

## ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO DO GRAFENO COMO ADITIVO PARA PREVENIR A CORROSÃO PELA SALMOURA NAS PLATAFORMAS DE PETRÓLEO

Brenda Conceição da Silva<sup>1</sup>, Gabriel Costa Vilella Felix<sup>2</sup>, Lucas Dias Oliveira<sup>3</sup>

Vanessa Nascimento Monteiro<sup>4</sup> e Analécia Cruz Santana Monteiro<sup>5</sup>

### RESUMO

O grafeno é um nanocompósito com diversas aplicabilidades devido às suas excelentes propriedades físico-químicas, mecânicas, térmicas e elétricas. O objetivo deste trabalho consiste na aplicação do grafeno como aditivo na tinta epóxi Novolac tipo II, usada como revestimento nas tubulações dos poços de perfuração de petróleo, a fim de aumentar as suas propriedades anticorrosivas. O substrato que é utilizado nessas tubulações é composto geralmente pelo aço API 5CT K55, porém a pesquisa baseada no desenvolvimento do trabalho utiliza o aço carbono 1020. Comparando os dados obtidos na pesquisa, obteve-se que a concentração do grafeno utilizada como aditivo na pesquisa, foi suficiente para impedir o avanço da corrosão. Porém, a aplicação deste revestimento aditivado apresentou resultados insuficientes por conta do meio corrosivo ser mais agressivo do que o exposto nos fluidos de perfuração e completação, ou seja, a salmoura.

### PALAVRAS-CHAVE

Grafeno; corrosão; Epóxi.

---

<sup>1</sup> Bacharelada em Engenharia Química do Centro Universitário Jorge Amado, Email: brenrasilva492.bs@gmail.com

<sup>2</sup> Bacharelado em Engenharia Química do Centro Universitário Jorge Amado, Email: gabrielvilella@hotmail.com

<sup>3</sup> Bacharelado em Engenharia Química do Centro Universitário Jorge Amado, Email: lcs.engquimico@gmail.com

<sup>4</sup> Professora Mestra em Química Aplicada, Professora Titular do Centro Universitário Jorge Amado, Email: vmonteiro1907@unijorge.pro.br

<sup>5</sup> Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia e graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Católica do Salvador, com MBA em Gerenciamento de Projetos

## 1. INTRODUÇÃO

Quando o assunto está relacionado ao petróleo, sabe-se que é necessária toda uma pesquisa de solo e materiais para poder ter êxito na qualidade e na obtenção do petróleo de forma eficaz e prática, porém todo esse processo exige uma grande quantidade de tempo e equipamentos de alta qualidade para poder ter sucesso na obtenção do mesmo. Porém, nem tudo dura para sempre, isso inclui os equipamentos utilizados na perfuração dos poços de petróleo. Durante todo o processo de exploração e extração, os equipamentos sofrem todo tipo de desgaste, sejam eles físicos ou químicos. Um fator que abrange a área química vigente nesse processo é a corrosão.

A corrosão se trata de um processo de degradação que normalmente atinge materiais metálicos; sendo acometida por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, podendo estar ligada também a esforços mecânicos. A corrosão eletroquímica consiste na deterioração de um metal em contato com o meio corrosivo, e a corrosão química consiste na ação de um agente químico diretamente sobre o material sendo ele metálico ou não. “A corrosão pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou as ligas de cobre, por exemplo, ou não metálicos, como plásticos, cerâmica ou concreto” (GENTIL, 1982).

Esse processo de corrosão tem causado graves prejuízos a diversos setores industriais, entre os quais podemos destacar a indústria do petróleo, que é afetada nas etapas de extração, processamento, armazenamento e transporte. Dentre as principais causas deste processo corrosivo estão as falhas em equipamentos e tubulações de plataformas de produção. Essas falhas prejudicam o processo, atrasam o cronograma operacional de produção, geram altos custos de manutenção, e acabam gerando riscos à saúde e ao meio ambiente.

Atualmente o que mais tem provocado danos iminentes nos equipamentos é a salmoura, pelo fato de estar presente nos fluidos de perfuração ou até mesmo nos fluidos de completação. Alguns poços, tendem a armazenar uma grande quantidade dessa substância por longos períodos, armazenados no espaço anular acima do obturador, expondo o equipamento, o que acaba desencadeando ainda mais a corrosão nos mesmos.

O material que os equipamentos das plataformas são fabricados não tem apresentado uma grande resistência à corrosão, o que mostra que o produto tem uma pequena falha no quesito duração. Por isso é necessário fazer manutenções nos equipamentos com frequência para que não provoque um vazamento, logo uma contaminação no solo, gerando um grande impacto ambiental.

O presente trabalho consiste no estudo da utilização do grafeno, como um aditivo a fim de regularizar e aumentar ainda mais a capacidade anticorrosiva do epóxi já utilizado como revestimento, devido a sua alta resistência a esse tipo de corrosão. Com todo esse progresso o grafeno seria capaz de impor várias melhorias e trazer grandes lucros já que a vida útil do material seria estendida.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desde agosto de 1859, quando o americano Edwin Laurentine Drake, perfurou o primeiro poço de petróleo na Pensilvânia até os dias atuais, tem-se estudado métodos diferentes e menos prejudiciais ao meio ambiente, porém desde esses momentos as empresas de extração de petróleo sofrem com esse problema de corrosão.

