de reforço das áreas críticas, as quais apresentam espessura da parede inferior à permitida pela norma regulamentadora de vasos de pressão, NR 13/2015. Tal reforço é realizado por meio do processo de soldagem, porém, com o passar do tempo e a exposição dos fluídos envolvidos no processo, este reforço também torna-se sujeito ao processo corrosivo. (REGIS,2004).

Como mencionado anteriormente, o fator econômico impede que a troca desses digestores seja realizada com a frequência que deveria. Desse modo, a metodologia de realização de reforço das áreas críticas mostra-se eficaz. Esta garante a segurança de operação do digestor. Pois seu objetivo encontra-se na recuperação

das paredes que sofreram algum tipo de dano, seja pelo fluído ou pelo cavaco. O reforço destas paredes com eletrodos arame tubular garante que o desempenho do digestor se mantenha, bem como garante a segurança dos operadores que trabalham na fábrica, pois a explosão de um vaso de pressão atinge não somente o setor em que o equipamento se encontra.

Neste trabalho, traremos um estudo referente a metodologia de reforço do costado com dois eletrodos distintos, um eletrodo de aço carbono e outro eletrodo de aço inox. Assim, no decorrer deste, evidenciaremos que apesar do eletrodo de aço inox apresentar custo mais elevado em detrimento do aço carbono, sua durabilidade com relação aos fatores relacionados a corrosão também se mostra superior. Deste modo podemos basear a escolha através dos resultados que serão apresentados a partir da taxa de corrosão de cada material.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é determinar da taxa de corrosão do aço ASTM A 516 grau 60, com soldas de revestimento de eletrodo arame tubular AWS E309 LMo, AWS E71T, expostas ao fluído corrosivo, denominado de licor negro, cedido pela empresa e usado como eletrólito para determinação da taxa de corrosão (técnica eletroquímica).

1.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar qual arame de solda apresenta uma maior resistência a corrosão, no meio estudado.
- Definir através de análise da taxa de corrosão e custos, qual deve ser utilizado para recuperação do costado.

1.2 Justificativa

Entender e analisar o fenômeno corrosivo auxilia a impedir danos de grandes proporções na indústria. Deste modo o presente estudo tem o intuito de não só determinar a velocidade com que esse fenômeno ocorre nos materiais estudados,

mais atribuir o custo envolvido para recuperação do equipamento após sofrer o processo.

Este trabalho tem como inspiração, auxiliar a empresa, que cordialmente concedeu dados e materiais, fundamentais e imprescindíveis para a realização das análises. Deste modo busca-se fortalecer o vínculo entre empresa e universidade, ajudando na seleção e análise dos materiais já utilizados e a proposição de materiais substitutos, de forma a não comprometer o desempenho dos equipamentos da fábrica, muito menos a segurança dos operadores da mesma.

Busca-se assim, evidenciar o custo benefício de cada material cedido, retornando para a empresa uma análise com valores reais fundamentadas em análises laboratoriais de qualidade, as quais foram realizadas em parceria com o setor de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Processo KRAFT em Digestor Descontínuo

O processo kraft foi desenvolvido por Dahl, em 1884, ano de patente do processo. O objetivo era encontrar um elemento substituto ao carbonato de sódio (Na_2CO_3), o qual era utilizado no ciclo de recuperação, dessa forma introduziu-se o sulfato de sódio (Na_2SO_4), o qual foi reduzido a sulfeto de sódio (Na_2S), durante a ação da caldeira de recuperação e assim introduzido ao sistema de polpação. Assim por meio de observações Dahl inferiu que o sulfeto adicionado ao licor de cozimento, aumentava a velocidade das reações de deslignificação, consistindo em um aumento significativo da polpa com uma maior resistência. (REGIS, 2004).

A utilização do processo kraft na indústria de celulose, deve-se ao fato da qualidade de material obtido através do mesmo. Este processo permite que sejam utilizados diferentes tipos de madeiras, fazendo com que o produto final obtido, apresente características de alta qualidade de polpa. (SUZANO,2016).

O processo em si consiste na entrada de toras, os quais são recebidos nas fábricas de celulose, nela são descascados e transformados em cavacos. Estes são transportados aos digestores.

O processo dentro do digestor é iniciado com a temperatura de 170°C , a qual é elevada gradualmente em períodos espaçados de 1 hora, e submetido a uma pressão de cozimento de $7\text{Kg}/\text{cm}^2$. Neste momento o processo de cozimento está submetido ao licor branco, o qual é composto pela adição do sulfato de sódio e soda cáustica. Após o cozimento, o conteúdo do digestor é enviado para uma câmara de expansão *Blow Tank*. A queda de pressão ocasionada nesta etapa gera uma separação das fibras, de modo que a sua resistência e uniformidade sejam preservadas. (REGIS, 2004).

Durante a separação das fibras um novo composto é formado, advindo da separação das ligninas e resinas, originando o licor negro. As fibras, proveniente do processo dão origem a celulose bruta. Onde a próxima etapa do processo consiste no pré-branqueamento desta, a qual será lavada cuidadosamente para a remoção da lixívia negra, esta remoção gira em torno de 95% do valor total do subproduto. (SUZANO,2016).

A lignina e outros derivados obtidos através do processo kraft, resultam em um composto denominado licor negro, o qual é enviado para uma caldeira de recuperação. Este licor será tratado de forma mais específica no próximo tópico.

2.2. Licor Negro

O licor negro, também conhecido como lixívia negra ou licor residual. O qual é caracterizado pelos compostos como cloretos, tiosulfatos de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), sulfato de sódio (Na_2SO_4) e carbonato de sódio (Na_2CO_3). Salientando que o tiosulfato é proveniente da oxidação de sulfetos quando expostos ao oxigênio. (REGIS, 2004).

Para Scherer (2015), os compostos provenientes da lixívia negra aumentam a capacidade corrosiva, quando o nível de sulfeto de sódio (Na_2S) estiver menor que 1 grama por litro. Deste modo o filme protetor passivado presente na parede do digestor é deteriorado, deixando este exposto ao processo corrosivo. Para Régis (2004), este alto teor de tiosulfato combinado ao baixo teor de polissulfatos, tendem a aumentar a taxa do processo corrosivo.

Segundo Melo et al (2010), as propriedades provenientes do licor negro, variam de acordo com o processo de polpação á que foi submetido, bem como as matérias primas que foram utilizadas durante o processo. Assim temos propriedades inconstantes provenientes desse licor, tendo em vista que o fluxo do licor dentro do digestor, bem como sua armazenagem e seu processo de lavagem e evaporação também auxiliam nessa inconstância (GULLICHSEN e FOGELHOM, 2000).

2.3. Corrosão

O processo de corrosão é caracterizado pela deterioração de um material, geralmente metálico sobre um meio. Este tipo de ataque pode ser químico ou eletroquímico, adicionado ou não, de esforços mecânicos. Tal ataque acarreta um processo de deterioração, ocasionando mudanças indesejáveis na estrutura do material, tornando as propriedades mecânicas deste insatisfatório. (GENTIL, 1996).

Callister (2008) realiza o delineamento do processo corrosivo, como um ataque destrutivo, o qual age de maneira gradual, geralmente de natureza eletroquímica, tendo início na superfície do material. Segundo o autor,

aproximadamente 5% da receita de uma nação industrializada é investida em manutenções relacionadas aos efeitos do processo corrosivo.

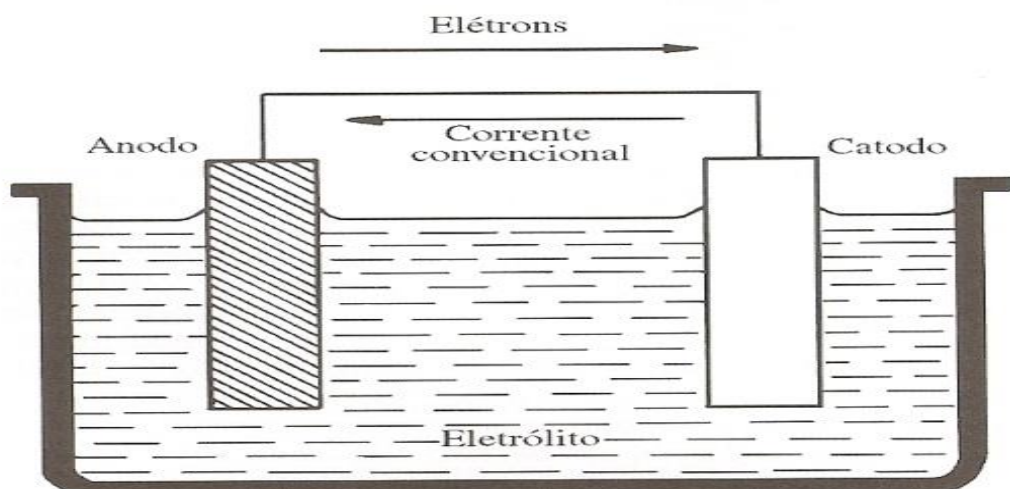
A corrosão pode ser subdividida em dois segmentos, ela pode ser proveniente da corrosão seca, advinda de um mecanismo químico, ou corrosão aquosa, a qual é caracterizada por processos eletroquímicos, em meios líquidos, onde a maioria dos fenômenos corrosivos acontece. (GENTIL,1996).

2.3.1 Corrosão Eletroquímica

Partindo do princípio que as maiorias dos processos corrosivos são de ordem eletroquímica. Temos como principal caracterização deste processo a presença de eletrólito gerando um meio corrosivo. Deste modo as reações ocorrem de maneira simultânea, onde uma das reações apresenta características anódicas e a outras características catódicas, relembrando as características de uma pilha de corrosão (Figura 1). (REGIS, 2011).

A pilha eletroquímica é delineada por um sistema combinado de dois eletrodos em contato com um fio condutor, imerso em um eletrólito, denominado condutor iônico. Caracterizado pelos seguintes componentes: anodo, eletrólito, cátodo e um circuito metálico. Conforme a figura exposta abaixo descrita por Gentil (1996).

