

## Estudo das propriedades mecânicas de reparo de aços AISI 1020 com compósito à base de adesivo polimérico e fibra de carbono



<https://doi.org/10.56238/interdiinnovationscrese-081>

### Felipe Roberto da Silva e Silva

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FCEE/UERJ, RJ, Brazil

### Silvana de Abreu Martins

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, FCEE/UERJ, RJ, Brazil

### Arsitoclê Aguiar Filho

Fundação de Apoio à Escola Técnica, FAETEC, RJ, Brazil

### Gabriel Mário Guerra Bernadá

Universidade Federal Fluminense, PGMEC/UFF, RJ, Brazil

### Charles de Abreu Martins

ArcelorMittal - Global Research & Development, Avilés, Espanha

### RESUMO

Devido à grande importância do aço na engenharia e economia e aos desafios relacionados à sua resistência à corrosão e alta densidade, estudar métodos para prolongar sua vida útil torna-se essencial, evitando falhas em serviço ou aumento de custos operacionais, como troca de componentes,

por exemplo. Tradicionalmente, em reparos de defeitos no aço, a soldagem tem sido utilizada. No entanto, outros métodos têm se destacado, como o uso de adesivos e compósitos no reparo, graças aos menores custos e maior facilidade operacional. Neste trabalho, foi realizado um estudo experimental do reparo de um AISI 1020 utilizando um compósito com adesivo estrutural à base de epóxi e fibra de carbono. Um defeito foi causado no laboratório de usinagem através de um furo de 2mm em toda a espessura e um furo na metade da espessura. Uma simulação computacional foi realizada para avaliar o efeito e as concentrações de tensões no defeito no aço AISI 1020, que mostrou que o material tensionado começa a plastificar na região do defeito. Essa confirmação foi essencial para validar o reparo.

Além disso, após o reparo, foram realizados ensaios de tração para avaliar os efeitos do reparo. Anteriormente, o jateamento era utilizado para melhorar a aderência do compósito à superfície, uma vez que a rugosidade potencializa a ancoragem do adesivo. Após ensaio de tração, verificou-se o efeito positivo do reparo.

**Palavras-chave:** AISI 1020, Propriedades mecânicas, Reparo em aço, Adesivo.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversos métodos de reparo do aço com adesivos foram desenvolvidos e se mostraram eficientes, em muitos casos podendo substituir a soldagem de forma mais econômica, com reduzido consumo de energia, mão de obra especializada e mais, com segurança para os operadores, prolongando a vida útil de uma estrutura ou tubulação. Também pode ser citada a utilização de tecnologias de impressão em aço com resultados promissores. O reparo de aços utilizando adesivos e compósitos, os efeitos dos reparos, sua eficiência e comportamento têm sido objeto de estudo por muitos pesquisadores. Pode-se destacar o trabalho de (PRAETZEL, 2020) sobre reparo com compósito em vasos de pressão, a pesquisa de (PRAETZEL, 2021) sobre os efeitos do envelhecimento acelerado



em compósitos utilizados no reparo de tubos na indústria do petróleo, e o estudo da análise de deformações em tubos de aço reparados com compósitos (THOMAZI, 2013), a pesquisa de (ROHEM, 2021) sobre o desenvolvimento e qualificação de um novo compósito de matriz polimérica laminada para o reparo de tubos, e (LIA, 2020) sobre tubos de aço offshore trincados na superfície externa reforçados com um sistema de reparo composto e (MATOS, 2021) que estudou o desempenho de campo de longo prazo de um reparo de tubo composto sob pressão hidrostática. Apenas alguns foram mencionados aqui, mas muitos desses estudos exploram o desenho mais adequado, como a espessura das camadas de adesivos e compósitos, a preparação das superfícies e a pressão a que o conjunto metálico reparado será submetido.

