

## Análise experimental de reparo de compósitos na Indústria Offshore

### Experimental analysis of composite repair in the Offshore Industry

### Análisis experimental de reparación de compuestos en la Industria Offshore

Recebido: 15/01/2024 | Revisado: 25/01/2024 | Aceitado: 26/01/2024 | Publicado: 30/01/2024

#### Francisco Andson Marques

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5670-4925>  
Instituto Federal do Espírito Santo, Brasil  
E-mail: francisco.marques2@ifes.edu.br

#### Miriam Klippel

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1597-8928>  
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil  
E-mail: miriam.klippel@edu.ufes.br

#### Resumo

Com a expansão de atividades de exploração de petróleo utilizando FPSO's (Floating, Production, Storage and Offloading), alternativas que possibilitem a redução de custos da manutenção sem comprometer a confiabilidade tornaram-se essenciais para a rentabilidade do negócio. O uso de técnicas de colagem em vasos, casco de navios e tubulações destaca-se como uma boa prática por poder ser realizada no local e não acompanhar os riscos e desvantagens do trabalho a quente além de não necessitar da interrupção das atividades. O objetivo deste trabalho é analisar os resultados experimentais de ensaios realizados em juntas de aço e compósito de fibra de carbono e estabelecer a vida útil do reparo em número de ciclos à fadiga. Os corpos de prova foram confeccionados com os mesmos materiais que a PETROBRAS utiliza em campo. Foram realizados ensaios estáticos para se obter a carga máxima de deslocamento do reparo e ensaios dinâmicos com faixas variando a cada 10% de 50% a 90% da carga máxima, a fim de se obter a vida útil do reparo. Os resultados mostraram que com uma carga de 90% o deslocamento acontece logo nos primeiros ciclos e com 60% da carga máxima os corpos começaram a falhar na ordem de  $10^5$  ciclos, o que o classifica para uso. Conclui-se que a utilização de reparos de compósito submetidos a cargas de 60% apresenta vida infinita e por tanto qualificáveis para uso, sendo uma alternativa para reparo em instalações offshore.

**Palavras-chave:** Materiais compósitos; Reparos colados; Ensaio de fadiga.

#### Abstract

With the expansion of oil exploration activities using FPSOs (Floating, Production, Storage, and Offloading), alternatives that allow for cost reduction in maintenance without compromising reliability have become essential for business profitability. The use of bonding techniques on vessels, ship hulls, and pipelines stands out as a best practice as it can be carried out on-site, avoiding the risks and disadvantages of hot work and eliminating the need for activity interruption. The objective of this study is to analyze the experimental results of tests conducted on joints made of steel and carbon fiber composite and establish the repair's service life in terms of fatigue cycles. Test specimens were made with the same materials used by PETROBRAS in the field. Static tests were performed to determine the maximum displacement load of the repair, and dynamic tests were conducted with ranges varying every 10% from 50% to 90% of the maximum load to obtain the repair's service life. The results showed that with a load of 90%, displacement occurs in the first few cycles, and with 60% of the maximum load, the specimens began to fail around  $10^5$  cycles, qualifying them for use. It is concluded that the use of composite repairs subjected to 60% loads exhibits infinite life and is therefore qualified for use, presenting itself as an alternative for repairs in offshore installations.

**Keywords:** Composites materials; Bonded patches; Fatigue tests.

#### Resumen

Con la expansión de las actividades de exploración de petróleo utilizando FPSO (Floating, Production, Storage and Offloading), las alternativas que permiten la reducción de costos en el mantenimiento sin comprometer la confiabilidad se han vuelto esenciales para la rentabilidad del negocio. El uso de técnicas de unión en recipientes, cascos de barcos y tuberías destaca como una buena práctica, ya que se puede realizar en el lugar, evitando los riesgos y desventajas del trabajo en caliente y eliminando la necesidad de interrupción de las actividades. El objetivo de este estudio es analizar los resultados experimentales de ensayos realizados en juntas de acero y compuesto de fibra de carbono y establecer la vida útil de la reparación en términos de ciclos de fatiga. Las muestras de prueba se confeccionaron con los mismos materiales que utiliza PETROBRAS en el campo. Se realizaron ensayos estáticos para determinar la carga máxima de desplazamiento de la reparación y ensayos dinámicos con rangos que varían cada 10%, desde el 50% hasta el 90% de la carga máxima, con el fin de obtener la vida útil de la reparación. Los resultados

mostraron que con una carga del 90%, el desplazamiento ocurre en los primeros ciclos y con el 60% de la carga máxima, las muestras comenzaron a fallar alrededor de  $10^5$  ciclos, calificándolas para su uso. Se concluye que el uso de reparaciones de compuesto sometidas a cargas del 60% presenta una vida infinita y, por lo tanto, son cualificables para su uso, siendo una alternativa para reparaciones en instalaciones marítimas.