Figura 1 - Representação da pilha eletroquímica



Fonte: Gentil (1996)

2.3.2. Corrosão Sob Tensão

Esta é provocada ou acelerada pela existência de tensões de tração de certo valor em determinados pontos de uma peça metálica. Estas podem ser produzidas por diversas causas, como esforços externos localizados, tensões residuais de soldagem, tensões devido a trabalho a frio no metal, aquecimento ou resfriamento desiguais ou contidos. (HUHN, 2002).

Segundo Huhn (2002) este tipo de tensão ocorre quando um material submetido a tensões de tração é colocado em contato com meio corrosivo específico. As condições metalúrgicas do material, como dureza, encruamento, fases presentes, são fatores frequentemente decisivos. A tensão de tração deve ser superior ao valor limite.

Quando ocorre o processo de corrosão sob tensão fraturante, surgem trincas finas, as quais avançam através da seção transversal do material, enquanto que na superfície não é visualizada a presença de ataque pronunciado, as tensões que causam essa corrosão, se encaixam dentro da faixa de tensões de projeto, as consequências podem ser muito sérias em estruturas de vasos de pressão. (REGIS, 2003).

De um modo geral, os fenômenos de corrosão e suas combinações, resultam na formação de uma película na superfície do material, conferindo grande resistência a corrosão uniforme. A quebra do filme passivo permite uma rápida corrosão em vários pontos da superfície, facilitando a formação de trincas. (REGIS, 2003).

No quadro (Tabela 1) é possível verificarmos como reagem algumas combinações metálicas, quando expostas a determinados meios corrosivos.

Tabela 1- Combinações metálicas e meio sujeitos à corrosão sobtensão.

Metal	Meio Corrosivo	Condição
Aço Carbono e Aço de ligas ferríticas	H ₂ S	Meio úmido- dureza do aço elevada
	Amônia Anidra	Tensões elevadas, temperaturas superiores a -5°C
Aços Inoxidáveis Austeníticos	HCl, cloretos, hipocloritos, clorofórmios, água salgada	Meio úmido, temperatura acima de 50°C
	Ácidos politônicos	Meio úmidos- Aços sensitizados
	Soda cáustica	Temperatura acima de 120°C
Alumínio	HCl, cloretos, hipocloritos	Meio úmido
Cobre, latão e bronze	Aminas, amônia, soluções amoniacas	Meio úmido com oxigênio

Fonte: National Association of Corrosion Engineers (NACE, 1978)

A partir da análise do meio corrosivo em que o vaso se encontra é possível estabelecer uma relação sobre quais condições esse meio corrosivo irá afetar a estrutura metálica a ponto de gerar riscos ao meio circundante.

2.4. Vasos de Pressão

Os materiais constituintes de um vaso de pressão, devem atender os requisitos básicos estipulados pelo Código da *American Society for Mechanical Engineers* (ASME, 1993). Estes, além do desempenho estrutural, devem possuir características bem delineadas relacionadas à resistência a propagação de: trincas por fadiga; fadiga por corrosão e corrosão sob tensão.

Outra definição para vaso de pressão segundo a ASME (1983), todos os reservatórios, de qualquer tipo, dimensão ou finalidade, não sujeito a chama, que contenham qualquer fluido em pressões manométrica igual ou superior a 1,05 Kgf/cm² ou submetido á pressão externa. (REGIS,2004).

Portanto, considera-se com alto grau de periculosidade, qualquer serviço no qual os equipamentos contenham fluidos de tal natureza que uma pequena quantidade de gás, vapor, ou líquido misturada ou não ao ar, e é perigosa se inalada. Este conceito inclui substâncias desta natureza que são armazenadas sob pressão

ou podem gerar uma pressão se armazenada em recipiente fechado. (ASME VII, 1983).

2.5. NR 13

A norma referente à NR13 (2015) estabelece os requisitos básicos para a gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão e suas tubulações de interligação nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, objetivando a segurança dos trabalhadores.

Para fins deste trabalho, iremos centralizar os estudos da NR13 somente para o que refere-se aos vasos de pressão. Segundo a alínea 13.5, à qual delimita as disposições sobre os vasos de pressão, define este equipamento, como aqueles que contem fluidos sob pressão interna ou externa, sendo esta diferente da pressão atmosférica. Para fins de classificação com relação aos fluidos, temos as seguintes considerações (Tabela 2):

Tabela 2 – Classificação dos fluidos

Classe A	Fluídos Inflamáveis
	Fluídos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200°C
	Fluídos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a 20 partes por milhão (ppm)
	Hidrogênio
	Acetileno
Classe B	Fluídos combustíveis com temperatura inferior a 200°C
	Fluídos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 partes por milhão (ppm)
Classe C	Vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido
Classe D	Outro fluido não enquadrado acima

Fonte: NR13 (2015)

Quando o composto tratar-se de mistura, este deverá ser considerado para fins de classificação o fluído que apresentar maior risco aos funcionários e instalações, deve-se levar em consideração sua toxicidade, inflamabilidade e concentração (Tabela 3).

Com relação as inspeções de segurança, estas devem ser realizadas de maneira periódica e extraordinária. Onde a inspeção de segurança inicial deve ser realizada em equipamentos novos, antes de sua entrada em funcionamento no local definitivo de instalação, este deverá compreender exames internos e externos como o Teste Hidrostático (TH), o qual é de caráter obrigatório e deve ser realizado na fase de fabricação, e comprovado através de laudo assinado por Profissional Habilitado (PH), sendo que o valor de pressão deve estar afixado na placa de identificação. Quando o TH não for realizado pelo fabricante, ou seja, a comprovação de que este tenha sido realizado não exista, o TH deve ser realizado durante a inspeção inicial.

Outras medidas a serem adotadas com relação aos vasos de pressão, é a anotação do Registro de Segurança, a data de instalação do equipamento, a partir da qual inicia a contagem para a inspeção de segurança periódica. Esta inspeção é constituída por exames internos e externos e deve atender os prazos máximos para cada categoria de vaso (Tabela 4).

Tabela 3- Categorias de vaso de pressão

Classe de Fluido	Grupo de Potencial Risco				
	1 P.V \geq 100	2 P.V < 100 P.V \geq 30	3 P.V < 30 P.V \geq 2,5	4 P.V < 2,5 P.V \geq 1	5 P.V < 1
	Categorias				
A	I	I	I	III	III
B	I	II	III	IV	IV
C	I	II	III	IV	V
D	II	III	IV	V	V

Fonte: NR13 (2015)

Tabela 4- Segurança periódica

Categoria Do Vaso	Sem SPIE*				Com SPIE			
	Exame (anos)	Externo	Exame (anos)	Interno	Exame (anos)	Externo	Exame (anos)	Interno
I	1		3		3		6	
II	2		4		4		8	
III	3		6		5		10	
IV	4		8		6		12	
V	5		10		7		a critério	

SPIE: Serviço Próprio de Inspeção de Equipamento

Fonte: NR13 (2015)

Por fim, os vasos que não possibilitem acesso visual para os exames internos ou externos devido á impossibilidades físicas, devem ser submetidos a outros ensaios não destrutivos e metodologias de avaliação da integridade a serem estabelecidas pelo PH, o qual deve basear-se em normas e códigos aplicáveis á identificação de mecanismos de deterioração.

2.6 Aço ASTM A 516 grau 60

O aço ASTM A 516 grau 60, é caracterizado como um aço carbono estrutural, o qual é classificado pela norma ASTM (1979) segundo suas propriedades mecânicas. Seus elementos ligantes são manganês (Mn) e silício (Si) (Tabela 6). Tais elementos de liga quando dissolvidos em ferrita aumentam sua dureza e resistência mecânica, anterior a tratamento térmico, sem decréscimo de ductilidade (Tabela 5).

Tabela 5- Propriedades mecânicas do aço ASTM A 516 grau 60

Limite de Resistência (Mpa)	Limite de Escoamento min (Mpa)	Alongamento máximo Lo = 200mm (%)	Alongamento mínimo Lo = 50mm (%)
415-550	220	21	25

Fonte: Norma ASTM (1987)

Tabela 6- Composição química da chapa de aço ASTM A 516 grau 60

Elemento	C máx (%)	Mn (%)	P máx (%)	S máx(%)	Si (%)
Composição	0,23	0,79-1,30	0,035	0,04	0,13-0,45

Fonte: Norma ASTM (1987)

O fornecimento deste metal é geralmente dado da forma laminada a quente, frio e recozido. Suas características principais giram em torno de uma boa resistência mecânica à corrosão atmosférica, resistência ao choque e à fadiga, associado a maleabilidade e alta soldabilidade, tornando sua aplicação atrativa na construção de vasos de pressão (ASTM,1987).

Entretanto, podem ocorrer, durante a soldagem, na Zona Térmica Afetada (ZTA), regiões de alta dureza que estão sujeitas a trincas de corrosão sob tensão, quando exposta a ambiente propício (RIBEIRO, 2001).

2.7 Revestimento

O processo para aplicação do revestimento sobre metal consiste na soldagem por arco arame tubular, este, é caracterizado pela deposição de metal através da formação de um arco elétrico entre o eletrodo arame tubular e a peça em questão. (MARQUES, 2002)

Este tipo de processo de soldagem, conta com um gás de proteção, o qual atua no arco e no cordão de solda. Este passa no interior do eletrodo e pode ter auxílio de um fluxo adicional de gás fornecido por uma fonte externa. A principal função desse gás é estabilizar o arco ou adicionar os elementos de liga. (MACHADO,1996)

Para realização do trabalho foram utilizados os arames tubulares AWS E309 LMo (Tabela 7), sendo que o produto comercial correspondente é o eletrodo arame tubular UTF AF Ledurit 60, e o arame de solda tubular AWS E71T- 1D (Tabela 8), cujo correspondente comercial ESAB Tubord 71 Ultra:

Tabela 7- Composição arame tubular AWS E309 LMo

Elemento	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)
Composição	0,20	2,00	1,00	0,045	0,03	22,0 - 24,0	12,0 - 15,0

Fonte: Eutetic (2006)

Tabela 8- Composição arame tubular AWS E71T-1D

Elemento	C (%)	Si (%)	Mn (%)
Composição	0,05	0,5	1,4

Fonte: ESAB (2016)

2.8. Aspecto Teórico da Cinética das Reações Eletroquímicas

Uma solução aquosa, ou eletrólito, consiste de uma variedade de espécies carregadas e descarregadas (cátions, ânions, dipolos da molécula de água, moléculas orgânicas, impurezas etc), as quais, sob condições de equilíbrio estão aleatoriamente orientadas, não definem nenhuma direção preferencial na ausência de um campo elétrico. Contudo, sobre a influência de uma diferença de potencial em função de seu potencial de equilíbrio, surgirá uma carga que será transportada através da solução pelos cátions e ânions que migram para o cátodo e para o anodo, sofrendo reações de redução e oxidação, respectivamente. Esta condução de carga através de um eletrólito gera uma corrente elétrica no sistema, que está relacionada com a diferença de potencial que a ocasionou pela equação de Butler-Volmer:

$$i = i_0 \left[\exp\left(\frac{-\alpha nF}{RT} \eta\right) - \exp\left(\frac{(1-\alpha)nF}{RT} \eta\right) \right] \quad (2.8.1)$$

Onde:

α é o coeficiente de transferência de carga

n é o número total de elétrons envolvidos no processo de oxidação-redução.