De acordo com (OLIVEIRA, 2019), é de grande importância dominar tecnologias de reparo de dutos corroídos para reduzir custos no transporte de hidrocarbonetos, pois a perda de espessura causada pela corrosão externa ou interna em dutos de aço usados é quase inevitável no transporte terrestre de petróleo e seus derivados. Por isso, algumas técnicas de reparo de dutos têm sido propostas ao longo dos anos, como a técnica de corte e substituição. (SILVA, 2022) Além disso, os dutos de aço que transportam petróleo e derivados em terra sofrem corrosão externa ou interna devido a falhas na proteção catódica ou revestimento ou à presença de umidade e água no produto. Essa corrosão reduz a espessura das tubulações e aumenta os custos de transporte de hidrocarbonetos. No entanto, técnicas como corte e substituição, calha dupla soldada, que envolve o duto com duas metades de calha e soldas, e calha dupla preenchida, que injeta material entre o duto e uma manga, apresentam algumas desvantagens. Como o alto custo devido ao tempo de inatividade operacional, risco de acidentes e atrasos nos reparos. Portanto, novas técnicas de reparo estão sendo pesquisadas para melhorar a eficiência e reduzir custos. Dentre tais técnicas, podemos citar o uso de adesivos e compósitos. A indústria de petróleo e gás tem amplamente utilizado adesivos de reforço de compósitos de fibra para reparar estruturas subaquáticas. Entretanto, é necessário avaliar os tipos mais adequados de adesivos e reforços e os parâmetros e a relação na interface entre as fases metálica e de reparo. Além disso, é essencial avaliar o sistema de reparo, principalmente utilizando modelos computacionais de predição capazes de fornecer informações sobre o desempenho do reparo. Motivado pela necessidade de pesquisas sobre técnicas de reparo, este trabalho utilizou um adesivo estrutural e reparo de tecido de fibra de carbono no reparo do aço AISI 1020, apresentando um resultado positivo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados neste trabalho serão descritos a seguir, bem como a metodologia utilizada nesta pesquisa. Esta metodologia envolve Planejamento, Preparação de Amostras, Aço, simulação computacional e Ensaio de Tração.



## 2.1 MATERIAIS

Os seguintes materiais foram utilizados neste trabalho:

- aços AISI 1020;
- Adesivo estrutural à base de epóxi fluido médio;
- G18 TH Tiro;
- Tecido em Fibra de Carbono;
- Espátula;
- Escova;
- Equipamentos de proteção individual (EPIs) e exaustor.

### 2.1.1 Descrição dos Materiais

#### 2.1.1.1 Aços

Neste trabalho, foi utilizado o aço AISI 1020 com espessura de 4 mm (5/32"). Esse material foi doado na forma de uma placa a ser trabalhada, conforme mostrado na figura 1

Figura 1 – Chapa de aço 1020 utilizada nesta pesquisa, conforme recebimento. Fonte: O autor, 2023



Para a realização dos ensaios, os corpos de prova de aço AISI 1020 também foram cortados seguindo a norma ASTM A370.

#### 2.1.2 Adesivo estrutural

A Tabela 1 descreve o adesivo estrutural utilizado neste trabalho, à base de epóxi fluido médio.

Tabela 1 - Descrição do adesivo estrutural utilizado. Fonte: O Autor, 2023.

Produto	Adesivo Estrutural
Uso de Impermeabilização	para reparar e proteger estruturas
Informações sobre o rendimento	Lata de 1 kg (A+B) - 0,55 m <sup>2</sup>
Tempo de secagem	0,83 h
Observações sobre a secagem	Máximo 50 minutos, à temperatura de 25°C
Uso recomendado	Âncoras, âncoras, ferro, pedra, cerâmica.



Cor	Cor cinza
Acabar	Liso
Altura	20,00 centímetros
Largura	11,00 centímetros
Peso do Produto	1,00 Kg

### 2.1.3 Outros materiais

Jateamento, Tecido de Fibra de Carbono para reforço; Espátula; Escova, Equipamento de Proteção Individual (EPI), acetona e exaustor são descritos abaixo:

#### 2.1.3.1 jateamento a quente

No processo de aderência do material metálico ao compósito, foi necessária uma etapa de jateamento de granalha de aço, fazendo com que este ganhasse maior rugosidade na superfície em contato com o adesivo, possibilitando melhor aderência. A Figura 2 refere-se à amostra de jateamento utilizada no processo.

Figura 2 – Jateamento G18 TH e Lote: 262483208. Fonte: O Autor, 2023.



#### 2.1.3.2 Fibra de Carbono

É usado para reforçar o tecido de fibra de carbono bidirecional de 45 graus como reforços para o adesivo. Esses reforços foram escolhidos com base na literatura e em sugestões de fornecedores de aço. A Figura 3 mostra a fibra de carbono aplicada nos reparos.

Figura 3 – Tecido de fibra de carbono utilizado neste trabalho. Fonte: O Autor, 2023.





Além dos materiais citados acima, uma espátula metálica com cabo de madeira, uma pequena escova para homogeneização e distribuição do adesivo sobre as amostras e acetona foram utilizadas para limpeza das mesmas. Foram utilizados EPI, luvas, máscara, óculos de segurança e jaleco e o adesivo foi manuseado dentro da capela para evitar a inalação de vapores orgânicos e odores do adesivo, como mostra a figura 4.