**Palabras clave:** Materiales compuestos; Reparaciones adheridas; Ensayos de fatiga.

## 1. Introdução

Os FPSO's (Floating, Production, Storage and Offloading) normalmente são navios que atuavam em outras atividades que foram reformados para as atividades de exploração e produção de petróleo (Cardoso, 2006; RBNA Consultant, 2018; Mikail, 2023) e esta é a forma de processamento e produção mais utilizada no Brasil (Reis, 2022; Petrobras, 2022). O reparo de trincas e danos causados por corrosão nesses navios é um dos desafios enfrentados pelas grandes companhias produtoras de petróleo uma vez que os procedimentos tradicionais envolvem técnicas de soldagem e com isso, por motivo de segurança, as operações são interrompidas (Santos, 2022).

A produção nacional de petróleo teve um aumento de 52,71% no comparativo entre os anos de 2010 e 2020, quando a PETROBRAS atingiu a marca recorde 3,7 milhões barris de petróleo equivalente por dia (ANP, 2021). Em novembro de 2023, a produção anunciada pela empresa foi de 4,67 milhões de barris por dia (ANP, 2023), então nada mais natural que aumente com isso o número de reparos.

A utilização de reparos de compósitos vem sendo utilizado cada vez com mais aceitação pela indústria offshore como uma alternativa ao reparo convencional uma vez que o tempo de um navio parado em um estaleiro e a interrupção da produção em muitos casos é algo extremamente caro (McGeorge, et al., 2009; Alves, 2020). Por não necessitar interromper a produção, pela praticidade na aplicação e por ganhos em relação a segurança e diminuição nas cargas de tensões residuais, este método vem sendo estudado por instituições de pesquisas e grandes companhias (Marques, 2015).

O objetivo desse trabalho é estudar o comportamento de reparos de compósitos através da análise de juntas coladas de aço carbono e fibra de carbono, submetidas a cargas alternativas e avaliar sua vida a fadiga.

## 2. Metodologia

Quanto à metodologia, este estudo é exploratório e busca avaliar experimentalmente um reparo colado por meio de resultados quantitativos de ensaios mecânicos destrutivos (Gil, 2017).

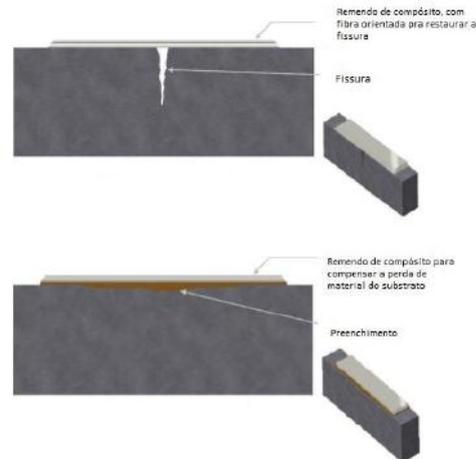
Os materiais escolhidos para os corpos de provas deste trabalho são os mesmos que a PETROBRAS utiliza para confecção dos reparos em campo. O aço A36 foi usado para simular a chaparia do casco do navio a ser reparado.

Por não existir uma norma específica para a utilização desse tipo de reparo foi utilizado as Práticas Recomendadas da Det Norske Veritas (DNV, 2012) para realização dos ensaios: DNV-RP-C301 – Práticas recomendadas para projeto, fabricação, operação e qualificação de reparos colados.

### 2.1 Reparo de compósito

O reparo de estruturas utilizando compósitos consiste na aplicação do remendo colado sobre a região que sofreu dano, como trincas ou perda de espessura por corrosão conforme ilustrado na Figura 1.

**Figura 1** - Conceito de reparo de compósito para fissuras e perda de espessura por corrosão.



Fonte: McGeorge, et al. (2009).