A corrosão que mais prejudica a indústria petrolífera é a eletroquímica, devido à influência dos constituintes do fluido de perfuração e da água de produção, entre outros. Esses constituintes são os sais, os gases dissolvidos e micro-organismos, aliados a temperatura e pressão (SOUZA, 2002).

### 2.1. Salmoura

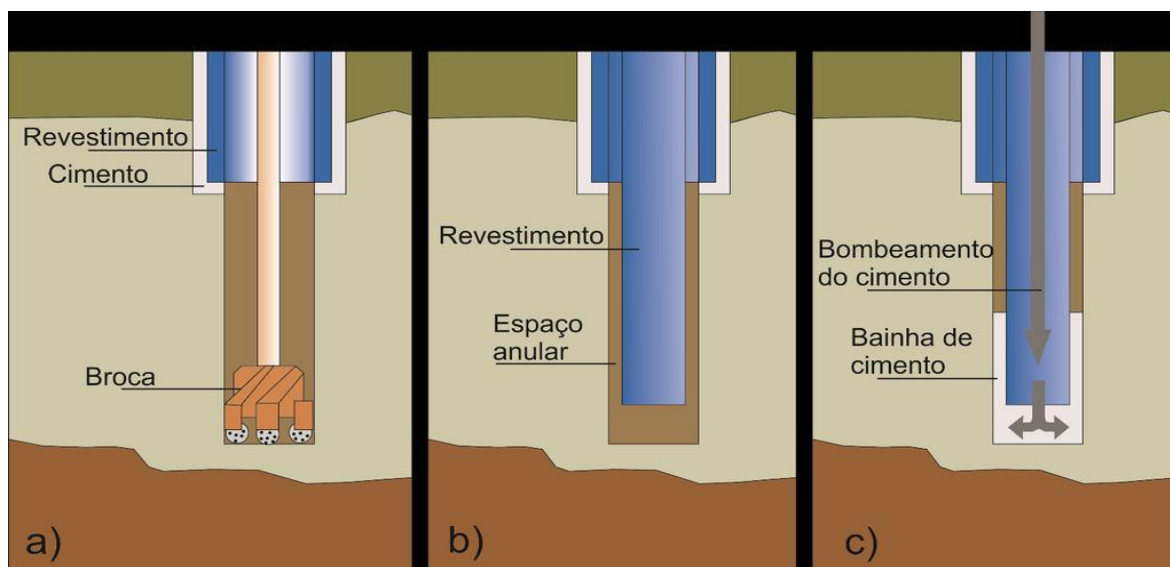
Sabe-se que para extrair o petróleo é necessária toda uma preparação para tal ato, antes de construir o poço de petróleo. Essa construção passa por duas etapas importantes: a perfuração e completação.

Ocasionalmente a perfuração do poço é feita por um equipamento chamado sonda de perfuração, e existem dois métodos para isso: a percussão e a rotação. Na perfuração percussiva, a rocha é quebrada por percussão de um trado e os cascalhos podem ser retirados por caçambas. Na perfuração rotativa, a rocha é perfurada por uma broca com aplicação de peso fornecido por uma coluna de perfuração, rotação e vazão de fluido de perfuração (THOMAS, 2004). Toda perfuração é realizada por etapas, ao final de cada etapa, a coluna de perfuração e a broca são removidas, mas o fluido de perfuração continua, pois é exatamente ele que irá estabilizar as formações que foram perfuradas.

Geralmente, na indústria de perfuração de petróleo, o processo de corrosão dos equipamentos ocorre devido à presença de ácido no ambiente em que se encontram. Fluidos de perfuração são misturas tixotrópicas de sólidos, líquidos e, por vezes, gases, que podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo dos seus componentes. Podemos citar H<sub>2</sub>S, é um dos principais ácidos que causam a corrosão do aço utilizado. Os fluidos de perfuração são divididos em 3 tipos: fluidos base água, fluidos base óleo e fluidos aerados (ARAGÃO et al, 2011; FERREIRA, 2011).

Conforme ilustrado na figura 1, o fluido de perfuração é injetado no poço através das bombas de alta potência, até chegar à broca e passar pela mesma, retornando assim à superfície pelo espaço compreendido entre as colunas e as paredes do poço, chamado espaço anular. Porém além desse fluido de perfuração, existe também o fluido de completação, que ao contrário do de perfuração, não precisa ser viscoso e nem exercer pressão hidrostática para estabilizar as paredes do poço, porque o poço já está revestido e toda partícula já foi retirada no processo anterior.