Figura 4 - O manuseio do adesivo foi realizado no interior da capela. Fonte: O autor, 2023



### 3 METODOLOGIA

Os danos causados foram de dois tipos de furos, passando por toda a espessura do material e furos de até 50% da espessura das amostras de aço. A Figura 5 mostra uma amostra. Para reparar o defeito causado nas amostras de aço, foi utilizado um adesivo estrutural à base de epóxi fluido médio, adicionando-se tecido de fibra de carbono para reforço com trama bidirecional a 45 graus.



Figura 5 - Danos causados, furos que atravessam toda a espessura. Fonte: O autor.



A fibra foi adicionada para promover maior resistência, e os dois tipos de reparos, com fibra de carbono em um furo atravessando a espessura da amostra e até 50% da espessura, foram comparados, analisando a localização e as condições de fratura em tensão e determinando as propriedades. O ensaio de dureza é utilizado para avaliar e comprovar a identificação do aço, uma vez que aços com maior teor de carbono possuem maior dureza.

O adesivo utilizado é composto por dois componentes, a resina (componente A) e o endurecedor (componente B), com sua relação de mistura já definida e separada na embalagem pelo fabricante, sendo o usuário responsável apenas pela mistura com o material total contido na embalagem. As embalagens fornecidas continham 0,5 kg de resina e 0,5 kg de endurecedor, com as características técnicas disponíveis na embalagem do produto.

Após a usinagem, a superfície do metal apresentou aspecto espelhado devido à ferramenta de corte, o que proporcionou um acabamento superficial com rugosidade inferior ao necessário para o experimento. Essa etapa teve que ser corrigida com outra etapa de jateamento, onde as peças ganharam uma boa superfície de ancoragem para o adesivo e fibra de carbono. Para o preparo das amostras, foram utilizadas fresas de usinagem para criar o perfil do corpo de tração de acordo com as normas ASTM A370.

Parte dos ensaios de tração foi realizada na empresa CMBA Indústria Mecânica LTDA com o auxílio do especialista laboratorial da empresa, onde foi utilizada em uma máquina universal de ensaios WOLPERT com célula de carga de 200 KN ou aproximadamente 20000 kgf, e também utilizada como ensaio de referência para a ASTM A370, onde a velocidade de ensaio foi: 5mm/min na amostra de AISI1020 de 4mm de espessura reparada com o compósito. A outra parte do ensaio de tração foi realizada no LAMAT – Laboratório de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ) do Maracanã, onde foi utilizada uma máquina universal de ensaios INSTRON com célula de carga de 200 KN ou aproximadamente 20000 kgf.

As amostras de aço AISI 1020 com defeitos, como mencionado anteriormente, na forma de furos produzidos com diferentes espessuras até 50% e furos de até 100%, cruzando toda a espessura



com uma broca de 2mm de diâmetro. A superfície do substrato do material foi preparada no Laboratório de Processos Industriais e Nanotecnologia (LPIN), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, no Campus Zona Oeste do Rio de Janeiro (UERJ-ZO).

A acetona foi usada para remover impurezas, como óleo, graxa, sujeira, entre outras, e para limpar a superfície do metal. O adesivo é composto por dois componentes (A e B) que vêm em latas unidas por uma tira plástica e que, uma vez aberta a embalagem, são misturados e devem ser homogeneizados com espátula ou misturador mecânico até obter uma cor cinza, de acordo com as instruções do fabricante. Com o uso de pincel, o adesivo foi aplicado na região do defeito com uma camada de aproximadamente 1mm, uma camada de fibra, tecido foi aplicado e, em seguida, outra camada de adesivo e outra camada de fibra foram aplicadas. A Figura 6 mostra o processo de aplicação da fibra.

Figura 6 - Aplicação do adesivo juntamente com a fibra de carbono. Fonte: O Autor, 2023.



Apesar do pequeno tamanho do furo, optou-se por aplicar o adesivo sobre uma área ampla para melhor 'segurar' a região ao redor do furo, proporcionando maior segurança no reparo, com um total de duas camadas de adesivo e duas camadas de fibra. A Figura 7 mostra a aplicação do adesivo juntamente com a fibra de carbono sobre as demais camadas. O adesivo utilizado tem uma vida útil relativamente curta, tornando-se extraordinariamente viscoso e difícil de aplicar após aproximadamente 20 a 30 minutos.

