

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE CRITÉRIOS UTILIZADOS
NA DEFINIÇÃO DE SOBRESPESSURA DE CORROSÃO A PARTIR
DA AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO EM TUBOS DE
REVESTIMENTO API 5CT C-110**

- Antonio Carlos Ramos Junior
- Orientador: Bojan Marinkovic, D.Sc

AGENDA



Introdução



**Revisão
Bibliográfica**



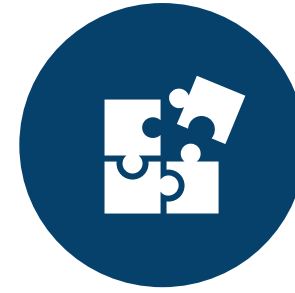
**Materiais e
Métodos**



**Resultados e
Discussões**



Conclusões



**Trabalhos
Futuros**



**Referências
Bibliográficas**



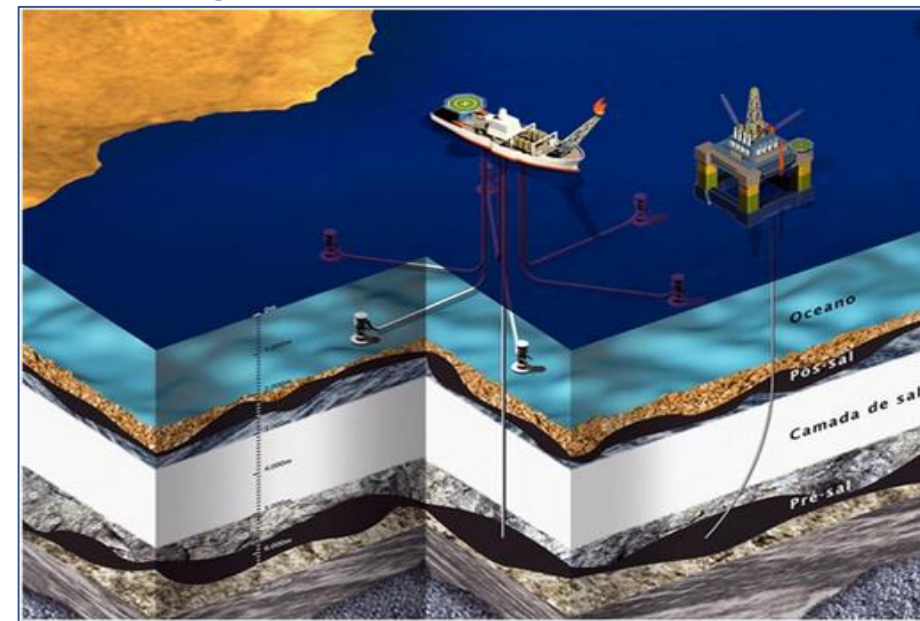
Considerações iniciais



FMC Technologies



Motivação



Fonte: <https://www.algosobre.com.br/images/stories/artigos/atualidades/pre-sal.jpg>

$$P_i = (1 - 12,5\%) \times \frac{2 \times Y_p \times t}{D}$$



Fonte: <https://imrsteel.com/wp-content/uploads/2020/02/API-5CT-grade-c90-11-34-oil-well-casing-pipe-with-BTC-threads-495x400.jpg>

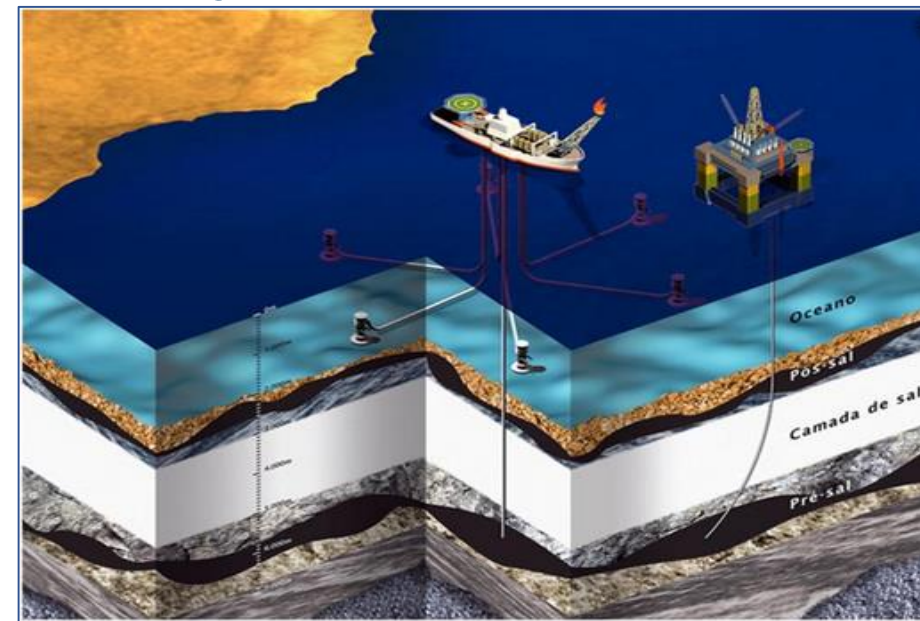


Fonte: JUNIOR, N. M.; *Análise Experimental e Numérica da Resistência ao Colapso dos Tubos de Revestimento Sob Desgaste*, 2012. Dissertação de Mestrado, UENF, Macaé, R.J.

- Com a descoberta das jazidas de petróleo na camada pré-sal, a atividade de construção de poços tem enfrentado diversos **desafios tecnológicos**, principalmente com relação à **corrosão**;
- No cenário do pré-sal, a corrosão se torna um grave problema e um grande desafio, pois trata-se de ambiente de **alta pressão**, **alta temperatura**, presença de fluidos com **elevada salinidade** e em alguns casos existe ainda a presença de **gases dissolvidos**, sendo o mais comum o **dióxido de carbono** (CO₂);
- Ao longo da construção e vida produtiva de um poço, os **tubulares** instalados podem ter suas **espessuras** de parede **reduzidas**, quer seja por **ação mecânica** ou por **ação eletroquímica** (corrosão);



Motivação



Fonte: <https://www.algosobre.com.br/images/stories/artigos/atualidades/pre-sal.jpg>

$$P_i = (1 - 12,5\%) \times \frac{2 \times Y_p \times t}{D}$$



Fonte: <https://imristeel.com/wp-content/uploads/2020/02/API-5CT-grade-c90-11-34-oil-well-casing-pipe-with-BTC-threads-495x400.jpg>



Fonte: JUNIOR, N. M.; *Análise Experimental e Numérica da Resistência ao Colapso dos Tubos de Revestimento Sob Desgaste*, 2012. Dissertação de Mestrado, UENF, Macaé, RJ.

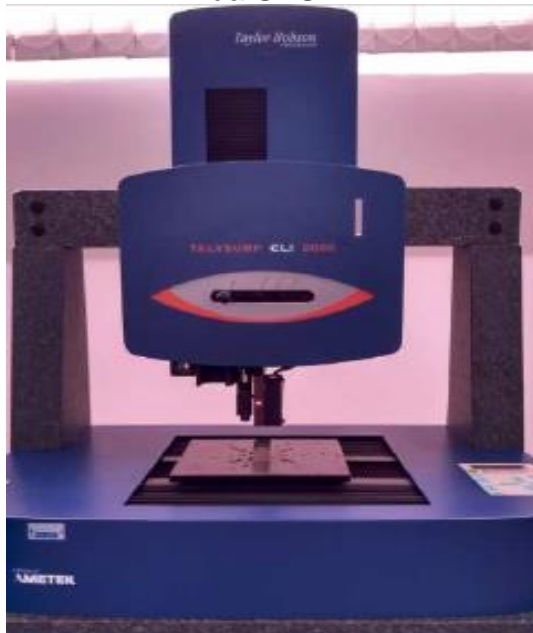
- Os efeitos da **corrosão** somados à **perda de massa** causada pelo **desgaste mecânico** levam à **diminuição da resistência mecânica** do tubular, podendo causar **deformação** e, em casos extremos, **perda e abandono permanente** do poço;
- Para o **desenvolvimento** dos grandes campos de petróleo de forma **econômica e segura**, torna-se fundamental o **entendimento** dos processos de **desgaste mecânico e corrosivos** que os tubos de podem sofrer ao longo da **construção e vida produtiva do poço**.



Objetivo

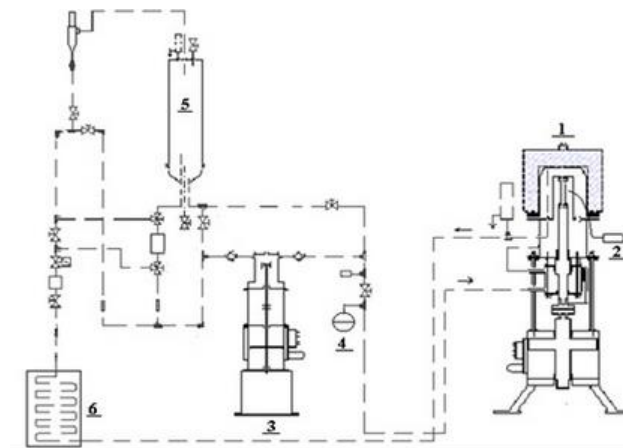
Avaliar a taxa de corrosão em **tubos** de revestimento **íntegro e desgastado mecanicamente**, além de **desenvolver** e **validar critérios** para definição de **sobresspesura de corrosão** a ser considerada na etapa de elaboração de **projetos de poços de petróleo** a partir de ensaios de corrosão em amostras de tubos de revestimentos API 5CT C-110 submetidos ao processo de corrosão ácida por H_2CO_3 .

Interferômetro modelo CLI 2000 da UFU



Fonte: Autor (2019).

$$TC = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$



Fonte: <https://www.scielo.br/img/revistas/rmat/v15n1/a05img1.jpg>

Preparação para o ensaio de corrosão no INT



Fonte: Autor (2019).

AGENDA



Introdução



**Revisão
Bibliográfica**



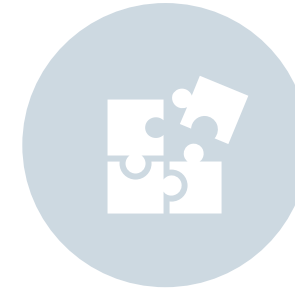
Materials e
Métodos



Resultados e
Discussões



Conclusões



Trabalhos
Futuros

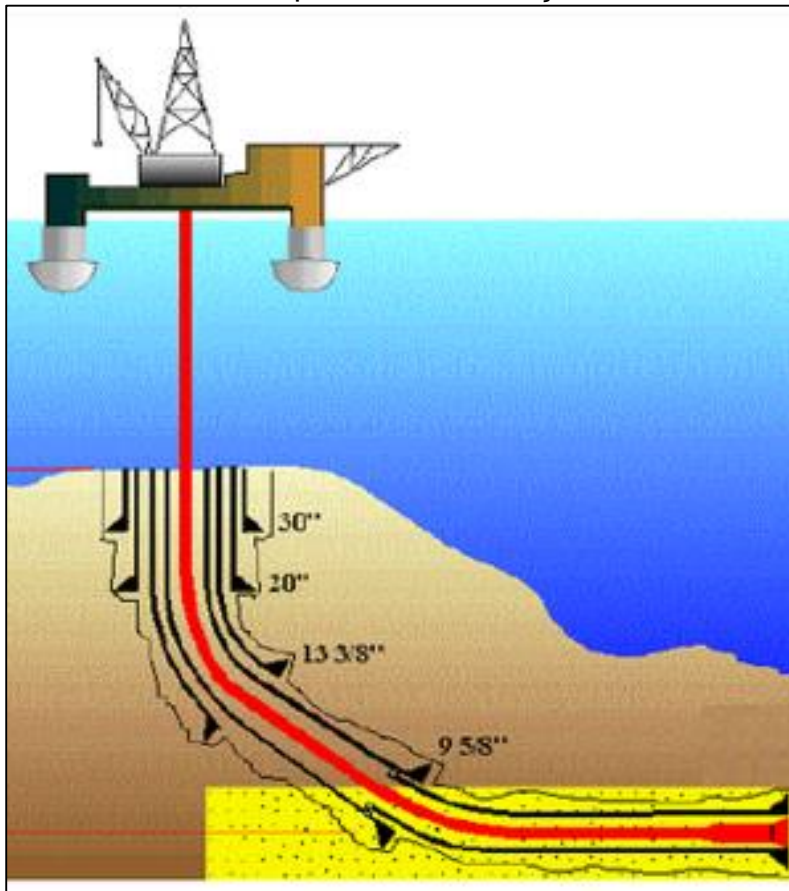


Referências
Bibliográficas



Conceitos básicos de perfuração de poços

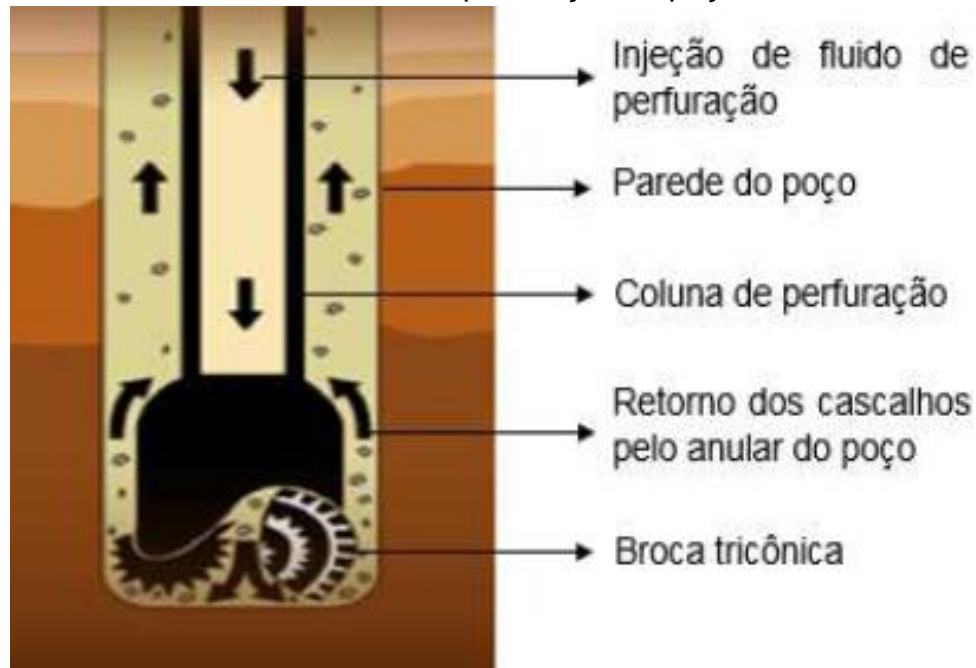
Esquema de Perfuração



Fonte: [https://static-](https://static-media.hotmart.com/pBOMHnyc3Y0Lzo5sc6Ef2B2HGjM=/600x600/smart/filters:format(jpg):background_color(white)/hotmart/product_contents/c2555d11-4494-4710-a11c-22cf61f8c9f1/perfurao.jpg)

[media.hotmart.com/pBOMHnyc3Y0Lzo5sc6Ef2B2HGjM=/600x600/smart/filters:format\(jpg\):background_color\(white\)/hotmart/product_contents/c2555d11-4494-4710-a11c-22cf61f8c9f1/perfurao.jpg](https://static-media.hotmart.com/pBOMHnyc3Y0Lzo5sc6Ef2B2HGjM=/600x600/smart/filters:format(jpg):background_color(white)/hotmart/product_contents/c2555d11-4494-4710-a11c-22cf61f8c9f1/perfurao.jpg)

Circuito do fluido de perfuração no poço



Fonte: Modificado de RIGZONE (2017).