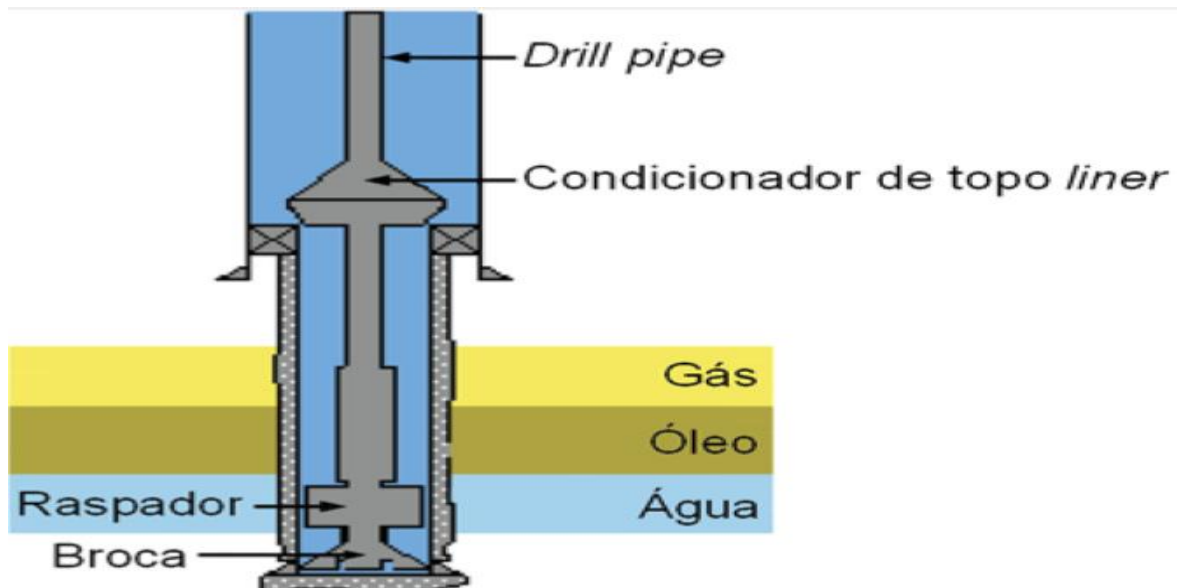
**Figura 1** - Poço de petróleo. (a) perfuração do poço; (b) posicionamento da tubulação no espaço perfurado na formação; (c) preenchimento do espaço anular entre a tubulação e a formação.



Fonte: SOUZA, Wendel (2017).

O fluido de completação, conforme pode ser visto na figura 2, costuma ser uma solução salina, salmouras livres de sólidos, e sua composição deve ser compatível com o reservatório e com o fluido nele contido para evitar danos à formação, ou seja, criar obstáculos que possam restringir o fluxo do poço, por isso ele contém aditivos, para garantir que não haja bloqueios dos poros da rocha reservatório por inchamento de argila, formação de emulsão ou bloqueio por finos (CIVAN, 2015; MEIQIN, 2018). Além disso, a densidade do fluido de completação deve ser capaz de fornecer pressão hidrostática no fundo do poço, ligeiramente superior à pressão hidrostática no reservatório, para evitar que o fluido flua da formação para o poço, mantendo assim o amortecimento. Quando esse processo é finalizado, ocorre o assentamento do obturador e o fluido de completação fica retido no espaço anular e nesse momento fica aprisionado nesse espaço durante toda vida produtiva do poço ou até ocorrer uma interferência para manutenção do poço, devido alguma falha de equipamento, até mesmo um dano causado a coluna, seja o mesmo por corrosão ou não.

**Figura 2** - Condicionamento do *liner* e substituição do fluido de perfuração pelo fluido de completção.

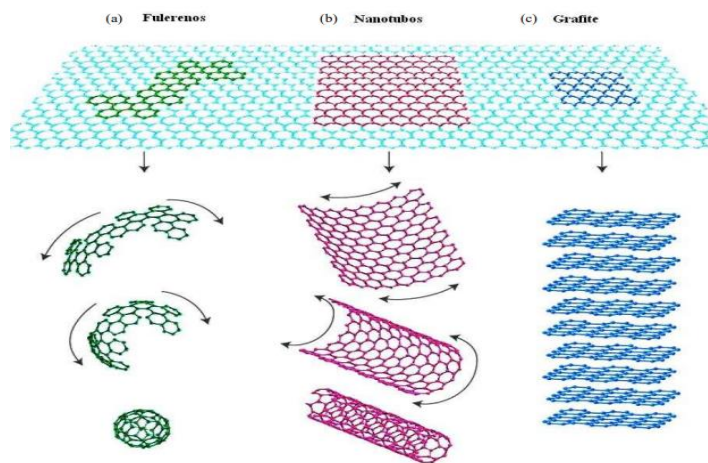


Fonte: THOMAS, José (2004).

## 2.2. Grafeno

O grafeno é um nanomaterial bidimensional ultra forte, leve, flexível e supercondutor, com espessura monoatômica, formado por átomos de carbono em uma estrutura hexagonal, sua estrutura molecular pode ser analisada na figura 3.

**Figura 3** - Estruturas derivadas do grafeno, para formar um fulereno (a), um nanotubo (b) e o grafite (c).



Fonte: NOVOSELOV, K. S. et al (2005).

O grafeno é considerado a unidade estrutural básica das nanoestruturas de carbono, com exceção do diamante. Folhas de grafeno manipuladas de diferentes maneiras podem ser transformadas em outras estruturas de carbono, fulerenos esféricos, nanotubos de carbono que podem ser visualizados como folhas de grafeno enroladas em uma forma cilíndrica e grafite descrita como pilhas de folhas de grafeno dispostas alternadamente (BALUCH et al. 2008; ZARBIN et al., 2013).