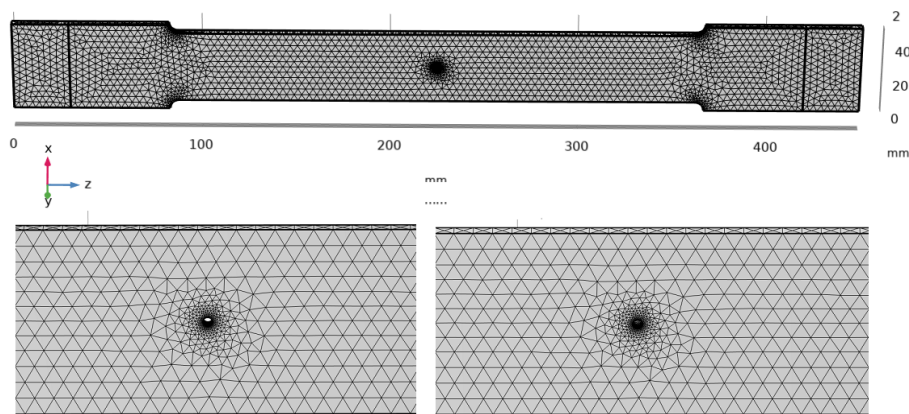
Figura 7- Aplicação do adesivo juntamente com a fibra de carbono sobre as demais camadas. Fonte: O Autor, 2023.





No entanto, as amostras permaneceram na capela de exaustão por quatorze dias até a realização dos testes de tração, garantindo o tempo de cura recomendado. Com o objetivo de analisar qualitativamente o estado de tensão nas amostras a serem testadas experimentalmente, foi realizada uma simulação computacional usando o software de análise de elementos finitos COMSOL Multiphysics v4.4. considerando a geometria mostrada na Figura 8. Um furo é colocado no centro do corpo de prova para simular um defeito que cria fragilidade, onde a trinca começa durante o carregamento, como foi feito experimentalmente. Uma fratura de modo misto é induzida pelo deslocamento do furo e do entalhe do centro da placa. A carga é aplicada por meio de pinos metálicos com deslocamento controlado inseridos em um pequeno orifício. O modelo pressupõe uma condição de tensão plana.

Figura 8 – Representação da malha do corpo de ensaio analisada por simulação computacional, (acima) e zoom da malha dos concentradores de tensão considerados, através e não através de furos (abaixo). Fonte: O autor, 2023



A seguir são apresentados os resultados das tensões equivalentes de Von Mises para os casos analisados. As Figuras 9 e 10 mostram o estado de tensão no tubo de ensaio e a região do concentrador de tensões através do furo, destacando em vermelho as tensões máximas atingidas no ensaio. A Figura 11 mostra o campo de deslocamento da barra considerando a extremidade esquerda com deslocamento zero e a direita com deslocamento imposto de 30mm





Figura 9 – Campo de tensão de Von Mises no copo AISI 1020, e zoom na zona concentradora de tensão (abaixo) da amostra com furo para cima, de acordo com COMSOL MultiPhysics V4.4. Fonte: O Autor, 2023.

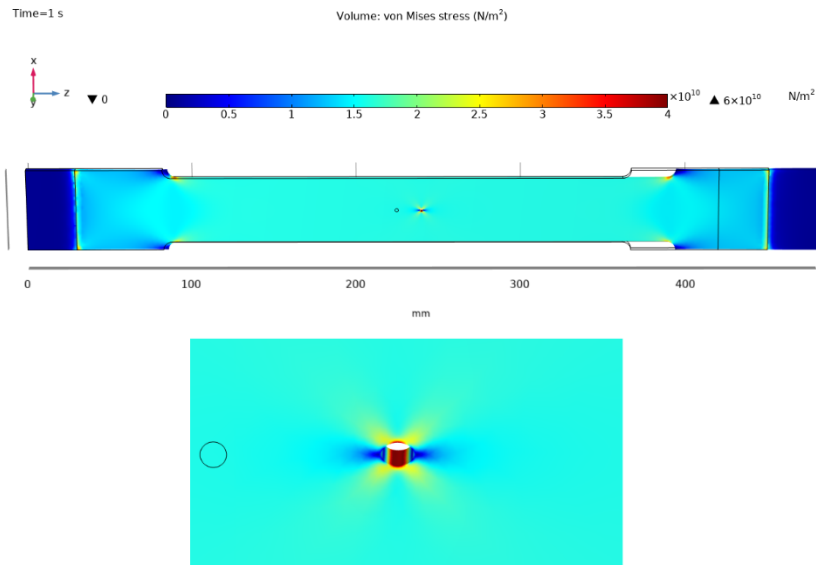


Figura 10 - Campo de tensão de Von Mises no copo AISI 1020, e zoom na zona concentradora de tensões (abaixo) da amostra com furo de até metade da espessura da amostra, conforme COMSOL MultiPhysics V4.4. Fonte: O Autor, 2023.