Quando um eletrodo está em equilíbrio com a solução, a taxa da reação catódica por unidade de área é igual à da reação anódica e não há uma transferência de carga; o potencial do eletrodo estará então em equilíbrio e é dito estar despolarizado:

$$i_a = i_c = i_0 \quad (2.8.2)$$

onde i_0 é a densidade de corrente de troca e,

$$\eta = E - E_{eq} \quad (2.8.3)$$

Assim, o sobrepotencial (η) é definido como a diferença do potencial do eletrodo e o seu valor de equilíbrio.

Para um processo catódico no qual o eletrodo é polarizado até um potencial E_c , teremos que:

$$i_c > i_a \quad (2.8.4)$$

onde i_c é a densidade de corrente catódica que resulta quando E_c é mais negativo que o potencial de equilíbrio E_{eq} , e por definição:

$$\eta_c = E_c - E_{eq} \quad (2.8.5)$$

E, desde que para uma reação catódica, $E_c < E_{eq}$, então $\eta_c < 0$, isto é, é sempre negativo.

Similarmente, para um processo anódico, $i_a > i_c$, então:

$$\eta_a = E_a - E_{eq} \quad (2.8.6)$$

Desde que $E_a < E_{eq}$, teremos que $\eta_a > 0$, isto é, sempre positivo.

Se a reação estiver ocorrendo a uma taxa finita, o potencial do eletrodo será polarizado para potenciais E_p , e desde que $E_p = \eta_a + E_{eq}$ a equação 2.8.1, para um processo anódico será:

$$i_a = i_0 \exp \left[\frac{(1-\alpha)nF}{RT} \eta_a \right] \quad (2.8.7)$$

Similarmente para um processo catódico:

$$i_c = i_0 \exp\left[\frac{-\alpha nF}{RT} \eta_c\right] \quad (2.8.8)$$

sendo que em ambos os casos, quanto maior a magnitude de i_0 e η (levando-se em conta o sinal apropriado) maior será a taxa por unidade de área da reação.

A densidade de corrente total é a diferença entre as duas densidades de corrente parcial, e pode ser escrita como:

$$i = i_c - i_a \quad (2.8.9)$$

Substituindo as equações 2.8.7 e 2.8.8 na equação 2.8.9, tem-se:

$$i = i_0 \left[\exp\left[\frac{-\alpha nF}{RT} \eta_c\right] - \exp\left(\frac{(1-\alpha)nF}{RT} \eta_a\right) \right] \quad (2.8.10)$$

e, através desta equação podemos ver que quando $\eta=0$, $i=i_0$ e a taxa do processo anódico será igual à do processo catódico, isto é, a reação estará em equilíbrio.

Contudo, se η é positivo, o primeiro termo diminui, enquanto que o segundo termo aumenta, e para valores elevados de η ($\eta \gg 0$) a equação pode ser simplificada para:

$$i_a = i_0 \left[\exp\left[\frac{(1-\alpha)nF}{RT} \eta_a\right] \right] \quad (2.8.11)$$

Similarmente, para potenciais elevados e negativos, o primeiro termo se torna desprezível, e

$$i_c = i_0 \left[\exp\left[\frac{(-\alpha)nF}{RT} \eta_c\right] \right] \quad (2.8.12)$$

Fazendo-se o logaritmo das equações 2.8.11 e 2.8.12, tem-se para reação anódica:

$$\ln i_a = \ln i_0 + \frac{(1-\alpha)nF}{RT} \eta_a \quad (2.8.13)$$

e, portanto

$$\eta_a = -\frac{RT}{(1-\alpha)nF} \ln i_0 + \frac{RT}{(1-\alpha)nF} \ln i_a \quad (2.8.14)$$

Similarmente, para o processo catódico, teremos:

$$\eta_c = \frac{RT}{\alpha nF} \ln i_0 - \frac{RT}{\alpha nF} \ln i_c \quad (2.8.15)$$

que foi obtida pela primeira vez por Tafel a partir de estudos experimentais da reação de evolução de hidrogênio sobre vários metais, e foi expresso na forma de uma equação de uma reta:

$$\eta = a + b \log i \quad (\text{equação de Tafel}) \quad (2.8.16)$$

Deve-se prestar atenção aos sinais das equações (2.8.14) e (2.8.15), em que teremos os coeficientes de Tafel para um processo catódico como sendo igual a:

$$a = \frac{2,3RT}{\alpha nF} \log i_0 = \frac{0,0591}{\alpha n} \log i_0 \quad (25^\circ\text{C}) \quad (2.8.17)$$

e

$$b = \frac{-2,3RT}{\alpha nF} = \frac{-0,0591}{\alpha n} \quad (25^\circ\text{C}) \quad (2.8.18)$$

e para um processo anódico:

$$a = \frac{2,3RT}{(1-\alpha)nF} \log i_0 = \frac{0,0591}{(1-\alpha)n} \log i_0 \quad (25^\circ\text{C}) \quad (2.8.19)$$

e

$$b = \frac{-2,3RT}{(1-\alpha)nF} = \frac{-0,0591}{(1-\alpha)n} \quad (25^\circ\text{C}) \quad (2.5.20)$$

Para sobrepotencias pequenos ($\eta \rightarrow 0$), a equação 2.5.10, pode ser simplificada usando a identidade:

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots \quad e \quad e^{-x} = 1 - x + \frac{x^2}{2!} - \dots \quad (2.8.21)$$

e, utilizando apenas os dois primeiros termos da identidade, teremos:

$$i = i_0 \left[\left(1 - \frac{\alpha n F \eta}{RT} \right) - \left(1 + \frac{(1 - \alpha) n F \eta}{RT} \right) \right] \quad (2.8.22)$$

que reduz para:

$$i = \frac{i_0 n F \eta}{RT} \quad \text{ou} \quad \eta = \frac{RT i}{n F i_0} \quad (2.8.23)$$

mostrando que η em função de i é linear com uma inclinação de $\frac{RT}{n F i_0} = R_{TC}$, para valores de sobrepotencial próximos de zero. A equação 2.8.23 é aplicável tanto para reações anódicas quanto para reações catódicas.

A inclinação da reta $\frac{RT}{n F i_0}$ e denominada de resistência de transferência de carga R_{TC} . Outros parâmetros importantes podem ser obtidos a partir das equações 2.8.11 e 2.8.12. Assim se desenvolvermos matematicamente a equação 2.8.12, referente a corrente catódica teremos:

$$i_c = i_0 \left[\exp \left[\frac{(-\alpha) n F}{RT} \eta_c \right] \right] \quad (2.8.24)$$

então :

$$\ln i_c = \ln i_0 - \frac{\alpha n F}{RT} \eta_c, \quad (2.8.25)$$

ou

$$2,3 \log i_c = 2,3 \log i_0 - \frac{\alpha n F}{RT} \eta_c \quad (2.8.26)$$

dividindo a equação 2.8.26 por 2,3 teremos:

$$\log i_c = \log i_o - \frac{\alpha n F}{2,3 RT} \eta_c \quad (2.8.27)$$

Representando $\log i_c$ em função de η_c teremos uma inclinação da reta com valor constante $-\frac{\alpha n F}{2,3 RT}$ que é denominado de coeficiente de Tafel catódico (β_c).

De forma análoga para os processos anódicos, obtemos a inclinação, $\frac{(1-\alpha)nF}{2,3RT}$ denominada coeficiente de Tafel anódico (β_a).

É conhecido que existe uma relação linear entre potencial e a densidade de corrente catódica e anódica aplicada, desde que, os valores deste último sejam baixos. Contudo, o reconhecimento da importância destas observações é devido a Stern e Geary (1957) que empregaram o termo polarização linear para descrever a linearidade da curva η - i na região do potencial de corrosão (E_{corr}). A inclinação desta reta, $\Delta E - \Delta i$, é denominada de resistência a polarização, R_p .

Stern-Geary (1957), com base em análises detalhadas das curvas de polarização das reações catódicas e anódicas envolvidas na corrosão metálica, e assumindo que ambas reações são controladas pela transferência de carga e que a queda ôhmica iR envolvida na determinação do potencial é desprezível, derivou a seguinte expressão:

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{\Delta i}{\Delta E} \right)_{E_{corr}} = 2,3 * \left(\frac{\beta_a + |\beta_c|}{\beta_a * \beta_c} \right) * i_{corr} \quad (2.8.28)$$

ou seja:

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \times \beta_c}{2,3 \times R_p \times (\beta_a + |\beta_c|)} \quad (2.8.29)$$

onde R_p é a resistência a polarização determinada para potenciais próximo ao potencial de corrosão, e β_a e β_c são as constantes de Tafel. Esta equação mostra que a taxa de corrosão é inversamente proporcional a R_p (ou diretamente proporcional a inclinação recíproca da curva $\Delta E - \Delta i$), e que a corrente de corrosão pode ser determinada desde que as constantes de Tafel sejam conhecidas.

