

## AVALIAÇÃO DE CORROSÃO EM AMOSTRAS DE AÇO 1020, AÇO INOXIDÁVEL 341 E 441 IMERSAS EM BIODIESEL METÍLICO

João Vitor Chendynski, Adriana Giseli Leite Carvalho, Camila Fogaca de Oliveira, Luciano Barbosa, Janaina Fracaro de Souza Gonçalves\*

### RESUMO

Com o aumento da proporção de biodiesel no diesel, torna-se essencial estudar a corrosão de ligas metálicas utilizadas no armazenamento e transporte desse biocombustível e das misturas previstas pela legislação brasileira. Este trabalho avalia a corrosão provocada pelo biodiesel metílico por meio de ensaios de imersão em amostras de aço 1020, aço inoxidável 341 e aço inoxidável 441 durante 123 dias, em condições de ausência de luz e temperatura ambiente. Foram analisadas chapas lisas, chapas dobradas a 90° e chapas previamente soldadas por caldeamento. As amostras submetidas à soldagem apresentaram maior perda de massa por corrosão após o período de imersão. Diferenças significativas foram observadas entre os tratamentos no nível de 95% pelo teste de Tukey ( $p = 0,017$  para chapas lisas e  $p = 0,015$  para chapas dobradas), enquanto não houve diferença significativa entre os tipos de aço ( $p > 0,05$ ;  $0,87 < p < 0,97$ ). As análises por microscopia eletrônica revelaram corrosão localizada do tipo pite e corrosão alveolar nas amostras.

**Palavras-chave:** Corrosão metálica; ésteres metílicos; biocombustível; degradação oxidativa.

### CORROSION EVALUATION OF SAMPLES OF 1020 STEEL, 341 AND 441 STAINLESS STEEL IMMERSSED IN METHYL BIODIESEL

### ABSTRACT

With the increase in the proportion of biodiesel in diesel fuel, it is essential to study the corrosion of metal alloys used in the storage and transportation of this biofuel and the blends required by Brazilian law. This study evaluates the corrosion caused by methyl biodiesel through immersion tests on samples of 1020 steel, 341 stainless steel, and 441 stainless steel for 123 days, in the absence of light and at room temperature. Flat sheets, sheets bent at 90°, and sheets previously welded by heating were analyzed. The samples subjected to welding showed greater mass loss due to corrosion after the immersion period. Significant differences were observed between treatments at the 95% level by Tukey's test ( $p = 0.017$  for flat sheets and  $p = 0.015$  for bent sheets), while there was no significant difference between steel types ( $p > 0.05$ ;  $0.87 < p < 0.97$ ). Electron microscopy analyses revealed localized pitting corrosion and alveolar corrosion in the samples.

**Key words:** Metal corrosion; methyl esters; biofuel; oxidative degradation.

\* João Vitor Chendynski (joavitorchendynski8@gmail.com), Adriana Giseli Leite Carvalho (adriana.carvalho@sistemafiep.org.br), Camila Fogaca de Oliveira (camila.oliveira@sistemafiep.org.br), Luciano Barbosa (luciano.barbosa@sistemafiep.org.br); Janaina Fracaro de Souza Gonçalves (janainaf@utfpr.edu.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da preocupação ambiental em relação ao uso de combustíveis extraídos do petróleo e o desenvolvimento fontes energéticas sustentáveis e renováveis, os biocombustíveis têm ganhado destaque no Brasil. Produzidos a partir de biomassa renovável, como o biodiesel e o etanol, os biocombustíveis substituem, parcial ou totalmente, os combustíveis de origem fóssil em motores e outros sistemas de geração de energia. Além disso, esses compostos são biodegradáveis e apresentam baixos teores de enxofre e compostos aromáticos — ou são praticamente isentos deles —, reduzindo os impactos ambientais (Clemente, 2023; Jain; Sharma, 2010; Yaakob et al., 2014; Saluja; Kumar; Sham, 2016).

Inicialmente, os motores utilizavam apenas diesel e gasolina, derivados do petróleo, contribuindo significativamente para problemas ambientais como a chuva ácida. Com a crise do petróleo nas décadas de 1970 e 1980, houve o desenvolvimento de alternativas de menor impacto ambiental. Em resposta, foi criado o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Carburantes (PRO-ÓLEO), em 1980, no Brasil, estabelecendo a adição uma quantidade de óleo vegetal ao diesel. Posteriormente, em 2002, o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (Pro biodiesel) teve como objetivo a substituição parcial do diesel por biodiesel. A Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, regulamenta a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira (Brasil, 2005; Brasil 2014; Clemente et al., 2023).

Diversos estudos indicam que o diesel é menos corrosivo do que o biodiesel. Embora o biodiesel apresente vantagens como baixa toxicidade, biodegradabilidade, maior ponto de fulgor e menor emissão de poluentes, ele possui menor estabilidade oxidativa, especialmente quando produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais. Esse fator está relacionado à presença de ésteres insaturados e poli-insaturados, que, ao se oxidarem, formam compostos como ácidos, aldeídos, cetonas, álcoois e peróxidos. Essas substâncias acidificam o meio e podem promover corrosão em componentes metálicos utilizados no armazenamento e transporte (Cursaru et al., 2014; Sorate; Bhale, 2015).