Devido a essa grande descoberta, o grafeno vem tomando seu espaço, pelo fato de apresentar diversas propriedades, além de oferecer uma variedade enorme de produção. Um dos materiais mais versáteis para a indústria global, suas qualidades podem ser aplicadas na produção de diversos produtos, estendendo o uso e aumentando a eficiência tecnológica, sendo utilizado em aplicações para células solares, super capacitores, transistores e até mesmo dispositivos de memória. Além disso, é resistente aos efeitos do tempo, temperaturas extremas, exposição química, esforço mecânico, possui barreira contra gases e tem ação bactericida, além de apresentar uma resistência mecânica 200 vezes maior que o próprio aço carbono. Essa é a matéria-prima do século XXI, com toda a resistência, força e pluralidade que os novos desafios da indústria exigem (JANUÁRIO; REMÉDIO; DE SOUSA 2016, p.2).

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é um estudo descritivo sobre a função do grafeno como aditivo para melhorar a eficiência de grupos epóxi usados como proteção de oleodutos e aumentar continuamente sua vida útil, próximo aos dados quantitativos e qualitativos sobre o assunto. Nesse sentido, o método envolve estudos bibliográficos de livros e artigos científicos para coleta de dados que demonstrem a eficiência do grafeno em aplicações ao longo dessas estruturas de poços.

Como analisado o grafeno possui grandes qualidades anticorrosivas, podendo ser usado de diversas maneiras para tal resultado. O uso de nanomateriais e nanotecnologia é uma escolha estratégica e inovadora para permitir que os materiais produzam comportamentos multifuncionais. Nanocompósitos poliméricos com partículas orgânicas ou inorgânicas de diferentes tamanhos e diferentes comportamentos químicos são atualmente objeto de diversos campos de pesquisa científica. Nanopartículas de carbono, nanotubos e grafeno são usados como aditivos em uma variedade de matrizes poliméricas. O objetivo é produzir materiais compostos com melhores propriedades físicas e químicas do que os polímeros puros (VENTURA et al., 2011).

Mediante ao embasamento teórico realizado ao longo do tempo, obteve-se uma pesquisa que aborda a aplicação do grafeno como aditivo, exatamente o que está sendo proposto neste trabalho de conclusão de curso. Nele estão contidas informações como substratos, meios corrosivos, revestimentos e até mesmo a capacidade de aderência de um produto ao outro. Porém a maioria desses componentes não são equivalentes ao nosso ambiente de trabalho.

Por isso, está sendo levado em consideração essas duas aplicações. Uma que referência o uso de aço carbono 1020 e uma solução extremamente corrosiva; outra que usa um aço carbono API e a salmoura como seu meio corrosivo.

Tratando do revestimento para o controle da corrosão é um método que envolve um baixo custo e a sua aplicação é algo relativamente mais simples. Por ser formado por finas películas de óxidos, hidróxidos e outros compostos, o revestimento utilizado para proteção contra corrosão atua como barreira protetora através da reação de metais e oxidantes em um ambiente corrosivo. Portanto, consistem em um filme intermediário entre o metal e o meio corrosivo, fazendo com que o material se comporte como um metal mais precioso, ou apenas protegendo-o dos efeitos corrosivos do meio. Os principais requisitos do revestimento são: resistência química a meios agressivos, baixa permeabilidade, expansão térmica compatível com o substrato e propriedades físicas suficientes para suportar o esforço que ele receberá. Além de ser monolíticas (sem emendas), também são impermeáveis e devem aceitar reparos locais, com baixo custo e baixa incidência de fissuras ou trincas (ASSIS, 2000; BAYER, 2001; FRAUCHES-SANTOS et al., 2013; GENTIL, 2007; MAGNAN, 2011).

Existem diversos tipos de classificações para os revestimentos, voltado para sua natureza temos: os metálicos, não metálicos (orgânicos e inorgânicos) e os compósitos. Neste trabalho está sendo utilizado um revestimento não metálico orgânico, ou seja, uma tinta. A tinta ou revestimento orgânico atua como agente de proteção contra corrosão de três maneiras: a) Como barreira, impossibilitando o contato entre o meio e o substrato de metal; b) Por metal de sacrifício presente na composição da tinta, por exemplo, pigmento de zinco, evita que o substrato de metal reaja com o meio agressivo; c) Por inibição, interferindo na reação de corrosão eletroquímica (ASSIS, 2000; MAGNAN, 2011).

A tinta que foi utilizada como base nessa pesquisa foi a tinta epóxi NOVOLAC. De acordo com o artigo da Petrobrás, existem três tipos:

A tinta está especificada em três tipos: a) Tipo I, de cura térmica ou à temperatura ambiente; b) Tipo II, sem solventes, de cura à temperatura ambiente; c) Tipo III, sem solventes, de cura à temperatura ambiente, pigmentada com flocos de vidro ou cargas cerâmicas (PETROBRÁS, 2011).

O foco para essa pesquisa será a tinta epóxi NOVOLAC Tipo II. Tem-se que este tipo de tinta é isento de solventes orgânicos voláteis, reforçado com cargas cerâmicas, servindo para uso como revestimento interno ou externo de tanques de armazenamento para produtos de petróleo, tais como: óleo cru, diesel, maioria dos solventes aromáticos,

salmouras e muitos outros produtos do petróleo. Apresenta película com aspecto final liso e semibrilhante. Altamente recomendado para revestimento interno e externo de equipamentos onde a resistência química é o principal requisito (SILVA, 2018).

Essa resina, ou seja, a tinta epóxi, é o revestimento polimérico que mais está sendo utilizado nos tempos atuais. O motivo pelo qual isso acontece é exatamente por suas excelentes propriedades, alta resistência à tração, baixa retração estrutural pós-cura, boa resistência química e à corrosão, elevada adesão e ótima estabilidade dimensional.

