

Efeitos da atmosfera extremamente agressiva em estruturas e equipamentos de plataformas offshore em descomissionamento.

L. S. Araujo^{1*} , E. C. Mounzer¹ 

* Autor de Contato: ls_araujo@id.uff.br

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.723>

Recebido: 07/03/2024 | Correções recebidas: 01/06/2025 | Aceito: 18/08/2025 | Publicado: 01/09/2025

RESUMO

Este trabalho objetivou investigar a influência de uma atmosfera extremamente agressiva em estruturas metálicas e equipamentos de uma plataforma em descomissionamento. A metodologia incluiu pesquisa bibliográfica, levantamento de dados sobre acidentes causados por corrosão; seleção prévia de locais; inspeção visual; e curadoria dos dados coletados. Os resultados evidenciaram danos severos a estruturas, equipamentos e acessórios, causados pela intensa agressividade do ambiente. As limitações envolveram o acesso a informações sobre acidentes e incidentes relacionados a processos corrosivos nesse ambiente. Este trabalho é original por abarcar os efeitos de uma atmosfera extremamente agressiva no ambiente de estudo. Assim, conclui-se que a corrosão em plataformas tais condições apresenta graves riscos de colapso estrutural, além de potencial dano aos trabalhadores e ao meio ambiente.

Palavras-chave: integridade estrutural; corrosão; degradação; estruturas; descomissionamento.

Citar como: Araujo, L. S., Mounzer, E. C. (2025), "*Efeitos da atmosfera extremamente agressiva em estruturas e equipamentos de plataformas offshore em descomissionamento.*", Revista ALCONPAT, 15 (3), pp. 413 – 431, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v15i3.723>

¹ Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Brasil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho as contribuições oferecidas pelo autor L. S. Araujo estão relacionadas a produção textual (100%) e curadoria dos dados (100%). As contribuições do autor E. C. Mounzer estão relacionadas a Validação da pesquisa e supervisão. As demais atividades relacionadas a pesquisa foram compartilhadas entre os autores, de acordo com os percentuais exibidos: planejamento da pesquisa (L. S. Araujo - 50%, E. C. Mounzer 50%); Pesquisa bibliográfica (L. S. Araujo - 70%, E. C. Mounzer - 30%); Metodologia (L. S. Araujo - 50%, E. C. Mounzer - 50%); Discussão dos resultados (L. S. Araujo - 70%, E. C. Mounzer - 30%); conclusão (L. S. Araujo - 70%, E. C. Mounzer - 30%).

Licença Creative Commons

Copyright (2025) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2026, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2026.

Effects of the extremely aggressive atmosphere on structures and equipment of offshore platforms undergoing decommissioning.

ABSTRACT

The aim of this work was to investigate the influence of an extremely aggressive atmosphere on the metallic structures and equipment of a platform undergoing decommissioning. The methodology included bibliographical research, data collection on accidents caused by corrosion; prior selection of sites; visual inspection; and curation of the data collected. The results showed severe damage to structures, equipment and accessories caused by the intense aggressiveness of the environment. The limitations involved access to information on accidents and incidents related to corrosive processes in this environment. This work is original because it covers the effects of an extremely aggressive atmosphere in the studied environment. The conclusion is that corrosion on platforms in such conditions poses serious risks of structural collapse, as well as potential harm to workers and the environment.

Keywords: structural integrity; corrosion; degradation; structures; decommissioning.

Efectos de la atmósfera extremadamente agresiva en las estructuras y equipos de las plataformas marinas en fase de desmantelamiento.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo era investigar la influencia de una atmósfera extremadamente agresiva sobre las estructuras metálicas y los equipos de una plataforma en fase de desmantelamiento. La metodología incluyó investigación bibliográfica, recopilación de datos sobre accidentes causados por la corrosión, selección previa de los emplazamientos, inspección visual, y curación de los datos recopilados. Los resultados mostraron graves daños en estructuras, equipos y accesorios causados por la intensa agresividad del entorno. Las limitaciones afectaron al acceso a la información sobre accidentes e incidentes relacionados con procesos corrosivos en este entorno. Este trabajo es original en la medida en que abarca los efectos de una atmósfera extremadamente agresiva en el entorno de estudio. La conclusión es que la corrosión en plataformas en tales condiciones plantea graves riesgos de colapso estructural, así como daños potenciales para los trabajadores y el medio ambiente.

Palabras clave: integridad estructural; corrosión; degradación; estructuras; desmantelamiento.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel. +52 1 983 419 8241, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil atualmente passa por um momento de grande transformação na indústria de óleo e gás natural. Com as descobertas de grandes campos de exploração em águas ultraprofundas, a indústria petrolífera nacional tem investido em novas tecnologias para viabilizar a produção comercial nesses campos. De forma relevante, também tem se buscado a revitalização dos campos petrolíferos ditos maduros, conforme vem ocorrendo com uma das importantes bacias sedimentares brasileiras: a Bacia de Campos, localizada no Estado do Rio de Janeiro (RJ). Os projetos de revitalização de campos maduros de exploração de petróleo e gás natural na Bacia de Campos contam com investimentos de mais de U\$\$ 18 bilhões programados para os próximos quatro anos e por conta disso requerem o emprego de unidades de exploração e produção com tecnologias mais avançadas para as demandas dos novos projetos. Todavia para que novas unidades de grande porte iniciem seu processo produtivo em campos maduros, é necessário a remoção de unidades com menor eficiência (Agência Petrobras, 2023).

A Bacia de Campos, como pioneira na atividade de exploração e produção em águas profundas brasileiras, possui sistemas de exploração e produção de óleo e gás natural com idade superior a 30 anos de produção. A consequência disso, obsolescência de tecnologia, e o não atendimento às novas demandas de exploração e produção em lâminas de água cada vez mais profundas, por limitações tecnológicas. Além disso, algumas plataformas possuem tempo de vida muito maior em comparação ao seu tempo de exploração e produção; pois passaram de unidades flutuantes à plataformas de óleo e gás natural, pelo processo de conversão de casco. Face a isso, os problemas patológicos surgem de forma mais rápida, comparada a unidades que não foram construídas a partir de cascos embarcações que possuem histórico de operações. Alguns dos problemas patológicos com causa no envelhecimento são: de integridade estrutural, redução de espessura de sistemas (casco, anteparas em tanques de carga e lastro, estruturas de tanque de colisão, submarino, caldeira e outras) e furos em linhas ou tanques (Costa, 2019; Misra, 2016).