Apesar de ser classificado como de baixa corrosividade por sua imiscibilidade com a água, o biodiesel também apresenta baixa estabilidade oxidativa e hidrolítica. A degradação oxidativa promove a acidificação do meio, aumentando o potencial corrosivo sobre os sistemas de armazenamento e transporte. Além disso, a presença de umidade — especialmente quando a etapa de secagem não é realizada adequadamente — acelera a corrosão metálica. Dessa forma, a degradação do biodiesel durante a estocagem intensifica a corrosão dos metais e pode favorecer o crescimento de microrganismos, originando corrosão microbológica (Ambrozin et al., 2009; Cursaru et al., 2014).

O biodiesel, obtido a partir de fontes renováveis como óleos e gorduras, oferece benefícios ambientais, mas pode acelerar a corrosão de metais em virtude de sua composição química. A umidade, por exemplo, participa de reações eletroquímicas que degradam os materiais com o tempo, assim como a presença de sais e a oxigenação diferencial (Gentil, 1994). O aço-carbono 1020, valorizado por seu baixo custo e boa usinabilidade, pode ser suscetível à corrosão em ambientes agressivos como o biodiesel metílico. Já os aços inoxidáveis 304 e 316 são mais resistentes à corrosão devido à presença de elementos como cromo, níquel e titânio. No entanto, a interação desses materiais com o biodiesel ainda exige investigação aprofundada, especialmente considerando variáveis como temperatura, tempo de exposição e composição do meio corrosivo.

A legislação brasileira estabelece um crescimento da quantidade de biodiesel adicionado ao diesel comercializado. Em 2024, esse valor é de 13%, com previsão de atingir 14% em 2025 e 15% em 2026. A Lei nº 14.993/2024 estabelece a meta de alcançar 20% em anos futuros (Brasil, 2024). A diversidade de matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel, influenciada pelo custo e disponibilidade regional, gera variações significativas em suas propriedades. O biodiesel sintetizado a partir de óleos com alto teor de ácidos graxos saturados apresenta maior estabilidade oxidativa e elevado número de cetano, além de solidificar a temperaturas mais baixas (Sorate; Bhale, 2015; Angilelli et al., 2022). Savada et al. (2022) aborda que a soja é a principal

matéria-prima para biodiesel no Brasil, devido ao seu baixo custo e ampla disponibilidade, embora haja concorrência com a indústria alimentícia.

Sob a perspectiva técnica, econômica e ambiental, a corrosão representa um fator crítico, pois pode comprometer a vida útil dos materiais utilizados na fabricação de tanques de armazenamento, bem como afetar a qualidade e a durabilidade do próprio biodiesel. Diversos estudos laboratoriais têm sido realizados com o objetivo de mitigar esses efeitos, contribuindo para a otimização dos processos de armazenamento e para a escolha de materiais mais adequados. Este estudo tem como finalidade analisar os possíveis fenômenos de corrosão causados pelo biodiesel durante sua armazenagem em tanques metálicos fabricados com diferentes materiais. A pesquisa foca em materiais amplamente utilizados no mercado, como o aço-carbono 1020 e os aços inoxidáveis 341 e 441, por meio de experimentos que visam identificar uma alternativa de material menos suscetível à degradação por corrosão.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 O Biodiesel e sua Inserção no Cenário Energético Brasileiro**

À medida que são inseridas alternativas mais sustentáveis para substituição de combustíveis fósseis, como o óleo diesel, gasolina, querosene, entre outros, há fatores que impactam negativamente que precisam ser minimizados. A variedade de matérias primas disponíveis para síntese do biodiesel acarreta propriedades físico-químicas diferentes, de acordo com a composição de ácidos graxos saturados e insaturados e, conseqüentemente, na estabilidade oxidativa, no ponto de fulgor e no ponto de entupimento de filtro a frio (Saluja; Kumar; Sham, 2016; Angilelli et al., 2022). No Brasil, o óleo de soja (67,8%), gordura bovina ou sebo (15,6%) e gordura suína ou banha (2,4%) são majoritariamente empregados na síntese do biodiesel, dependendo da disponibilidade, preço, clima e economia regional (Brasil, 2018).

Matérias-primas com um maior teor de ácidos graxos insaturados possuem uma maior reatividade com oxigênio atmosférico, diminuindo o período de indução e comprometendo a qualidade (Clemente, 2023). Essa reação de oxidação do biodiesel pode ocasionar a corrosão em peças metálicas. Segundo Klein et. al. (2022), a presença de água no fundo dos tanques de armazenagem de biodiesel pode ocasionar a corrosão, causando danos às chapas de aço.

Alguns aditivos podem estar diretamente ligados ao aumento de corrosão. Moléculas com propriedades antioxidantes são adicionadas ao biodiesel para aumentar o período de indução, aumentar o tempo de armazenamento e atender a legislação vigente. Chendynski et al.(2019) avaliou a influência do cobre metálico, aço-carbono, aço prata, aço inoxidável na reação de oxidação do biodiesel na presença dos extratos de alecrim e amora, sendo que esses extratos funcionam como uma alternativa aos aditivos antioxidantes sintéticos e não renováveis. Houve corrosão na amostra de aço-carbono no biodiesel com a adição de extrato de amora, ocorrendo uma transferência de íons de ferro para o biodiesel e acelerando a reação de oxidação.