Na indústria, os revestimentos de polímero são frequentemente expostos a ambientes com interações mecânico-térmico-corrosivas. Portanto, a fim de desenvolver propriedades anticorrosivas eficazes, é necessário que o revestimento de polímero tenha boas propriedades térmicas e mecânicas. Por exemplo, se a barreira de revestimento for mecânica ou térmica após a sua modificação, o eletrólito em contato com ele penetrará no revestimento para promover a corrosão do metal. Portanto, as propriedades térmicas e mecânicas são muito importantes para estudar as propriedades anticorrosivas de compósitos nanoaditivos de grafeno (MIRABEDINI et al., 2013; VERKER et al., 2009; ZHANG et al., 2015).

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A recente pesquisa que teve êxito em suas aplicações usando o grafeno como aditivo em uma tinta epóxi para aumentar o nível de resistência à corrosão, usou alguns meios similares às salmouras que são utilizadas no processo de perfuração das plataformas de petróleo para fazer uma pesquisa do quanto a tinta epóxi NOVOLAC tipo II com aditivo do grafeno resistiria à corrosão. Para este fim, seguiram a norma N-2912 da Petrobras e os seus parâmetros para não exceder os seus limites estabelecidos. Obteve-se um rendimento aceitável em suas pesquisas, o que instigou o desenvolvimento deste trabalho.

A adição de nanopartículas de grafeno melhora o desempenho anticorrosivo dos nanocompósitos poliméricos, atua como uma barreira de alta energia, evita a difusão de oxigênio e água e dificulta o processo de corrosão. Outro fator importante é que embora a quantidade de grafeno adicionada seja pequena (nessa pesquisa foi de 0,1% de óxido de grafeno reduzido), seu desempenho é igual ou superior ao desempenho das cargas tradicionais e a razão de uso é maior. A intenção é o nanocompósito não apresentar aglomerados de nanopartículas, pois de certa forma reduz a sua eficiência podendo acarretar uma redução da área superficial, gerando uma alta concentração de tensão, e

posteriormente uma fragilização do material composto (ALEXANDRE & DUBOIS, 2000; CARVALHO, 2011; JIANG et al., 2013; LIU et al., 2013; NAYAK et al., 2013; NOVOSELOV, 2012; POTTS, 2011; PRASAI et al., 2012; ZHANG et al., 2015; ZHU, 2010).

#### 4.1. Substrato

O substrato é onde a corrosão está sujeita a acontecer podendo levar a falhas durante os processos causando risco aos funcionários envolvidos, no nosso caso o substrato será o aço carbono do grau aço API, referenciado na tabela 1. Que é o material utilizado na produção dos tubos de revestimento e produção do petróleo.

**Tabela 1** - Composição química dos tipos de grau do aço API.

Composições Químicas (%) de API 5CT											
GRAU DO AÇO	C≤	Si≤	Mn≤	P≤	S≤	Cr≤	Ni≤	Cu≤	Mo≤	V≤	Als≤
API 5CT J55	0.34-0.39	0.20-0.35	1.25-1.50	0,020	0,015	0,150	0,200	0,200	-	-	0,020
API 5CT K55	0.34-0.39	0.20-0.35	1.25-1.50	0,020	0,015	0,150	0,200	0,200	-	-	0,020
API 5CT N80	0.34-0.38	0.20-0.35	1.45-1.70	0,020	0,015	0,150	-	-	-	0.11-0.16	0,020
API 5CT L80	0.15-0.22	1,000	0.25-1.00	0,020	0,010	12.0-14.0	0,200	0,200	-	-	0,020
API 5CT J P110	0.26-0.35	0.17-0.37	0.40-0.70	0,80-1,10	0,020	0,010	0,200	0,200	0,020	0,080	0.15-0.25

Fonte: Tubos ABC (s.d).

Porém o aço utilizado na pesquisa foi de grau SAE, sendo ele do tipo AISI 1020 que é mais fraco que os demais e é utilizado como aço para cementação em uso de mecânica geral, sendo sua composição descrita na tabela 2 logo abaixo.

**Tabela 2** - Composição química do aço 1020.

ABNT/SAE/AISI	C	Mn	P máx	S máx	Fe
<b>AÇO 1020</b>	<b>0.18-0.23</b>	<b>0.30-0.60</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>-</b>

Fonte: SILVA, Mariana (2018).

Os aços são ligas de ferro-carbono com teor de carbono de até 2% em peso. Com relação ao teor de carbono, os aços podem ser caracterizados como aços de alto carbono  $C > 0,5\%$ ; médio carbono  $0,2\% < C < 0,49\%$ ; aços de baixo-carbono com teores entre  $0,05\%$  e  $0,19\%$ ; aços de carbono extra baixo com  $0,015\% < C < 0,05\%$  e aços de ultra

baixo carbono com  $C < 0,015 \%$ . A Norma API 5CT – Specification for Casing and Tubing do Instituto Americano de Petróleo (API – American Petroleum Institute) classifica os aços usados em tubos (de revestimento e suas conexões, de produção e suas conexões), de acordo com a composição química, em: aços carbono, aços microligados, aços baixa liga e aços alta liga.