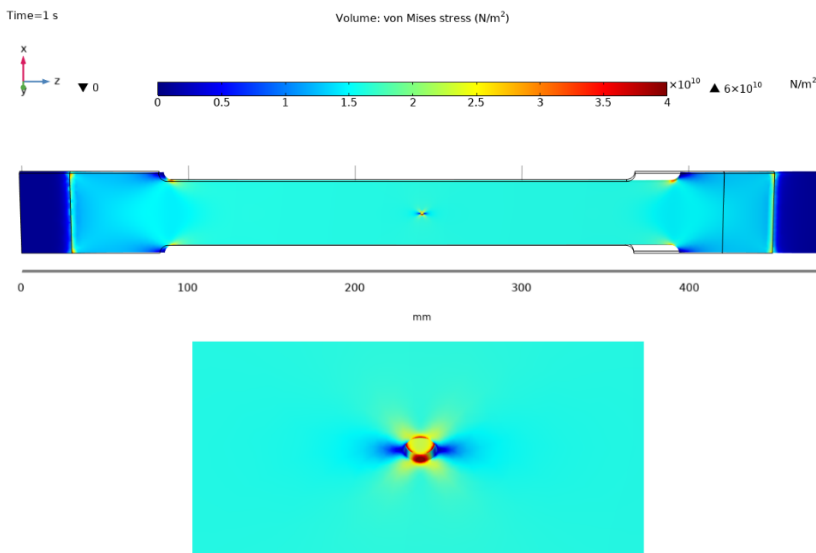
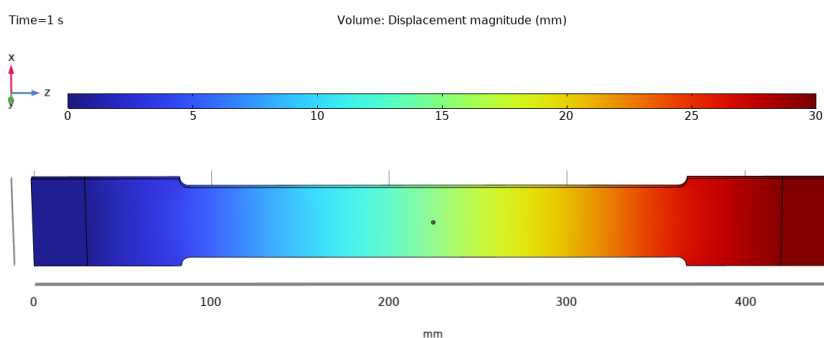


Figura 11 - Campo de deslocamento do espécime de ensaio onde a parte azul refere-se a zero e a parte vermelha é o máximo de 30mm de deslocamento, e amplia a área do concentrador de tensão (abaixo). Fonte: O Autor, 2023.