Tubos de revestimento API 5CT



Fonte: <https://imrsteel.com/wp-content/uploads/2020/02/API-5CT-grade-c90-11-34-oil-well-casing-pipe-with-BTC-threads-495x400.jpg>



Conceitos básicos de perfuração de poços

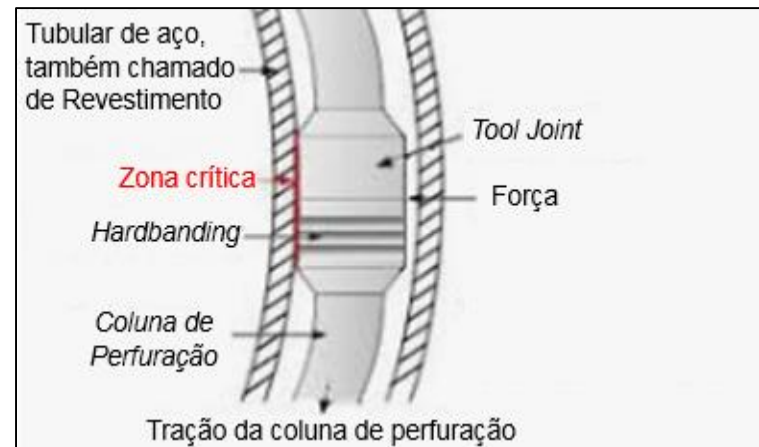
- Tubo de perfuração novo US\$ 300 / metro
- Tool joint
- *Hardbanding*

Detalhe do *hardbanding* de um *tool joint*



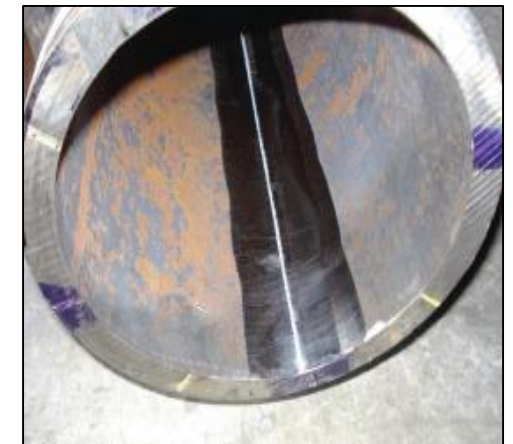
Fonte: National Oilwell Varco. Disponível em <https://www.nov.com/products/tcs-hardbanding> (Acesso em 15 de novembro de 2019).

Contato do *tool joint* com a parede interna de um revestimento



Fonte: Modificado de RIPMAN, S., Casing Wear in Multilateral Wells (2011).

Amostra de tubo de revestimento com desgaste interno usinado



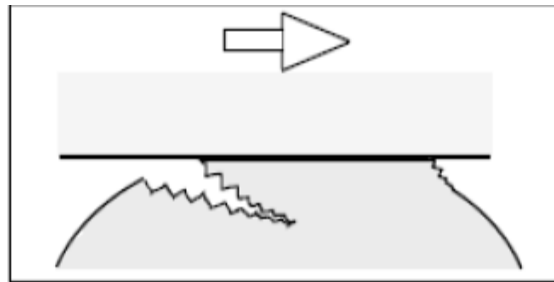
Fonte: JUNIOR, N. M.; **Análise Experimental e Numérica da Resistência ao Colapso dos Tubos de Revestimento Sob Desgaste**, 2012. Dissertação de Mestrado, UENF, Macaé, RJ.



Desgaste do material

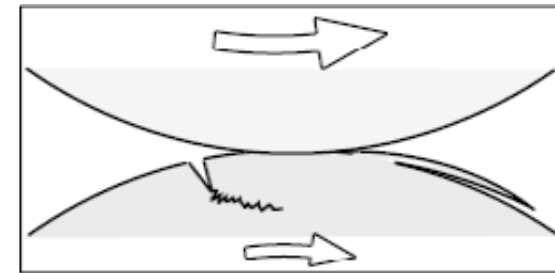
O desgaste é o resultado da remoção do material por separação física devido à microfatura, por dissolução química ou por fusão na interface de contato.

Desgaste adesivo



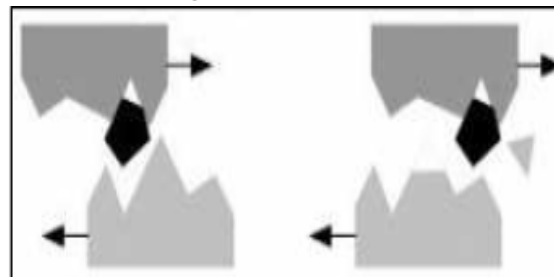
Fonte: BHUSHAN, B., Modern tribology handbook, vol. 1 – Principles of tribology (2001).

Desgaste por fadiga superficial



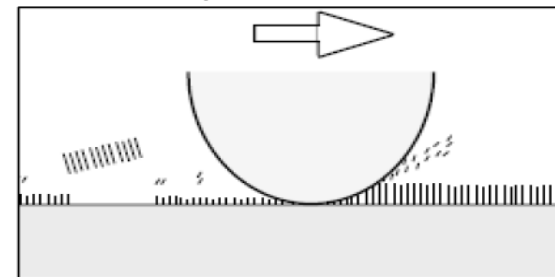
Fonte: BHUSHAN, B., Modern tribology handbook, vol. 1 – Principles of tribology (2001).

Desgaste abrasivo



Fonte: SubsTech – Substances & Technologies. Disponível em http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear (Acesso em 15 de novembro de 2019).

Desgaste corrosivo

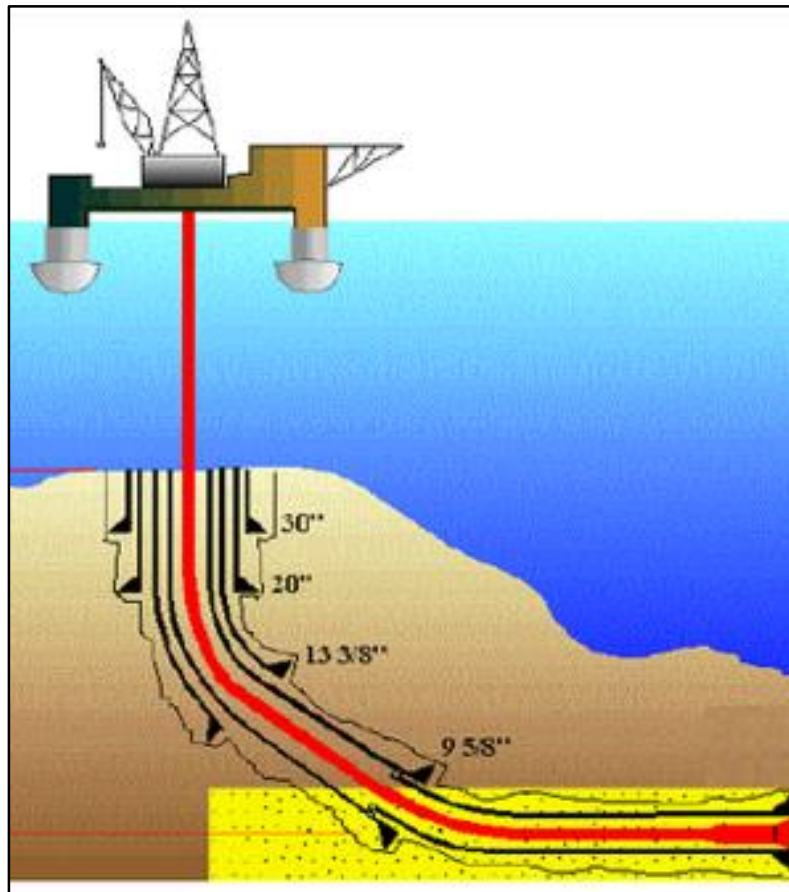


Fonte: BHUSHAN, B., Modern tribology handbook, vol. 1 – Principles of tribology (2001).



Conceitos básicos de completação de poços

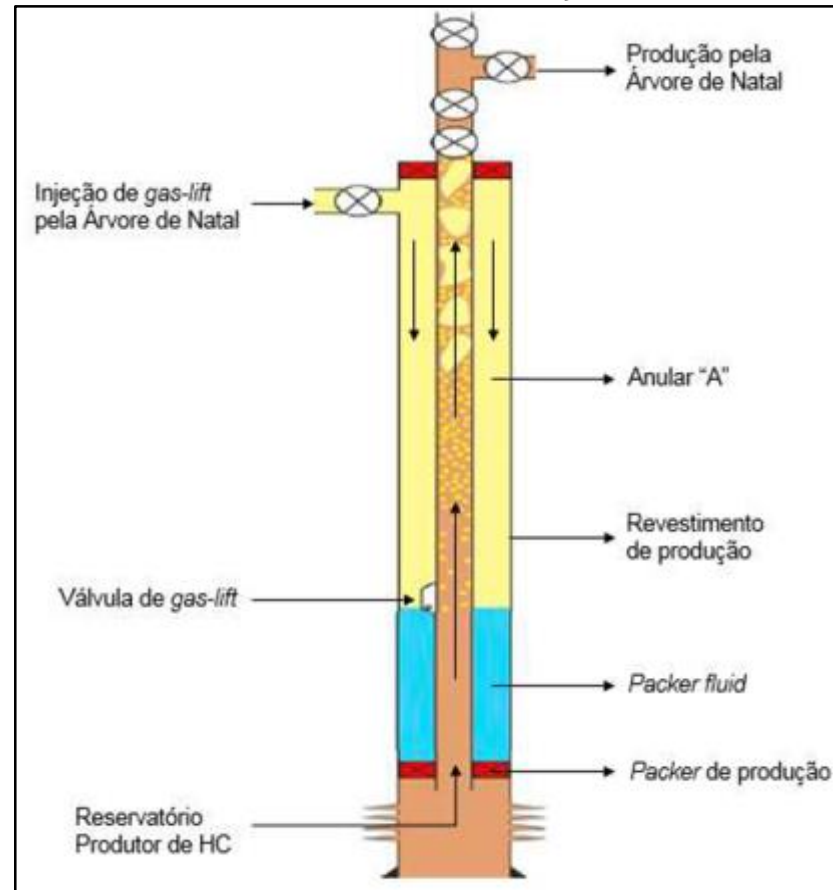
Esquema de Perfuração



Fonte: [https://static-](https://static-media.hotmart.com/pBOMHnyc3Y0Lzo5sc6Ef2B2HGjM=/600x600/smart/filters:format(jpg):background_color(white)/hotmart/product_contents/c2555d11-4494-4710-a11c-22cf61f8c9f1/perfurao.jpg)

[media.hotmart.com/pBOMHnyc3Y0Lzo5sc6Ef2B2HGjM=/600x600/smart/filters:format\(jpg\):background_color\(white\)/hotmart/product_contents/c2555d11-4494-4710-a11c-22cf61f8c9f1/perfurao.jpg](https://static-media.hotmart.com/pBOMHnyc3Y0Lzo5sc6Ef2B2HGjM=/600x600/smart/filters:format(jpg):background_color(white)/hotmart/product_contents/c2555d11-4494-4710-a11c-22cf61f8c9f1/perfurao.jpg)

Esquema de Completção



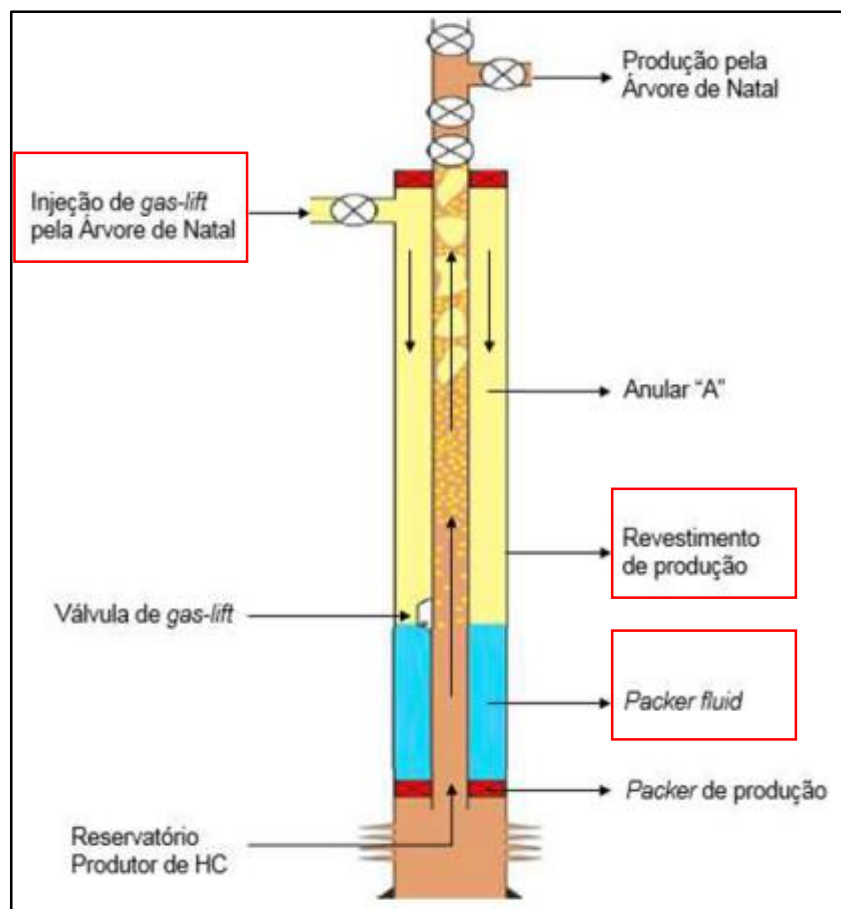
Fonte: Modificado de BELLARBY, J., Well Completion Design - Developments in Petroleum Science (2009).

- Equipar poço com COP ou COI;
- Instalação de válvulas;
- Instalação de sensores;
- Linhas hidráulicas.



Conceitos básicos de completação de poços

Esquema de Completção



Fonte: Modificado de BELLARBY, J., Well Completion Design - Developments in Petroleum Science (2009).

Métodos de elevação artificial

- BCSS – Bombeio centrífugo submerso submarino
- Gas-Lift

Produção do poço

- Processo de separação
- Fase gasosa:
 - Geração de energia da própria unidade de produção
 - Exportado para terra
 - Reinjetado no reservatório
 - **Utilizado no método de elevação artificial (gas-lift)**
 - Contaminantes: CO₂

Formação de ácido carbônico

- Packer fluid base água + CO₂



Corrosão

- Corrosão é definida como a deterioração indesejável de um metal ou liga, isto é, uma interação do metal com seu ambiente que afeta adversamente as propriedades do metal que devem ser preservadas.
- Essa definição também é aplicável a materiais não metálicos, como vidro, madeira, concreto, cerâmica e compósitos.