## 4.2. Meios corrosivos

Os meios corrosivos podem acontecer de diversas maneiras como atmosférica, solo, induzida por microrganismos, pela água do mar, são as condições em que o substrato está sendo exposto. Nessa ocasião o meio corrosivo que está sendo estudado é a salmoura.

A salmoura é uma mistura de diversos materiais e cada um deles tem uma função diferente, podemos notar isso na tabela 3 logo abaixo.

**Tabela 3** - Composição geral das salmouras.

Material	Função na salmoura	Condições de uso
Cloreto sódio	Adensante	Reagente analítico para análise (P.A. – ACS) com pureza de 99%
Glutaraldeído	Bactericida	Mistura líquida comercial a 50% (m/v)
Hidróxido de sódio	Alcalinizante para ajuste de pH	Reagente analítico para análise (P.A.) com pureza de 98%
Ácido clorídrico	Acidulante para ajuste de pH	Reagente analítico para análise (P.A.) com pureza de 36,5%
Bissulfito de sódio	Sequestrante de oxigênio	Reagente analítico para análise com teor de SO <sub>2</sub> de pureza de (58,5% SO <sub>2</sub> )
Solução de cloreto de zinco e tiocianato de amônio	Inibidor de corrosão	Mistura líquida comercial
Água destilada	Diluyente	Produzida em laboratório

Fonte: MEDEIROS, Jonatas (2019).

Porém na pesquisa trata-se de um meio similar a salmoura, nele possui apenas alguns componentes como referencial. De acordo com SILVA, 2018:

Baseado na Norma Petrobras N-2912, a composição da solução é: 70 000 ppm de íons cloreto, 21g de acetato de sódio trihidratado em 1L de água destilada, com pH 5, controlado com ácido clorídrico.

Os meios corrosivos em comparativo apesar de visualmente terem suas diferenças nítidas, pode declarar que a salmoura seria um meio mais agressivo do que a solução utilizada na pesquisa, porém a situação é invertida, o motivo pelo qual isso acontece é que a solução tem a finalidade de expor o substrato à uma situação quase que extrema, enquanto a salmoura tem uma finalidade de ajudar no processo de perfuração, facilitar a

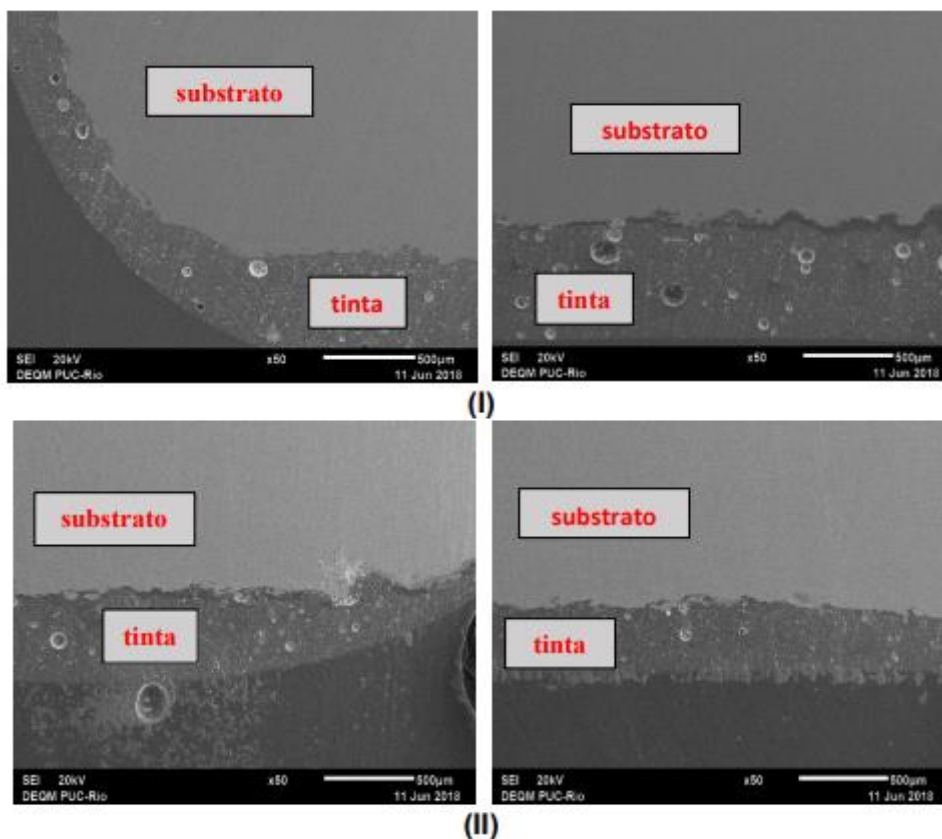
retirada dos cascalhos e o mais importante ela tem que possuir meios que previnam a corrosão do material em que ela está sendo exposta, logo a agressividade da mesma não possui um grau tão elevado quanto a solução (ARAGÃO et al, 2011; CIVAN, 2015; THOMAS et al, 2004).

### 4.3. Revestimento aplicado ao substrato

Sabe-se que todo material tem espaçamentos entre suas ligações moleculares, chamados de espaços intersticiais. Esses espaços são propícios a causar falhas, o que facilitaria o desgaste do material levando a fraturas, no caso desta pesquisa à corrosão.