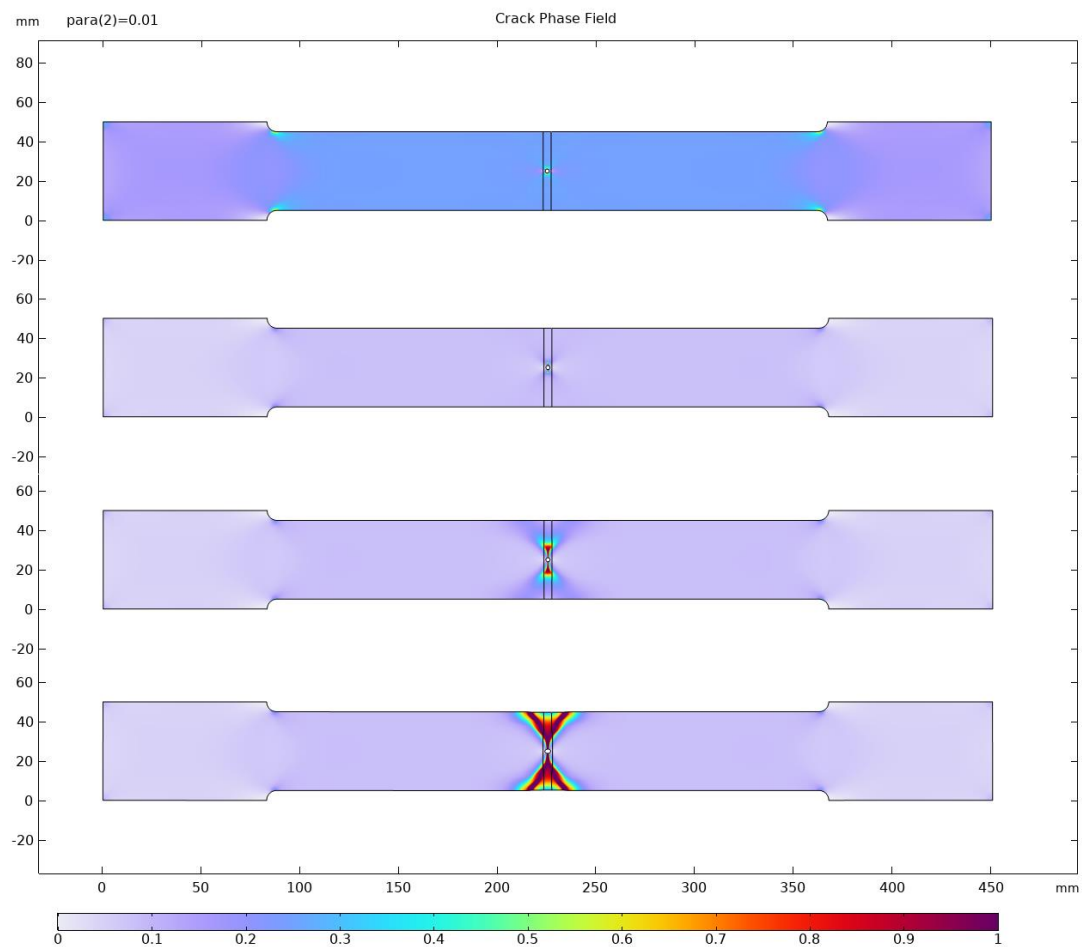


A partir dos resultados obtidos, ambas as amostras mostram que as zonas de tensão máxima estavam no centro dos concentradores de tensões, onde se concentra a maior parte da região avermelhada. De acordo com a simulação, estes mostram que os defeitos adicionados geram uma concentração de tensões onde o material atinge tensões de ruptura (plastificação) e podem dar origem a fissuras nesta região crítica para o início da ruptura.

O próximo exemplo estuda a fratura do corpo de prova no modelo, incluindo dimensões e propriedades do material à medida que a placa é carregada, uma fratura de modo misto é induzida com uma fissura se propagando a partir do furo colocado predefinido no centro. A fratura é modelada usando um modelo de dano que regulariza a geometria aguda da fissura pela aproximação do campo de fase. Isso significa que a fissura é descrita no material de domínio, de modo que o campo de fase não local torna o caminho da fissura independente dos elementos da malha. O exemplo mostra como definir uma configuração de solucionador eficiente e estável para o método de dano de campo de fase.

A Figura 12 apresenta os resultados da modelagem numérica que descreve o processo de fratura no corpo elástico desde sua nucleação até a propagação e ramificação das fissuras.

Figura 12 - Evolução do campo de fase da fissura para diferentes tempos de passo. Fonte: O autor, 2023