## 2.2 Preparação do corpo de prova

Conforme proposto pela DNV-RP-301 (DNV, 2012), o processo de manufatura do reparo, tratamento das superfícies dos materiais, o processo de laminação, o adesivo, o modo de aplicação do adesivo, o tempo de cura do laminado e do adesivo devem ser o mesmo da aplicação real.

Os corpos de prova e os ensaios das propriedades do compósito e dos adesivos deste trabalho foram confeccionados em parceria com o laboratório de Adesão e Aderência da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) no campus de Nova Friburgo, de forma a simular as características dos reparos aplicados nas instalações da PETROBRAS SA.

Para preparação dos corpos de prova foi utilizada uma chapa de aço carbono ASTM A36 (com dimensões descritas no Quadro 1) para simular o casco do FPSO.

**Quadro 1** - Dimensões da chapa de aço ASTM A36.

Chapa de aço carbono ASTM A36	
Largura	425,00 mm
Comprimento	180,00 mm
Espessura	6,35 mm

Fonte: Autores.

Primeiramente essa chapa foi limpa e desengordurada com a utilização de acetona e em seguida passou pelo processo de jateamento com granalha de aço G-40, conforme ilustrado na Figura 2, para a preparação da superfície.

**Figura 2** - Jateamento da superfície da chapa de aço.



Fonte: Autores.

Antes da aplicação da primeira camada de fibra de carbono foi aplicada sobre a superfície do material a resina Epóxi NVT (Polinova S.A., Rio de Janeiro, Brasil). Esta resina é responsável pela adesão entre o metal e o polímero. A Figura 3 ilustra o corpo de prova logo após a aplicação da resina.

**Figura 3** - Chapa de aço logo após a aplicação da resina.



Fonte: Autores.

Em seguida as lâminas de fibra de carbono foram empilhadas sobre a chapa de aço, aplicando entre cada camada o adesivo Epoxi Pipefix (Polinova S.A., Rio de Janeiro, Brasil). Ao todo foram utilizados dez lâmina de fibra de carbono de 120 mm de largura por 425 mm de comprimento para criar o reparo de compósito. A utilização de fibras em matrizes poliméricas permite o ganho da resistência proveniente dos materiais cerâmicos evitando o risco de uma fratura frágil: As fibras conduziriam a uma fratura progressiva, não repentina (Ashby & Jones, 1998).

A espessura final do reparo ficou com 6,35 mm, mesma espessura da chapa de aço. Cada lâmina é composta de duas camadas de fibra de carbono orientadas a  $\pm 45^\circ$ . A Figura 4 ilustra o processo de fabricação do reparo e a Figura 5 o reparo

depois do processo concluído.

**Figura 4** - Processo de fabricação do reparo.



Fonte: Autores.

**Figura 5** - reparo de compósito.



Fonte: Autores.

O processo de cura foi de 24 horas, e depois desse período a chapa foi cortada no sentido transversal em corpos de prova com 25 mm de largura cada. Foi realizado um corte a 90° em cada extremidade da fibra de carbono, na divisa entre o filete e a fibra. Este artifício foi realizado com o intuito de manter as características dos ensaios condizentes com as condições reais, uma vez que a contribuição do filete nas dimensões reais de aplicação não é considerada. A Figura 6 é um esquema do corpo de prova com suas dimensões e os detalhes mencionados no texto.

**Figura 6** - Esquema do corpo de prova utilizado nos ensaios.



Fonte: Autores.

### 2.3 Características do compósito

O compósito utilizado para o reparo a fibra de carbono biaxial 45°/ -45° e as propriedades do material foram identificadas através de ensaios de tração conforme a norma ASTM D3039 (ASTM - American Society for Testing Materials, 2000). Foram utilizadas quatro camadas do tecido de fibra de carbono laminados com o adesivo Epoxi Pipefix (mesmo aplicado no corpo de prova com o reparo) para a realização do ensaio. As propriedades do compósito estão apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 2** - Propriedade do compósito.

Propriedade do compósito	
Resistência à tração	651 MPa
Modulo de Young	46 GPa
Coefficiente de Poisson	0,05

Fonte: Autores.

### 2.4 Características do adesivo

Para determinar as propriedades da resina utilizada para a laminação do compósito (Epoxi Pipefix - Polinova S.A., Rio de Janeiro, Brasil) foram realizados ensaios em corpos de prova segundo a norma ASTM D638 (ASTM - American Society for Testing Materials, 2003). As propriedades encontradas durante os ensaios estão no Quadro 3.