Corrosão por dióxido de carbono (CO₂)

Reações químicas do mecanismo de corrosão por CO₂

Dissolução de dióxido de carbono	(CO ₂) gás -> (CO ₂) líquido
Formação de ácido carbônico	CO ₂ +H ₂ O -> H ₂ CO ₃
Primeira dissociação de ácido carbônico	H ₂ CO ₃ -> HCO ₃ ⁽⁻⁾ + H ⁺
Segunda dissociação de ácido de carbono	HCO ₃ ⁽⁻⁾ -> CO ₃ ⁽²⁻⁾ + H ⁺
Reação de corrosão do ferro	H ₂ CO ₃ + Fe -> Fe ²⁺ + CO ₃ ⁽²⁻⁾ + H ₂
Formação de bicarbonato de ferro	Fe ²⁺ + 2(HCO ₃ ⁽⁻⁾) -> Fe (HCO ₃) ₂
Formação de carbonato de ferro	Fe ²⁺ + CO ₃ ⁽²⁻⁾ -> FeCO ₃

Fonte: ROPITAL, F., Corrosion and degradation of metallic materials (2010).

Tipos de corrosão

- Corrosão uniforme
- Corrosão localizada
 - Pitting
 - Ataque do tipo mesa
 - Induzida por fluxo



Parâmetros que influenciam a corrosão por dióxido de carbono (CO₂)

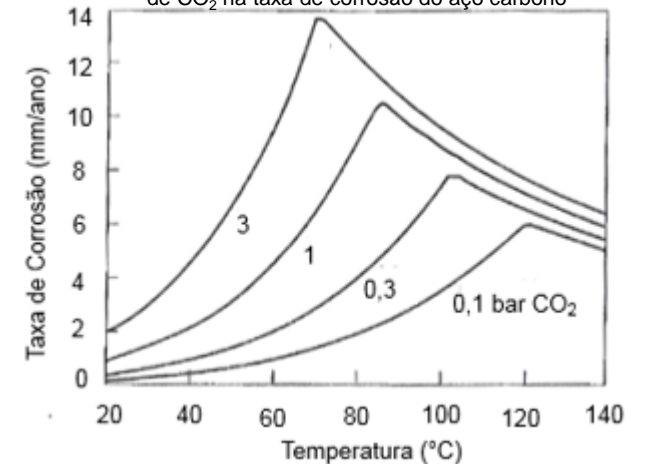
A pressão parcial do CO₂ : considerado um parâmetro predominante. A solubilidade do CO₂ no sistema é diretamente proporcional à pressão parcial. A acidez da água depende desse parâmetro.

Temperatura: tem um efeito considerável na natureza e morfologia dos depósitos de corrosão que se formam na superfície dos aços de baixa liga. **A baixa solubilidade do FeCO₃ e a alta saturação deste composto a temperaturas superiores a 70°C, favorecem a formação de uma camada protetora de carbonato de ferro.**

Composição da água: a acidez da água na qual o CO₂ é dissolvido depende de sua composição (presença de elementos básicos ou ácidos). Nessa lógica, o pH da água tenderá a deslocar o equilíbrio da reação química para um dos sentidos e, com isso, influenciará as concentrações de cada componente na solução.

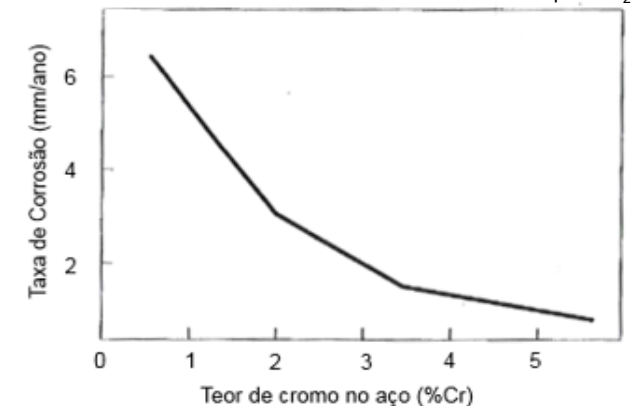
A metalurgia do aço carbono, baixa liga ou aços inoxidáveis: a composição química, os tratamentos térmicos e o estado microestrutural afetam a corrosão por CO₂. A quantidade de cromo desempenha um papel fundamental no processo. A adição de apenas 2% de Cr ao aço reduz sua taxa de corrosão significativamente, atingindo a metade da taxa devido à formação de um óxido protetor metálico mais protetor.

Influência da temperatura e da pressão parcial de CO₂ na taxa de corrosão do aço carbono



Fonte: Modificado de ROPITAL, F., Corrosion and degradation of metallic materials (2010).

Influência do teor de cromo na taxa de corrosão por CO₂



Fonte: Modificado de ROPITAL, F., Corrosion and degradation of metallic materials (2010).

AGENDA



Introdução



Revisão
Bibliográfica



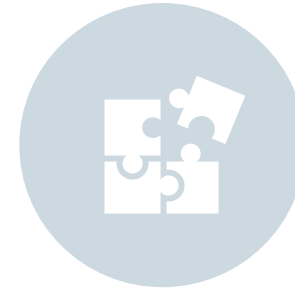
**Materiais e
Métodos**



Resultados e
Discussões



Conclusões



Trabalhos
Futuros



Referências
Bibliográficas



Material Estudado

→ Fornece amostra do aço

Aço C-110 utilizados na fabricação de tubos de revestimentos - alta resistência e baixa liga (ARBL).

API 5CT - *Specification for Casing and Tubing*

Composição química (% em peso) do aço C-110 exigida pela norma API 5CT

Grade	%	C	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
C-110	Mín.					0,40	0,25	
	Máx.	0,35	1,20	0,020	0,005	1,50	1,00	0,99

Fonte: API 5CT - Specification for Casing and Tubing (2011).

Composição química (% em peso) do aço C-110 em estudo

Corrida	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu
178905	0,27	0,19	0,34	0,009	0,0002	0,93	0,814	0,03	0,03

Fonte: Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S.A. (2019).

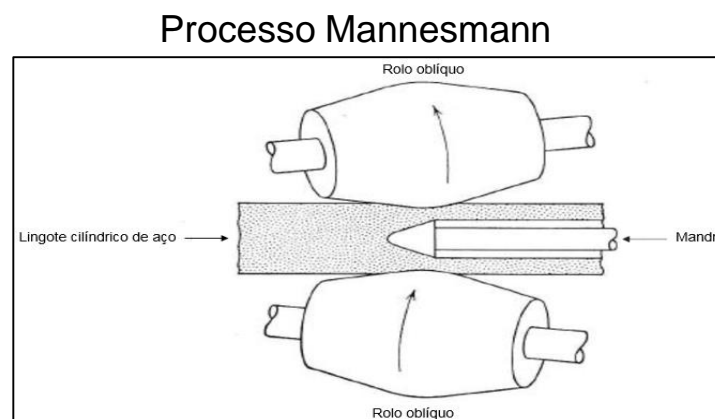


Fabricação do tubular

O processo Mannesmann, também conhecido como processo de produção por tubo penetrante rotativo (*rotary tube piercing*), foi **patenteado pelos irmãos alemães Reinhard e Max Mannesmann em 1886**.

O processo consiste, por meio de conformação a quente, na **fabricação de tubos longos, espessos e sem costura**. A partir de um **lingote cilíndrico de aço aquecido a aproximadamente 1200 °C** um mandril é usado para modelar e dimensionar a cavidade interna do tubo. **Em processos de laminação onde o aço carbono é submetido a elevadas temperaturas e posteriormente é resfriado, forma-se em sua superfície uma camada de óxido chamada de carepa de laminação.**

Segundo Cunha et al. (2006), esta carepa de laminação é formada por duas camadas de óxidos, wustita (FeO) e hematita (Fe₂O₃).

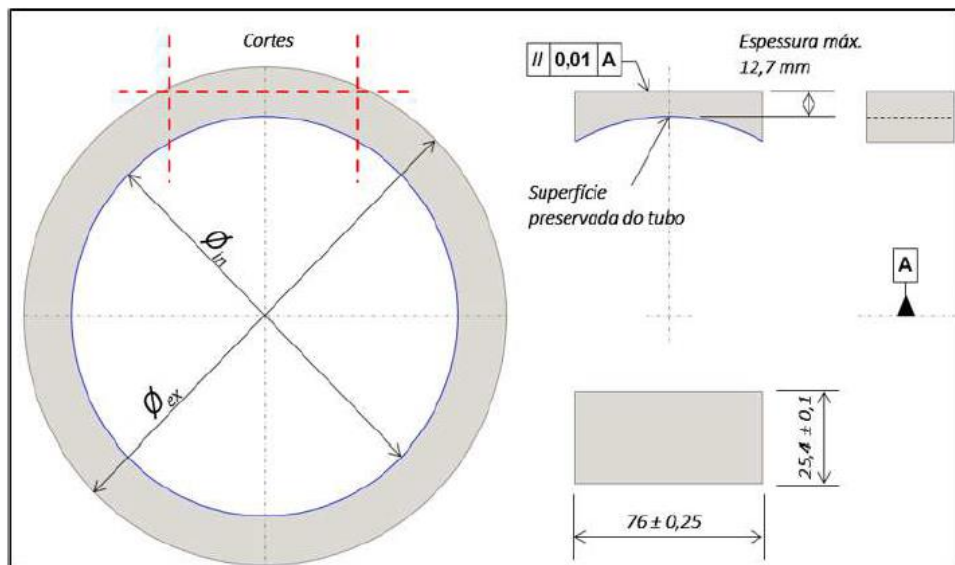


Fonte: Modificado de DIETER, G. E., Metalurgia Mecânica (1986) .



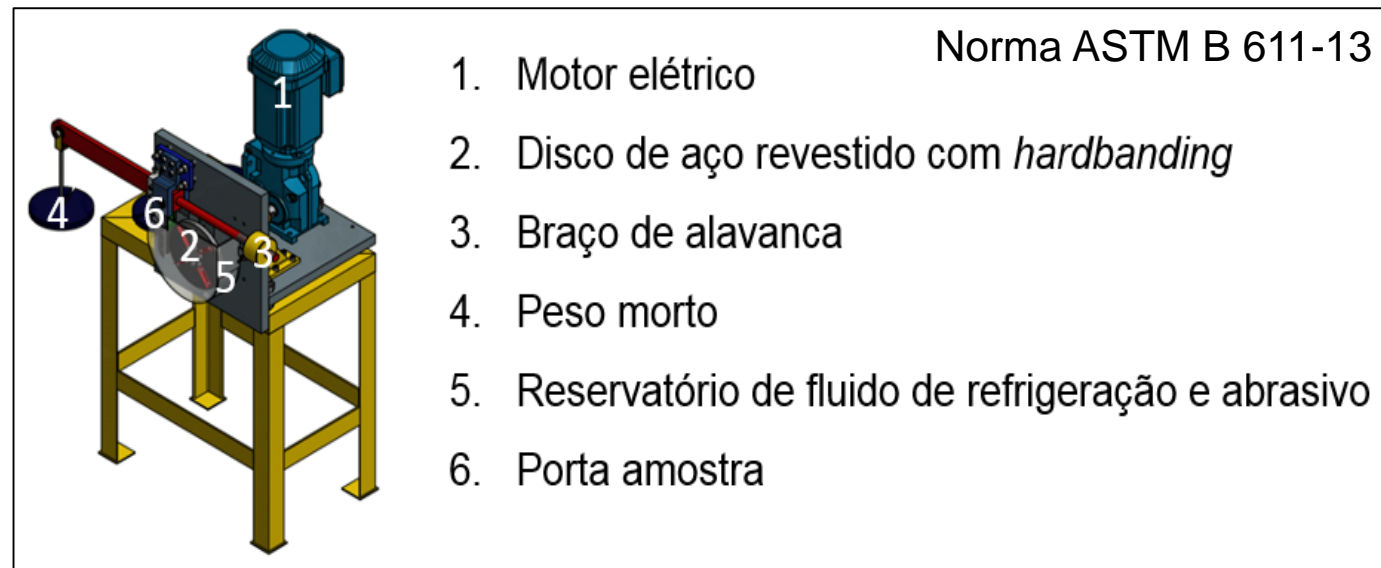
Usinagem do material na Vallourec Soluções Tubulares

Desenho esquemático para usinagem das amostras do tubo aço C-110



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2019).

Esquema do dispositivo de desgaste mecânico em escala reduzida



Fonte: modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da Universidade Federal de Uberlândia (2019).

Amostra do tubo C-110 usinada com a sua superfície interna preservada com a carepa de laminação



Fonte: Autor (2019).

Fornecidos 8 segmentos de uma seção de tubo de bitola 13 5/8” API 5CT C-110, com espessura de parede de 5/8”, fabricado sem costura através do Processo *Mannesmann*.

Dimensões:

12,7 mm (altura) x 76,0 mm (comprimento) x 25,4 mm (largura)



Operação de desgaste do material na UFU

Detalhe do peso morto no braço de alavanca do dispositivo de desgaste em escala reduzida



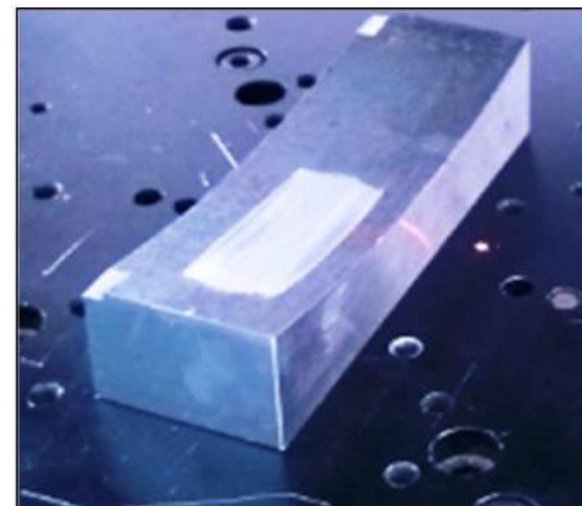
Fonte: Autor (2019).

Areia NBR, 100 mesh, na proporção de 2 g de sólido para 1 ml de fluido de perfuração



Fonte: Autor (2019).

Amostra do tubo C-110 usinada com 20% da sua superfície interna desgastada



Fonte: Autor (2019).

Detalhe do *hardbanding* de um *tool joint*



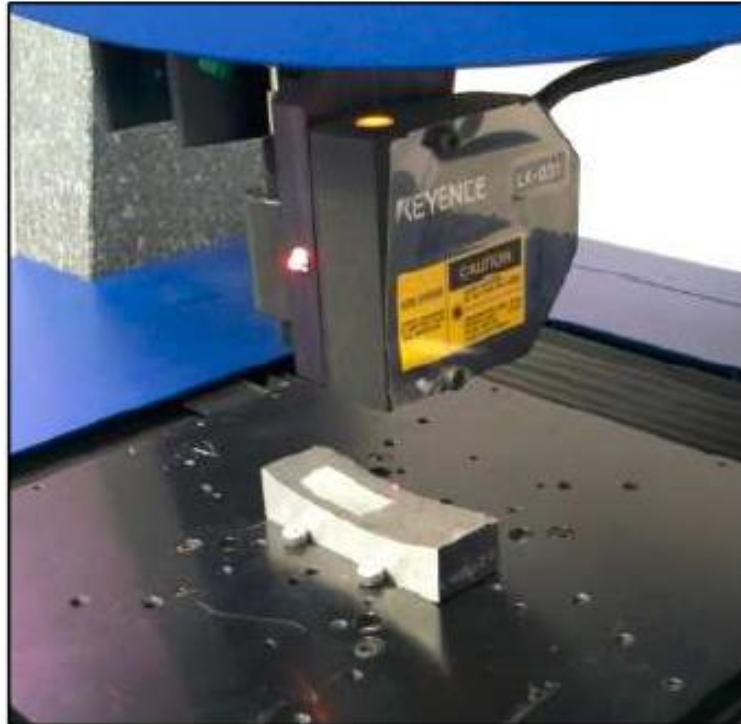
Fonte: National Oilwell Varco. Disponível em <https://www.nov.com/products/tcs-hardbanding> (Acesso em 15 de novembro de 2019).