Todos esses problemas causados pelo processo de envelhecimento das unidades marítimas, aliados à agressividade extrema do ambiente offshore e queda da produção de óleo e gás natural nos campos petrolíferos, podem ser determinantes para decisão do operador pelo descomissionamento de seu sistema de exploração e produção. Para da Silva & Mainier (2009), a justificativa do processo de descomissionamento de unidades offshore em campos maduros, de forma individual ou combinada, tem precedente na baixa capacidade de produção de unidades obsoletas, queda de produtividade do poço e custos de produção. O descomissionamento de sistemas de óleo e gás natural offshore pode ser entendido como um conjunto de atividades orientadas para o abandono de um poço ou encerramento de uma unidade de exploração, produção ou armazenamento de óleo e gás, assim como é previsto para as unidades: P-07, P-08, P-09, P-12, P-15, P-18, P-19, P-20, P-25, P-26, P-32, P-33, P-35, P-37 e P-47, cuja a curva de produção, de janeiro de 2020 à dezembro de 2022, é apresentada na **Figura 1**. (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2023; M'Pusa, 2017)

Petróleo (bbl), Petróleo Equivalente (boe), Gás Natural (mil m3), Água (m3) e Período por Data

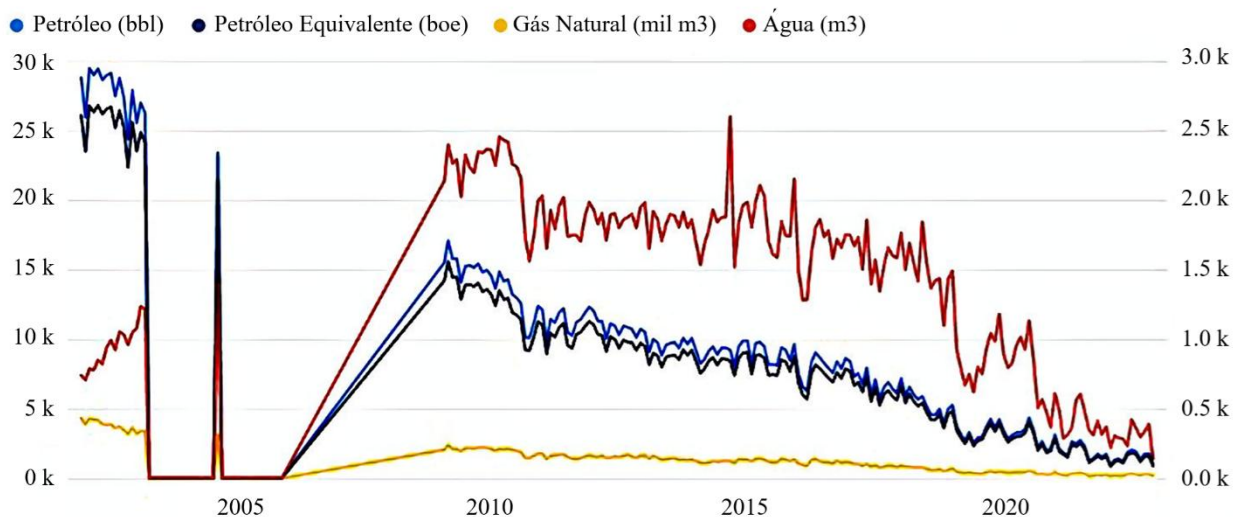


Figura 1. Declínio da produção em plataformas petrolíferas da Bacia de Campos com descomissionamento aprovado.

Na região da Bacia de Campos há o interesse em manter a continuidade da exploração e produção nos campos maduros, através da instalação de unidades produtoras de óleo e gás natural mais modernas. Para isso, a fim de que as novas unidades sejam instaladas, é necessário o descomissionamento de sistemas com idades avançadas e menos vantajosos do ponto de vista econômico ou que se tornaram obsoletos. Até o final de 2022 foram submetidos 96 Programas de Descomissionamento de Instalações (PDI) ao ente público do governo brasileiro responsável por promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP), sendo 25% destes pertencentes a Bacia de Campos. Os PDIs são programas que incorporam informações, procedimentos e estudos necessários ao planejamento e à execução das atividades de descomissionamento, estando entre os programas submetidos os que constam como análise temporariamente suspensa (sobrestado) e aqueles cuja análise foi definitivamente suspensa (encerrado). Nesse último caso, o operador deve submeter um novo PDI à ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023; Agência Petrobras, 2023).

Historicamente a decisão de descomissionar plataformas de óleo e gás natural em águas rasas, tem precedente plataformas instaladas no Golfo do México, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, região sob jurisdição dos Estados Unidos da América. Segundo de Almeida et al., (2017), grande parte das plataformas do Golfo do México já foram descomissionadas; no período compreendido entre o início de 2002 a janeiro de 2016, a *Bureau of Safety and Environmental Enforcement* (BSEE) recebeu 2.601 pedidos de licença para descomissionamento de plataformas de óleo e gás natural no Golfo do México. Desse total, ocorreram mais de 1000 descomissionamentos de unidades no período de 2010 a 2014, com custos em torno dos US\$ 9 bilhões de dólares; todavia, até julho de 2019, das 7.209 unidades petrolíferas instaladas no Golfo do México sob jurisdição dos Estados Unidos América, apenas 1.852 plataformas de óleo e gás continuam produzindo (Oudenot et al., 2017). Não distante disto, unidades de exploração e produção instaladas no Mar do Norte, quando comparada as unidades locadas no Golfo do México, de acordo com a Herrera Anchustegui et al. (2021) e Stacey & Livsey (2016), das 1.357 unidades que estavam operando no Mar do Norte com idade média de 25 anos de produção, são esperados que ocorram até o ano de 2050 o desmantelamento de cerca de 470 plataformas, 5000

poços, 10.000 km de oleodutos e 40.000 blocos de concreto, motivados pela queda do preço do barril de petróleo em 2014 e o envelhecimento das unidades de exploração e produção.

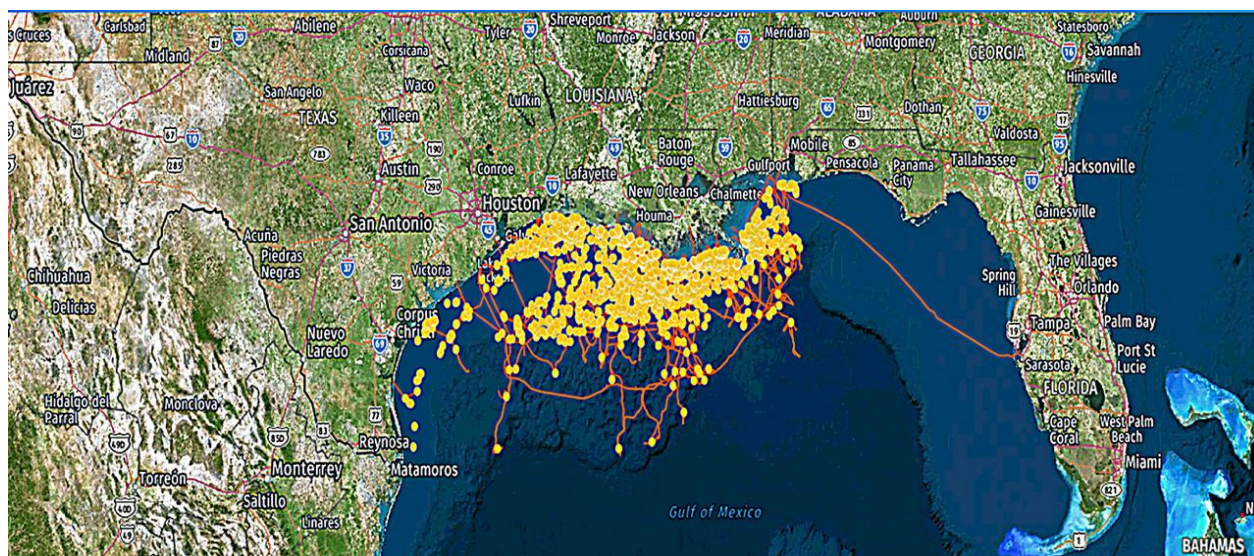


Figura 2. Unidades de produção de óleo e gás natural em operação no Golfo do México.