**Quadro 3** - Propriedade do adesivo.

Propriedade do adesivo	
Resistência à tração	50 MPa
Modulo de Young	2,30 GPa
Coefficiente de Poisson	0,38

Fonte: Autores.

### 2.5 Ensaio mecânicos

Os ensaios estáticos e dinâmicos foram realizados na máquina de teste servo-hidráulica Instron (Figura 7) no Laboratório LAMAT do Centro Federal de Ensino Tecnológico Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) com célula de carga de 100kN, utilizando o modelo de flexão de três pontos. A distância entre apoios utilizados nos ensaios foi de 160 mm. A Figura 8 mostra um esquema da montagem do ensaio com as dimensões utilizadas no teste.

**Figura 7** - Máquina servo-hidráulica Instron 100kN.



Fonte: Autores.

**Figura 8** - Esquema do ensaio de flexão três pontos.



Fonte: Autores.

## 2.6 Ensaios estáticos

Os ensaios estáticos foram realizados a fim de se obter carga máxima de descolamento do reparo. Além dos ensaios em corpos de prova com o corte (CP\_FRP\_II) comentado no item anterior também foi realizado ensaios em corpos de prova sem esse corte. A ruptura nesse tipo de corpo de prova acontecia no filete de adesivo mostrando a influência da geometria do filete conforme já foi relatado na literatura (Adams, 2006).

## 2.7 Ensaios dinâmicos

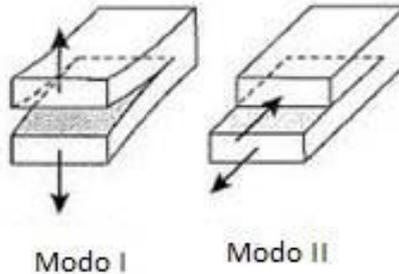
Os ensaios de dinâmica têm como objetivo estimar o número de ciclos, para cada faixa percentual de carregamento, que a interface do adesivo resiste até acontecer o descolamento.

Os ensaios de fadiga foram realizados em flexão na condição três apoios em faixas percentuais da carga máxima obtida durante os ensaios estáticos, variando a cada 10% de 50% a 90%. Foi utilizada para os ensaios uma faixa de carga mantendo a razão de 0,1 entre a carga máxima e mínima ( $R = \text{Min}/\text{Máx}$ ) (Meniconi, 2014).

Os esforços externos podem exercer sobre a junta, tensões normais (modo I) ou tensões cisalhantes (modo II). Como a direção da propagação da fenda está restringida pelos substratos, na grande maioria dos casos a propagação se dá no modo

misto (modo I + modo II). Ver Figura 9.

**Figura 9** - Modos de ruptura.



Fonte: Adaptado de Carbas (2008).

Embora existam diversos ensaios para caracterizar o comportamento de juntas coladas em modo misto, não há nenhum normatizado (da Silva et al., 2007). Dessa forma, os ensaios deste trabalho foram realizados no modo misto, que submete a junta ao efeito combinado de tensões normais e tensões de corte, sendo empregado o modelo baseado no ensaio MMF (Mixed Mode Flexure), que é um dos mais comuns para placas coladas (Lemos, 2018).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Ensaios estáticos

Os ensaios estáticos foram realizados no modelo de flexão de três apoios conforme mostrado na Figura 10. A tensão de falha assumida é àquela registrada no descolamento do compósito da junta e na flexão da chapa metálica.

**Figura 10** - Teste de flexão três apoios.

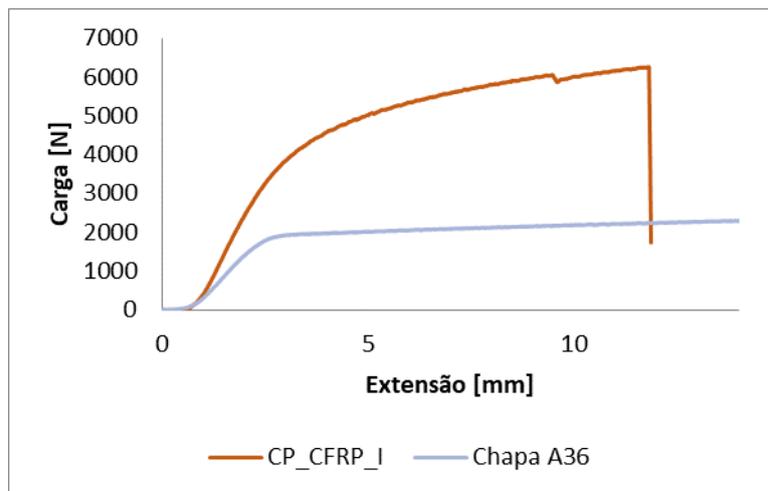


Fonte: Autores.