- O *hardbanding* foi o Duraband®
- O processo de deposição no disco foi o MIG/MAG
- Fluido de perfuração do tipo BR-CARB, massa específica de 9,7 lb/gal, cedido pela Petrobras
- Areia NBR, 100 mesh, na proporção de 2 g de sólido para 1 ml de fluido de perfuração (480 ml e 960 g)
- Parâmetros: 155 rpm, 19 kgf de peso morto, 560 N de força normal aplicada no disco, 7,5 minutos (API 7CW)



Imageamento da superfície da amostra realizado na UFU

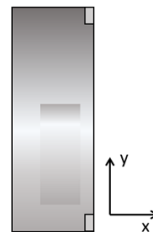
Interferômetro CLI 2000 realizando leitura da superfície



Fonte: Autor (2019).

Interferômetro, modelo CLI 2000, utilizando o laser infravermelho com resolução vertical correspondente a $1 \mu\text{m}$.

Em função do elevado tempo para a realização das leituras com o interferômetro e do volume de trabalho do laboratório da UFU, optou-se por realizar a digitalização da superfície em 4 amostras.



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Sequência de digitalização das superfícies das amostras.

Digitalização	#1	#2	#3	#4
Amostra	67568-3	67568-2	67568-7	67568-8

Fonte: Autor (2020).

A amostra **67568-3** foi a primeira a ser escaneada, levando em torno de 4 horas todo o imageamento da superfície. A superfície da amostra foi digitalizada a partir da obtenção de dados a cada **$10 \mu\text{m}$ no eixo x e a cada $20 \mu\text{m}$ no eixo y**. Para as **outras 3 amostras**, a fim de acelerar o processo de imageamento, sem expectativa de prejuízo para o resultado final, foi utilizada uma resolução menor, cuja obtenção de dados ocorreu a cada **$50 \mu\text{m}$ no eixo x e a cada $10 \mu\text{m}$ no eixo y**.



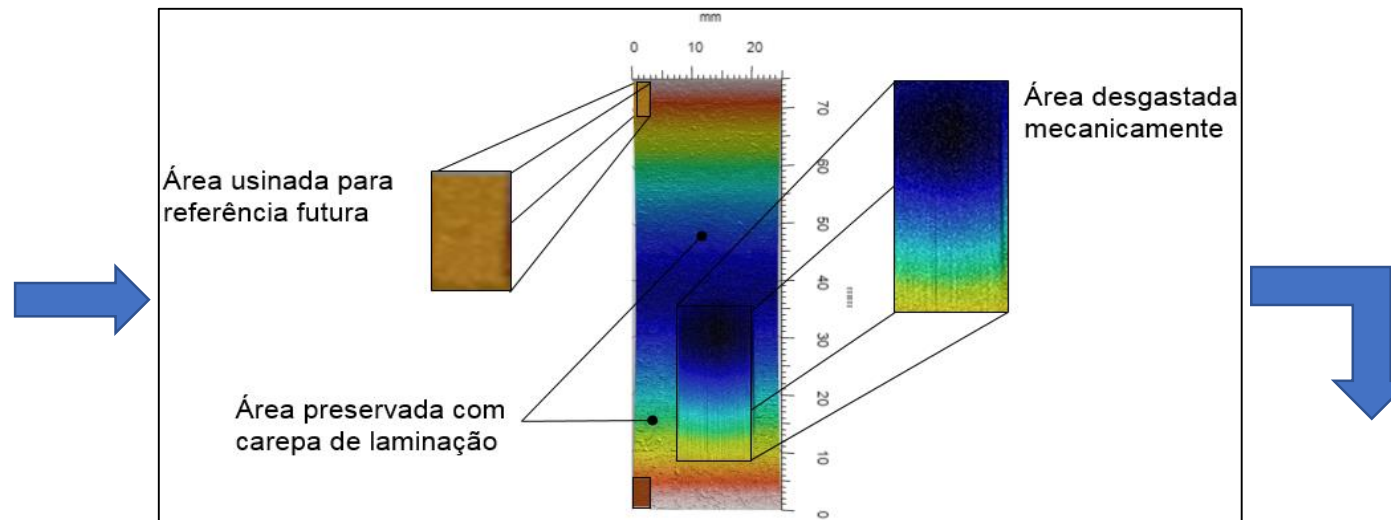
Imageamento da superfície da amostra realizado na UFU

Interferômetro CLI 2000 realizando leitura da superfície



Fonte: Autor (2019).

Exemplo de superfície digitalizada



Fonte: Autor (2019).

Resumo dos imageamentos das superfícies das amostras realizados como interferômetro CLI2000

Número da Amostra	67568-2	67568-3	67568-7	67568-8
Área Total (mm ²)	1.808	1.875	1.808	1.808
Total de pontos lidos	3.623.920	9.381.251	3.623.920	3.623.920
Área usinada para referência (mm ²)	20	18	15	24
Total de pontos na área de referência	41.071	90.270	30.240	49.136
Área desgastada (mm ²)	308	315	306	278
Total de pontos de leitura na área desgastada	617.984	1.576.682	613.156	558.756
Relação área desgastada / área total (%)	19	19	19	18

Fonte: Autor (2019).



Ensaio de corrosão realizado no Instituto Nacional de Tecnologia (INT)

Composição química do packer fluid (solução salina)

Produtos	Função	Concentração
Água Industrial	Diluyente	QSP
Cloreto de Sódio	Sal	24% (m/m)
Glutaraldeído	Bactericida	200 ppm
Ultrawt 70	Antiemulsionante	0,3% (v/v)
Bissulfito de Sódio	Sequestrante de Oxigênio	200 ppm

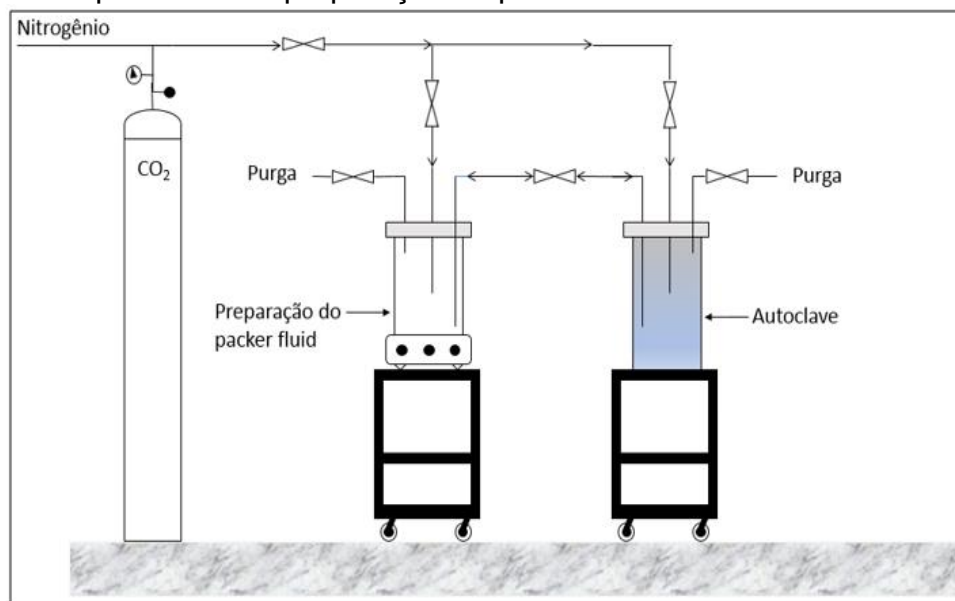
Fonte: Autor (2019).

Amostras embutidas com resina epoxy Aka



Fonte: Autor (2019).

Desenho esquemático da preparação do packer fluid utilizado no teste de corrosão



Fonte: Autor (2019).

Parâmetros utilizados no ensaios de corrosão

Amostra do aço	Solução Salina	Peso (lb/gal)	Pressão Parcial de CO ₂ (bar)	Temperatura (°C) Autoclave 1	Temperatura (°C) Autoclave 2	Duração (dias)
C-110	NaCl	9,8	10,5	50	110	180

Fonte: Autor (2019).

Autoclave



Fonte: Autor (2019).

Bacia de Campos e Bacia de Santos



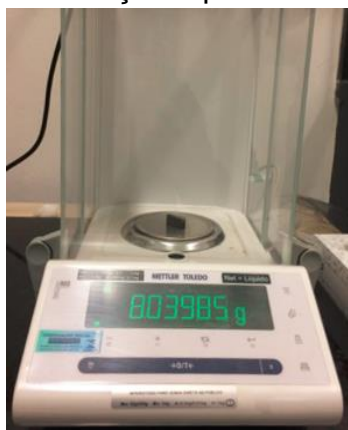
Fonte: https://petrobras.com.br/data/files/BE/73/B9/D2/41715510E427934561D2B8A8/Mapa_pre-sal_600.jpg.



Ensaio gravimétrico para referência realizado no INT

- Usinados e preparados no Instituto Nacional de Tecnologia 6 corpos de prova de referência (CPR) do aço C-110, de acordo com a norma ASTM G1-03.
- Medição da massa de cada corpo com balança de precisão, fabricante Mettler Toledo®.
- Três CPR foram presos à amostra número 67568-2, submetida ao ensaio de corrosão a 50 °C na autoclave #1,
- Três CPR foram presos à amostra número 67568-8, submetida ao ensaio de corrosão a 110 °C na autoclave #2.

Balança de precisão



Fonte: Autor (2019).

Características dos corpos de prova de referência (CPR) antes do ensaio de perda de massa

CPR	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Diâmetro do furo (mm)	Massa Inicial (g)
01	20,233	10,100	5,223	2,950	8,0398
02	20,150	10,107	5,233	2,950	8,0529
03	20,113	10,143	5,237	2,950	8,0721
04	20,017	10,113	5,217	2,950	7,9550
05	20,113	10,123	5,250	2,950	8,0643
06	20,033	10,103	5,230	2,950	7,9962

Fonte: Autor (2019).

Corpos de prova de referência presos à resina epoxy



Fonte: Autor (2019).

AGENDA



Introdução



Revisão
Bibliográfica



Materiais e
Métodos



**Resultados e
Discussões**



Conclusões



Trabalhos
Futuros



Referências
Bibliográficas



Análise do pH do packer fluid após ensaio de corrosão

Ao término do período de 180 dias estabelecido para os ensaios de corrosão, as amostras foram retiradas das duas autoclaves seguindo os procedimentos pré-estabelecidos no programa do ensaio.

A primeira etapa após a despressurização e abertura das autoclaves foi a retirada de uma alíquota do *packer fluid* para a avaliação do pH ao final do ensaio.

Valores de pH do packer fluid antes e após os ensaios de corrosão

Fluido	Temperatura (°C)	Duração ensaio (dias)	pH inicial	pH após saturação com CO ₂	pH final
Packer fluid	50	180	8,08	3,73	5,1
	110	180	8,08	3,73	5,47

Fonte: Autor (2020).

Segundo Lopes, N. F. (2017), a **quantidade de CO₂ dissolvido na solução será tanto menor quanto maior for a temperatura**, levando, dessa forma, a um **aumento do pH dessa solução**.

Ainda, de acordo com Domingues, H. C. (2010), em **experimentos realizados com alta temperatura e pressão**, observa-se um **aumento da concentração de HCO₃⁻**, o que, segundo a autora, **contribui também para o aumento do pH da solução**.

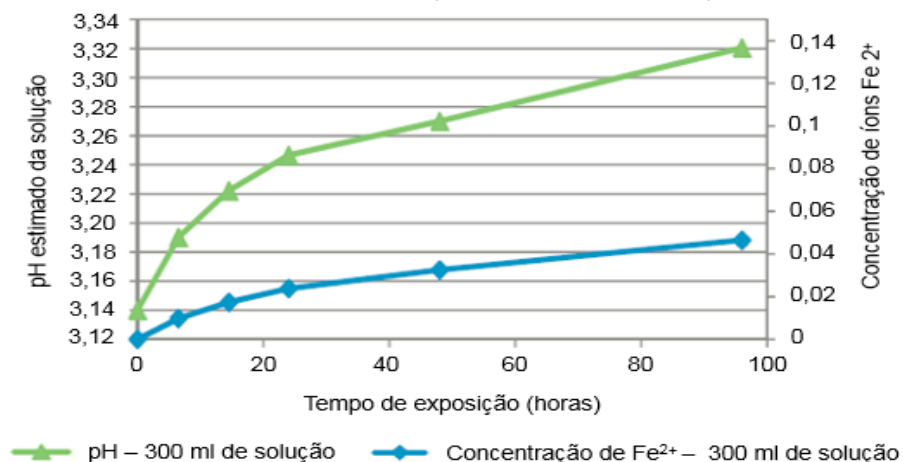


Análise do pH do packer fluid após ensaio de corrosão

Hua, Y., Barker, R. e Neville, A. (2014) utilizaram o **software MultiScale Modeling** para estimar em seu ensaio o **comportamento do pH** em função do tempo. De acordo com a figura abaixo, é **esperado um aumento contínuo da concentração de íons Fe^{2+} na solução aquosa**, bem como o **aumento do pH de 3,14 para 3,32** após 96 h de ensaio.

A solubilização dos íons Fe^{2+} na solução, resultantes do processo de corrosão inicial, atua evitando uma redução do pH, mesmo em ambiente com elevada pressão parcial de CO_2 .

Estimativa do pH de uma solução aquosa em função do tempo



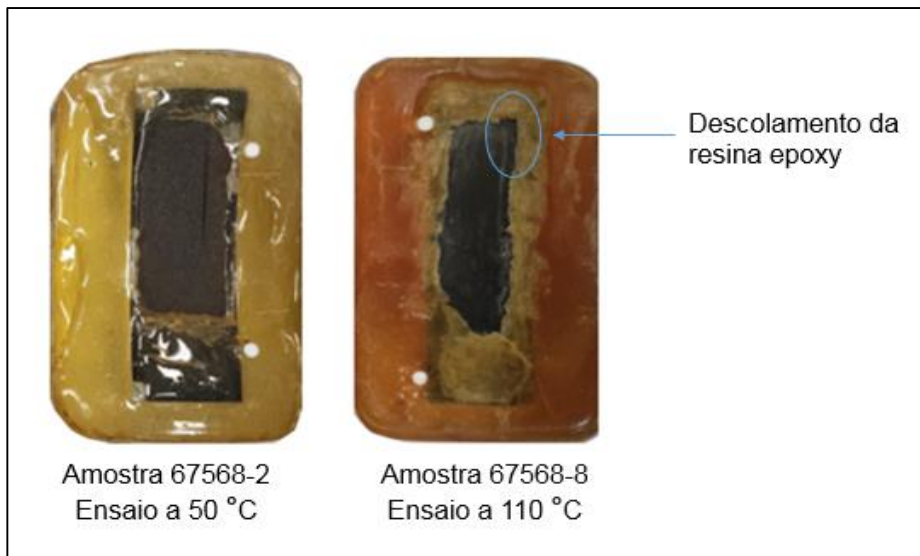
Fonte: Modificado de Hua, Y., Barker, R., Neville, A., Comparison of corrosion behaviour for X-65 carbon steel in supercritical CO_2 - saturated water and water - saturated / unsaturated supercritical CO_2 (2014).