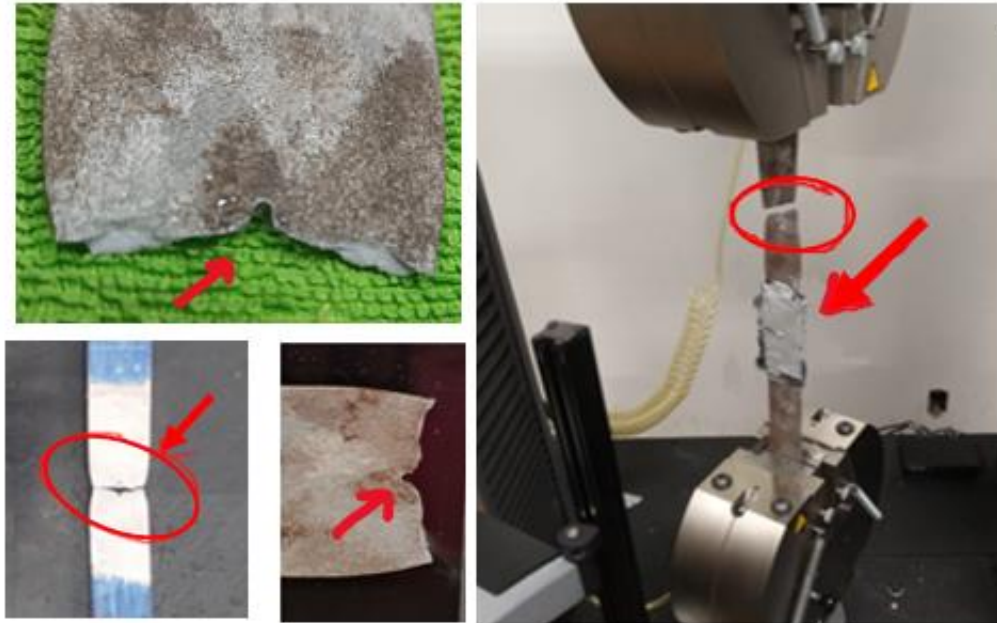




## 4 RESULTADOS

A Figura 13 mostra a amostra sem reparo fraturada e a amostra reparada. A fratura foi fixada na máquina de tração, e é possível observar que a fratura ocorreu fora da área onde o furo foi feito e reparado. Portanto, fora da área de reparo.

Figura 13 - Amostra fraturada, direita, sem reparo e esquerda fixada em máquina de tração após ensaio, reparada com compósito. Fonte: O Autor, 2023.



As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados dos ensaios de tração. A Tabela 3 mostra os resultados dos testes das amostras sem defeitos realizados apenas na empresa CMBA. O operador da máquina de tração determinou as velocidades de ensaio nos ensaios de aço devido às condições de operação da máquina. Enquanto a Tabela 4 mostra os resultados das amostras testadas com defeito e defeito reparado, realizadas no laboratório do CEFET (Maracanã) e no laboratório de ensaios mecânicos da empresa CMBA, o operador também definiu as diferenças de velocidade de ensaio entre as amostras, devido às condições do equipamento. De qualquer forma, o uso de velocidades diferentes foi interessante, pois acrescentou informações adicionais: o efeito da diferença de velocidade no teste. A Tabela 5 apresenta a análise das amostras defeituosas e reparadas.

Tabela 3 - Análise das amostras sem defeitos, ensaio realizado. Fonte: O Autor, 2023.

Amostra	Velocidade de teste mm/min	Limite de resistência de carga (Kgf)	Limite de resistência ao estresse (MPa)	Limite de rendimento (MPa)	Alongamento (%)
CMBA (AISI 1020)	5	7323	386.5	308.1	30.0



CMBA (AISI 1020)	5	6436	389.3	297.6	26.5
------------------	---	------	-------	-------	------

Tabela 4 - Análise das amostras sem defeitos, valor médio, ensaio realizado. Fonte: O Autor, 2023.

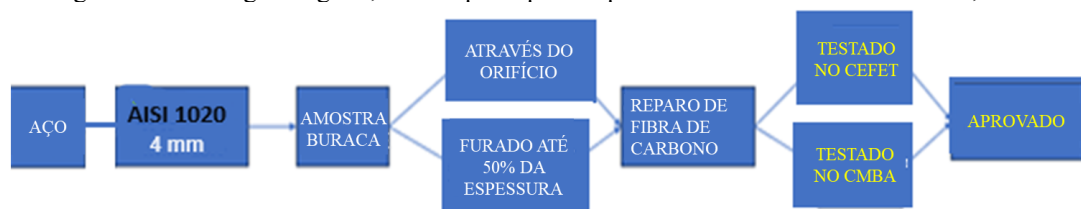
Amostra	Velocidade de teste (mm/min)	Limite de força (MPa)	Limite de rendimento (MPa)	Alongamento (%)
AÇO (AISI 1020)	5	387.9	302.9	28.3

Tabela 5 - Análise de amostras defeituosas e reparadas. Fonte: O Autor, 2023.

Amostra	Velocidade de teste (mm/min)	Limite de resistência à carga (Kgf)	Limite de Resistência (MPa)	Limite de rendimento (MPa)	Alongamento (%)	Observação (Onde a amostra quebrou)
(AISI 1020) Através de furo com reparo CEFET	3	5810.5	333.9	250	21%	Em aço
(AISI 1020) Furo de 1/2 espessura com reparo CEFET	5	5848.5	356.6	275	25.5%	Em aço
(AISI 1020) Não reparado através de furo CMBA	5	6452	400.6	332	17.3%	No buraco

A Figura 14 apresenta um fluxograma geral com as principais etapas deste trabalho, como recebimento de amostras de aço, criar o defeito usando a usinagem, reparo com o compósito, ensaios e resultados de ensaios.

Figura 14 – Fluxograma geral, com as principais etapas deste trabalho. Fonte: O Autor, 2023.



## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na simulação do estado de tensão no aço AISI 1020, utilizando o software COMSOL Multiphysics V4.4, pode-se observar que o defeito, causado nas amostras de aço 1020, foi efetivo no sentido de ser o local de plastificação e ruptura dos corpos de amostra. Isso foi importante para observar o efeito do reparo nas amostras.