## **2.2 Comportamento e Aplicações dos Aços SAE 1020, AISI 341 e AISI 441 em Estruturas de Armazenamento de Combustíveis**

O ferro perde sua passivação facilmente em exposição à atmosfera, porém em misturas superiores a 11% de cromo, a passivação fornece maior estabilidade a presença de oxigênio nos aços inoxidáveis. Os aços inoxidáveis apresentam no mínimo 10,5% em peso do elemento cromo, sendo que esse elemento em solução sólida no ferro forma uma película passivadora sobre as superfícies. O ASM Handbook (1994) classifica os aços inoxidáveis em: “ferríticos, martensíticos, austeníticos, duplex (austenita + ferrita) e ligas endurecidas por precipitação, baseada no tipo de tratamento térmico empregado”.

O aço-carbono, de acordo com o sistema de classificação SAE-AISI é do grupo 10xx, sendo que os últimos dois dígitos representam o teor de carbono, por exemplo, o aço 1020 possui 0,2% C (Baixo Carbono). Quanto maior o teor de carbono, mais duro e mais resistente será essa liga metálica. A faixa de variação do teor de carbono no aço pode ser de 0,008% a 2,0% de carbono, quando este teor for de no máximo 0,30%, é classificado como aço de baixo teor de carbono, possui baixa resistência e dureza e alta tenacidade e ductilidade, usável e soldável, além de possuir baixo custo produtivo. Pontes, chapas automobilísticas, perfis estruturais, placas para produção de tubos e construção civil podem empregar o aço 1020 (Rodrigues et al., 2014). O aço-carbono 1020, industrialmente aplicado, apresenta maior suscetibilidade à corrosão quando comparado aos aços inoxidáveis 341 e 441, que possuem maior resistência devido à presença de cromo. No entanto, o aço 1020 tem um custo significativamente menor, aproximadamente R\$ 6/kg, enquanto os aços 441 e 341 custam cerca de R\$ 20 e R\$ 27/kg, respectivamente (Aços Apeeram, 2025).

Quanto aos aços inoxidáveis, há a formação de um filme de óxido de cromo explica a resistência à corrosão de um aço, sendo que valores superiores a 11 % são mais interessantes, pois aumentam a resistência em ambientes corrosivos (Souza, 1989).

O aço inoxidável 441 é classificado como um aço ferrítico. As ligas ferríticas possuem um menor custo devido à ausência ou pouca adição de Níquel, com melhor condutividade térmica e expansão térmica (Kawakami, 2011). A composição do AISI 441 apresenta concentrações diferentes para alguns elementos químicos, fornecendo algumas propriedades em relação aos demais aços ferríticos. Possui 17,5 a 18,5% de cromo, sendo resistente à corrosão e oxidação. Titânio e Nióbio são incorporados na estabilização do aço, evitando a corrosão intergranular e melhorando a resistência a altas temperaturas e auxiliando na soldabilidade da peça. Silício e Manganês são adicionados em quantidades controladas para melhorar outras características. O aço 441 possui características próximas ao 439 com uma resistência superior à fluência em altas temperaturas devido à quantidade superior de nióbio, sendo empregado em aplicações que exigem estabilidade em condições de

calor, por exemplo, sistemas de escapamento veicular e em cozinha industrial. O AISI 441 resiste à corrosão com presença de elementos como o cromo e o titânio (Carbó, 2008; Açolnox, 2024).

Semelhante ao aço 321, o aço 341 é estabilizado contra corrosão intercrystalina a temperaturas elevadas para aplicações que possam exigir soldagem e/ou passagem de líquidos com elevada resistência à corrosão. Possui em sua composição cromo, níquel, carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre. O titânio o torna diferente: ele estabiliza o aço e evita a precipitação de carbonetos de cromo, o que melhora a resistência à corrosão intergranular. O material é utilizado na engenharia mecânica, na tecnologia nuclear e na indústria da pasta e do papel (AGST Draht & Biegetechnik GmbH, 2025).

### **2.3 Fundamentos e Mecanismos da Corrosão Metálica**

A corrosão metálica pode ser compreendida como um processo de transformação do metal ou de suas ligas por meio de interações químicas ou eletroquímicas com o ambiente, resultando na degradação do material e formação de produtos de corrosão. Esse fenômeno pode ocorrer de forma química, em altas temperaturas e sem a presença de água, ou de maneira eletroquímica, mais comum na natureza, exigindo algum eletrólito e transferência eletrônica. Além disso, os efeitos da corrosão associada ao uso de combustíveis têm ganhado destaque na literatura, especialmente pelos prejuízos econômicos e operacionais que esses processos podem causar (Ambrozin, 2025).

A diminuição da corrosão dos aços inoxidáveis está diretamente ligada à formação de um filme passivo de óxido de cromo de forma superficial. Esse filme se forma de maneira espontânea em ligas com teor de cromo acima de 11%, protegendo o metal contra ataques químicos (Souza, 1989). As ligas austeníticas, como o aço inoxidável 341, são conhecidas por serem não magnéticas, apresentando excelente soldabilidade e estampabilidade. Os aços martensíticos, embora também resistentes

à corrosão atmosférica, possuem maior fragilidade e dureza, sendo indicados para aplicações que exigem resistência ao desgaste, como em instrumentos cirúrgicos, cutelaria e turbinas aeronáuticas (Pinto, 2006; Moraes, 2006).