Análise da resina epoxy

As **amostras submetidas a 110 °C** apresentaram um pequeno **descolamento entre a resina e a superfície metálica**, sugerindo que houve perda do selo durante o ensaio, devido, provavelmente, a um **movimento relativo entre os dois materiais** em função da **diferença do valor do coeficiente de dilatação**. Por outro lado, esse descolamento não foi observado nas amostras submetidas ao ensaio realizado a 50 °C

Análise do comportamento da resina epoxy
após 180 dias de ensaio de corrosão



Fonte: Autor (2020).

Segundo Carneiro, L. A. V. e Teixeira, A. M. A. J. (2008), elevados coeficientes de expansão térmica são algumas das principais desvantagens das resinas. Estima-se um **coeficiente de expansão térmica linear de até $100 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$** para a resina epoxy, enquanto que para o aço tem-se até $14 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria

Decapagem dos produtos da corrosão dos corpos de prova de referência (CPR) utilizando solução de clark, de acordo com norma ASTM G1-03.

De acordo com a norma ASTM G1-03, a taxa de corrosão uniforme pelo método gravimétrico deve ser estimada utilizando a equação:

Massas dos corpos de prova de referência (CPR) antes e após o ensaio de perda de massa

CPR	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)
01	8,0398	7,6903
02	8,0529	7,5175
03	8,0721	7,6454
04	7,9550	7,9224
05	8,0643	8,0311
06	7,9962	7,9710

Fonte: Autor (2020).

$$TC = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

TC = taxa de corrosão uniforme em mm/ano;

K = constante dimensional definida em $8,76 \times 10^4$

W = perda de massa em grama

A = área exposta ao meio em cm^2

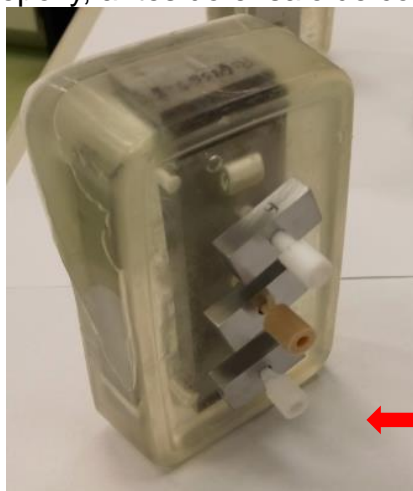
T = tempo de exposição em horas

D = massa específica da amostra em g/cm^3



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria

Corpos de prova de referência presos à resina epoxy, antes do ensaio de corrosão



Fonte: Autor (2019).

Taxa de corrosão uniforme média registradas nos corpos de prova de referência (CPR)

CPR	Temperatura do ensaio (°C)	W Perda de massa (g)	A Área exposta (cm ²)	TC Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	TCM Taxa de corrosão uniforme média (mm/ano)
01	50,00	0,3495	7,119	0,1267	0,159
02		0,5354	7,103	0,1945	
03		0,4267	7,113	0,1548	
04	110,00	0,0326	7,056	0,0119	0,011
05		0,0332	7,110	0,0120	
06		0,0252	7,064	0,0092	

Fonte: Autor (2020).

Tempo de exposição foi de 180 dias, o que equivale a 4320 horas

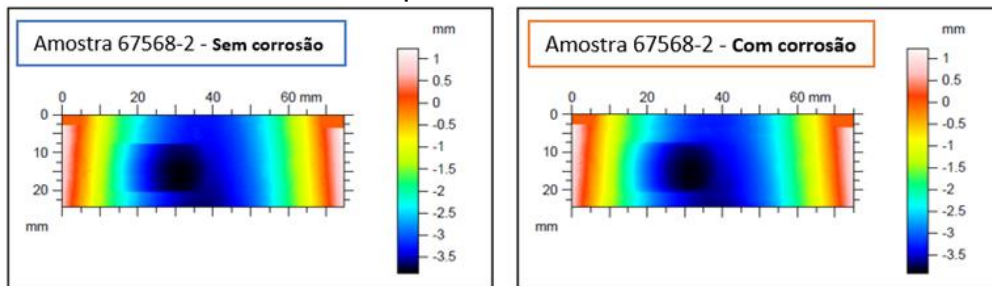
Massa específica do aço de 7,86 g/cm³.



Avaliação da taxa de corrosão por interferometria a laser

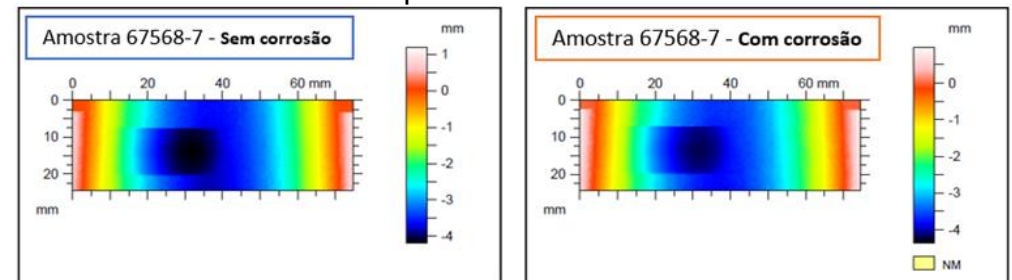
- Decapagem dos produtos da corrosão das amostras utilizando solução de clark, de acordo com norma ASTM G1-03, no INT.
- Imageamento das superfícies das amostras realizados nos laboratórios da UFU.

Resultados dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-2, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 50 °C



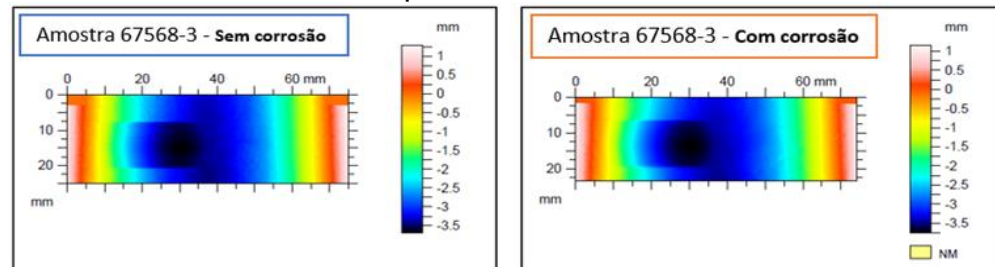
Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Resultados dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-7, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 110 °C



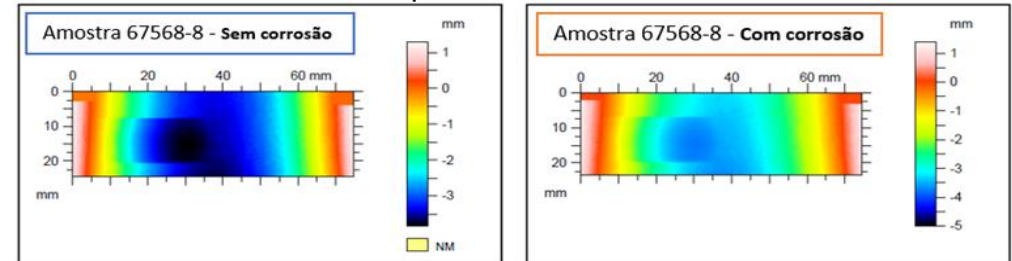
Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Resultados dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-3, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 50 °C



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Resultados dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-8, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 110 °C



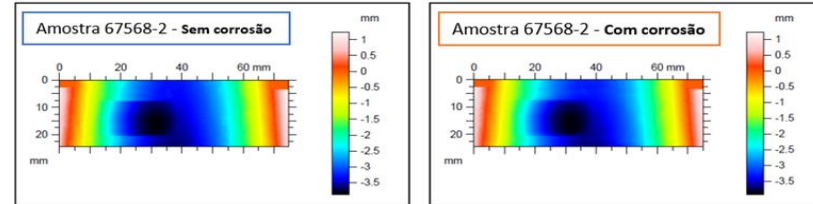
Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por interferometria a laser

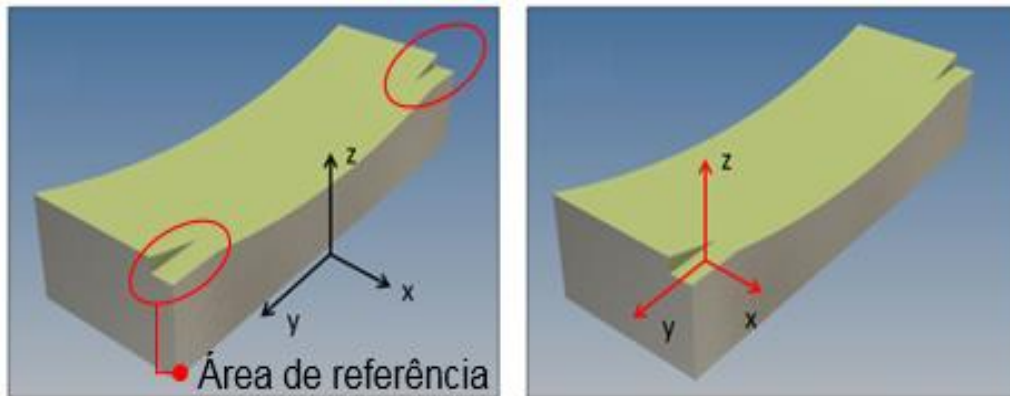
Realização da subtração numérica das superfícies mapeadas antes e após o ensaio de corrosão, utilizando o programa Taylor Surf Gold®.

Resultados dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-2, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 50 °C



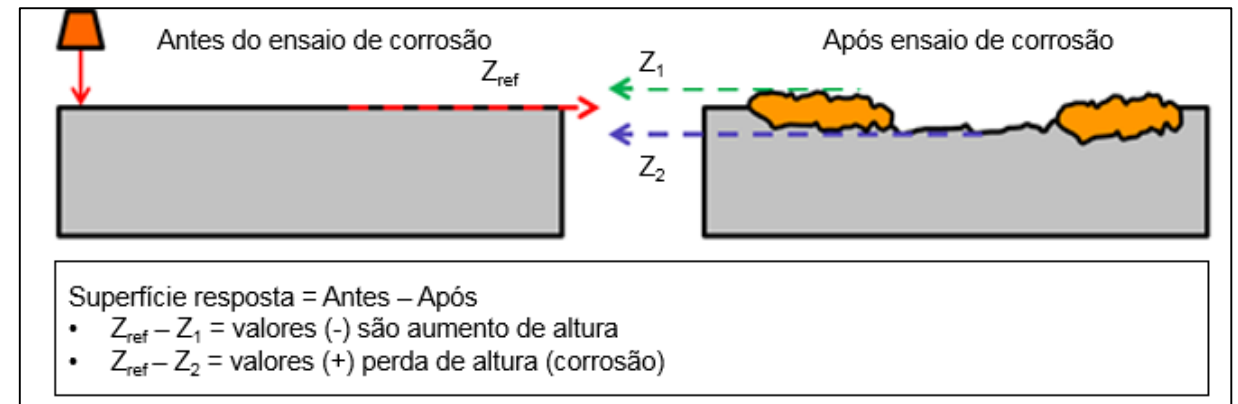
Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Definição da referência do eixo Z



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Esquemático da subtração das superfícies digitalizadas antes e após o ensaio de corrosão



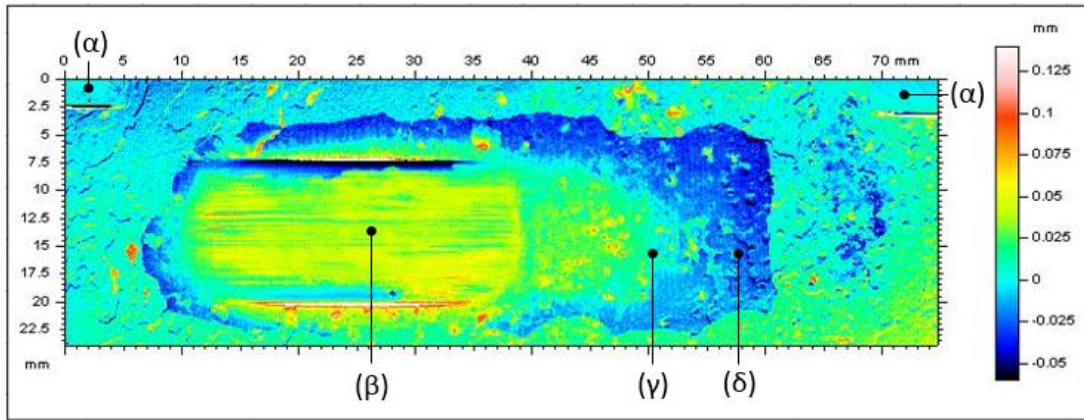
Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por interferometria a laser

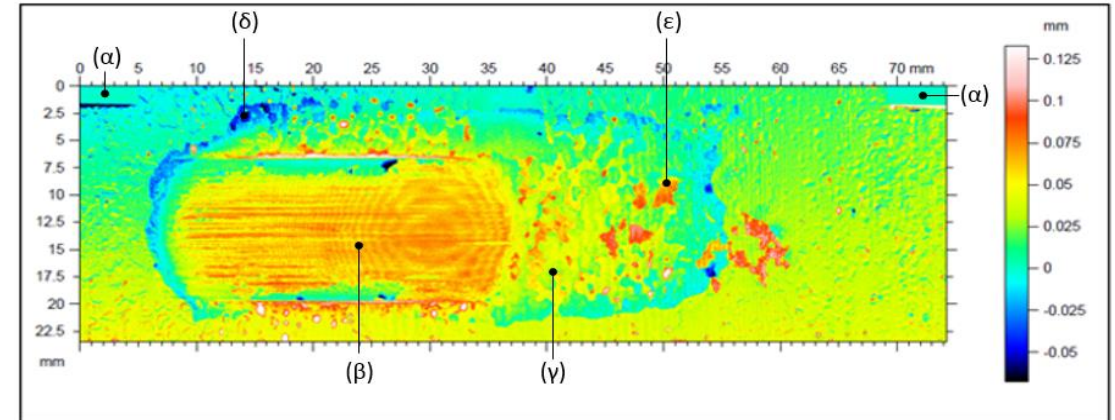
Método qualitativo / quantitativo

Resultado da subtração dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-2, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 50 °C



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Resultado da subtração dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-3, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 50 °C



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

α - valor igual a zero;

β - valores positivos entre 0,025 mm e 0,05 mm / 180 dias. Logo, 0,10 mm e 0,10 mm/ano, aproximadamente;

γ - valores em torno de 0,025 / 180 dias, o que equivale a 0,05 mm/ano;

δ - ganho de espessura em torno de 0,025 mm / 180 dias, atribuído a não remoção do produto da corrosão na decapagem com clark.