Stern e Geary (1957), selecionando valores arbitrários de constante de Tafel, mostraram que a taxa de corrosão determinadas pelas técnicas de resistência de polarização foram idênticas com as taxas de corrosão determinadas pelo método de perda de massa.

O fato de uma reação próxima ao eletrodo ocorrer em várias etapas é necessário que se determine o mecanismo e a etapa determinante de velocidade da reação, para se fazer uma análise cinética desta reação. Para exemplificar, considere que a etapa de descarga dos íons é a etapa determinante da velocidade da reação, mais precisamente em relação a equação 2.8.15, para uma reação catódica, envolvendo um único elétron ($n=1$), podemos escrevê-la da seguinte forma:

$$\eta_a = +\frac{RT}{\alpha F} \ln i_0 - \frac{RT}{\alpha F} \ln i \quad (2.8.30)$$

e diferenciando esta equação:

$$\frac{d\eta}{d \log i} = -2,3 * \frac{RT}{\alpha F} \quad (2.8.31)$$

se α for considerado igual a 0,5

$$\frac{d\eta}{d \log i} = -2,3 * \frac{RT}{0,5F} \quad (2.8.32)$$

e considerando, $R=8,3143 \text{ J/mol.K}$; $T= 25^{\circ}\text{C}$ ou $T= 298\text{K}$ e $F= 96487 \text{ C/mol}$, teremos que:

$$\frac{d\eta}{d \log i} = \frac{-2,3 * 8,3141 * 298}{0,5 * 96487} = -0,118\text{V} \quad (2.8.33)$$

Assim a inclinação de Tafel igual a -118 mV/década pode ser o diagnóstico de um mecanismo de reação no qual a descarga do íon é a etapa determinante.

No ensaio para a determinação das taxas de corrosão, descrito anteriormente, os valores dos potenciais de corrosão (E_{corr}), resistência de polarização (R_p) e

corrente de corrosão (I_{corr}) determinados, poderão ser feitas fazendo as seguintes considerações:

- A resistência a polarização, R_p , é calculada como o inverso da inclinação da curva I vs. E , próximo ao potencial de circuito aberto e este valor é retirado do teste de micropolarização;

- O potencial de corrosão, E_{corr} , é o potencial obtido após um intervalo de 55 minutos, ou seja, o potencial de circuito aberto do sistema após este intervalo;

A corrente de corrosão estimada I_{corr} , é baseada na relação de Stern –Geary, que pode ser determinada pela equação abaixo:

$$I_{corr} = \frac{\beta_a * \beta_c}{2,3 * (\beta_a + \beta_c) * R_p} \quad (2.8.34)$$

β_a e β_c são os coeficientes de Tafel e quando não poderem ser calculados pelos dados experimentais, portanto o valor de 0,118 V/década para os dois coeficientes pode ser utilizado, resultando numa aproximação, descrita abaixo:

$$\text{Coef. de Stern - Geary (SGC)} = \frac{\beta_a * \beta_c}{2,3 * (\beta_a + \beta_c)} = 0,0256 \quad (2.8.35)$$

desta forma, a I_{corr} será dada por:

$$I_{corr} = \frac{0,0256}{R_p} \quad (2.8.36)$$

A taxa de corrosão (cm.ano) é calculada a partir da equação):

$$\text{Tx..Corrosão} = \frac{I_{corr} \times \text{Peso Equivalente} \times t}{\text{Densidade} \times A \times F} \quad (2.8.37)$$

onde:

- I_{corr} = Corrente de Corrosão (A)
- Peso Equiv.. = Massa Atômica / n° elétrons transferidos

- t = tempo em segundo referente a 1 ano.
- d = Densidade do material (g/cm^3)
- A = Área do eletrodo (cm^2)
- F = Constante de Faraday (96487 C/mol)

Quando os valores de β_a e β_c não puderem ser calculados pelos dados obtidos, da curva de macropolarização, é possível adotar os valores de $\frac{d\eta}{d\log i}$ para a temperatura de 25 °C, como sendo aproximadamente iguais aos dois coeficientes de Tafel (β_a e β_c). Desta maneira o valor de $\frac{d\eta}{d\log i}$ empregado será de 0,0256.

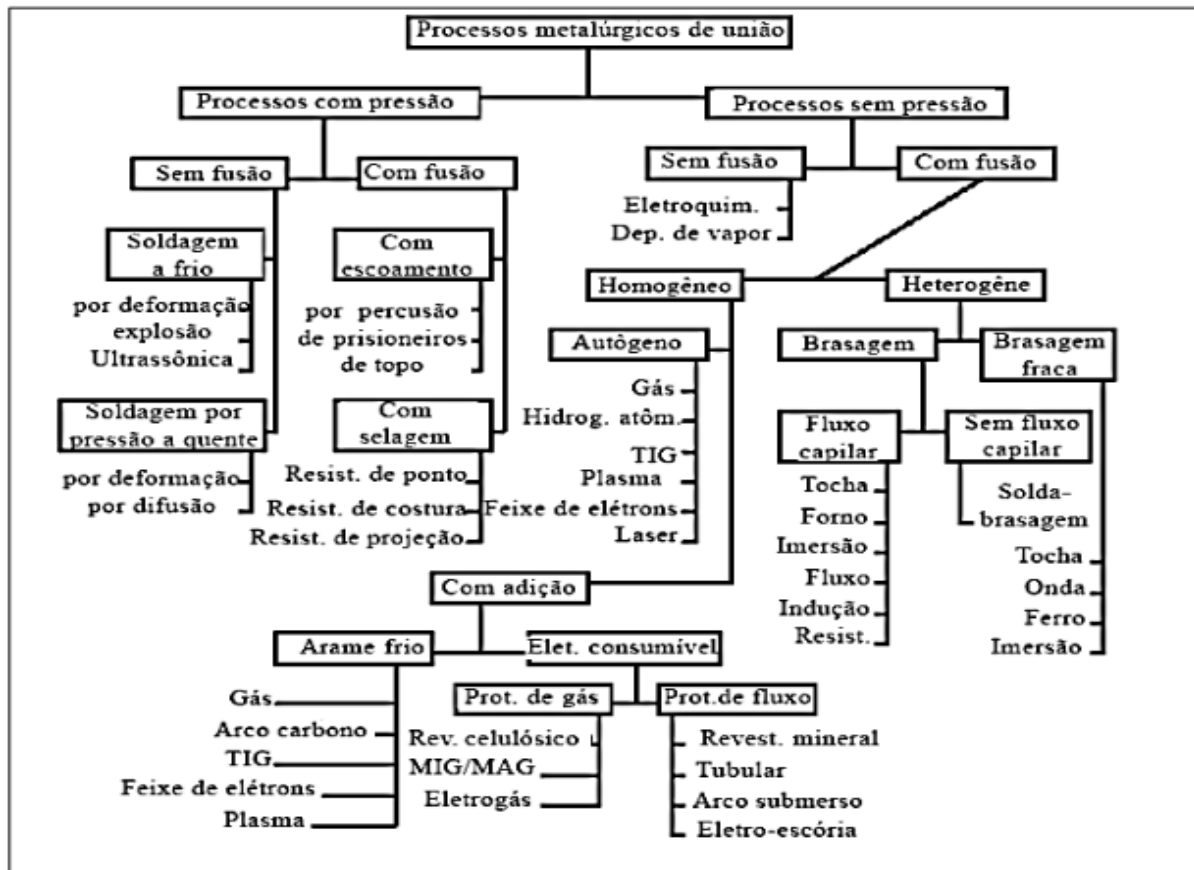
2.9. Processo de Soldagem

A soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizados, considerado em conjunto com a brasagem, tem aplicação desde a indústria micro eletrônica à fabricação de navios. (MARQUES,MODENESI, BRACARENSE, 2009)

Este pode ser conceituado como um processo de união de materiais, o qual estabelece forças de ligação químicas, semelhantes às que atuam no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que sofrem essa união. (MARQUES,MODENESI, BRACARENSE, 2009)

Segundo Costa (2015), a soldagem pode ser classificada pela fonte de união ou pelo tipo de fonte de energia utilizada (Figura 2). A determinação da influência dos parâmetros de entrada sobre a geometria da solda é relevante devido ao fato de proporcionar um conhecimento mais aprofundado dos recursos de soldagem, referindo-se as suas variáveis e características, permitindo a análise e seleção dos melhores parâmetros para obter-se os resultados esperados.

Figura 2- Classificação dos processos de soldagem



Fonte: Wainer, Brandi e Mello (2004)

2.9.1 Soldagem Arame Tubular

O processo de soldagem por arame tubular, é caracterizado pela formação de um arco elétrico entre a peça e o tubo metálico, alimentado continuamente por uma bobina. Dessa forma a poça de fusão produzida é envolvida por escórias e gases, os quais, resultam da decomposição do fluxo.

A exploração desse processo começou em meados de 1920, porém não era usual a fabricação de tubos com o diâmetro e espessura exigidos para serem enrolados em bobinas, sendo este fabricado em pequenas extensões. (MACHADO,1996).

Contudo uma das maiores dificuldades envolvidas nesse processo, girava em torno da proteção que a escória líquida deve fornecer ao material, quando esta passa do eletrodo para a poça de fusão. Acompanhado da dificuldade em alcançar um nível de tenacidade exigido pelas estruturas modernas. Na década de 80 tais

inconvenientes foram resolvidos, tornando o processo uma excelente alternativa a qual elevava a produtividade e a qualidade do serviço.

O eletrodo tubular apresenta uma taxa de deposição elevada, sendo que os materiais normalmente soldados por esse processo são os aços carbonos; baixa liga; inoxidáveis, a utilização de arames de diâmetros igual ou inferiores a 0,8mm, tornando o processo possível em qualquer posição, com garantia de ótimos resultados, quando refere-se a espessuras soldáveis e técnicas aplicáveis. (MACHADO, 1996).

Segundo Marques (2002), os principais consumíveis utilizados são o arame tubular, o qual tem duas variações básicas, as primeiras contem a proteção da escoria no próprio fluxo contido no eletrodo, denominado de arame autoprotetido. A segunda à proteção é complementada por uma nuvem de gás, o qual geralmente é o gás carbônico (CO₂).