Quanto ao valor financeiro do material, o aço-carbono 1020 é amplamente utilizado na indústria devido ao seu bom desempenho mecânico e baixo custo, girando em torno de R\$ 6,00/kg. No entanto, apresenta baixa resistência à corrosão, o que pode limitar sua aplicação em ambientes agressivos. Em contrapartida, os aços inoxidáveis 341 e 441, embora mais caros — custando aproximadamente R\$ 27,00/kg e R\$ 20,00/kg, respectivamente (Aços Apeeram, 2025) — oferecem maior resistência à corrosão devido à presença significativa de cromo em sua composição.

A susceptibilidade a oxidação e corrosão do biodiesel, por ser composto majoritariamente por ésteres de ácidos graxos, resultantes da transesterificação de triglicerídeos presentes em matérias-primas de origem animal, como gordura bovina ou suína, ou vegetal, como óleo de soja e de girassol. Essas moléculas, quando expostas à umidade, ao oxigênio atmosférico e à presença de íons metálicos, estão sujeitas à oxidação via mecanismos radicalares, o que compromete sua estabilidade durante o armazenamento e dificulta sua comercialização (Clemente et al., 2023; Klein et al., 2022). A propagação dos radicais livres gerados na degradação oxidativa resulta na formação de álcoois, cetonas, ácidos orgânicos e aldeídos, contribuindo para o aumento da acidez do biocombustível. Como consequência, ocorre a formação de gomas que podem obstruir sistemas de injeção e causar danos aos componentes automotivos (Jain; Sharma, 2010; Saluja; Kumar; Sham, 2016).

A elevada presença de insaturações (ligações duplas) nas cadeias dos ésteres do biodiesel favorece a ocorrência de reações de oxidação, especialmente quando o combustível é exposto à luz, ao calor, a íons metálicos, à umidade e à contaminação microbiana. Esses fatores promovem o aumento da acidez do meio, intensificando a corrosividade do combustível, o que pode comprometer peças metálicas dos motores, especialmente no sistema de injeção, por meio da formação de depósitos e degradação dos materiais (Freitas et al., 2019).

Em estudo experimental, Cursaru et al. (2014) investigaram a suscetibilidade à corrosão de metais como alumínio, cobre e aço-carbono após exposição a diferentes misturas de biodiesel: B0 (100% diesel), B20 (mistura de 20% biodiesel com diesel) e B100 (100% biodiesel). As amostras foram submetidas a 3.000 horas de ensaio, tanto à temperatura ambiente (22–28 °C) quanto a 60 °C. Os resultados indicaram que a corrosão foi mais severa em temperaturas elevadas, e que o biodiesel de girassol apresentou maior agressividade corrosiva em comparação ao diesel mineral. Dentre os materiais avaliados, o cobre demonstrou maior suscetibilidade à corrosão quando exposto ao biodiesel, seguido pelo aço-carbono e, por fim, o alumínio, que apresentou maior resistência.

#### **2.4 Comportamento Corrosivo Associado ao Uso do Biodiesel Metílico**

O biodiesel metílico é composto por ésteres de ácidos graxos, originados da transesterificação de óleos vegetais (como soja e girassol) ou gorduras animais. Apesar de ser uma alternativa renovável e ambientalmente mais limpa, sua composição química apresenta desafios, especialmente no que diz respeito à estabilidade oxidativa. A presença de umidade, oxigênio atmosférico, íons metálicos e impurezas acelera a formação de radicais livres, que promovem a oxidação do combustível. Essa oxidação resulta na geração de compostos indesejados, como ácidos orgânicos, álcoois, aldeídos e cetonas, aumentando a acidez do biodiesel e formando gomas que prejudicam o funcionamento de motores (Clemente et al., 2023; Klein et al., 2022; Jain & Sharma, 2010; Saluja, Kumar & Sham, 2016).

Pesquisas recentes mostram que o biodiesel pode intensificar o processo corrosivo em diversos metais. Cursaru et al. (2014) investigaram o comportamento de alumínio, cobre e aço-carbono quando expostos a diferentes misturas de combustível: B0 (diesel puro), B20 (20% biodiesel) e B100 (biodiesel puro), durante 3000 horas, em temperaturas de 22–28 °C e 60 °C. Os resultados revelaram que a temperatura elevada acentuou a corrosão, sendo o biodiesel de girassol mais agressivo que o

diesel convencional. Dentre os materiais testados, o cobre foi o mais suscetível à corrosão, seguido pelo aço-carbono e, por último, o alumínio.