Analisando os dados da pesquisa de SILVA, 2018. Observou-se que tanto qualitativamente e quantitativamente a mistura (tinta epóxi Novolac tipo II + OGR) depositada como revestimento na superfície metálica do aço carbono 1020 apresentou boa aderência preenchendo todas as imperfeições da superfície, vejam na figura 4.

**Figura 4** - Preenchimento dos espaços intersticiais (I) antes e (II) depois do grafeno.



Fonte: SILVA, Mariana (2018).

De acordo com os resultados obtidos, os aditivos contendo grafeno não afetam a adesão ao substrato e apresentam alta resistência à ruptura em todas as condições de pesquisa. Estes resultados indicam que a aditivação não interferiu nos mecanismos de adesão do sistema. Porém, depois dos dias expostos ao meio corrosivo, o mesmo começou

a apresentar falhas na sua natureza condutiva, tudo indica que isso aconteceu por conta da dispersão das nanopartículas do grafeno, mas também existe a possibilidade de ter sido por causa da cerâmica isolante presente na tinta.

Embora tudo isso tenha ocorrido, teve-se o resultado de que o tratamento para o revestimento Novalac tipo II com concentração de óxido de grafeno reduzido (OGR) há uma concentração acima de 0,1% de grafeno, resistindo muito mais do que o resultado com a difusão do eletrólito. Por esse motivo é visto uma razão para aplicar nas tubulações de petróleo.

#### 4.4. Prós e contras da utilização do grafeno

Como todo material existem situações que podem prejudicar o meio, mas também existem benefícios que podem superar as expectativas. Por conta disso está detalhado na tabela 4 o comparativo entre eles.

**Tabela 4** - Vantagens e desvantagens.

PRÓS	CONTRAS
Quando utilizado em proporções adequadas (para esse caso, foi 0,1% de OGR) podem auxiliar na adesão do revestimento;	Altas concentrações de grafeno prejudicam o revestimento;
A resistência está atrelada a quantidade de grafeno e do tipo de pigmento utilizado;	Utilizando de maneira indevida aceleram ainda mais o processo de corrosão;
Quando utilizado em um meio corrosivo, a propriedade condutora do grafeno interfere no processo de oxidação eletroquímica, amenizando a reação;	
O uso do grafeno causa um menor impacto ambiental.	

Fonte: Physics World (2019).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos neste trabalho de conclusão de curso permitiram chegar aos seguintes resultados:

- O aço carbono que foi utilizado como base do trabalho é muito mais resistente, o que ocasiona a longa duração do processo de corrosão pela salmoura antes mesmo do tratamento. E o aço que foi utilizado na pesquisa, depois do tratamento, apesar de ter apresentado deterioração não comprometeu a estrutura;

- A tinta que foi usada como revestimento após o tratamento com o grafeno estabeleceu medidas um pouco abaixo das expectativas, porém ainda assim tem-se a situação de que a salmoura é um meio corrosivo não tão agressivo quanto a solução usada na pesquisa, o que leva a acreditar que a corrosão duraria mais tempo para desenvolver;

- O fato do tratamento ter sido realizado a uma condição diferente do que é exposto na perfuração das plataformas, indica que ainda pode ter resultados fora do estabelecido, sendo eles positivos ou negativos, pois a temperatura e a pressão no espaço anular são diferentes;

- Com a situação da concentração do grafeno, temos o fato de que quanto maior a sua concentração maior será o grau de desenvolvimento da corrosão, porém a quantidade que foi usada na pesquisa embora tenha apresentado corrosão depois da fase teste, ela não ultrapassou o limite imposto pela Norma ISO 20340.

## 6. REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, M.; DUBOIS, P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering R*. 28 (2000) 1-63.

ARAGÃO, A. F. L.; LOMBA, R. F. T.; PASSARELLI, R.; FREITAS, M. R.; TAÍRA, H. S.; COUTINHO, P. C.; MACHADO, A.; GONÇALVES, J. T.; FILHO, A. F. N.; ESQUENAZI, A.; ROSA, F. S. N.; SILVA, P. R. C.; SÁ, C. H. M.; LEIBSOHN, A.; GANDELMAN, R.; WALDMANN, R.; TEXEIRA, G.; LIMA, V. A. R. M. P.; OLIVEIRA, M. M.; GONZAGA, E. R.; BARBOSA, V. P.; PEREIRA, A. Z. I.; ALO, C. P.; CHAGAS, C. M.; LOBÃO, A. C.; PINTO, E. A.; PAIXÃO, L. C. A.; SANTOS, O. L. A.; MOREIRA, P. A. F.; VEIGA, L. F.; GALVÃO, S. O.; PEREIRA, E. L.; KRUGER, V. A. N.; LEAL, R. A. F. *Manual de Fluidos da Petrobras*. 1ª Edição. Rio de Janeiro. Petrobras. 2011.

ASSIS, S. L. *Estudo Comparativo de Ensaio Acelerados para Simulação da Corrosão Atmosférica*. Dissertação (Mestrado em Ciência na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear) IPEN, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

BAYER, R. F. *Critérios para especificação de revestimentos anticorrosivos*. ALCOOLbrás – 2001, 41.

CARVALHO, MG, Ávila AF, Van Petten AMVN. Estudo da influência da adição de nanofolhas de grafeno nas propriedades térmicas de nanocompósitos poliméricos. Rev Iberoam Polim 2011; 12(1): 13-22.

CIVAN, Faruk. Reservoir Formation Damage. 3ª Edição. Gulf Professional Publishing. 2015.