A soldagem a arco com arame tubular ou *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW), permite superar limitações de soldagem MIG/MAG e do processo com arame autoprotetido, isto é, possibilidade de escorificação de impurezas, melhor estabilização do arco, adição de elementos de liga, obtendo uma proteção eficiente com menores vazões de gás, menor quantidade de respingos e cordão de melhor aspecto. (MARQUES, 2002)

2.10 Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica parte do pressuposto da viabilização de negócios, enfatizando o fator econômico. Onde procura-se obter o melhor projeto em detrimento à outros, neste âmbito consideram-se fatores como preço, agilidade e qualidade. Segundo Giacomini (2008), a busca por uma estimativa realista de venda e levantamento de custos confiáveis resulta na busca do lucro, onde encontra-se o benefício projetado para o futuro e prospecta-se uma garantia de que esse objetivo será alcançado. Assim o preço deverá ser maior que o custo, e as receitas devem ser maiores que as despesas.

Para Bernstein (1997), a decisão de investir deve estar baseada na análise comparativa da quantidade de recursos entrantes e de saídas referentes ao custeio do empreendimento, isso resultará em um lucro, caracterizando assim a viabilidade econômica.

2.10.1 Custos de Soldagem

Segundo Machado (1996), as estimativas de custos de soldagem de uma estrutura, podem constituir diversos propósitos, o autor enumera alguns deles, como:

- Composição de preço de venda;
- Auxílio na decisão da oportunidade de fabricação de produto;
- Determinação do volume de investimento necessário para uma operação;
- Previsão de modificações ocasionadas por redimensionamento na escala de produtos;
- Estabelecer metas e princípios para a implantação de um programa de redução de custos;
- Proporcionar subsídio para uma escolha entre processos de soldagem distintos.

Desta forma considera-se que os custos de soldagem, estão diretamente relacionados com outros processos decorrentes á este processo de fabricação, sendo que estas podem ser decompostas em fases individuais, facilitando a cotação do processo, e especificando os custos envolvidos em cada etapa.

Assim dentro de um processo de soldagem, podemos elencar os seguintes aspectos, para fim de valoração: Projeto da Junta Soldada; Organização; Seleção de Pessoal e Certificação da Qualidade; Preparação para a soldagem; Soldagem, por fim a Operação após a soldagem.

Considerando o primeiro aspecto, referente a etapa de Junta Soldada, considera-se necessário que os responsáveis pelo processo, lê-se equipe de projetistas e engenheiros responsáveis, devem considerar e entrar em consenso sobre uma série de questionamentos (Tabela 9).

Tabela 9- Perguntas referentes à operação adotada

Perguntas essenciais
1. Aplicações para as quais a estrutura se destina
2. Código ou norma convencionada para projeto e quais suas exigências
3. Fatores de Segurança utilizados em diferentes partes
4. Filosofia geral que orientará o projeto
5. Possíveis deficiências da estrutura, considerar situações excepcionais.

Fonte: Machado (1996)

Após a equipe entrar em acordo sobre os questionamentos descritos anteriormente, uma próxima etapa deve ser considerada, e novas inferências pertinentes a ela devem ser levantadas. Essa nova etapa leva em conta os aspectos específicos da soldagem (Tabela 10), da mesma forma que elencamos as perguntas de operação, adotaremos o processo para o procedimento de soldagem.

Tabela 10- Aspectos referente ao processo de soldagem

Aspectos do Processo	
1. Propriedade mecânica requerida pela junta soldada	8. Estabelecer os Procedimentos de Soldagem
2. Seleção da junta e dimensionamento do cordão de solda	9. Principais aspectos de segurança
3. Especificação do metal base e dos consumíveis	10. Confecção do desenhos detalhados
4. Especificação do processo e equipamentos	11. Certificação dos consumíveis e equipamentos
5. Descrição das operações acessórias	12. Qualificação de pessoal, envolvidos na Inspeção e Construção
6. Discriminação dos ensaios destrutivos e não destrutivos	13. Descrição de equipamentos auxiliares
7. Especificação dos níveis de tolerância das descontinuidades	14. Previsão de distorções e tolerâncias dimensionais permitidas

Fonte: Machado (1996)

Finalizando o primeiro item abordado, salienta-se que devesse incluir as restrições referentes a junta, onde constam as cargas aplicadas, efeito do meio circundante e processos a qual será submetida. Portanto, são selecionados os processos e procedimentos de soldagem adequados, de forma que o escolhido apresente maior benefício econômico.

O segundo aspecto considerado, refere-se à Organização, para iniciar esse processo de delineamento, é necessário que o aspecto anterior tenha sido realizado. Desta forma dentro do aspecto organizacional, serão estabelecidas as facilidades disponíveis, bem como as sequencias de utilização das mesmas; o layout de fabricação e as questões referentes à segurança no trabalho. Na etapa de organização inclui-se a relação com os fornecedores dos produtos, serviços e as compras dos insumos. Sugere-se a adoção de um sistema específico de controle de

fluxo de materiais e serviços, bem como um cronograma específico ao serviço, porém essa ressalva fica a critério da empresa.

O terceiro ponto abordado consiste na Seleção de Pessoal e Certificação da Qualidade, este processo deve ter início antes do processo referente ao Projeto da Junta Soldada. Pois nele ocorrem a seleção dos soldadores e inspetores do processo. Após admissão na empresa, estes passam por treinamentos específicos, e obtenção da certificação por meio de órgão credenciado. Um processo similar ocorre com os equipamentos, consumíveis e material base, os quais devem possuir certificação.

A próxima etapa é relacionada à Preparação para a Soldagem, dentro dela são abordados os seguintes subitens: Corte das partes; Preparação dos chanfros; Limpeza do local que receberá o processo e o Posicionamento das partes. Durante essas operações, os subprocessos serão inspecionados pelo operador responsável e pelo inspetor de soldagem, onde serão analisados a qualidade dos chanfros e o controle dimensional.

A fase da Soldagem é a próxima a ser considerada, para isso torna-se necessário que os procedimentos de soldagem sejam disponibilizados ao operador e ao inspetor. Deste modo são cedidos os valores específicos referente à: temperatura de preaquecimento; temperatura de interpasse e dimensão do cordão de solda. O mesmo estabelece o número de auxiliares disponíveis para o soldador no momento de execução do serviço.

Por fim ocorre à etapa de Operações Pós Soldagem, este procedimento divide-se inicialmente em quatro processos essenciais: Limpeza entropasses; Pós Aquecimento; Inspeções visuais e Ensaio não destrutivo e Reparos e Correção de defeitos. É importante ressaltar que para a fabricação de uma mesma junta existem processos tecnológicos similares que se encaixam no escopo do projeto. Assim para a otimização do trabalho é imprescindível que o processo que apresente o menor custo e qualidade dentro das especificações iniciais, seja escolhido.

Para realização de tal análise; deve-se considerar outros aspectos, agora referentes a produtividade da operação (Tabela 11).

Tabela 11- Aspectos de Produtividade do Processo

Aspectos de Produtividade

1. Fator de Operação	Razão entre o tempo de arco efetivamente aberto e o tempo total para realizar a soldagem
2. Rendimento de Deposição	Razão entre a massa do metal de solda depositado e a massa do consumível, expressa em porcentagem. Neste caso se considera: (a) no processo de eletrodo revestido, somente a massa da alma. (b) Nos outros processos, somente o arame.
3. Eficiência do consumível	Razão entre a massa do metal de solda depositado e a massa total utilizada do consumível, expressa em porcentagem. Neste caso se considera: (a) No processo eletrodo revestido, além da alma, o revestimento e o toco. (b) Nos outros processos, além do arame, o gás ou o fluxo.
4. Eficiência de Deposição	Razão entre a massa do metal de solda depositado e a massa total consumida do consumível, menos as sobras, expressa como porcentagem. Neste caso se considera: (a) No processo do eletrodo revestido, somente o realmente consumido, não o toco. (b) Nos outros processos, além do arame, o gás ou o fluxo.
5. Taxa de Deposição	Massa do metal de adição depositado por unidade de tempo, numa dada intensidade de corrente, com fator de operação igual a 100%.

Fonte: Machado (1996)

Desta forma, após decidir o processo e o procedimento de soldagem, deve-se explorar os seguintes fatores:

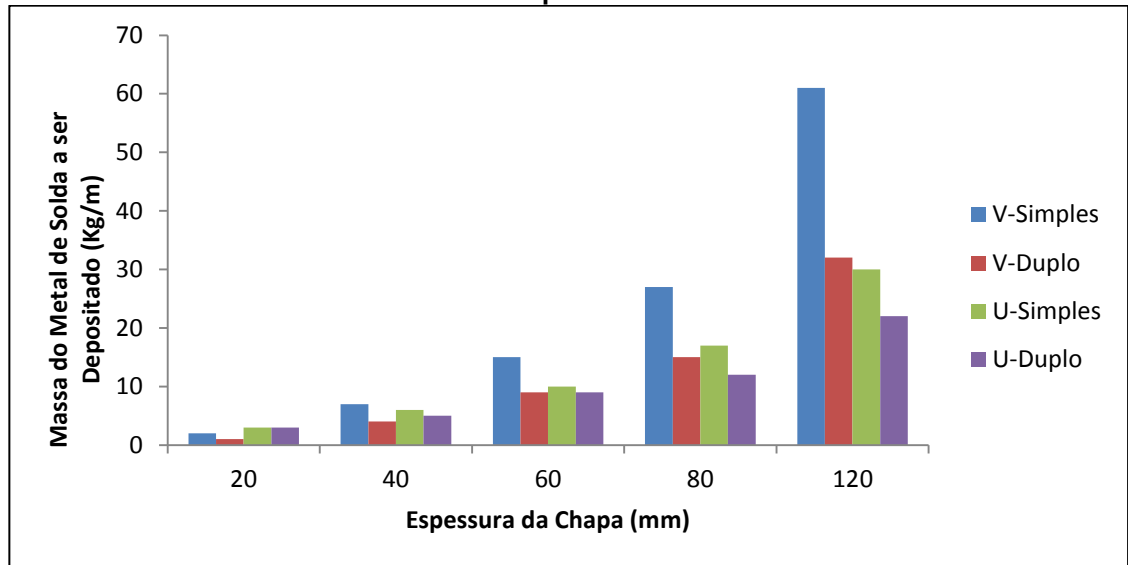
- Redução da massa do metal de solda depositado;
- Redução do tempo total de soldagem;
- Redução do custo de metal de solda depositado;

Abordando estes três aspectos é possível minimizar os custos de soldagem.