Os resultados obtidos nesses ensaios foram usados como dado de entrada para os ensaios dinâmicos. Também foram realizados ensaios comparativos entre a chapa de aço e a mesma reforçada com o reparo. Ensaios comparativos foram realizados também em dois modelos de corpo de prova com reparo: Com o corte logo no início do filete do adesivo outro sem esse corte, caracterizando assim os modelos sem filete e com filete respectivamente.

A Figura 11 mostra o resultado do ensaio comparativo realizado entre o corpo de prova com reparo de compósito com filete (CP\_CFRP\_I) e a chapa de aço.

**Figura 11** - Ensaio estático CP\_CFRP\_I X Chapa A36.

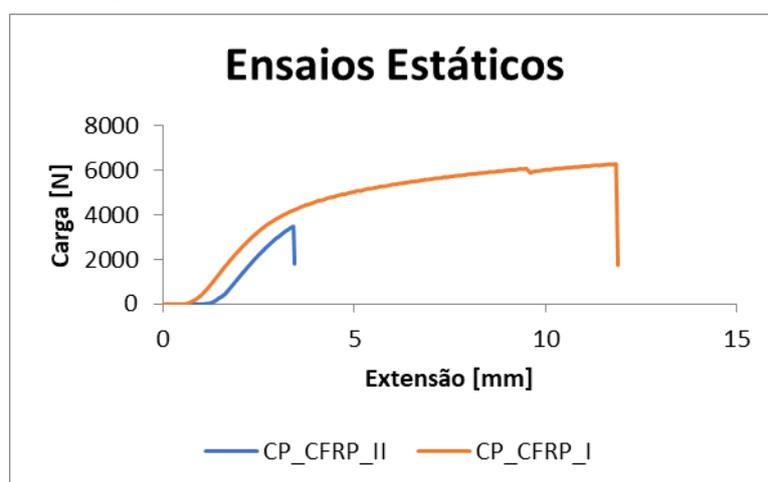


Fonte: Autores.

Observando-se o gráfico pode-se notar que a inclinação da curva do corpo de prova com reparo é muito mais acentuada (Maior ângulo entre a curva e o eixo x, maior módulo de Young) evidenciando a contribuição do compósito no incremento de rigidez da placa metálica. Com a flecha do corpo de prova da chapa de aço em 2,5mm (onde se estabiliza um patamar de carga) a carga registrada é aproximadamente de 2000 N enquanto o corpo de prova com reforço na mesma faixa de extensão marca praticamente o dobro de carga.

Os próximos ensaios estáticos, mostrados na Figura 12, foram realizados como foco de comparar os dois tipos de corpos de prova com reparo de compósito confeccionado: Com filete (CP\_CFRP\_I) e sem filete (CP\_CFRP\_II).

**Figura 12** - Ensaio estático CP\_CFRP\_I X CP\_CFRP\_II.



Fonte: Autores.

A carga de ruptura do modelo com filete é cerca de 45% superior a carga de ruptura do modelo sem filete.

Os filetes são provenientes do adesivo que é expelido quando os substratos são pressionados durante o processo de manufatura da junta. Como demonstrado na literatura (Adams, 2006), juntas com pontas quadradas tendem a concentrar as tensões na região entre o substrato que está sendo carregado e o adesivo adjacente. Já as juntas com filetes tendem a falhar na seção do filete. A Figura 13 mostra os dois corpos de prova (com e sem filete) e onde as rupturas aconteceram.

**Figura 13** - Corpos de provas usados nos ensaios estáticos. Acima o corpo de prova com filete e abaixo o corpo de prova sem filete.



Fonte: Autores.

Devemos considerar ainda que as dimensões reais desse tipo de reparo são muito maiores que as do corpo de prova. Sendo assim o filete formado nas extremidades da superfície do reparo não terá grande influência na aderência na interface na área central do reparo.