FERREIRA, Doneivan F.; HONORATO, Nicolás. Manual do operador de produção de petróleo e gás. Campinas-SP: Komedi, 2011. p.596-606.

FRAUCHES-SANTOS, C. et al. A corrosão e os Agentes Anticorrosivos. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, p. 293-309, 2013.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 3.ed. Rio de Janeiro: Saraiva, 1982.

GENTIL, Vicente. Corrosão. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora: Rio de Janeiro, 2007.

JANUÁRIO, Augusto C.; REMÉDIO, Bruno R.; DE SOUSA, Rogério A. Avaliação do Uso de Grafeno Como Agente Passivador em Superfície de Cobre. UNIFAE, São Paulo, v. 8, n.6, p. 2, 2016.

JIANG, T. et al. Enhanced mechanical properties of silanized silica nanoparticle attached graphene oxide/epoxy composites. Composites Science and Technology, v. 79, p. 115-125, 2013.

LIU, K.H.; CHEN, S.L.; LUO, Y.F.; JIA, D.M.; GAO, H.; HU, G.J.; LIU, L. Edge-functionalized graphene as reinforcement of epoxy-based conductive composite for electrical interconnects. Compos. Sci. Technol. 2013, 88, 84–91.

MAGNAN, M. D. C. “Pintura na Proteção Anticorrosiva”. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

MEDEIROS, Jonatas. CORROSÃO DO AÇO API K55 CAUSADA POR SALMOURAS DE CLORETO DE SÓDIO UTILIZADAS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO. UFRN, Rio Grande do Norte, 2019.

MEIQIN, Lin; ZHAO, Hua; MINGYUAN, Li. Surface wettability control of reservoir rocks by brine. Petroleum Exploration and Development, v. 45(1), p. 145-153, 2018.

MIRABEDINI, S.M; KIAMANESH, A. The effect of micro and nano-sized particles on mechanical and adhesion properties of a clear polyester powder coating. Prog. Org. Coat. 2013, 76, 1625–1632.

NAYAK, P.K.; HSU, C.J.; WANG, S.C.; SUNG, J.C.; HUANG, J.L. Graphene coated Ni films: A protective coating. Thin Solid Films 2013, 529, 312–316.

- NOVOSELOV, K. S. et al. Two dimensional atomic crystals. Proc. Natl Acad. Sci. USA 102, 10451–10453 (2005).
- NOVOSELOV, K. S. et al. A roadmap for graphene. Nature, v. 490, n. 7419, p. 192-200, 2012.
- PETROBRAS N-2912. Tinta Epóxi “Novolac”. CONTEC, 1ª Emenda, p.2, 2010.
- POTTS, J. R. et al. Graphene-based polymer nanocomposites. Polymer, v. 52, n. 1, p. 5–25, 2011.
- PRASAI, D.; CARLOS TUBERQUIA, J.; HARL, R.R.; JENNINGS, G.K.; BOLOTIN, K.I. Correction to graphene: Corrosion-Inhibiting coating. ACS Nano 2012, 6, 1102–1108.
- PHYSICS WORLD. Graphene additives promote ‘eco-friendly’ corrosion protection. Changzhou, China: IOP Publishing, 2019. Disponível em: <https://physicsworld.com/a/graphene-additives-promote-eco-friendly-corrosion-protection/>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- SILVA, Mariana. Grafeno como Nanoativo em Compósitos para Proteção Anticorrosiva. PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2018.
- SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Grafeno deixa aço à prova de ferrugem. 25/05/2012. Online. Disponível em [www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=aco-prova-ferrugem-revestimento-grafeno](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=aco-prova-ferrugem-revestimento-grafeno). Capturado em 05/09/2021.
- SOUZA FILHO, J. E. Material de aula: Processamento primário de fluidos: separação e tratamento. Universidade Petrobrás, Salvador, 2002.
- SOUZA, Wendel. Simulação numérica do comportamento mecânico da bainha de cimento em estudo confinado em poços submetidos à injeção cíclica de vapor. UFRN, Rio Grande do Norte, 2017.
- THOMAS, José. Fundamentos de engenharia de petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora 107, Interciência: Petrobras, 2004.
- TUBOS ABC - Tubos API 5CT. Suzano, SP: Tubos ABC. Disponível em: <https://www.tubosabc.com.br/produtos/tubos/tubo-de-aco-carbono/tubos-api-5ct/>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- VENTURA, S.; CARNEIRO, N.; SOUTO, A. P. Acabamento de têxteis multifuncionais com nanocompósitos poliméricos. Nova Têxtil, v. 97, n. 1ª, p. 8-13, 2011.

VERKER, R.; GROSSMAN, E.; ELIAZ, N. Erosion of POSS-polyimide films under hypervelocity impact and atomic oxygen: The role of mechanical properties at elevated temperatures. *Acta Materialia*, v. 57, n. 4, p. 1112-1119, 2009.

ZHANG, Z. et al. Mechanical and anticorrosive properties of graphene/epoxy resin composites coating prepared by in-situ method. *International journal of molecular sciences*, v. 16, n. 1, p. 2239- 2251, 2015.

ZHU, Y. et al. Exfoliation of graphite oxide in propylene carbonate and thermal reduction of the resulting graphene oxide platelets. *ACS Nano*, v. 4, n. 2, p. 1227– 1233, 2010.