2.10.1.1 Redução da Massa de Metal de Solda Depositado

Tal fator depende da otimização do projeto de junta, a qual possui relação entre a massa do metal de solda a ser depositada por metro, e os diferentes tipos de junta e espessura do material base, conforme exposto no gráfico (Figura 3).

Figura 3 - Massa do Metal de Solda a ser Depositado em função da Espessura do Metal Base e do Tipo da Junta



Fonte: Machado (1996)

Assim no contexto dos custos de soldagem, deve ser considerado que um tipo de junta apresenta um custo mais elevado de preparação quando comparada a outras, esse fator é influenciado devido ao volume a ser fabricado, em casos que houver a necessidade de menos metal de adição para preenchimento, pode não ser o mais econômico.

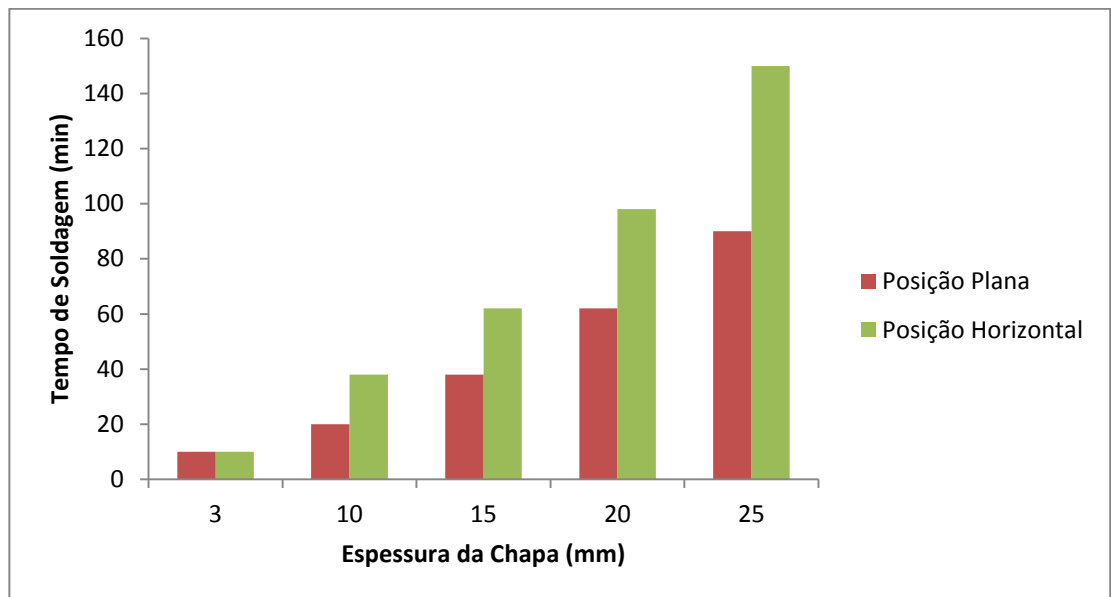
2.10.1.2 Redução do Tempo Total de Soldagem

Para surtir efeito, essa redução deve agir sobre o fator de operação e a taxa de deposição (TDEP). O fator de operação (FOP) está atrelado em parte com a disciplina do soldador, considerando também o processo e o modo de operação, pois são fatores limitantes do tempo de soldagem. (MACHADO, 1996)

Em outro aspecto, uma dada bitola de consumível, a corrente de soldagem é o principal parâmetro que deve ser alterado na busca por maiores TDEP. Existem também outros fatores que resultam na redução de custos, um dos fatores conhecidos

é a posição de soldagem, a qual pode ser plana ou vertical, sendo que o tempo da solda vertical é em média 40% maior que a solda plana, isso pode ser percebido através do gráfico (Figura 4):

Figura 4 - Efeito da posição de soldagem e espessura da chapa sobre o tempo de realização de 1m de solda



Fonte: Machado (1996)

2.10.1.3 Redução do Custo de Metal de Solda Depositado

Segundo Machado (1996), a redução do custo pode ocorrer através da utilização de consumíveis que apresentem maior eficiência de deposição, melhor rendimento do fluxo, ou gás, no qual a menor razão entre as massas do fluxo ou gás e do arame consumido.

As perdas podem ocorrer devido ao salpico, volatilização, danificação e desperdício, além da parte do consumível inutilizada devido a necessidade de cortar o arame, procedimento que ocorre no eletrodo tubular e no processo MIG. Pode ocorrer também a perda do 'toco', no eletrodo revestido, neste a perda gira em torno de 50 mm em cada troca de eletrodo, representando de 11% a 14% para os comprimentos dos consumíveis de 350 mm e 450 mm. (MACHADO,1996)

No processo MIG/MAG, o salpico diminui se a corrente pulsada é utilizada, ou as condições de soldagem são ajustadas de maneira adequada. Porém, o controle do

consumo de gás deve ser levado em consideração nesse processo, assim o volume do gás utilizado por unidade de massa do metal de adição fundido.

$$F = 0,0471 \cdot D^2 \cdot d \cdot W \quad (2.10.1.3.1)$$

Onde F caracteriza-se pela taxa de fusão do arame;

D= diâmetro do arame (mm);

d- massa específica do arame (g/cm³);

W- velocidade de alimentação do arame (m/min);

A partir da taxa de fusão do arame, torna-se possível realizar o cálculo do consumo específico de gás (C), por meio da equação:

$$C = 60 \cdot \frac{Z}{F} \quad (2.10.1.3.2)$$

Z – vazão do gás (l/min);

Assim pode-se adotar as seguintes medidas para a redução dos custos de soldagem:

- Desenvolver um bom projeto;
- Otimizar o processo e consumível;
- Trocar de processos;
- Modificar o equipamento;
- Introduzir a mecanização e, ou automação;
- Melhorar o treinamento dos operadores;
- Exigir organização e controle.

3. METODOLOGIA

Nesse capítulo será descrito a classificação e as etapas realizadas para que seja possível mensurar a taxa de corrosão de cada material.

3.1. Classificação da Pesquisa

Como a aplicação de testes práticos e análise dos resultados obtidos será realizada com base em equipamentos e materiais utilizados em uma empresa de celulose, a natureza da pesquisa é classificada como pesquisa aplicada, e envolve abordagem na forma de pesquisa quantitativa, visto que os resultados são objetivos e fornecem dados para uma tomada de decisão mais assertiva por parte da empresa.

Do ponto de vista de Gil (2007), a pesquisa realizada neste trabalho será a pesquisa explicativa, pois visa identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, explicando os motivos dos fatores através dos resultados obtidos.

3.2. Procedimento de Soldagem

O processo de soldagem teve início com o aquecimento da chapa metálica de base, a uma temperatura próxima a 100°C. Na sequência cordões de solda foram feitos sobre três subdivisões, de forma intercalada, com largura aproximada de 50mm e espessura mínima de 3 mm.

O eletrodo consumível arame tubular Tubord Ultra 71, ESAB, utilizado no processo de soldagem, o qual possui 1,20 mm de diâmetro, e foi utilizado como gás de proteção o dióxido de carbono (99,9%). O eletrodo tubular LEDURIT utilizado possuía diâmetro de 1,20 mm, e foi utilizado o mesmo gás de proteção que o eletrodo citado anteriormente.

3.3. Ensaio de corrosão

O ensaio de corrosão ocorreu no laboratório de eletroquímica da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Este teste tem como objetivo realizar o ensaio de medição de potencial de repouso e a taxa de corrosão. Para isso foi utilizado como

equipamentos o Potenciostato PGSTAT 30 (Figura 5) da marca Autolab, um termostato TC-501 Brookfield (Figura 6). O funcionamento deste termostato se dá através do fluxo de água destilada, a qual passa por uma célula eletroquímica, com a função de padronização térmica dos ensaios conforme a temperatura desejada pelo executor, tendo em vista que a realização do experimento foi desenvolvida sobre o delineamento da norma ASTM G59-97.

Figura 5 - Potenciostato PGSTAT 30



Fonte: Aatoria Própria (2016)

Figura 6 - Termostato TC-501



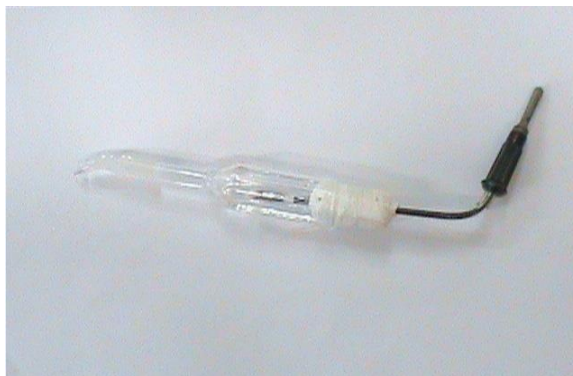
Fonte: Aatoria Própria (2016)

O ensaio corrosivo foi realizado com amostras dos materiais, após passarem pelo processo de soldagem, estas amostras foram obtidas pelo processo de

eletroextrusão, e revestidas com material polimérico adequado para preservação das amostras. O procedimento de exposição eletroquímica, teve início com a abrasão da extremidade dos corpos de prova por uma lixa, com o intuito de eliminar qualquer filme ou início de processo corrosivo existente no material. Imediatamente após esse processo, o corpo de prova era submerso no recipiente destinado ao ensaio, o qual continha o meio corrosivo, neste caso o licor negro. A análise tinha um período de duração de 55 minutos, neste período a temperatura era estável, e o meio corrosivo estava estável.