Fonte: <https://skytruth-org.carto.com/> (2022)

As atividades para o descomissionamento de sistemas de exploração e produção de óleo e gás e um processo complexo, cuja complexidade não é apenas pelo atendimento às exigências entidades do governo (Marinha do Brasil, IBAMA e ANP, por exemplo), mas também pela falta de experiência nacional neste processo que levam essas unidades permanecerem muito mais tempo em sua locação do que o desejado (de Souza K. A et al., 2021). Um dos desdobramentos disso, somado as mudanças de prioridade de investimento, é a degradação por processos corrosivos que resultam em perda de contenção, colapso, fragilização e deformações de estruturas. Isso, além de impor mudanças na distribuição dos esforços, também podem ser determinantes para ocorrência de eventos invejáveis, como acidentes e incidentes envolvendo pessoas ou equipamentos.

1.1 Aços para construção naval

Para garantia da durabilidade das estruturas navais, os aços para construção naval, diferentemente dos aços de uso geral, que possuem garantia somente de sua composição química, de acordo com a Usiminas (2020), o aço naval destinado a construção de anéis e blocos requerem exigências de garantia das propriedades mecânicas em ambientes com grau de agressividade elevado, conforme aqueles pertencentes a categoria de corrosividade CX da International Standard 12944-2 (2017). Outra especificidade do aço naval é que além de ser regido pela ASTM International A131/A131M (2019), esse também precisa ser certificado pelas principais entidades classificadoras internas, como:

- American Bureau of Shipping (ABS);
- Bureau Veritas (BV);
- Det Norske Veritas (DNV);
- Germanischer Lloyd (GL);
- Lloyd's Register of Shipping (LR);
- Nippon Kaiji Kyokai (NK);

As sociedades classificadoras também possuem a atribuição de estabelecer especificações mínimas para aços navais de aplicações estruturais, que são de cumprimento obrigatório pelo armador. Assim, para que as exigências sejam alcançadas, são controlados os processos de manufatura,

tratamento térmico e método de desoxigenação. Esses controles também são extensivos à composição química do material e aos valores mínimos para tensão de ruptura, tensão de escoamento, alongamento e a resistência ao choque; sendo necessário ainda que a peça metálica apresente boa resistência à fratura e boa soldabilidade (de Brito & Gordo, 2004).

As propriedades físicas, químicas e mecânicas inerentes aos aços com aplicações estruturais, permite que sejam divididos em dois grupos, conforme cita Misra (2016): os aços correntes não ligados e os aços de alta resistência. O primeiro grupo é designado pelos graus A, B, C, D e E, que são distintos entre si pela composição química e microestrutura do material, embora possuam os mesmos valores para as tensões de ruptura, escoamento e deformação após a ruptura. Outro parâmetro para distinção dos graus dos aços navais e a capacidade de absorção de energias na presença de entalhes, que varia em razão do teor de magnésio, do método de desoxidação e refinamento dos grãos, e do tratamento térmico aplicado

Para as classes dos aços de alta resistência, a distinção das classes dos aços correntes não ligados, cujo limite mínimo de escoamento está em torno de 235 MPa, ocorre pela existência de três limites de escoamento, conforme mostra a Tabela 1, e pela temperatura de impacto. Essa última varia de - 40 °C à 20 °C, para aços correntes não ligados, e - 60 °C à 0 °C, para aços de alta resistência.

Tabela 1. Tensão de escoamento para aços de alta resistência e temperatura de impacto.

Tensão de escoamento		Tensão de tração		Tensão de impacto
AH		32	36	40
DH				
EH				
FH				
Tensão de escoamento		315 MPa	350 MPa	390 MPa
Temperatura de impacto em graus Celsius				
- 60	- 40	-20	0	20
Grau do aço				
-	CS, E	D	B	A
FH	EH	DH	AH	-

Adaptada de Misra (2016)

Desta forma, visando a garantia da durabilidade do projeto a escolha do grau de aço que será empregado nas diversas estruturas que compõe uma embarcação, é sugerido por de Brito e Gordo (2004), que os critérios adotados devem considerar o local de instalação ou função e espessura da peça. Para exemplificar isso, o aço carbono comum para construção naval pode ser empregado na confecção da viga-navio e seus elementos transversais, no casario e pisos internos. Já os aços de alta resistência são indicados para aplicações em reforços locais de pórticos para assentamento de lança de guindaste, para apoio do *flare* e suportes das guias de amarração da embarcação, por exemplo (Misra, 2016).

1.2 Corrosão no ambiente offshore

Os ambientes offshore sob jurisdição do governo brasileiro são locais típicos de clima temperado, categorizado como extremamente agressivo, de acordo a International Standard 9223 (2012), com perdas de massa que variam de 1.500 g/m² a 5.500 g/m² (aço de baixo carbono) e 200 g/m² a 700 g/m² (cinco). As perdas de espessuras ficam em torno de 60 µm a 180 µm (aço de baixo carbono) e 8,4 µm a 25 µm (zinco), em todos os casos, após o primeiro ano de exposição. O processo corrosivo é uma forma que o material retorna ao seu estado natural, sendo descrito por Gentil (2017) como reações químicas heterogêneas ou eletroquímicas, que ocorrem entre a superfície do material metálico, no geral, e o meio corrosivo. As formas como esse fenômeno ocorre podem ser

classificadas quanto a sua morfologia, causas ou mecanismos, fatores mecânicos, meio corrosivo e a localização do ataque.