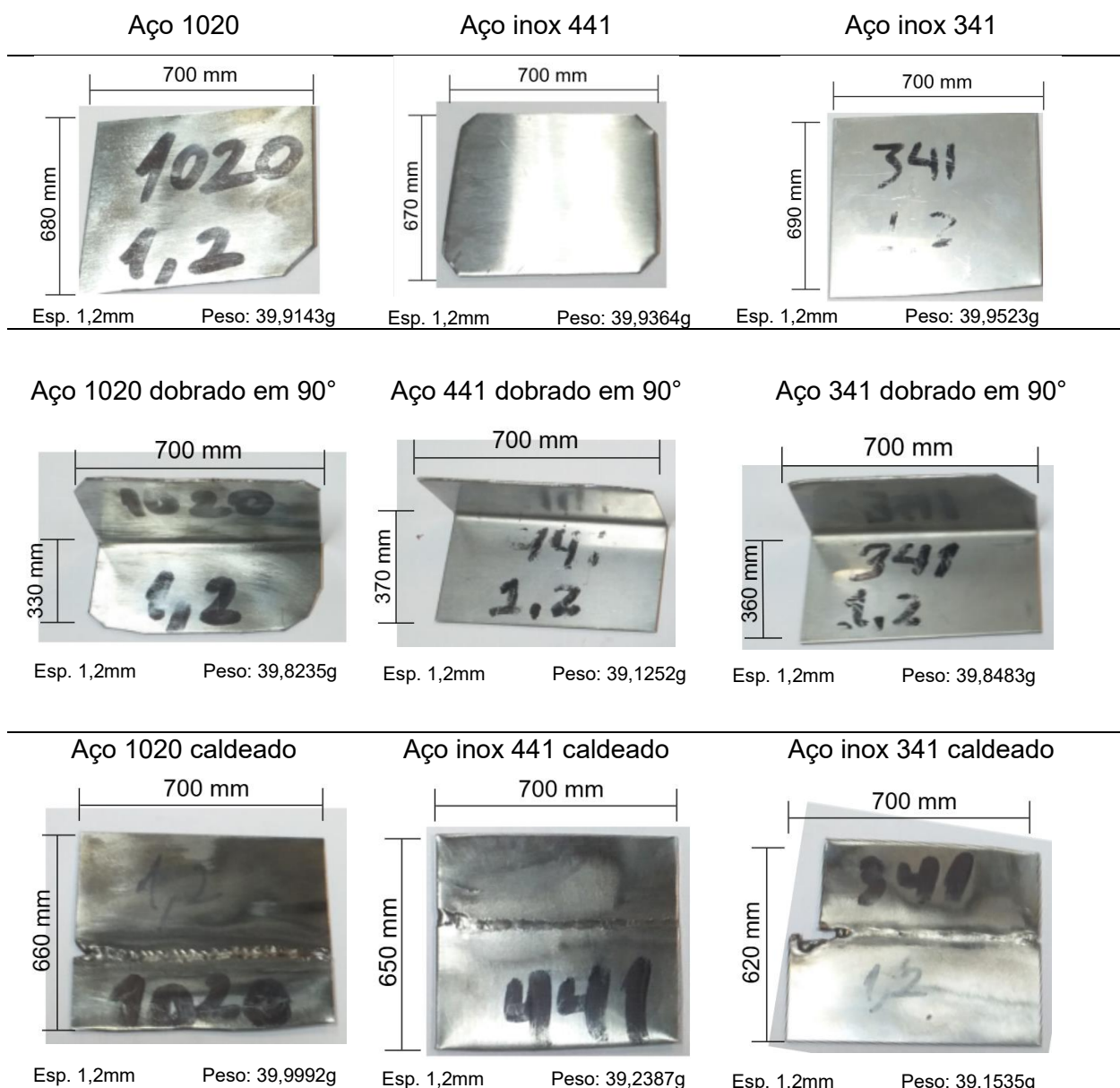
Esses estudos reforçam a importância de avaliar a compatibilidade entre o biodiesel e os materiais metálicos com os quais ele entra em contato, justificando a relevância de trabalhos como este, que investigam o comportamento corrosivo de diferentes tipos de aço — especialmente o aço-carbono 1020 e os aços inoxidáveis 304 e 316 — quando expostos ao biodiesel metílico. Freitas et al. (2019) complementa que a estrutura molecular do biodiesel, rica em ligações duplas, o torna mais suscetível a reações de oxidação quando exposto à luz, calor, umidade, íons metálicos e até mesmo à contaminação microbiana. Essas reações tornam o meio mais ácido, favorecendo processos de corrosão eletroquímica nas superfícies metálicas, especialmente em peças do sistema de injeção e reservatórios metálicos. A degradação do biodiesel também pode resultar na formação de depósitos e incrustações, comprometendo o desempenho do motor.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Corpos de Prova

Os corpos de prova foram confeccionados de maneira a facilitar sua imersão em biodiesel, permitindo que o ataque corrosivo ocorra de forma uniforme sobre a superfície das chapas. Para a realização dos ensaios, foram preparadas amostras de aço-carbono 1020 e dos aços inoxidáveis 304 e 316, em três diferentes configurações: chapas lisas, chapas dobradas a 90° e chapas soldadas pelo processo de caldeamento. Na Figura 1, são apresentados os diferentes formatos dos corpos de prova utilizados no experimento. Antes da imersão, todas as amostras foram devidamente limpas, com a remoção das marcações em tinta utilizando álcool, a fim de evitar interferências nos resultados dos testes de corrosão.