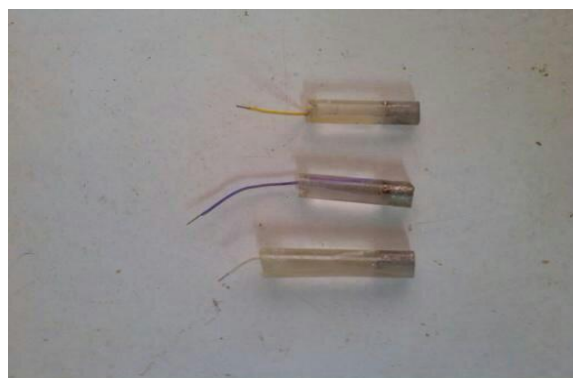
A célula eletroquímica utilizada para a realização do ensaio era composta de um eletrodo de trabalho (E_T) (Figura 8), um eletrodo de referência (E_R), e um contra eletrodo (C_e) (Figura 9). Neste caso utilizou-se como E_R um eletrodo de Calomelo Saturado (E_{CS}) (Figura 7), e como citado anteriormente, o meio corrosivo foi o licor negro.

Figura 7 - Eletrodo de referência de Calomelano Saturado



Fonte: Autoria própria (2016)

Figura 8 - Eletrodo de trabalho



Fonte: Autoria própria (2016)

Figura 9- Contra eletrodo



Fonte: Aatoria própria (2016)

Para a realização dos testes na célula eletroquímica foi utilizado o licor negro. Na tabela (Tabela 12) encontra-se a composição deste meio corrosivo.

Tabela 12 - Composição química do licor negro

Produtos Químicos	Composição	Dosagem
Carbonato de sódio	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$	37,4 (g/l)
Sulfeto de Sódio	Na_2S	7,4 (g/l)
Sulfato de Sódio	Na_2SO_4	1,6(g/l)
Soda Cáustica	NaOH	63,5 (g/l)
Concentração (antes da evaporação)		40%
Concentração (após evaporação)		80%

Fonte: Castro, (2009)

Os procedimentos realizados na sequência, foram submetidos as temperaturas de 25°C, 35°C e 45°C. Todos os corpos de prova foram submetidos à essas temperaturas. A coleta dos dados foi realizada com apoio do *software* do potenciostato o GPES da Autolab.

Os testes efetuados, com o intuito de obter o Potencial de corrosão (E_{cor}), ocorreram após o licor negro, alcançar a temperatura inicial de 25°C. Quando a temperatura foi obtida, os eletrodos de referência e o contra eletrodo foram introduzidos à célula eletroquímica. As conexões elétricas foram realizadas no eletrodo, dando início a leitura pelo aparelho, e o acompanhamento do mesmo em forma de gráfico gerado pelo *software*. O período do ensaio durou cerca de 55 minutos

para cada corpo de prova e cada temperatura respectivamente. A partir desse ensaio obteve-se o potencial de repouso (E_{rep}).

Após realização da leitura do E_{rep} , realizou-se a micropolarização cíclica, onde ocorreu a varredura dos potenciais de repouso no sentido anódico com 10mV mais positivo que o potencial de repouso. Em seguida inverteu-se a direção, para o sentido catódico com 10mV mais negativo que o potencial de repouso, deste modo voltou-se ao potencial inicial. A partir da micropolarização é delineada a resistência de polarização, dos ensaios amostrais.

A etapa de macropolarização ocorreu no final do ensaio da amostra, esta começou com uma potência de 150mV mais anódico que o potencial de repouso em direção a 150mV mais catódico que o potencial de repouso. Assim foi possível obter o valor das constantes de Tafel Anódica (β_a) e catódica (β_c).

A partir da coleta dos dados fornecidos pelo *software*, foram coletados gráficos e realizados cálculos com o intuito de obter a taxa de corrosão para cada temperatura para os corpos de prova distintos.

3.3. Custos

Para eventuais cálculos iremos considerar uma área de 10 m², e volume de 0,1m³. Consideraremos também que a espessura da deposição de solda será uniforme, com o valor de 0,15 mm. As densidades específicas (ρ) dos arames tubulares com base em inox e em carbono são respectivamente 7,85g/cm³ e 7,83 g/cm³. Para fins de cálculos iremos descontar as perdas do arame, que segundo Zieda e Tatini (1997) giram em torno de 20%. A finalidade destes cálculos é possibilitar a mensuração da quantidade de rolos necessários para cobrir uma pequena área. Deste modo a empresa pode trocar apenas a variável área, e irá obter a quantidade necessária de arame a ser adquirido. Para isso utilizaremos a seguinte fórmula:

$$m = \rho \cdot V \tag{3.3.1}$$

Onde:

M= massa do arame a ser utilizada;

ρ = densidade específica de cada arame tubular

V= o volume a ser recuperado

A partir desse cálculo será possível determinar a quantidade de rolos que será necessário para a recuperação do volume sugerido, bem como inferir um custo aproximado para realização da recuperação do costado.

Como este trabalho visa salientar a viabilidade econômica de manutenção na recuperação do vaso em pressão envolvido no processo. Realizou-se uma cotação orçamentária (Tabela 13), a fim de obter-se valores reais dos custos efetivos do insumo utilizado.

Tabela 13- Especificações dos arames tubulares

Descrição do Arame	Diâmetro (mm)	Peso (Kg)	Valor (R\$)	Composição
E309 LMo	1,20	15	1943,25	INOX
E 71T 1D	1,20	15	1280,85	Aço Carbono

Fonte: Autoria Própria (2016)

Inicialmente não iremos considerar nessa etapa os valores referentes ao custo do operador, pois segundo dados da empresa, o mesmo é efetivo, e também realiza outras funções, portanto não seria pago um valor adicional para que o mesmo realizasse o processo aqui citado.

4. RESULTADO E ANÁLISES

4.1. Ensaios Eletroquímicos

Conforme citado anteriormente, no item 3.2, os ensaios eletroquímicos para a determinação da taxa de corrosão foram realizados nos corpos de prova em diferentes temperaturas. Estes corpos de prova foram submetidos a meio corrosivo. Após preparadas as amostras e a célula eletroquímica, os corpos de prova foram lixados e imediatamente imersos na solução, desta forma foi possível dar início aos ensaios, coletando os dados necessários a partir do software do potenciostato da Autolab, o GPES.

O primeiro ensaio possibilita conhecer o potencial de repouso do aço em determinado meio corrosivo. Este ensaio, para cada amostra, tem duração de 55 minutos, seguindo a determinação da norma ASTM G59-97, e ao final do ensaio obtêm-se o potencial. Para obtenção de dados mais precisos, foram realizados testes em três temperaturas distintas as quais são 25°C, 35°C e 45°C, assim tornou-se possível prever o comportamento da liga metálica, quando submetida as altas temperaturas do vaso de pressão.

A partir do ensaio o sistema fornece os dados referentes ao potencial de corrosão (E_{corr}), resistência a polarização (R_p), coeficiente de Tafel anódico (β_a), coeficiente de Tafel catódico (β_c), obtendo assim a Taxa de corrosão (Tx_{corr}), respectivamente dos aços ASTM 516 (Tabela 14), E309 LMO (Tabela 15) e E71T 1D (Tabela 16).

Tabela 14 - Valores de E_{corr} , β_a , β_c , R_p e Tx_{corr} do aço ASTM A 516 Gr 60

Temperatura de trabalho	E_{corr}	β_c	β_a	R_p	Tx_{corr}
25°C	0,586	0,099	0,072	5960	0,158
35°C	-0,617	0,129	0,08	5820	0,333
45°C	-0,599	0,083	0,106	5540	0,5

Fonte: Autoria Própria (2017)

Tabela 15 - Valores de E_{corr} , β_a , β_c , R_p e Tx_{corr} do aço E309 LMO

Temperatura de trabalho	E_{corr}	β_c	β_a	R_p	Tx_{corr}
25°C	-0,601	0,125	0,081	918	0,00286
35°C	-0,604	0,151	0,109	785	0,00134
45°C	-0,612	0,151	0,109	785	0,0662

Fonte: Autoria Própria (2017)

Tabela 16 - Valores de E_{corr} , β_a , β_c , R_p e Tx_{corr} do aço E71T 1D

Temperatura de trabalho	E_{corr}	β_c	β_a	R_p	Tx_{corr}
25°C	-0,598	0,135	0,086	11400	0,321
35°C	-0,615	0,109	0,086	12700	0,501
45°C	-0,595	0,102	0,081	2420	0,552

Fonte: Autoria Própria (2017)