Morfologicamente os processos corrosivos podem se apresentar, no ambiente offshore, em torno de cordão de solda, de forma generalizada, em fretas e alvéolos, de forma mais corrente. Nos processos que envolvem solda, Zeemann (2013) descreve que existe uma preferência do processo de corrosão se estabelecer nas regiões soldadas, tendo como causa a ocorrência de efeitos galvânicos, de tensão residual e de superfícies - frestas. No primeiro caso a ocorrência se deve a diferença na composição química entre o metal base e o metal da solda, associada a presença de um meio aquoso (ou pelo acúmulo de precipitações - eletrólito), potencializando a corrosão localizada, principalmente a intergranular. Para os casos envolvendo tensões residuais, essa pelo fato de ser maior na região da solda, favorece os mecanismos de corrosão por tensão, corrosão-fadiga e pela fragilização por hidrogênio. Por último, os efeitos de superfície podem dar origem ao processo de corrosão localizada, que são justificados pelas descontinuidades superficiais na região da solda, quando não for devidamente usinada.

Quando o processo corrosivo ocorre de forma generalizada, conforme retrata Pannoni (2015), é perceptível a perda uniforme da massa por toda superfície metálica, podendo ocorrer por meio eletroquímico ou químico (via úmida ou seca). A alta concentração de cloretos e sulfetos na forma de sais presentes nos oceanos são transportados para atmosfera e se sedimentam sobre as superfícies metálicas expostas em ambientes offshore. Considerando a elevada umidade em ambientes offshore, esse se torna extremamente agressivo: pois é grande a probabilidade de a água presente na atmosfera reagir com sais depositados nas superfícies das estruturas metálicas offshore. Diante disso, importantes considerações no dimensionamento estrutural, como por exemplo a escolha do material, prevenção e tratamento da corrosão atmosféricas, estão associadas a maior parte dos problemas que envolvem corrosão metálica, por exposição externa de estruturas primárias e secundárias em plataformas offshore (Gentil, 2017).

Na corrosão alveolar, Figura 1, há a caracterização da superfície pela formação de cavidades com pequenos diâmetros e grandes profundidades, podendo acarretar furos na peça (Ballesteros et al., 2009). É comum em materiais formadores de películas semi-protetoras ou com deposição de eletrólito (água do mar em suspensão), ou ainda com favorecimento da aeração diferencial, que consiste em um tipo de corrosão provocada pela diferença da concentração de oxigênio no eletrólito; isto é, quanto maior a concentração, mais catódica será a região (ABRACO, 2017).



Figura 1. Corrosão alveolar.

Quando a degradação do material iniciada em frestas, ocorre a formação de uma pilha de concentração semelhante ao processo de corrosão galvânica. Neste caso, ocorrerá a diferença de concentração de íons ou gases dissolvidos na solução eletrolítica entre duas regiões de uma mesma peça metálica, com deterioração da região onde existe menor concentração de íons ou gases dissolvidos (Callister & Rethwisch, 2020). As frestas são aberturas com milésimos de um (01) centímetro espessura, propícias a entrada e estagnação do eletrólito. A estagnação ocorre entre as regiões de aberturas da peça metálica, que também serve de depósito para sujeiras ou produtos da corrosão, fornecendo condições para que o oxigênio dissolvido seja exaurido de forma localizada, iniciando o processo de oxidação do metal nessa região. Isso é possível devida a movimentação dos elétrons da reação eletroquímica para as regiões adjacentes do metal, onde serão reduzidos. A Figura 2 mostra a ocorrência desse processo em uma ligação rosqueada ao longo de uma linha de combate a incêndio.



Figura 2. Corrosão em fresta de ligação rosqueada de uma linha de incêndio.

Em equipamentos em que os gases produzidos são lançados na atmosfera em altas temperaturas, poderá ocorrer o processo conhecido como corrosão à quente. A corrosão à quente é um processo acelerado de deterioração do material, quando sua superfície se encontra sob temperaturas elevadas, na presença de sais contaminantes. Em estruturas metálicas superaquecidas é causada pela ação combinada da oxidação do metal e a reação do óxido formado com sais (como sódio e potássio) presentes no ar ou depositados nas zonas quentes desse equipamento. Esses sais darão origem a um sal fundido que ao se liquefazer destrói a camada protetiva de óxidos; e para casos que ocorra a combinação desses sais com o gás enxofre proveniente da queima de combustível fóssil, haverá formação de compostos mais complexos e mais agressivos (Biava, 2019; Rijeza, 2020).

Uma das formas de se combater os efeitos deletérios da corrosão em unidades offshore são através de equipes de manutenção ou campanhas de manutenção. As campanhas de manutenção são grandes volumes de obras realizadas por uma unidade flutuante de manutenção de segurança, com investimentos que podem chegar a 220 milhões de dólares americanos e visam assegurar e reestabelecer a integridade de plataformas de exploração e produção de óleo e gás natural para garantir a segurança de pessoas, da navegação e proteção ao meio ambiente. No entanto, no processo de descomissionamento essas campanhas param de ocorrer e há a redução nas equipes de

manutenção da plataforma, trazendo prejuízos no gerenciamento dos efeitos da degradação da instalação e equipamentos, que se tornam mais severos a medida que a unidade permanece mais tempo na locação sem produzir (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2020; Agência Petrobras, 2022).

Cabe frisar que a integridade de navios e plataformas offshore é um dos pilares necessários para garantia das atividades, seja de operação ou de em fase de descomissionamento, e sua ausência é motivo de preocupação das operadoras de campos petrolíferos, no que diz respeito a quesitos de segurança da instalação e de processo, nos sociais, econômicos e ambientais. Além disso os problemas relacionados a integridade mecânica da unidade marítima podem resultar em atrasos no cronograma das atividades voltadas para descomissionamento, ou mesmo inviabilizar temporariamente a saída da locação (Animah et al., 2016; Palkar & Markeset, 2012)

2. METODOLOGIA

Apresenta-se a seguir um estudo de caso de uma plataforma petrolífera em processo de descomissionamento, situada na Bacia de Campos, região sudeste do Brasil. A metodologia aplicada ao seu desenvolvimento buscou, através do levantamento bibliográfico, trazer ao leitor os tipos de corrosão que ocorrem nesse ambiente e variáveis como recursos humanos, priorização de atividades voltadas para o descomissionamento da unidade offshore e atrasos no cronograma de saída da locação, que produzem cenários de corrosão severa de estruturas, equipamentos e acessórios.

2.1 Pesquisa Bibliográfica

O levantamento bibliográfico considerou trabalhos publicados sobre a indústria da construção naval e processos de corrosão, com objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema da corrosão em plataformas offshore em processo de descomissionamento. Com objetivo de trazer para o leitor uma exploração atualizada do tema, optou-se pela pesquisa de trabalhos publicados no período de 2017 a 2023; entretanto, devido à relevância de determinadas obras mais antigas para a pesquisa, elas também foram consideradas neste trabalho.

2.2 Levantamento de dados

O levantamento de dados referentes ao assunto ocorreu junto aos órgãos de controle brasileiro, bem como aquisição de registros fotográficos que possibilitassem maior compreensão do leitor. Os dados solicitados sobre ocorrência de eventos (acidentes, incidentes, registros de não conformidades e outros) são datados do período de janeiro de 2015 a dezembro de 2021, requisitados através do portal de Acesso à Informação do Governo Federal Brasileiro e foram direcionadas aos operadores de campos de exploração e produção, a Marinha do Brasil e a ANP. No entanto, embasados na Lei de Acesso à Informação brasileira, algumas solicitações não foram atendidas.