**Figura 1 – Corpos de prova confeccionados nos formatos chapa lisa, dobradas a 90° e soldadas por caldeamento dos aços carbono 1020 e aços inoxidáveis 441 e 341**

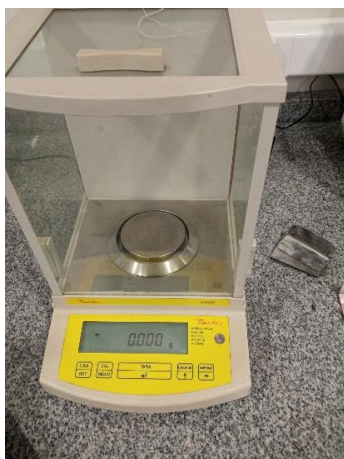


**Fonte: Autoria própria (2025).**

A identificação dos corpos de prova foi feita por marcação direta na superfície, indicando o tipo de aço e a espessura. O peso das chapas foi registrado antes da conformação, apresentando valores médios de 39,91 g para o aço 1020, 39,93 g para o aço inox 441 e 39,95 g para o aço inox 341. Após a etapa inicial, cada corpo de

prova foi submetido a um processo de dobra em ângulo de 90°, utilizando uma prensa dobradeira hidráulica com matriz adequada para chapas finas. Essa operação foi realizada para simular condições de conformação mecânica e avaliar o comportamento estrutural dos materiais. As dobras foram realizadas mantendo a espessura original de 1,2 mm, sem remoção de material e todas as pesagens obtidas ao longo deste trabalho foram realizadas na balança analítica modelo AW220 da marca Marte, como mostra a Figura 2.

**Figura 2 – Balança de precisão empregada nas pesagens**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

A utilização da balança analítica foi essencial para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados, visto que pequenas variações de massa podem influenciar diretamente na interpretação dos dados obtidos nos ensaios de corrosão. O equipamento foi previamente calibrado, assegurando medições dentro da margem de erro aceitável para análises laboratoriais. Dessa forma, as pesagens serviram como base quantitativa para o monitoramento das perdas de massa das amostras metálicas ao longo do período de imersão em biodiesel, permitindo avaliar com maior exatidão o comportamento corrosivo de cada material.

### **3.2 Processo de limpeza**

As amostras descritas foram limpas inicialmente com água e sabão. Uma mistura de acetona (Anidrol®) com álcool isopropílico (CHEMCO®) foi empregada para retirar resquícios de marcações de tinta provenientes do planejamento dos cortes. Em seguida, as amostras foram desengorduradas com os solventes éter (Dinâmica®) e hexano (Anidrol®). Os reagentes são mostrados na Figura 3.

**Figura 3 – Solventes empregados no processo de limpeza das chapas**



Fonte: Autoria própria (2025).

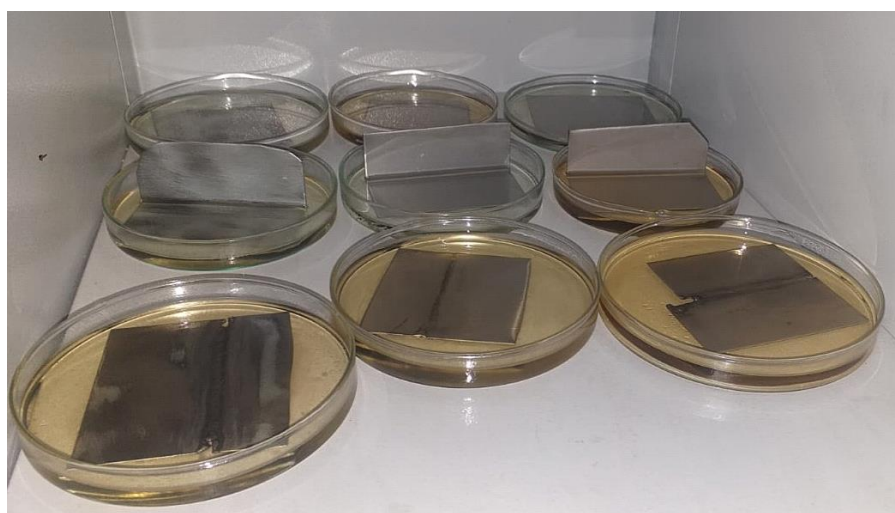
O processo de limpeza é uma etapa fundamental para garantir a remoção completa de impurezas, óleos e resíduos que possam interferir nas análises subsequentes de corrosão. A presença de contaminantes na superfície metálica poderia comprometer a uniformidade da reação com o biodiesel, resultando em dados inconsistentes sobre a taxa de corrosão. Dessa forma, o tratamento químico das amostras assegurou que os efeitos observados ao longo do experimento fossem exclusivamente atribuídos à ação corrosiva do biodiesel metílico, assegurando a reprodutibilidade e a confiabilidade dos resultados obtidos.

### 3.3 Preparo das Amostras

As chapas foram medidas com um paquímetro (Maub®) e ajustadas no tamanho de 7 cm x 7 cm. As amostras secaram em temperatura ambiente. As amostras citadas foram pesadas em duplicata em balança analítica (MARTE, modelo AW220). As amostras foram soldadas por método de solda autógena, conhecida por

soldagem por caldeamento, e foram pesadas após o caldeamento, a fim de evitar diferenças de massas resultantes do processo em si. As amostras foram imersas no biodiesel previamente produzido, acondicionadas em placas de petri e armazenadas na ausência de luz e a temperatura ambiente, como é mostrado na Figura 4. As amostras foram pesadas novamente após 123 dias do início do experimento (18/07/2024-18/11/2024) para verificar a perda de massa por corrosão.