α - valor igual a zero;

β - valores positivos entre 0,05 mm e 0,075 mm / 180 dias. Logo, 0,10 mm e 0,15 mm/ano, aproximadamente;

γ - valores em torno de 0,05 mm/ano;

δ - ganho de espessura em torno de 0,025 mm / 180 dias, atribuído a não remoção do produto da corrosão na decapagem com clark;

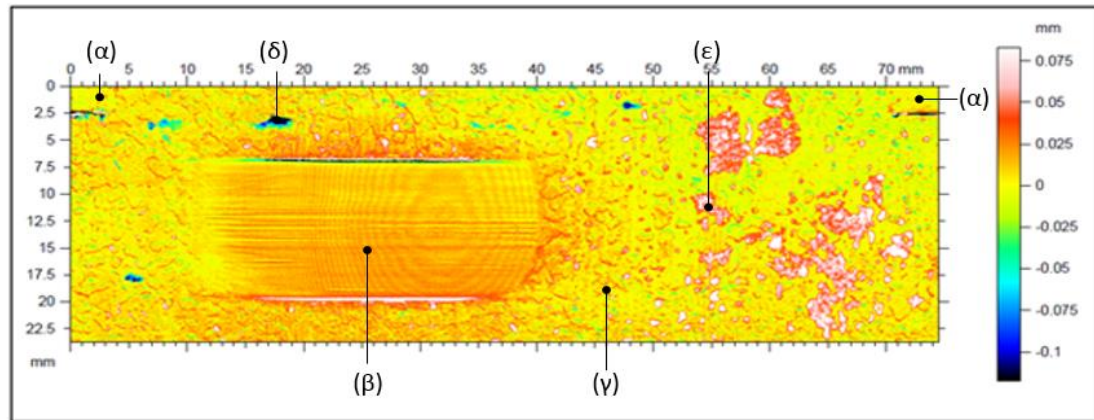
ϵ - perda de espessura mais acentuada atribuída à remoção da carepa de laminação.



Avaliação da taxa de corrosão por interferometria a laser

Método qualitativo / quantitativo

Resultado da subtração dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-7, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 110 °C



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

α - valor igual a zero;

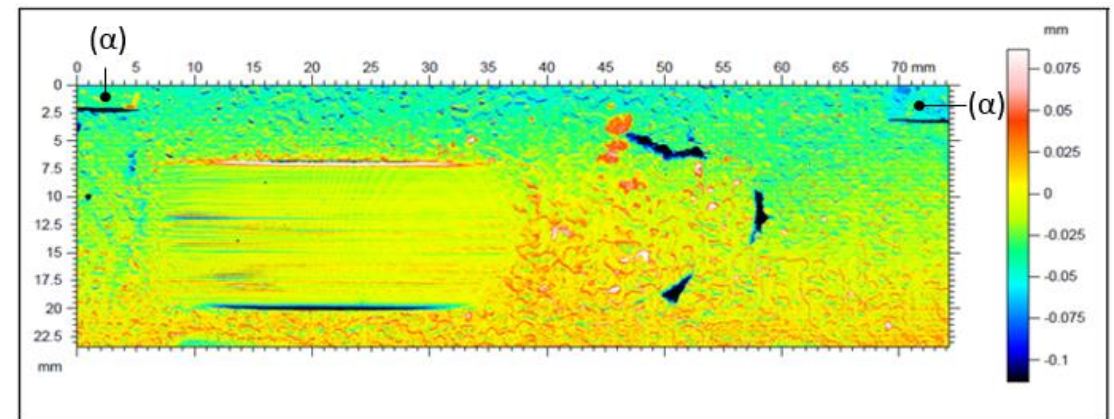
β - valores positivos em torno de 0,025 mm 180 dias. Logo, 0,05 mm/ano, aproximadamente;

γ - valores em torno de 0,025 / 180 dias, o que equivale a 0,05 mm/ano;

δ - ganho de espessura atribuído a não remoção do produto da corrosão na decapagem com clark;

ϵ - perda de espessura mais acentuada atribuída à remoção da carepa de laminação.

Resultado da subtração dos imageamentos das superfícies da amostra 67568-8, realizados antes e após o ensaio de corrosão a 110 °C



Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

α - valor diferente de zero. De acordo com a escala de cores, as áreas de referência apresentam valores negativos de aproximadamente 0,05 mm, sugerindo, conforme convencionado anteriormente, um ganho de espessura nessa região quando comparado com as leituras obtidas nessa amostra antes do ensaio de corrosão. Esse fato pode estar relacionado com processo de corrosão nessa superfície em decorrência da perda de selo entre a resina e a superfície metálica da área de referência. Amostra descartada.



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser qualitativo / quantitativo

Perdas de espessura estimadas pelos métodos gravimétricos e por interferometria a laser

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria		Método por Interferometria a laser							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)		Taxa de corrosão máxima estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média	Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(β)	(γ)	(β)	(γ)	(β)	(γ)	(β)	(γ)	
50	0,15		0,10	0,05	0,15	0,05	-	-	-	-
110	0,01		-	-	-	-	0,05	0,05	Descartada	

β - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

γ - Área não desgastada mecanicamente, porém submetida ao ensaio de corrosão

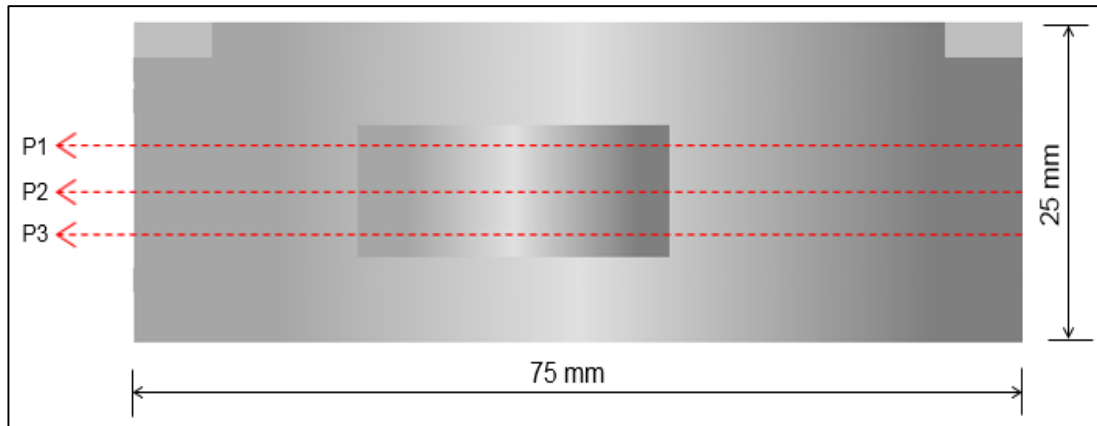
Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por interferometria a laser

Método quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Esquemático do posicionamento dos perfis passando pelas áreas preservadas com carepa de laminação e desgastadas mecanicamente



Fonte: Autor (2020).

Valor numérico do posicionamento no eixo X dos perfis P1, P2 e P3 de cada amostra

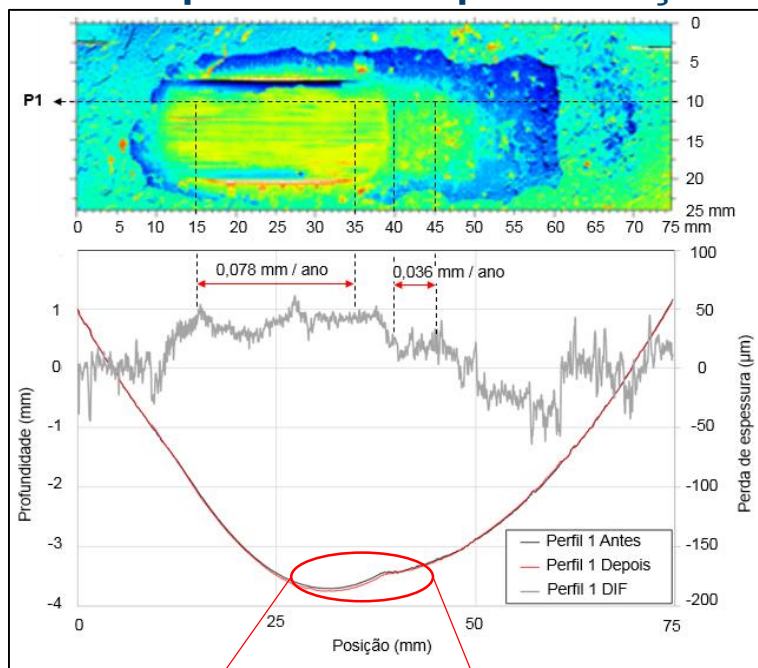
Amostra	Posição do perfil - eixo x (mm)		
	P1	P2	P3
67568-2	10,16	14,17	17,68
67568-3	8,79	12,79	17,79
67568-7	9,96	13,97	17,48

Fonte: Autor (2020).

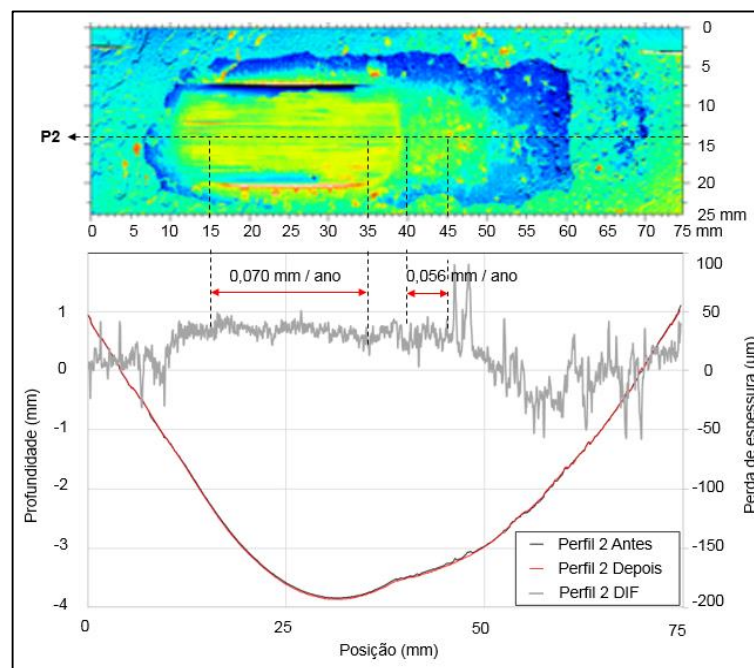


Avaliação da taxa de corrosão por interferometria, amostra 67568-2, ensaio a 50 °C

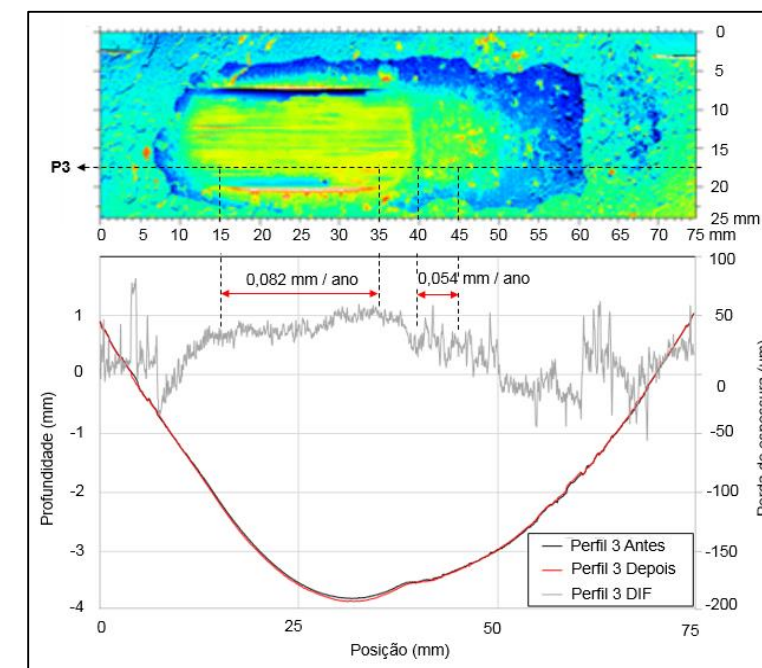
Método quantitativo e por definição de perfis no eixo x



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Taxa de corrosão (*)
(mm/ano)

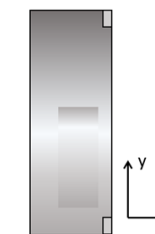
Taxa de corrosão (**)
(mm/ano)

P1	P2	P3	Média	P1	P2	P3	Média
0,078	0,070	0,082	0,077	0,036	0,056	0,054	0,049

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão, eixo Y, intervalo entre 15 e 35 mm.

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão, eixo Y, intervalo entre 40 e 45 mm.

Fonte: Autor (2020).

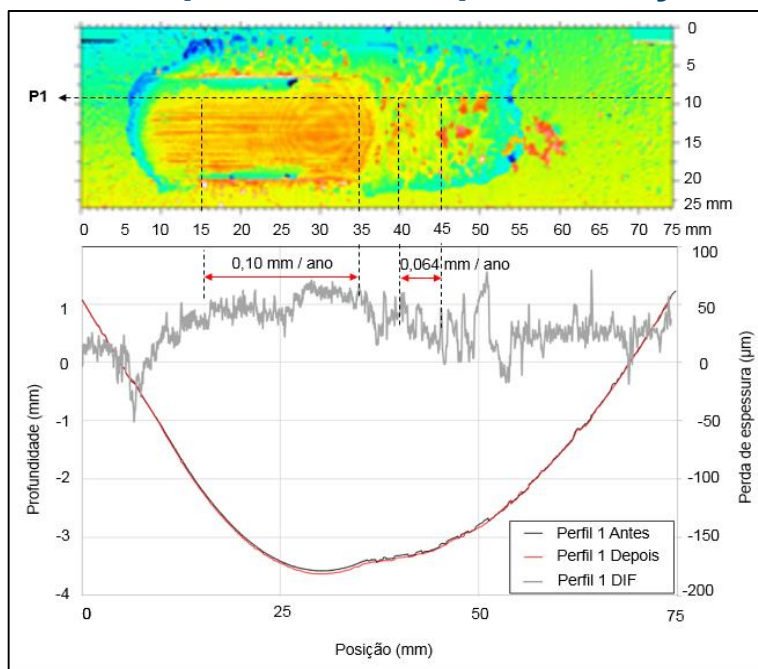


Fonte: Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

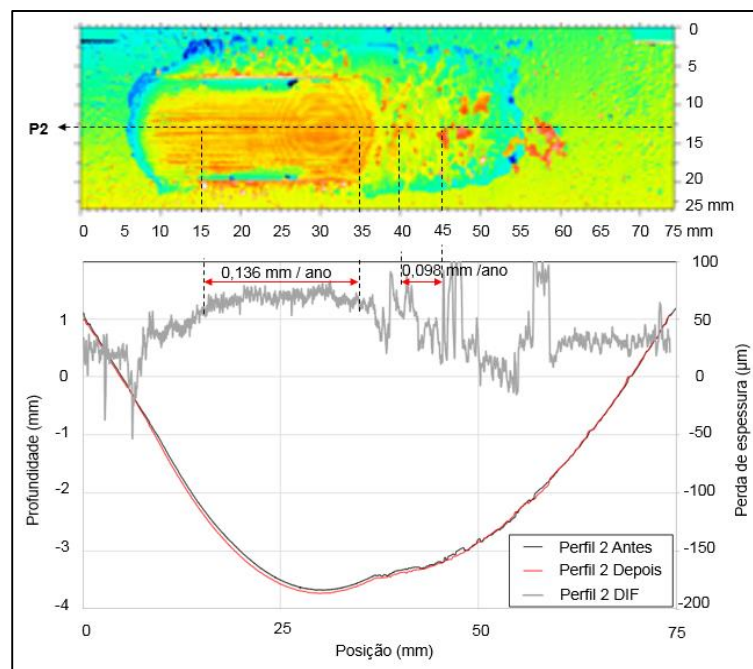


Avaliação da taxa de corrosão por interferometria, amostra 67568-3, ensaio a 50 °C