2.3 Aquisição e tratamento de dados

Os dados referentes as ocorrências de acidentes envolvendo colapso de estruturas por corrosão foram obtidos através Sindicato dos Petroleiros do Norte Fluminense do Rio de Janeiro – SINDIPETRO NF. A entidade sindical se mostrou uma opção à aquisição de dados, haja vista a obrigação legal do empregador comunicar à representação sindical do trabalhador sobre a ocorrência de acidentes. Os registros levantados foram os de comunicação de acidentes de trabalho (CAT) ocorridas entre janeiro de 2015 e dezembro de 2021, cujo objetivo foi identificar ocorrências cujo fator gerador ligado está relacionado com corrosão de estruturas, equipamentos ou acessórios. Após análise dos eventos, não foi possível distinguir acidentes que possuem como causa

contribuinte a corrosão de estruturas, equipamentos e acessórios, daqueles onde essa causa não está presente. Sendo assim, os dados obtidos não foram aproveitados nesta pesquisa.

Finalmente, entre o final do segundo semestre de 2021 e o primeiro de 2022, ocorreu a aquisição de registros de imagens através de inspeção visual, em uma plataforma offshore em descomissionamento, que retratam a problema da corrosão em unidades offshore em descomissionamento, com tempo médio de produção de 25 anos, fazendo analogia com as referências trazidas nesta pesquisa. A seleção prévia dos locais inspecionados levou em consideração a proximidade com costado, popa e proa da plataforma offshore, que são regiões próximas linha d'água. Os locais de acúmulo de poeiras e umidade, bem como estruturas com cargas concentradas e metais distintos em contato, tiveram atenção especial por serem locais de preferência de desenvolvimento da corrosão. Também foram considerados para inspeção a praça de máquinas, por conter emissões fungicidas da queima de combustível fóssil, vapores de produtos químicos, umidade e sais captados pelo sistema de ventilação ou provenientes de vazamentos de tubulações de água salgada, que passam pelo interior do ambiente.

Finalmente, a escolha pela inspeção em uma plataforma offshore na Bacia de Campos levou em consideração o maior número de processos de descomissionamento, a nível Brasil, e a grande parte de seus sistemas produtivos possuem idade de produção superior a 25 anos. Além disso, para este trabalho, foi considerada uma unidade offshore que apresentava atrasos no cumprimento do cronograma de atividades destinadas a viabilizar a remoção da locação, o que resultou em sua permanência na área de operação por um período maior que o previsto, com redução das atividades de preservação e manutenção, mão-de-obra própria e contratada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados registros de danos causados por processo corrosivos em uma plataforma em fase de descomissionamento, bem como propostas para recuperação da estrutura ou a preservação da integridade. Todavia, é importante frisar que se tratando de um sistema offshore em descomissionamento, o interesse na integridade de estruturas e sistemas críticos de segurança, como o anel de incêndio, está focado na segurança de pessoas, instalação e meio ambiente. Assim, os danos registrados estão relacionados aos vínculos da estrutura, colapso estrutural, e fragilização estrutural e deformações que comprometam ou possam a vir comprometer a integridade do sistema.

3.1 Colapso estrutural

Os sistemas de iluminação de uma unidade têm a função de assegurar a boa visibilidade em locais abrigados ou em período noturno. Para garantir a continuidade dos serviços necessários ao descomissionamento, devem ser mantidas integras e em bom funcionamento, pelo menos até a destinação final da Plataforma offshore, diferente do que do ocorre na Figura 3. Em ambos os casos houve corrosão da chapa plana ligada a estrutura, base do poste metálico, causando perda de massa severa na base dos postes (A1 e B), conforme detalha a “A2”. Além disso, em “A1”, na área destacada em vermelho, pode se evidenciar processo de corrosão acentuada na ligação entre o suporte de um equipamento e o poste metálico.

Dada sua importância para continuidade de atividades, para recuperação da estrutura, deve-se realizar limpeza das áreas afetadas pela corrosão (inclusive piso) por tratamento mecânico (uso do desincrustador pneumático, popularmente conhecido como agulheiro pneumático, ou lixadeira), substituição das chapas planas da base e pintura. É importante que os cordões de solda da base recebam acabamento que não propiciem o acúmulo de eletrólito e sólidos.



Figura 3. Colapsos pela corrosão da base de postes de iluminação metálicos.

Abaixo, Figura 4, na área de recebimento de *risers*, que se situa próxima aos limites físicos da unidade marítima, Em “A” se observa a fragilização por corrosão do suporte cilíndrico de uma linha óleo descomissionada, levando-o a ruptura e fazendo com que os flanges (detalhe A1 e A2) assumam de apoio do trecho da linha. Em “B” os ataques foram mais significativos nas regiões do cordão de solda dos *spools*, que tendem a ser depósito de sujeiras e eletrólito, comprometendo completamente a capacidade portante da linha, que necessitou escorada por perfis tubulares. Considerando que em ambos os casos não há interesse pela recuperação da estrutura, já descomissionadas, o risco de colapso estrutural pode ser mitigado com o corte e remoção dela.



Figura 4. Danos em linhas e acessórios.

3.2 Deformações

O anel de incêndio, Figura 5, é responsável pelo escoamento forçada da água para combate ao incêndio em sistemas fixos, como o dilúvio, hidrantes, canhões manuais e automáticos. No trecho do anel de incêndio sobre o convés principal da unidade marítima, próximo ao costado da plataforma, ocorreu a flambagem lateral e torção do perfil “U” (registros B e C), que apoia a geratriz inferior do trecho. Embora o perfil esteja pintado, é perceptível a corrosão na região de dobramento da aba (registro B) soldada ao piso da embarcação, onde há concentração de tensões. No detalhe exibido em “C” se observa uma área de trinca no perfil metálico, com a ruptura ocorrendo na extremidade direita do perfil “U”.

Para evitar a sobrecarga do de apoio pela redistribuição de cargas, bem no deslocamento do trecho da linha que resulte em acréscimo de tensão, o elemento estrutural em falha pode ser substituído por outro apoio não metálico, fixado com resina epóxi, por exemplo.



Figura 5. Deformação e trinca em perfil metálico.

No trecho do anel de incêndio compreendido no interior da praça de máquinas - local sujeito a emissões fungicidas de gases (CO , CO_2 e H_2) de equipamentos, altas temperaturas e umidade -, embora o dano ainda não tenha ocorrido nos registros “A” e “B” da Figura 6, a deformação da cantoneira que apoia parte do trecho do anel de incêndio impõe esforço de flexão no parafuso da ligação entre o grampo e cantoneira, onde a maior quantidade de perda de massa é percebida na aba em contato com a geratriz inferior da tubulação. É importante frisar que as ações que está sujeita a estrutura não são devidas apenas ao peso próprio do trecho do anel e coluna de água no interior: deve-se considerar as forças geradas pela transferência de massa do fluido e vibrações transmitidas pelo funcionamento das bombas de incêndio, quando o sistema entra em funcionamento.