**Figura 4 – Corpo de Prova imersos em biodiesel metílico**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

As amostras foram limpas inicialmente com água e sabão, uma mistura de acetona com álcool isopropílico foi empregada para retirar resquícios de marcações de tinta provenientes do planejamento dos cortes. Em seguida, foram desengorduradas com os solventes éter e hexano e secas em temperatura ambiente. As dimensões dos corpos de prova foram verificadas com um paquímetro (Maub®) e ajustadas no tamanho de 7 cm x 7 cm e pesadas em duplicata em balança analítica (MARTE, modelo AW220). Com relação às amostras soldadas pelo método de solda autógena, também conhecido como soldagem por caldeamento, estas foram pesadas após o processo, a fim de evitar diferenças de massa decorrentes da própria soldagem. Em seguida, as amostras foram imersas no biodiesel previamente produzido, acondicionadas em placas de Petri e armazenadas à temperatura ambiente, na ausência de luz.

O quadro 1 apresenta os dados iniciais das amostras utilizadas nos ensaios, incluindo o tipo de aço, o modo de preparo, a massa inicial, a espessura e o volume de biodiesel adicionado. Observa-se que foram empregados três tipos de material: aço 1020, inox 341 e inox 441, cada um submetido as condições de preparo: chapa lisa, dobrada em 90° e soldada por caldeamento.

**Quadro 1 – Modo de preparo, espessura e massa inicial das amostras**

Número do ensaio	Tipo de aço	Modo	Peso inicial (g)	Espessura (mm)	Volume de biodiesel adicionado (mL)
1	aço 1020	chapa lisa	39,9143	1,2	25,0
2	inox 341	chapa lisa	39,9523	1,2	25,0
3	inox 441	chapa lisa	39,9364	1,2	25,0
4	aço 1020	dobrada em 90°	39,8235	1,2	25,0
5	inox 341	dobrada em 90°	39,8483	1,2	25,0
6	inox 441	dobrada em 90°	39,1252	1,2	25,0
7	aço 1020	soldada por caldeamento	39,9992	1,2	25,0
8	inox 341	soldada por caldeamento	39,1535	1,2	25,0
9	inox 441	soldada por caldeamento	39,2387	1,2	25,0

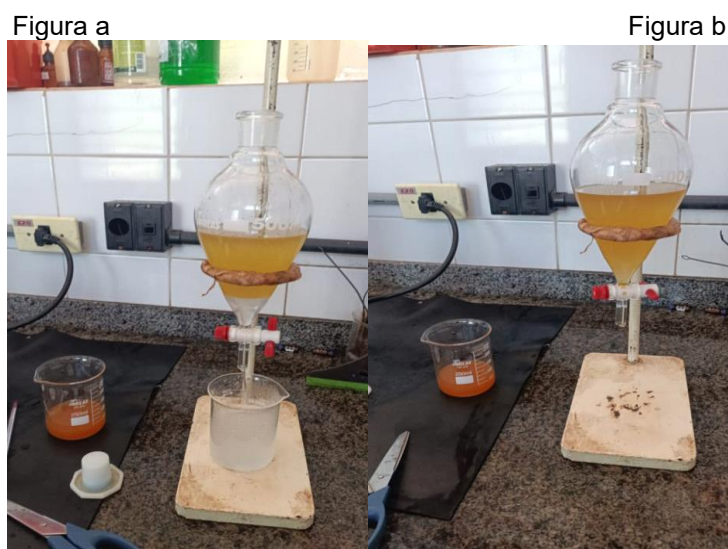
Fonte: Autoria própria (2025).

Em síntese, a tabela evidencia um planejamento experimental cuidadoso, com controle de variáveis, todas as amostras possuem espessura uniforme de 1,2 mm e foram imersas em biodiesel, garantindo condições experimentais padronizadas para comparação dos resultados. A massa inicial das amostras apresenta pequenas variações, situando-se em torno de 39 g, o que indica consistência no corte e preparo, embora haja diferenças mínimas atribuídas às características do material e ao processo de conformação. As amostras foram pesadas novamente após 123 dias do início do experimento (18/07/2024 - 18/11/2024) para verificar a perda de massa por corrosão. As análises estatísticas da perda de massa das amostras foram comparadas pelo teste de Tukey com  $p \leq 0,05$  pelo software Statistica v.12.

### 3.4 Síntese do Biodiesel

A reação de transesterificação empregou do óleo de soja refinado (COAMO®) como fonte de triglicerídeos, metanol como álcool de cadeia curta e hidróxido de potássio (KOH, SIGMA–ALDRICH®, 95%) como catalisador alcalino na concentração de 0,8% m/m. A síntese ocorreu em balão de 3 vias sob refluxo, aquecimento a 60 °C e agitação por duas horas. Após o período de síntese, as fases foram separadas em um funil de separação. O biodiesel obtido foi lavado, primeiramente, com solução aquosa de ácido clorídrico (HCl, SYNTH®, 38%) (1,5% m/m) e posteriormente, com água destilada, ambos a 80 °C, até pH neutro medido em fita universal e desumidificados com a adição do sulfato de sódio anidro (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; SYNTH®) e, em seguida, filtrado à vácuo. O biodiesel foi sintetizado no Laboratório de Pesquisas e Análises de Combustíveis (LPAC) na Universidade Estadual de Londrina (Londrina, PR). A declaração de doação foi entregue ao SENAI Londrina - PR. A Figura 5 mostra a etapa de lavagem do biodiesel e neutralização do catalisador hidróxido de potássio (pH>7).