### 3.2 Ensaios dinâmicos

Assim como os ensaios estáticos, os ensaios dinâmicos foram realizados conforme o modelo três apoios. Inicialmente foi adotado o corpo de prova com filete nos ensaios dinâmicos, e por razões já apontadas em tópicos anteriores, os resultados foram inconclusivos, uma vez que os corpos de provas apresentaram vida infinita, ciclos acima de  $10^5$ .

No modelo sem o filete a frequência escolhida para os testes foi de 20 Hz e foram considerados três ensaios (exceto nas extremidades, onde foram considerados apenas um) para cada faixa entre 50% e 90% da carga máxima obtida no ensaio estático (3,4 kN). Foi mantida a razão de 0,1 entre a carga máxima e mínima (Meniconi, 2014) conforme pode ser visto no Quadro 4.

**Quadro 4** - Valores da carga para ensaio dinâmico.

%Carga	Max (kN)	Min (kN)	R (Min/Max)
50	1.75	0.175	0.1
60	2.10	0.210	0.1
70	2.45	0.245	0.1
80	2.80	0.280	0.1
90	3.15	0.315	0.1

Fonte: Autores.

Com as faixas de cargas definidas, os corpos de prova foram ensaiados na máquina servo hidráulica até a falha. O número de ciclos para cada faixa está mostrado no Quadro 5.

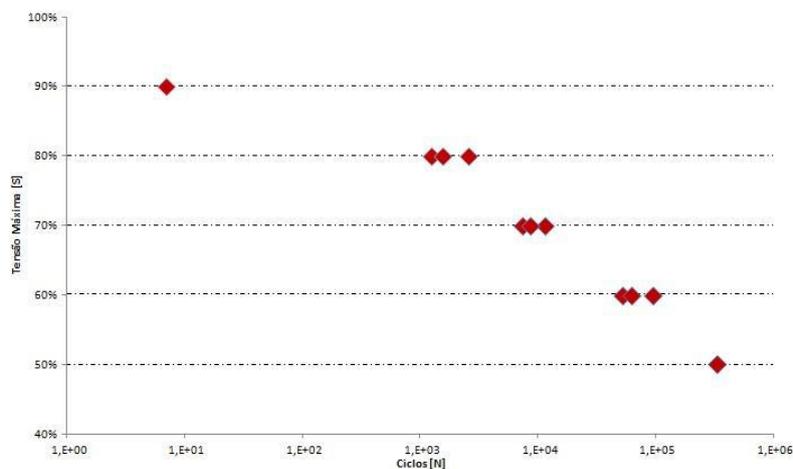
**Quadro 5** - Número de ciclos obtidos para cada faixa de carga.

Número de ciclos para ruptura			
50%	330518(*)		
60%	93400	52160	62500
70%	8579	11301	7333
80%	1248	1543	2586
90%	7		

Fonte: Autores.

Na faixa de 50% o ensaio foi interrompido no número de ciclos mostrado na tabela, considerando-se vida infinita para esta faixa. Os números de ciclos foram exportados para o gráfico mostrado na Figura 14.

**Figura 14** - Número de ciclos para cada faixa de tensão.



Fonte: Autores.

Até próximo de  $10^5$  ciclos os corpos de prova falhavam em quantidade de ciclos proporcionais a faixa percentual de tensão máxima, e acima disso os ensaios foram interrompidos porque atingiram um patamar que pode ser considerado como vida infinita.

Conforme a seção 8 das recomendações de boas práticas DNV-RP-C301, um reparo de compósito pode ser qualificado em função de sua vida a fadiga se este for capaz de resistir no mínimo 10000 ciclos.

Com 90% da carga o descolamento acontece logo nos primeiros ciclos. A partir de 80% da carga máxima o reparo consegue atingir algo em torno de 1000 ciclos. Em 60% da carga máxima os corpos de prova ensaiados começaram a falhar ao atingir ciclos na ordem  $10^5$ , o que classifica o reparo para uso.

#### 4. Conclusão

O estudo permitiu avaliar a técnica da colagem aplicada a reparo de compósito, em especial as interfaces metal-adesivo e adesivo-compósito. O número de ciclos de vida a fadiga foi calculado como um parâmetro para estimar a vida útil do reparo.

Com base nos resultados obtidos foi evidenciado a influência do filete para determinadas extensões de juntas, e consequentemente para a vida dos reparos.