Dada a possibilidade de já ter ocorrido a formação da rotula plástica da cantoneira da que apoia o trecho destacado do anel e a verificação da perda de massa, é viável a execução de escoramento ou suspensão do *spool* com uso de talhas, para que a cantoneira inferior seja substituída. As cantoneiras verticais e grampo devem receber tratamento mecânico comagulheiro pneumático ou lixadeira e pintura para proteção corrosiva, bem como a nova que será instalada. Os parafusos da ligação precisam ser substituídos e uma faixa de material polimérico deve ser aplicada na parte interna do grampo, assim como na aba da cantoneira que está em contato com a geratriz inferior do *spool*.



Figura 6. Flexão em parafuso e deformação da cantoneira que apoia o *spool*.

Fechando o tópico sobre deformações, na



Figura 7 é observada a esteira de uma linha de *offloading*, responsável pela acomodação e traslado dela, carregada com o peso próprio, o peso do carrinho (A1, seta laranja) e peso do mangote de *offloading*, sinalizado pelas setas amarelas em “A” e “B”. A estrutura apresenta pontos de corrosão em toda extensão, sendo o trecho indicado em B o que apresenta danos mais severos. Isso porque, a carga concentrada, juntamente com a perda de massa da excessiva próxima a região de apoio, favoreceu o fenômeno de *cripling* da estrutura, que pode ser interpretado como uma falha localizada causada pelo “esmagamento” da alma.

Neste caso, o descomissionamento da unidade marítima se encontra na etapa limpeza, inspeção e reparo dos tanques de carga, quando necessário. Face a isto, tem-se com encerradas as operações de *offloading*. Sendo assim, considerando a redução de mão obra disponível e as expectativas de remoção da plataforma da locação, é recomendável a remoção do mangote de *offloading*, roletes da esteira e do carrinho, visando a redução de carga na estrutura. Quanto ao *cripling* da estrutura, pode-se remover o trecho da esteira da coluna de jusante à coluna de montante, considerando a coluna em falha como referência, reduzindo o consumo de horas-homem trabalhadas para o planejamento e execução da atividade.



Figura 7. *cripling* na coluna da esteira de uma linha de *offloading*.

3.3 Degradação de vínculos estruturais

As ligações em estruturas metálicas são regiões que merecem grande atenção em ambientes extremamente agressivos. São regiões que quando concebidas de forma anômalas, isto é, sem acabamento ou aberturas que impeçam o acúmulo de sólidos e água em frestas, que são locais preferenciais para ocorrência da corrosão. Na Figura 8, a estrutura treliçada recebe as cargas de parte do piso de um módulo de produção e equipamentos sobre ele. No primeiro detalhe destacado, A, o topo da barra vertical, diferente da configuração original, permanece com restrição de deslocamento somente na direção vertical. Em “B”, nó da base da estrutura destacado, a perda de massa devido ao avançado processo corrosivo resultou na perda do vínculo na extremidade inferior

da diagonal, permitindo os deslocamentos propostos pelas setas desenhadas em “B”. Para amenizar o problema, foi utilizada perfis tubulares para impedir deslocamentos na estrutura. Visando a prevenção do colapso global da estrutura, existe a necessidade de realização do delineamento do serviço, para: corte dos segmentos com perda de massa; tratamento mecânico da região do topo base e demais pontos necessários; substituição e solda dos segmentos removidos, atentando para acabamentos no cordão de solda que favoreça o escoamento da água; pintura e aplicação de revestimento hidrofóbico nos nós da treliça.

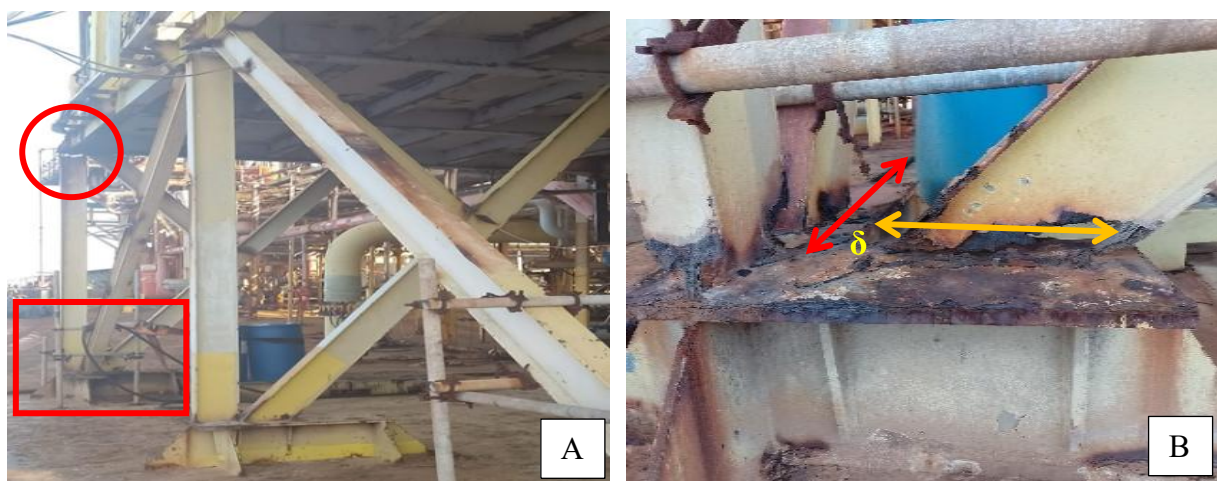


Figura 8. Degradação das ligações soldadas e alterações nos vínculos das estruturas.

Semelhante ao ocorrido na Figura 8, a treliça espacial localizada no meio da plataforma offshore, Figura 9, convés superior, observa-se a degradação quase que total do nó em uma altura elevada da treliça espacial, formado por perfis soldados. Uma das funções dessa estrutura, formada por perfis “H” ligados por solda, é receber as cargas transmitidas por equipamento sobre os pisos gradeados. Nesse caso também foram instalados perfis tubulares para impedir o deslocamento do nó. Para eliminar o risco de colapso global da estrutura e possibilidade de danos as pessoas e equipamentos, bem como ao meio ambiente, pode ser aplicado o mesmo processo sugerido na Figura 8.



Figura 9. Falha local no nó da treliça espacial por perda de massa excessiva, causada por processo corrosivo.