No ensaio de tração propriamente dito, considerando os corpos de prova sem defeito, com defeito e com defeito reparado, fica claro que:

- Nas amostras com defeitos e defeitos reparados, houve uma tendência do defeito em reduzir a resistência e o limite de rendimento das amostras, bem como o alongamento.
- A velocidade de ensaio influenciou o aço 1020, aumentando tanto a resistência quanto os limites de escoamento com o aumento da velocidade de ensaio, como esperado, uma vez que se trata de uma alta ductilidade do aço.
- A região da fratura no ensaio de tração foi o principal elemento que demonstrou o efeito do defeito e do reparo. Portanto, observando as amostras, percebe-se que a ruptura foi fora do defeito reparado, mas no sem reparo, ocorreu no defeito. As condições de preparo foram boas devido à sua rugosidade; O adesivo foi aplicado quando ainda apresentava maior fluidez, garantindo maior molhabilidade, além de ser mais fino, facilitando a penetração do adesivo por todo o furo.

## 6 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que:

- O adesivo estrutural à base de epóxi associado às fibras efetivamente reparou o defeito causado nas amostras de aço AISI 1020, uma vez que a ruptura do provete ocorreu em uma região fora da área de reparo.
- Como um furo de 2mm de diâmetro sob tensão, o defeito foi o ponto em que a plastificação começou, observado em testes experimentais e por simulação computacional.
- A região da fratura foi a evidência mais significativa do efeito do reparo sobre o aço e sua efetividade devido à fratura ocorrer fora da região do defeito após o reparo.
- A influência da velocidade de ensaio de tração foi evidente, mostrando que uma maior velocidade resulta em maiores limites de resistência e escoamento.
- Os modelos numéricos apresentaram resultados qualitativos semelhantes aos resultados experimentais. Portanto, uma vez calibrados, poderiam se tornar uma ferramenta eficaz para prever o comportamento da fratura.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Mecânica dos Sólidos da COPPE/UFRJ pelo acesso à licença COMSOL MultiPhysics V4.4, aos professores Humberto Nogueira Farneze e Luís Felipe G. de Souza do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ. Agradecem também à empresa ArcelorMittal pela doação da chapa de aço, aos técnicos de usinagem Cynthia, Eric



Tiago Neiva e à empresa CMBA Indústria Mecânica LTDA, Luciano de Lima Paulo, Rubem Antônio dos Santos e Fernando Ferreira de Oliveira.



## REFERÊNCIAS

- LIA, Zongchen et al. External surface cracked offshore steel pipes reinforced with composite repair system subjected to cyclic bending: An experimental investigation. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, Amsterdam, v. 113, p. 1-13, June, 2020.
- MATTOS, H.S. da C. et al. Long-term field performance of a composite pipe repair under constant hydrostatic pressure. *Engineering Failure Analysis*, Amsterdam, v. 125, p. 1-12, June, 2021.
- OLIVEIRA, Henrique de. Estudo do comportamento em fratura de materiais compósitos para reparo de dutos de aço. 2019. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- PRAETZEL, Rodrigo et al. Accelerated aging effects in composites used as repair for pipes in oil industry. *Polymer Composites*, Hoboken, v. 42, n. 9, p. 1-10, Sep., 2021. Disponível em: <https://doi-org.ez393.periodicos.capes.gov.br/10.1002/pc.26271>. Acesso em: 25 out. 2021.
- PRAETZEL, Rodrigo et al. Monitoring the evolution of localized corrosion damage under composite repairs in pipes with guided waves. *Journal of Pressure Vessel Technology*, New York, v. 142, n. 6, p. 1-9, Dec., 2020.
- ROHEM, N.R.F. et al. Development and qualification of a new polymeric matrix laminated composite for pipe repair. *Composite Structures*, Amsterdam, v. 268, p. 1-11, June, 2021.
- SILVA, A. C. et al. Influência da temperatura de soldagem na microestrutura e na resistência à corrosão de juntas soldadas de aço inoxidável superduplex UNS S32750. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 7, n. 2, p. 60-66, 2010. Disponível em: <https://tecnologiamm.com.br/article/10.4322/tmm.00302010/pdf/1573492069-3-2-60.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2022.
- THOMAZI, Cinthia T. C. L.; LEVY NETO, Flaminio. Análise das deformações em tubos de aço reparados com compósitos tipo carbono/epóxi. *Soldagem & Inspeção*, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 36.