Através dos resultados foi observado que a partir de 60% da carga máxima os corpos de prova começavam a apresentar vida infinita e por tanto, pode se dizer, que a partir dessa faixa segundo os referencias da DNV que foram utilizados

nesse trabalho, o reparo aplicado é qualificável para uso. A compreensão da vida útil do reparo permite que os projetos dos reparos de compósitos tornem-se mais confiáveis e mais baratos.

Para trabalhos futuros, segue algumas sugestões que podem contribuir para este campo de pesquisa: Simulação da vida a fadiga do reparo em FEM (Finite Element Method); realização de ensaios com overlaps diferentes; realização de ensaios em diferentes modos. Por exemplo: DCB (Double Cantilever Beam) e ENF (End Notched Flexure); realização de ensaios com adesivos diferentes.

## Referências

- Adams, R. D. (2006). Strength Predictions for Lap Joints, Especially with Composite Adherends. A Review. *The Journal of Adhesion*, 219-242.
- Alves, R. d. (2020). Uso de compósitos em reparos na indústria naval e offshore. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*.
- ANP. (2021). *Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. [https://www.gov.br/anp/pt-br/canais\\_atendimento/imprensa/noticias/comunicados/producao-de-petroleo-e-gas-teve-recorde-em-2020-e-aumentou-52-71-em-relacao-a-2010](https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias/comunicados/producao-de-petroleo-e-gas-teve-recorde-em-2020-e-aumentou-52-71-em-relacao-a-2010)
- ANP. (2023). *Agência Nacional do Petróleo, gás natural e biocombustíveis*. [https://www.gov.br/anp/pt-br/canais\\_atendimento/imprensa/noticias/comunicados/em-setembro-o-brasil-teve-recorde-na-producao-de-petroleo-e-gas-bem-como-no-pre-sal](https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias/comunicados/em-setembro-o-brasil-teve-recorde-na-producao-de-petroleo-e-gas-bem-como-no-pre-sal)
- Ashby, M., & Jones, D. (1998). *An introduction to microstructures, processing and design* (2a ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- ASTM - American Society for Testing Materials. (2000). ASTM D3039 - Standard Test Method for tensile properties os polymer matrix composite materials. West Conshohocken, PA, USA: Anual Book os ASTM Standards.
- ASTM - American Society for Testing Materials. (2003). ASTM D638 - 02a - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, PA, USA.
- Carbas, R. J. (2008). *Estudo paramétrico de juntas adesivas pelo método de Taguchi*. Dissertação.
- Cardoso, L. C. (2006). *Petróleo do posto ao poço*. Qualitymark.
- da Silva, L. F., Magalhães, a., & Moura, M. F. (2007). *Juntas adesivas estruturais*. Publindustria.
- DNV. (2012). *Design, fabrication, operation and qualification of bonded repair of steek structures*.
- Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (6a ed.), Atlas
- Lemos, B. C. (2018). *Análise de propagação de trincas em modo misto de juntas*. Dissertação. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Marques, F. A. (2015). *Análise experimental de reparo de compósitos*. Dissertação . Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- McGeorge, D., Echtermeyer, A., Leong, K., Melve, B., Robinson, M., & Fischer, K. (Janeiro de 2009). Repair of floating offshore units bonded fibre composite materials. *Elsevier*, 1364-1380.
- Meniconi, L. (2014). Experimental fatigue and aging evaluation of the composite patch repair of a metallic ship hull. *Applied adhesion science*, 2-27.
- Mikail, E. (2023). *O que é um FPSO e por que é tão importante para a indústria de petróleo e gás*. Engenharia 360: <https://engenharia360.com/fpso-e-a-industria-de-petroleo-e-gas/>
- Petrobras. (2022). *Exploração e produção para garantir a energia necessária à sociedade*. Jornada Da Energia: <https://petrobras.com.br/quem-somos/exploracao-e-producao>
- RBNA Consultant. (2018). *RBNA Consultant*. <https://rbnaconsult.com/fpso/>
- Reis, D. (2022). *FPSO: O que é e como funciona*. Serviço em Destaque. <https://www.servicoemdestaque.com.br/fpso/>
- Santos, N. R. (2022). Envelhecimento em petróleo de juntas adesivas de aço-compósito. *Dissertação*. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Siqueira, C. (2014). Analysis of Repairs in Metal-Composite. *ESSS CONFERENCE & ANSYS USERS MEETING*.