3.4 Danos chapas de piso, grades e vigas

As chapas destinadas aos pisos em plataformas em descomissionamento também estão sujeitas ao processo corrosivo, conforme notado na Figura 10. Como solução paliativa foram colocadas planchas metálicas soltas sobre o piso, que nada impede o avanço do processo corrosivo generalizado e perda de massa, responsáveis pela abertura de fenda na chapa do piso do módulo. Tal situação pode se tornar uma verdadeira armadilha ao usuário, que sem conhecer a extensão dos danos a estrutura, terá reduzida sua percepção de riscos em decorrência da falsa sensação de segurança transmitida. Portanto, é essencial avaliar a extensão dos danos causados pela corrosão generalizada, removendo e substituindo as áreas com perda significativa de resistência mecânica, além de realizar o tratamento mecânico e a pintura.

Cabe destacar que a forração com planchas de alumínio do piso do módulo, sem que tenha executado o tratamento adequado, dificultará a visualização do avanço do processo corrosivo e consequentemente a avaliação satisfatória acerca da segurança estrutural do piso e estruturas ligadas a ele.



Figura 10. Efeitos da corrosão em pisos e vigas metálicas.

A Figura 11 também relata problemas envolvendo o piso da estrutura, mas desta vez relacionados aos pisos gradeados. No primeiro registro, A, houve a degradação total das abas e de parte da alma da viga continua totalmente engastada, que recebe as cargas transmitidas pelo piso gradeado. Com os danos causados pela corrosão na região da solda, somente parte da região da alma continua engastada ao pórtico. Já no segundo, B, ocorreu a degradação da solda entre uma das vigas do patamar de descanso e a viga adjacente. Com isso, as extremidades dos perfis, onde ligação foi rompida (as partes estão somente encostadas), passam a se comportar como “livres”, permitindo deslocamentos verticais e transversais, conforme detalhado em “B”. Como efeito secundário, poderá ocorrer a torção na grade do patamar de descanso e degraus, produzindo esforços de tração nos grampos de fixação dos gradis do piso patamar de descanso e de torção nos parafusos da ligação entre vigas e degraus.

Ao passo que o registro “B” necessitará da remoção do trecho afetado, tratamento mecânico, substituição da parte removida e pintura; em “B” é possível adoção de reforço estrutural, após o tratamento adequado da corrosão, através da colagem ou solda de chapas planas e/ou cantoneiras na alma e/ou mesa das vigas, de acordo com a análise feita pelo projetista, tomando os devidos cuidados no acabamento para evitar acúmulo de água nas interseções das estruturas.



Figura 11. Ruptura por corrosão na interseção viga - coluna (A) e viga - viga (B).

3.5 Punção em estrutura com corrosão

Alguns danos em estruturas metálicas ocorrem fora do campo de visão de usuários das instalações, por estarem em locais de difícil acesso ou de altura elevada, com o caso “chapéu de bruxa” sobre a abertura da descarga de gases quentes de uma turbomáquina offshore, como exibido na Figura 12. No caso em questão, os gases aquecidos produzidos pela queima de combustível fóssil do turbo compressor desencadeou o processo de corrosão a quente na descarga do equipamento, produzindo corrosão generalizada e redução da resistência mecânica do material. A consequência disso foi a punção na casca (B), a qual precisou ser removida (C) para que as cargas de vento não a laçasse sobre as pessoas e equipamentos na plataforma petrolífera.

Embora a avaliação da integridade de elementos como o “chapéu de bruxa” seja prejudicada pela localização, existe a possibilidade do uso de drones com câmeras para visualizar e avaliar danos em estruturas como essa.

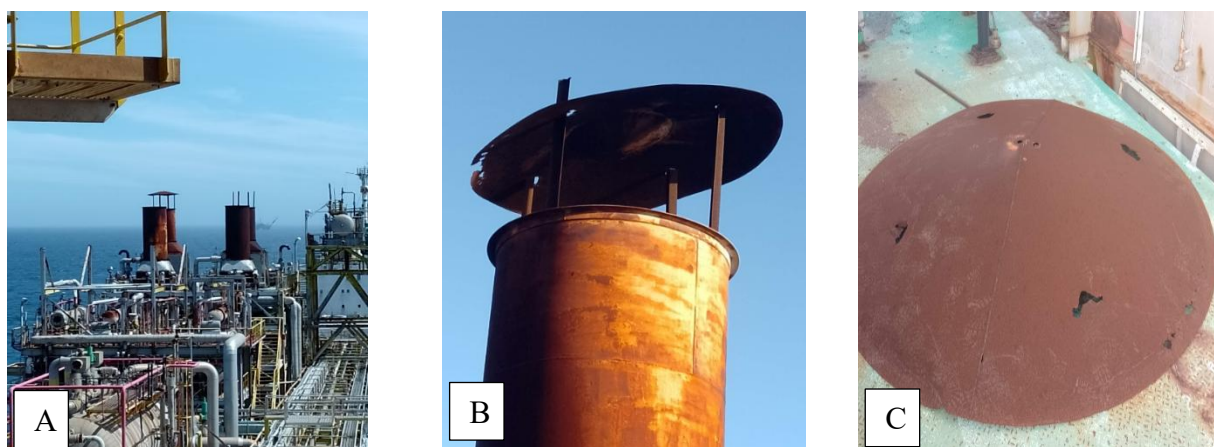


Figura 12. Punção em casca metálica.

4. CONCLUSÕES

O descomissionamento de unidade offshore é uma atividade complexa que requer a interação de diversas áreas da engenharia e desperta determinada preocupação dos operadores dos campos de exploração e produção. Essa preocupação não se deve apenas aos altos custos envolvidos no processo, mas também pelos atrasos de cronograma, questões ambientais, de integridade estrutural e segurança industrial. Nesse trabalho foi abordado a questão da perda de integridade estrutural ou falhas, sendo em ambos os casos resultado dos processos de corrosão, em um ambiente

extremamente agressivo, em plataforma de exploração e produção de óleo e gás natural, com resultado no colapso estrutural, deformações, perdas de vínculos na estrutura e surgimento de esforços não considerados no funcionamento normal das estruturas, podendo trazer problemas graves na rotina da unidade offshore.

Nas inspeções visuais realizadas em peças, acessórios e estruturas, foi constatado o quão grave é o processo de corrosão em um ambiente extremamente agressivo, intensificado pela fase de descomissionamento da unidade offshore. Como consequência, emergem riscos de colapso das estruturas e a possibilidade de danos aos trabalhadores e ao meio ambiente, que devem ser controlados para evitar desdobramentos decorrentes de acidentes de trabalho. Tais incidentes podem gerar atrasos no cronograma de descomissionamento da unidade marítima devido a pendências impostas por entidades fiscalizadoras, embargos ou interdições, além de processos judiciais relacionados a ações de indenização e à reparação da integridade física dos trabalhadores. Finalmente, considerando a importância de proteger a integridade dos trabalhadores e de prevenir a ocorrência de acidentes e incidentes na plataforma *offshore* em descomissionamento, é fundamental manter ações voltadas para o controle dos processos corrosivos, a recuperação de estruturas ou, quando necessário, sua remoção, desde que estas não gerem impactos negativos nas atividades essenciais ao descomissionamento. Assim, para evitar a ocorrência de eventos indesejáveis nessas unidades, torna-se indispensável a formação e manutenção de equipes especializadas na análise de riscos associados aos processos corrosivos, bem como a implementação de medidas de controle que atuem como barreiras para eliminar ou minimizar os riscos inerentes a esses cenários acidentais. Essas ações são cruciais para prevenir danos à saúde dos trabalhadores, ao meio ambiente e ao patrimônio da empresa, além de resguardar sua imagem perante investidores e autoridades competentes.