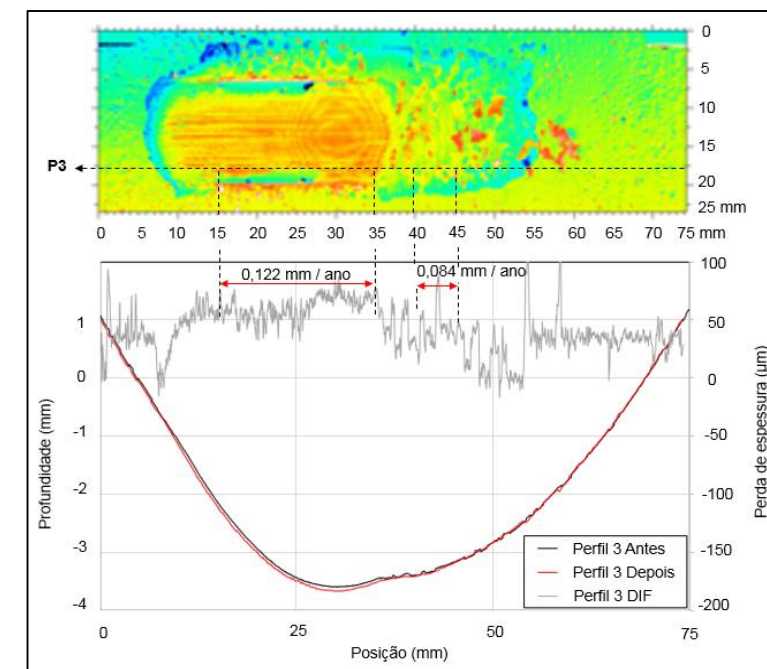
Método quantitativo e por definição de perfis no eixo x



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Taxa de corrosão (*) (mm/ano)				Taxa de corrosão (**) (mm/ano)			
P1	P2	P3	Média	P1	P2	P3	Média
0,100	0,136	0,122	0,119	0,064	0,098	0,084	0,082

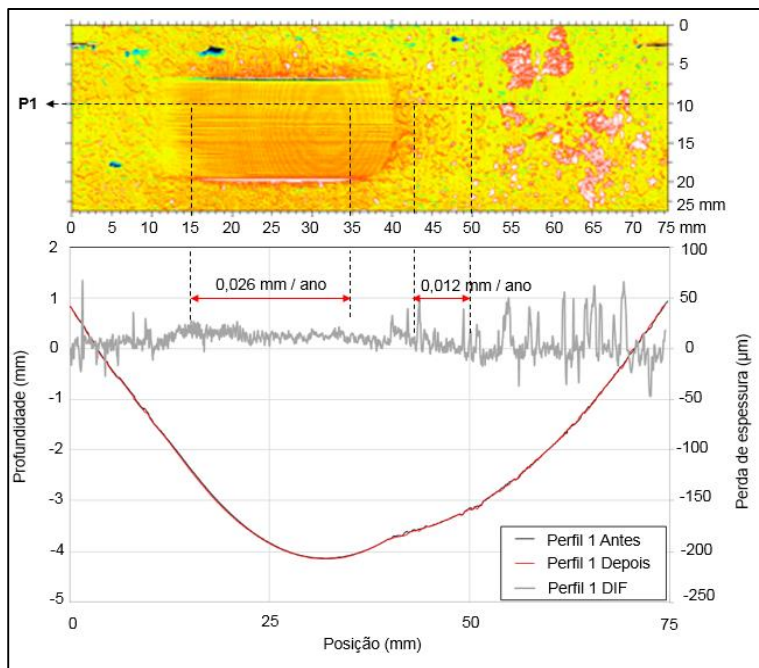
(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão, eixo Y, intervalo entre 15 e 35 mm.

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão, eixo Y, intervalo entre 40 e 45 mm.

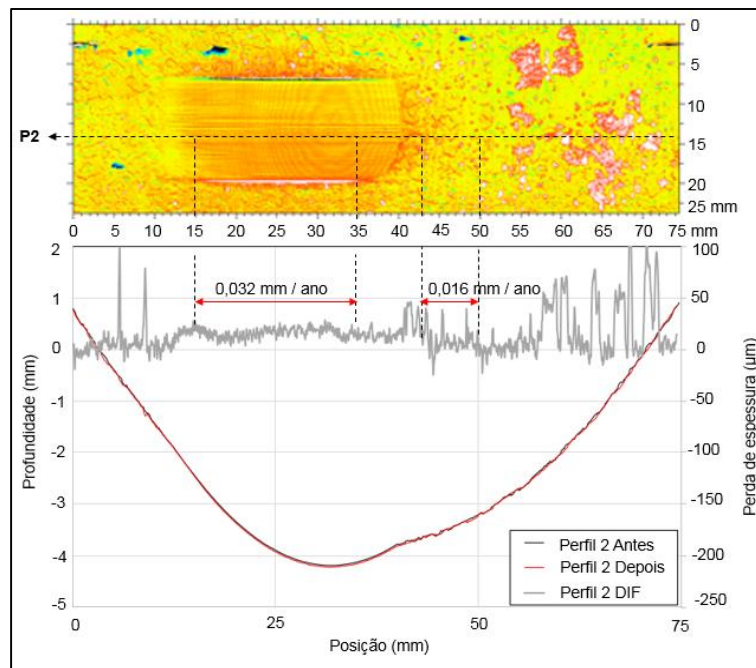


Avaliação da taxa de corrosão por interferometria, amostra 67568-7, ensaio a 110 °C

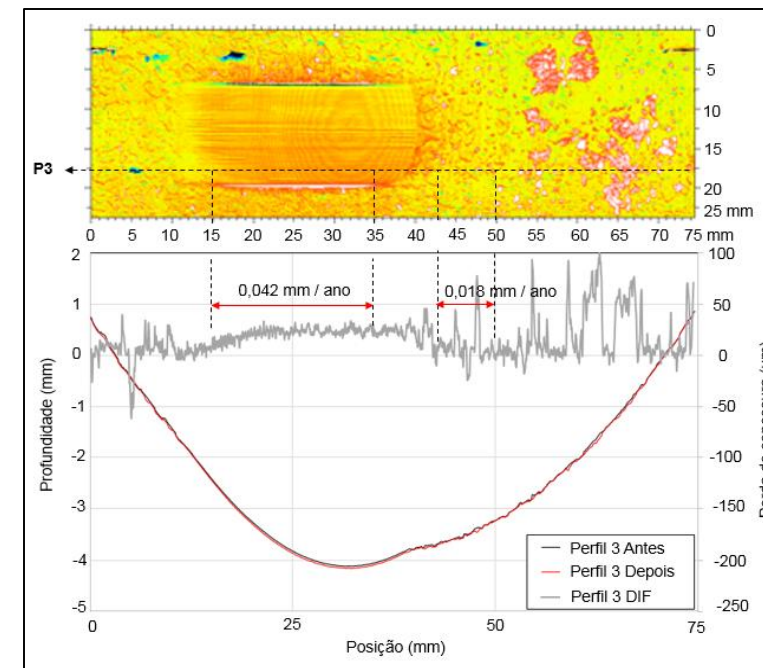
Método quantitativo e por definição de perfis no eixo x



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).



Fonte: Modificado de Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste da UFU (2020).

Taxa de corrosão (*) (mm/ano)				Taxa de corrosão (**) (mm/ano)			
P1	P2	P3	Média	P1	P2	P3	Média
0,026	0,032	0,042	0,033	0,012	0,016	0,018	0,015

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão, eixo Y, intervalo entre 15 e 35 mm.

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão, eixo Y, intervalo entre 43 e 50 mm.



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Resumo das estimativas de taxa de corrosão obtidas pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser (análise de perfis)

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria	Método por Interferometria a laser - Análise de Perfis							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão média estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)
50	0,15	0,077	0,049	0,119	0,082	-	-	-	-
110	0,01	-	-	-	-	0,033	0,015	Descartada	

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão

Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Resumo das estimativas de taxa de corrosão obtidas pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser (análise de perfis)

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria	Método por Interferometria a laser - Análise de Perfis							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão média estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)
50	0,15	0,077	0,049	0,119	0,082	-	-	-	-
110	0,01	-	-	-	-	0,033	0,015	Descartada	

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão

Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

De acordo com **Schmitt, G. e Hörstemeier, M.** (2006), em **meios corrosivos** contendo **CO₂** o principal **produto da corrosão** de um aço carbono é o **carbonato de ferro** (FeCO₃), que se forma nas superfícies do aço. O FeCO₃ precipita quando os íons Fe²⁺ reagem com os íons de carbonato (CO₃²⁻) e bicarbonato (HCO₃⁻) da solução.

A **temperatura influencia** fortemente a corrosão por CO₂ devido ao seu efeito na **taxa de deposição e formação de filme de FeCO₃**. Em temperaturas mais baixas, menores que 60 °C, a solubilidade do FeCO₃ é alta e a taxa de precipitação é lenta. **Em temperaturas superiores a 60 °C, a solubilidade do FeCO₃ diminui de forma considerável e a supersaturação leva a um acréscimo na taxa de precipitação de FeCO₃, acelerando, assim, a formação de uma camada protetora, resultando em diminuição da taxa de corrosão.**

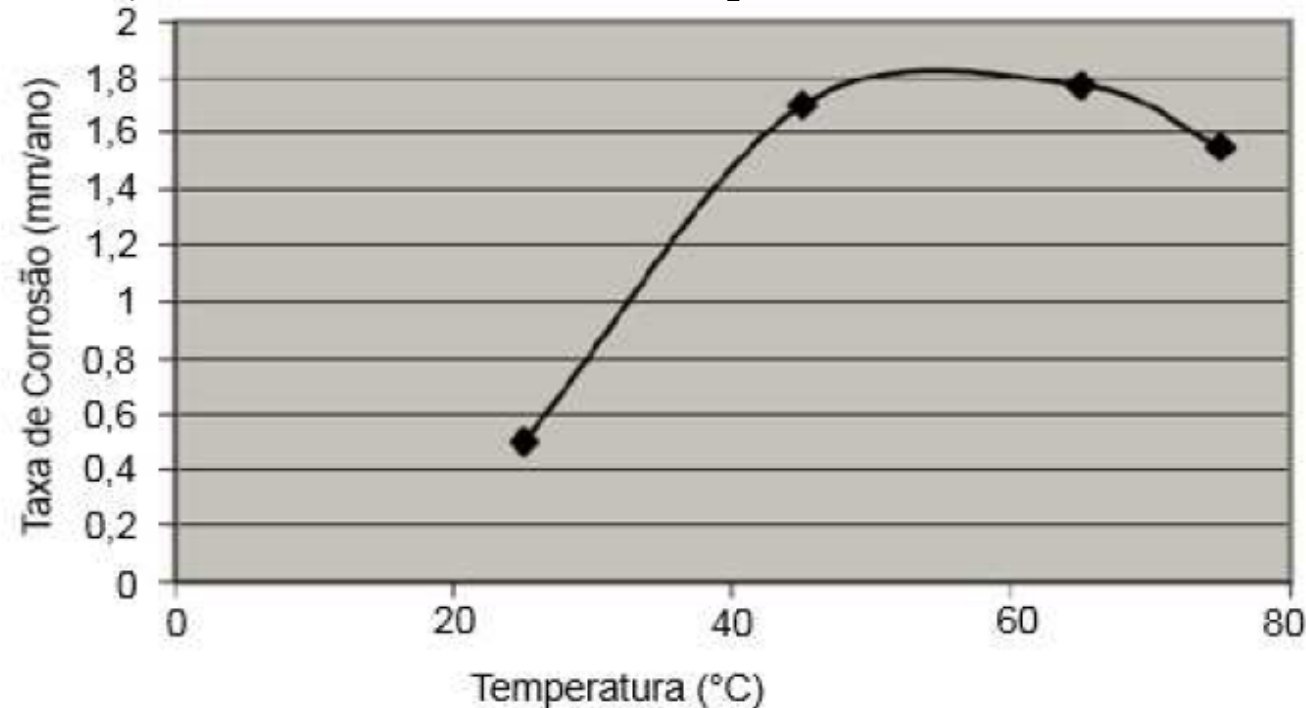


Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Taxa de corrosão estimada para um aço X70 em função da temperatura (solução de NaCl 3,5% saturada com CO₂ a 0,07 Mpa, ambiente confinado)



Fonte: Modificado de Schmitt, G. e Hörstemeier, M., Fundamental Aspects of CO₂ Metal Loss Corrosion – Part II: Influence of Different Parameters on CO₂ Corrosion Mechanisms (2006).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Resumo das estimativas de taxa de corrosão obtidas pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser (análise de perfis)

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria	Método por Interferometria a laser - Análise de Perfis							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão média estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)
50	0,15	0,077	0,049	0,119	0,082	-	-	-	-
110	0,01	-	-	-	-	0,033	0,015	Descartada	

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão

Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Resumo das estimativas de taxa de corrosão obtidas pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser (análise de perfis)

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria	Método por Interferometria a laser - Análise de Perfis							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão média estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)
50	0,15	0,077	0,049	0,119	0,082	-	-	-	-
110	0,01	-	-	-	-	0,033	0,015	Descartada	

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão

Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Com relação às taxas de corrosão estimadas pelo método de interferometria a laser (análises de perfis), **para as amostras 67568-2, 67568-3 e 67568-7**, verifica-se que os **valores obtidos nas regiões submetidas ao desgaste mecânico e posterior ensaio de corrosão**, de uma forma geral, **são maiores que os valores obtidos nas regiões que foram submetidas apenas ao ensaio de corrosão**, ou seja, regiões que tinham a carepa de laminação preservada.

A amostra **67568-7**, por exemplo, apresenta valor de **taxa de corrosão 2,2 vezes** maior na área desgastada mecanicamente quando comparado com a área preservada com carepa de laminação, tabela slide anterior. **A principal hipótese** para a taxa de corrosão ser menor na região que sofreu apenas corrosão é que a **camada de óxido de ferro**, formada no processo de fabricação do tubular (**carepa de laminação**), e preservada para o ensaio, tenha **oferecido uma proteção ao substrato do aço**.



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Resumo das estimativas de taxa de corrosão obtidas pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser (análise de perfis)

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria	Método por Interferometria a laser - Análise de Perfis							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão média estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)
50	0,15	0,077	0,049	0,119	0,082	-	-	-	-
110	0,01	-	-	-	-	0,033	0,015	Descartada	

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão

Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Resumo das estimativas de taxa de corrosão obtidas pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser (análise de perfis)

Temperatura (°C)	Método por Gravimetria	Método por Interferometria a laser - Análise de Perfis							
	Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de corrosão média estimada para cada amostra (mm/ano)							
	Média Corpos de Prova	67568-2		67568-3		67568-7		67568-8	
		(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)	(*)	(**)
50	0,15	0,077	0,049	0,119	0,082	-	-	-	-
110	0,01	-	-	-	-	0,033	0,015	Descartada	

(*) - Área desgastada mecanicamente e submetida ao ensaio de corrosão

(**) - Área preservada com a carepa de laminação, submetida ao ensaio de corrosão

Fonte: Autor (2020).