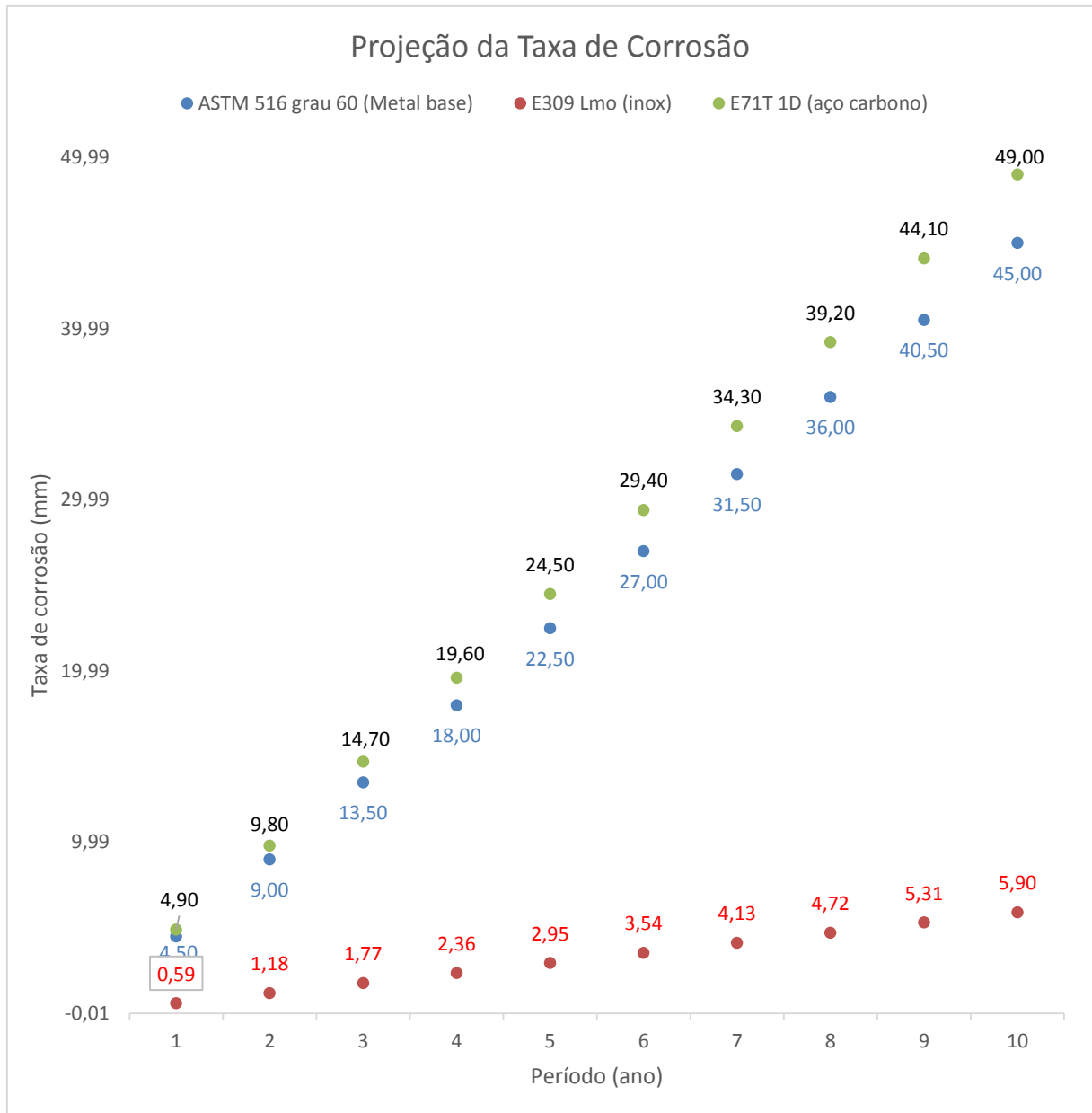
A partir destes dados, podemos analisar previamente que as amostras com valores superiores de resistência de polarização (R_p) apresentará valores menores de taxa de corrosão (Tx_{corr}).

Realizando uma análise mais criteriosa, voltada para a elevação da temperatura. Verifica-se que a taxa de corrosão comportasse de maneira diretamente proporcional a elevação de temperatura. Observando que este comportamento ocorre de maneira linear nos três materiais metálicos estudados.

4.2. Mensuração do custo de recuperação

Retomando o item 3.3, referente as considerações para realização de cálculos, a fim de mensurar o custo de recuperação do costado do vaso de pressão. Deste modo, utilizando os valores referente a taxa de corrosão (Tx_{corr}), obtemos o valor em mm/ano, conforme o gráfico de projeção da taxa de corrosão (Figura 10).

Figura 10 – Projeção da taxa de corrosão por ano



Fonte: Autoria Própria (2018)

A partir deste gráfico, pode-se perceber que os materiais metálicos com composição predominante de aço carbono, apresentam um índice de taxa de corrosão muito superior, se comparado ao aço inox.

Após realizar a mensuração de período de manutenção do equipamento, podemos realizar o cálculo referente ao custo da soldagem, dado pela equação (4.2.1) abaixo:

$$C_e = \frac{m_s}{\emptyset} C_{eu}$$

(4.2.1)

Onde C_e caracteriza-se pelo custo;

m_s = massa do material depositado (kg.m²);

\emptyset - Eficiência da solda, neste caso considera-se 80%, por ser MIG;

C_{eu} - Custo do arame (\$/kg)

Considerou-se uma área de recuperação amostral, com área de 10m² e volume de 0,1m³, adotando uma espessura de deposição de solda uniforme de 0,15mm. Deste modo, temos um custo de recuperação (Tabela 17):

Tabela 17- Custo de recuperação de amostragem do costado

	Custo eletrodo (kg)	Área de deposição (m ²)	Comprimento do cordão (m)	Área de recuperação (m ²)	Massa do metal de deposição	Custo revestimento
ASTM 516 grau 60 (Metal base)	0	1	100	10	787	R\$ -
E309 Lmo (inox)	129,55	1	100	10	785	R\$ 127.120,94
E71T 1D (aço carbono)	85,39	1	100	10	783	R\$ 83.575,46

Fonte: Autoria Própria (2018)

Como os demais custos, com operador e utilização de máquina e gás para a proteção da solda são fixos, não serão levados em consideração para a mensuração do valor de manutenção.

A partir de uma análise superficial, considerando apenas o custo de cada revestimento, poderíamos inferir numa escolha inicial do arame E71T 1D, pois apresenta custo significativamente inferior ao aço inox. Porém para uma tomada de decisão mais precisa, devemos também, levar em consideração a taxa de corrosão de cada material, e o tempo necessário para que seja realizada a manutenção do mesmo.

5. CONCLUSÕES

Para as três amostras ensaiadas, a taxa de corrosão de todos os aços aumentou com o aumento da temperatura, sendo que a média da taxa de corrosão dos ensaios foram 0,2792mm/ano para o metal ASTM 516 grau 60, 0,3707mm/ano para o arame tubular E71T 1D (aço carbono) e 0,01764mm/ano para o arame tubular E309 LMO (aço inox).

Com isso, observou-se que o material mais resistente ao meio corrosivo licor negro é o arame tubular E309 LMO, sendo em média 20 vezes melhor que o arame tubular E71T 1D e 15 vezes melhor que o aço ASTM A 516 grau 60.

Deste modo, auxiliado pela projeção ao longo dos anos dos anos (Figura 10), podemos concluir que por mais que os custos de manutenção, do arame E71T 1D (aço carbono), o qual representa um custo de 34% inferior a manutenção do arame E309 LMO, necessita de uma periodicidade de manutenção maior.

Portanto, torna-se inviável realizar a parada do equipamento para a manutenção com a utilização do arame E71T 1D, pois a espessura do costado chegará no ponto crítico, igual ou superior a 15mm, em aproximadamente 3,5 anos. Já o arame E309 LMO, após 10 anos, ainda terá uma espessura considerável para trabalho. Apresentando desta maneira as paradas para manutenções mais espaçadas, comprometendo assim cada vez menos a produção da empresa.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, William. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

Código ASME, Seção VIII, Divisão 1 (parágrafo UCS –56 e 57)

COSTA, Paulo Sérgio. **Aplicação do Método dos Elementos Finitos para Análise Estruturais da Extremidade da Viga de Vagões Tipo Gondola Aplicados na Estrada de Ferro Carajás**. 2015. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Faculdade Pitágoras, São Luis, 2015. Cap. 2. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAg8sgAl/monografia-paulo-costa?part=2#>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

ESAB (Brasil). **Catálogo Arame Tubular: OK Arames Tubulares**. 2016. Disponível em: <http://www3.esab.com.br/literatura/pdf/1900280_rev_10_Catalogo_Arame_Tubular_pt.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2016.

EUTETIC (Brasil). **Catálogo Inox**. 2006. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/catalogos/catalogo_inox.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2016.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GIACOMIN, Jacksson Hester. **Estudo de Viabilidade Econômico-Financeira de uma Microcervejaria no Estado de Santa Catarina**. 2008. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Economia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Cap. 2. Disponível em: <<http://tcc.bu.ufsc.br/Economia291808>>. Acesso em: 29 maio 2016.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GULLICHSEN, Johan. FOGELHOLM, Carl Johan. **Papermaking Science and Technology Book 6**. Fapet Oy, Helsinki, Finland 2000.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Autor, 1996. 477 p.

MARQUES, Paulo V; MODENESI, Paulo J; BRACARENSE, Alexandre Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

MARQUES, Paulo Villani. **Tecnologia da Soldagem**. 2. ed. Belo Horizonte: Esab S/a, 2002. 352 p.

MELO, Joelma Ribeiro de et al. **Estudo das Características do Licor Negro**. Revista de Engenharia e Tecnologia, São Paulo, v. 3, n. 1, p.1-11, 01 abr. 2011. Mensal. Disponível em: <<http://www.revistaret.com.br/ojs.2.3/index.php/ret/article/viewFile/70/95>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 13: Caldeiras e Vasos de Pressão**. 1 ed. Brasília: Mte, 2015. 124 p. Disponível em: <http://acesso.mte.gov.br/data/files/FF8080812BCB2790012BD52933F650E5/ManualTecnicoCaldeiras_2006.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

REGIS JUNIOR, Oscar. **Estudo da Corrosão nos Aços ASTM A 285 Grau C e 516 Grau 60 utilizados na Construção de Digestores Descontínuos para a Obtenção de Celulose pelo Processo KRAFT**. 2004. 260 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências Dos Materiais, Uepg, Ponta Grossa, 2004.

REGIS JUNIOR, Oscar. **Viabilidade dos revestimentos anticorrosivos com Nb₂O₅/Cu, Nb₂O₅/Ni e Nb₂O₅/Al aplicados por aspersão térmica para estruturas enterradas de Linhas de Transmissão**. 2011. 243 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHERER, Amilton. **Estudo e análise da taxa de corrosão de um aço ASTM A 516 grau 60 e das soldas de revestimentos com eletrodo arame tubular AWS E71T e LEDURIT 60, em licor branco utilizado na produção de celulose**. 2015. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. Cap. 3.

STERN, M., GEARY, A.L., A Theoretica Analysis of the Shape of Polarization Curves. Journal Electrochem Society, V.104, n° 1, 1957.

SUZANO Papel e Celulose (São Paulo) (Ed.). **Você sabe como a nossa celulose é fabricada?** 2016. Disponível em: <<http://www.suzanoblog.com.br/voce-sabe-como-a-nossa-celulose-e-fabricada/>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

ZIEDAS, Selma; TATINI, Ivanisa (Org.). **Coleção Tecnologia SENAI: Soldagem**. São Paulo: Senai, 1997. 553 p. ZIEDAS, Selma; TATINI, Ivanisa (Org.). **Coleção Tecnologia SENAI: Soldagem**. São Paulo: SENAI, 1997. 553 p.

WAINER E.; BRANDI S. D.; MELLO, F.D.H. **Soldagem**: processos e metalurgia. 4 Ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2004.