5. REFERÊNCIAS

- ABRACO (2017). *Corrosão - uma abordagem geral*. Revista Corrosão & Proteção. <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/israel/teoria/Teoria%20-%20Corrosao.pdf>
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2023). *Painel dinâmico: produção de petróleo e gás natural*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTlxIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTl0YTtytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzZkxMyJ9>
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2020). *Relatório de Investigação: Investigação do Acidente na FPSO Cidade do Rio de Janeiro*. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/relatorioinvestigaoFPRJfinal.pdf>
- Agência Petrobras (2023). *Petrobras vai investir US\$ 18 bilhões na Bacia de Campos até 2027* Agência Petrobras. <https://agencia.petrobras.com.br/pt/negocio/petrobras-vai-investir-us-18-bilhoes-na-bacia-de-campos-ate-2027-10-08-2023/>
- Agência Petrobras (2022). *Plataformas da Bacia de Campos passam por serviços de manutenção com uso de Hotéis flutuantes*. Agência Petrobras. <https://agencia.petrobras.com.br/pt/institucional/plataformas-da-bacia-de-campos-passam-por-servicos-de-manutencao-com-uso-de-hoteis-flutuantes-08-08-2022/>
- Almeida, E., Colomer, M., Vitto, W. A., Nunes, L., Botelho Tavares, F., Costa, F., Filgueiras, R. (2017). *Regulação do Descomissionamento e seus Impactos para a Competitividade do Upstream no Brasil*.

- Animah, I., Shafiee, M., Simms, N. (2016). Techno-economic feasibility assessment of life extension decision for safety critical assets. In *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice* (pp. 1248–1255). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315374987-188>
- ASTM International. (2019). *ASTM A131/A131M Standard Specification for Structural Steel for Ships* (ASTM International, Ed.). ASTM International. https://doi.org/DOI:10.1520/A0131_A0131M-19
- Ballesteros, A. F., Bott, I. de S., Ponciano, J. A. C. (2009). *Avaliação da resistência de juntas soldadas circunferenciais de aço api x-80 à corrosão sob tensão e susceptibilidade à fragilização por hidrogênio*. ABM Proceedings, 2099–2110. <https://doi.org/10.5151/2594-5327-14975>
- Biava, G. (2019). *Estudo da resistência à corrosão a baixa e alta temperatura de revestimentos PVD depositados em uma superliga de níquel*, Masters Thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4715>
- Callister, W. D. Jr., Rethwisch, D. G. (2020). *Ciência e engenharia de materiais - uma introdução*. (10th ed., Vol. 1). LTC.
- Costa, W. M. da. (2019). A Petrobrás e a indústria de petróleo no Brasil: geopolítica e estratégia nacional de desenvolvimento. *Confins*, 39. <https://doi.org/10.4000/confins.17645>
- da Silva, R. S. L., Mainier, F. B. (2009). O descomissionamento aplicado às instalações offshore de produção de petróleo sob a visão crítica ambiental. *VI Simpósio de Excelência Em Gestão e Tecnologia - SEGeT*, 1–12.
- de Brito, G., Gordo, J. M. (2004). *Tecnologia de Construção Naval: materiais metálicos*, Apostila de Aula. Universidade de Lisboa.
- de Souza K. A, da Silva L. C., Pedrosa, L. F., Barbosa, L. C. M., Costa, N. O., Loureiro, T. Y. C., de Souza Jacques, T. M. (2021). Descomissionamento offshore no Brasil: oportunidades, desafios & soluções. *Cadernos FGV Energia*, 8(11). <https://fgvenergia.fgv.br/publicacao/descomissionamento-offshore-no-brasil>
- Gentil, V. (2017). *Corrosão*. Rio de Janeiro, RJ: LTC Editora
- Herrera Anchustegui, I., Eskeland, G. S., Skjeret, F., Melnychenko, M., Lødøen, J., Brown, H. H., Lund, L. E. C. (2021). *Understanding decommissioning of offshore infrastructures: A legal and economic appetizer*. SSRN Electronic Journal. pp. 05-07 <https://doi.org/10.2139/ssrn.3882821>
- International Standard. (2012). ISO 9223 (EN): *Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation*. International Organization for Standardization.
- International Standard. (2017, November). ISO 12944-2 [Second edition]: *Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments Peintures et vernis — Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture - Partie 2: Classification des environnements*. International Organization for Standardization.
- Misra, S. C. (2016). *Design principles of ships and marine structures* (Vol. 1). CRC Press.
- M’Pusa, J. B. (2017). *Descomissionamento de plataformas marítimas: estudo comparativo dos casos Reino Unido e Brasil*, Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. <https://app.uff.br/riuff/handle/1/4098>
- Oudenot, E., Whittaker, P., Vasquez, M. (2017). Oudenot, E., Whittaker, P., & Vasquez, M. (2017). *The North Sea’s \$100 billion decommissioning challenge*. https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-The-North-Seas-%24100-Billion-DecommissioningChallenge-Mar-2017_tcm9-149950.pdf
- Palkar, S., Markeset, T. (2012). *Extending the Service Life Span of Ageing Oil and Gas Offshore Production Facilities*. pp. 213–221. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33980-6_25
- Pannoni, F. D. (2015). *Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio*. (6th ed.). Gerdau.

- Rijeza. (2020, October). *Corrosão e oxidação em alta temperatura*. Rijeza Metalurgia. https://rijeza.com.br/wpcontent/uploads/2020/10/1530721009oxidacao_e_corrosao_em_altas_temperaturas.pdf
- Stacey, K., & Livsey, A. (2016, June 13). *O petróleo do Mar do Norte: a desativação de 38 mil milhões de euros*. Diário de Notícias. <https://www.dn.pt/dinheiro/o-petroleo-do-mar-do-norte-a-desativacaode-38-mil-milhoes-de-euros-5224750.html>
- Usiminas. (2020). *Chapas Grossas*. Catálogo Técnico Usiminas. https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2020/01/CAT.-CHAPAS-GROSSAS-PORT_v3-1.pdf
- Zeemann, A. (2013). *Corrosão em Juntas Soldadas*. <http://www.infosolda.com.br/artigos/metsol08.pdf>