Avaliação da taxa de corrosão por gravimetria e interferometria a laser

Método gravimétrico suportado pela norma ASTM G1-03

Método por interferometria a laser quantitativo e por definição de perfis no eixo x

Comparando os valores de taxa de corrosão obtidos pelo **método gravimétrico com os obtidos por interferometria a laser**, região mecanicamente desgastada das amostras, percebe-se que **para os ensaios** realizados a **50 °C**, os **valores obtidos por interferometria a laser são menores que o obtido por gravimetria**. Realizando essa **mesma análise** para o ensaio realizado a **110 °C**, percebe-se o **comportamento oposto**, ou seja, o valor obtido de **taxa de corrosão por interferometria a laser é maior que o obtido por gravimetria**.

Essa variação entre os valores obtidos pelos métodos gravimétrico e por interferometria a laser **não foi observada por Contreras et al. (2014)**. Destaca-se, no entanto, que **Contreras et al. (2014) realizaram a comparação dos métodos gravimétrico e por interferometria a laser em um mesmo corpo de prova**. Neste projeto de pesquisa, diferentemente da estratégia adotada por Contreras et al. (2014), adotou-se o método gravimétrico para a estimativa de taxa de corrosão dos corpos de prova de referência (CPR) e interferometria a laser para a estimativa de taxa de corrosão das amostras cujas superfícies foram preservadas com carepa de laminação e desgastadas mecanicamente.

AGENDA



Introdução



Revisão
Bibliográfica



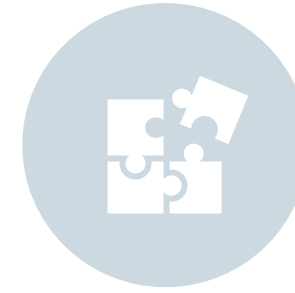
Materiais e
Métodos



Resultados e
Discussões



Conclusões



Trabalhos
Futuros



Referências
Bibliográficas



Neste trabalho foram realizados ensaios de corrosão a 50 e 110 °C, por um período de 180 dias, sendo as estimativas de taxa de corrosão realizadas por meio de interferometria a laser e por método gravimétrico. Foram analisadas as taxas de corrosão nas superfícies das amostras do aço C-110 preservadas com carepa de laminação e desgastadas mecanicamente.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que as **superfícies preservadas com a carepa de laminação apresentam taxas de corrosão inferiores às taxas observadas em áreas onde houve desgaste mecânico prévio ao ensaio de corrosão, tanto para o cenário de 50 °C quanto para 110 °C. As taxas de corrosão aferidas nas amostras submetidas ao ensaio a 50 °C são maiores que as taxas verificadas nas amostras submetidas ao ensaio a 110 °C, corroborando o que é sugerido pela literatura, sendo este comportamento observado pelos dois métodos de estimativa, gravimétrico e interferometria a laser.**

Em relação à **resina epoxy Aka**, conclui-se que este tipo de resina **apresenta boa performance para temperatura de 50 °C. Para temperatura de 110 °C**, considerando as condições de contorno de teste utilizadas neste projeto de pesquisa, **esta resina não apresenta boa performance de isolamento da superfície metálica**, pois apresentou descolamento da superfície metálica levando a perda de vedação.



Quanto a **metodologia de estimativa de perda** de massa por **interferometria a laser**, é possível concluir que **a técnica se mostrou eficaz**, pois apresentou **comportamento e valores de taxa de corrosão compatíveis com os sugeridos pela literatura e praticados pela indústria**. Ademais, pode-se concluir que esta **técnica permite realizar estimativas de perda de massa em grandes áreas e com diferentes tipos de acabamento da superfície**, o que não é possível realizar pelo método tradicional regido pela norma ASTM G1-03.

Por fim, foram estimadas taxas de corrosão em tubulares API 5CT C-110 íntegros, cuja superfície fora preservada com a carepa de laminação, e desgastados mecanicamente, em laboratório. Os **resultados obtidos** neste projeto de pesquisa **poderão subsidiar discussões acerca de critérios para definição de sobresspesura de corrosão** a ser considerada na etapa de **elaboração de projetos de poços de petróleo**.

AGENDA



Introdução



Revisão
Bibliográfica



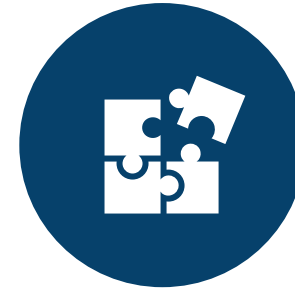
Materiais e
Métodos



Resultados e
Discussões



Conclusões



**Trabalhos
Futuros**



Referências
Bibliográficas



- Realizar estimativa de perda de massa por meio de interferometria a laser e método gravimétrico de uma mesma amostra, assim será possível comparar, de forma inequívoca, os resultados obtidos pelos dois métodos;
- Realizar novos ensaios de corrosão do tubular API 5CT C-110 mantendo as condições utilizadas, tais como pressão parcial de CO₂, temperatura, tipo de *packer fluid* e duração. Desta forma, será possível comparar e validar os resultados obtidos neste projeto de pesquisa;
- Para a interferometria a laser, superfícies construídas com o objetivo de servir de referência futura devem ser usinadas com ferramenta de dimensões conhecidas, como por exemplo uma broca. Superfícies de referência irregulares ou disformes dificultam a amarração das imagens digitalizadas antes e após os ensaio de corrosão;
- Caso seja necessário o isolamento e preservação de alguma superfície metálica da amostra, para ensaios de longa duração e em elevadas temperaturas, utilizar outro método de isolamento de superfície que não a resina epoxy Aka.

AGENDA



Introdução



Revisão
Bibliográfica



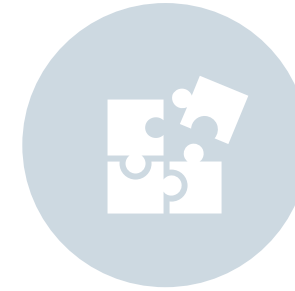
Materiais e
Métodos



Resultados e
Discussões



Conclusões



Trabalhos
Futuros



Referências
Bibliográficas



- [1] MORSHIDI, L. B.; FAROOQUI, M. Z.; BUGTI, M. A.; KUMAR, A.; DESAI, S. K.; PACHECO, J. L. **An Evaluation of Production Casing Due to Ingress of Sour Gas in the Tubing-Casing Annulus**, International Petroleum Technology Conference -IPTC-17423-MS, Doha, Qatar, 2014.
- [2] KOCH, G. H.; THOMPSON, N. G. **International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study**, NACE International, Houston, Texas, USA, p. iii, 2016.
- [3] MITCHELL, R. F.; MISKA, S. Z. **Fundamentals of Drilling Engineering**, SPE Textbook Series Vol. 12, 2011.
- [4] THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**, 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- [5] ROCHA, L. A. **Perfuração Direcional**, 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- [6] ROCHA, L. A. **Projetos de Poços de Petróleo – Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimentos**, 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.
- [7] RIPMAN, S. (2011). **Casing Wear in Multilateral Wells**. Master's Thesis - University of Stavanger – Nuruega, 2011.
- [8] BELLARBY, J. **Well Completion Design - Developments in Petroleum Science**, Elsevier, Volume 56, 2009.
- [9] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (2011) **Specification for Casing and Tubing**: API Specification 5CT. Washington DC.
- [10] SHENGLI, C.; YUQI, P.; ZONGHUA, J. C. **Study on the Theory and Method of Combined Casing Wear Resistance in Deep & Ultra-Deep Well Drilling**, International Petroleum Technology Conference – IPTC-16911-Abstract, China University of Petroleum, Beijing, China, 2013.



- [11] ZHANG, Q.; LIAN, Z.; LIN, T.; DENG, Z.; XU, D.; GAN, Q. **Casing wear Analysis Helps Verify the Feasibility of Gas Drilling in Directional Wells**, Journal of Natural Gas Science and Engineering, volume 35, part A, pages 291-298, September 2016.
- [12] BHUSHAN, B. **Modern Tribology Handbook, vol. 1 – Principles of Tribology**. Boca Raton, Flórida, CRC Press LLC, 2001.
- [13] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Casing Wear Teste**. API 7CW. 1 ed. Jun, 2015.
- [14] ARCHARD, J. F. **Wear Theory and Mechanisms**, Wear Control Handbook, ASME, New York, 1980.
- [15] STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR A. W. **Engineering Tribology**, 3rd Edition, Burlington, Elsevier, 2005.
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Determining the High Stress Abrasion Resistance of Hard Materials**. West Conshohocken. ASTM B611-13, 15 ed., Jun 2016.
- [17] WANG, S, Q.; WEI, M., X.; WANG, F. **Transition of Mild Wear to Severe Wear in Oxidative Wear of H21 Steel**, Tribology Letters, volume 32, pages 67-72, October 2008.
- [18] QUINN, T. F. J. **Review of Oxidational Wear. Part I: The Origins of Oxidational Wear**, Tribology International, volume 16, issue 5, pages 257-271, October 1983.
- [19] SHREIR, L. L.; JARMAN, R. A.; Burstein, G. T. **Corrosion volume 1: Metal and Environmental Reactions**, 3rd Edition, Butterworth-Heinemann, 1994.



- [20] KERMANI, M. B.; MORSHED, A. **Carbon Dioxide Corrosion in Oil and Gas Production: a compendium**, NACE International, The Journal of Science and Engineering Corrosion – volume 59, number 8, pages 659-683, 2003.
- [21] ROPITAL, F. **Corrosion and Degradation of Metallic Materials: Understanding of the Phenomena and Applications in Petroleum and Process Industries**, Editions Technip, Paris, France, 2010.
- [22] FONTANA, M. G. **Corrosion Engineering**, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1986.
- [23] TELLES, P. C. S. **Materiais para Equipamentos de Processo**, 4ª Edição, INTERCIÊNCIA, Rio de Janeiro, 1989.
- [24] KERMANI, M. B.; GONZALES, J. G, LINNE, C.; DOUGAN, R. **Development of Low Carbon Cr-Mo Steels with Exceptional Corrosion Resistance for Oil Field Applications**, Corrosion 2001, NACE International, paper number 01065, Houston, Texas, USA, 2001.
- [25] MANNESMANN. **More Than 130 Years of Tubes History**. Disponível em:< <https://mannesmann.com/en/mannesmann/history/>>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- [26] DIETER, G. E. **Metalurgia Mecânica**, 3ª Edição, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1986.
- [27] CIMM – CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA. 2010. **Fabricação de Tubos Industriais**. Disponível em:< https://cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7355-fabricacao-de-tubos-industriais/>. Acesso em: 31 ago. 2020.
- [28] LAOPORNPICHAYANUWAT, W.; VISESSAMIT, J.; TIANPRATEEP, M. **3-D Surface Roughness Profile of 316-Stainless Steel Using Vertical Scanning Interferometry with a Superluminescent Diode**, Measurement, volume 45, issue 10, pages 2400-2406, 2011.



- [29] WANG, Y.; XIE, F.; MA, S.; DONG, L. **Review of Surface Profile Measurement Techniques Based on Optical Interferometry**, Optics and Lasers in Engineering, volume 93, pages 164-170, June 2017.
- [30] MOURA, E. I. F. **Avaliação do Desgaste do Par Casing-Hardbanding a partir de Ensaios em Escala Reduzida**, 2019. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- [31] SCHMITT, G.; HÖRSTEMEIER, M. **Fundamental Aspects of CO₂ Metal Loss Corrosion – Part II: Influence of Different Parameters on CO₂ Corrosion Mechanisms**, Corrosion NACEExpo 2006, 61st Annual Conference & Exposition, paper number 06112, NACE International, Houston, Texas, USA, 2006.
- [32] UEDA, M.; IKEDA, A. **Effect of Microstructure and Cr Content in Steel on CO₂ Corrosion**, Corrosion 96, The NACE International Annual Conference and Exposition, paper number 96013, NACE International, Houston, Texas, USA, 1996.
- [33] XU, M.; ZHANG, Q.; YANG, X.; WANG, Z.; LIU, J.; LI, Z. **Impact of Surface Roughness and Humidity on X70 Steel Corrosion in Supercritical CO₂ Mixture with SO₂, H₂O, and O₂**, The Journal of Supercritical Fluids, volume 107, pages 286-297, January 2016.
- [34] ASTM INTERNATIONAL. **Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens**, ASTM G1 – 03, Pennsylvania, USA, 2010.
- [35] PEREIRA, A. C. **Estudo da Cinética de Cura e das Propriedades Térmicas da Resina Benzoxazina e dos seus Compósitos Nanoestruturados**, 2011. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- [36] FISICANET CONSTANTES FÍSICAS. **Coeficiente de Dilatação Linear**. Disponível em: < [https:// fisica.net/constantas/coeficiente-de-dilatacao-linear-\(alfa\).php/](https://fisica.net/constantas/coeficiente-de-dilatacao-linear-(alfa).php/)>. Acesso em: 31 ago. 2020.



- [37] CUNHA, A. F.; FILHO, G. A.; JÚNIOR, A. M.; GOMES, O. B.; ASSIS, P. S. **Aspectos Técnicos da Utilização da Carepa Gerada em Processos Siderúrgicos e Tratada por Desagregação Ultra-Sônica**, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, volume 3, número 2, páginas 1-5, São Paulo, Brasil, Dezembro 2006.
- [38] LOPES, N. F. **Corrosão de Aços Utilizados na Indústria de Petróleo por CO₂ Sob Pressão, Temperatura e Meio Corrosivo Similar ao Encontrado em Reservatórios do Pré-Sal**, 2017. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- [39] DOMINGUES, H. C. **Estudo do Comportamento Eletroquímico do Aço Carbono, em Meio de Bicarbonato de Sódio e Gás Carbônico, Utilizando a Técnica do Ruído Eletroquímico**, 2010. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- [40] HUA, Y.; BARKER, R.; NEVILLE, A. **Comparison of Corrosion Behaviour for X-65 Carbon Steel in Supercritical CO₂-Saturated Water and Water-Saturated / Unsaturated Supercritical CO₂**, The Journal of Supercritical Fluids, volume 97, pages 224-237, February 2014.
- [41] CARNEIRO, L. A. V.; TEIXEIRA, A. M. A. J. **Propriedades e Características dos Materiais Compósitos Poliméricos Aplicados na Engenharia de Construção**, Revista Militar de Ciência e Tecnologia, volume XXV, 3º Quadrimestre de 2008, Tecnologia, páginas 54-66, 2008.
- [42] NATIONAL OILWELL VARCO. **Hardbanding**. Disponível em: <<https://www.nov.com/products/tcs-hardbanding/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- [43] SUBSTECH. **Substances & Technologies**. Disponível em: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear/>. Acesso em: 15 nov. 2019.
- [44] CONTRERAS, E. Q.; HUANG, J.; POSUSTA, R. S.; SHARMA, D. K.; YAN, CHAO.; GURAIEB, P.; TOMSON, M. B.; TOMSON, R. C. **Optical Measurement of Uniform and Localized Corrosion of C1018, SS410, and Inconel 825 Alloys Using White Light Interferometry**, Corrosion Science, volume 87, pages 383-391, October 2014.

Obrigado!