**Figura 5 – a) Separação da glicerina do biodiesel e b) neutralização do catalisador e lavagem do biodiesel**



Fonte: Autoria própria (2025).

A amostra foi mantida sob refrigeração e acondicionada em frasco âmbar até ser utilizada. Para uma massa de 203,139 g de óleo de soja, 125 mL de metanol e 2,01 g de KOH foram obtidos 196,550 g de ésteres metílicos após a separação da glicerina, lavagem e secagem. O rendimento foi baseado no cálculo da massa molar do ácido oleico e a estequiometria reacional, ocorreram eventuais perdas de biodiesel na separação da glicerina, saponificação de ácidos graxos livres e perdas na lavagem ocasionam um menor rendimento da reação de transesterificação do biodiesel. O processo de lavagem e neutralização do catalisador foi essencial para a remoção de impurezas residuais.

### 3.5 Microscopia Digital

As amostras foram analisadas por meio de um microscópio digital, o que possibilitou a observação detalhada das características morfológicas sem a necessidade de procedimentos complexos de preparação. Nessa etapa, utilizou-se um microscópio digital da marca Electronic Magnifier, conforme ilustrado na Figura 6.

**Figura 6 – Microscópio digital Eletronic Magnifier**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

Cada amostra foi posicionada cuidadosamente na plataforma do equipamento, garantindo estabilidade e foco adequado. As imagens foram capturadas em diferentes

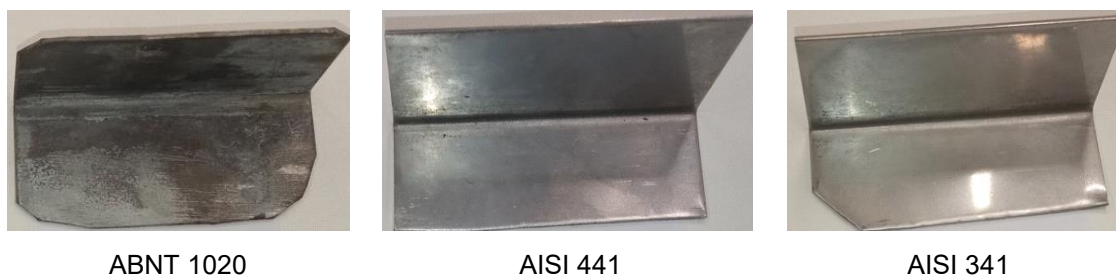
ampliações para possibilitar uma avaliação precisa das estruturas superficiais e eventuais irregularidades. O software integrado ao microscópio foi utilizado para ajustar parâmetros como brilho, contraste e nitidez, assegurando a qualidade das imagens obtidas. Todas as análises seguiram um protocolo padronizado para manter a reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados.

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Corpos de Prova

A Figura 7 mostra a corrosão das amostras dobradas a 90° após 123 dias imersos em biodiesel metílico. As amostras foram limpas com água e sabão e solventes para posteriores análises de microscopia.

**Figura 7 – Corpo de Prova Dobrado**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

A amostra de aço carbono ABNT 1020 apresenta áreas escuras e irregulares, sugerindo ataque não uniforme. Isso pode indicar a ocorrência simultânea de corrosão generalizada e localizada (pites), com maior intensidade na região da dobra, onde há concentração de tensões e possível ruptura da camada passiva natural do aço carbono. Embora os aços inoxidáveis apresentem boa resistência geral, pode apresentar corrosão, provável em áreas onde a película passiva de óxido de cromo foi danificada durante a dobra. A região da dobra é particularmente vulnerável, pois

tensões residuais e microfissuras podem comprometer a camada passiva, criando sítios para nucleação de pites. Na amostra de aço inoxidável AISI 441, observa-se uma superfície aparentemente íntegra, com brilho metálico preservado e ausência de manchas evidentes, sugerindo que a corrosão, se presente, ocorreu em nível microscópico. Isso reforça a hipótese de mecanismos localizados (pites ou intergranular) em regiões de maior tensão.

Para a amostra de aço inoxidável AISI 341, nota-se uma superfície aparentemente íntegra e sem evidências de ataque generalizado. Essa condição indica que a película passiva de óxido de cromo manteve sua funcionalidade em grande parte da superfície, mesmo em contato prolongado com o meio orgânico. No entanto, considerando as tensões residuais geradas pela dobra e a possível presença de contaminantes no biodiesel, como traços de água e íons cloreto, é provável a ocorrência de mecanismos localizados, como corrosão por pite, em regiões críticas onde a camada passiva possa ter sido comprometida. Além disso, a deformação plástica pode ter favorecido heterogeneidades nos contornos de grão, elevando o risco de corrosão intergranular.

A Figura 8 mostra a corrosão das amostras lisas após 123 dias imersos em biodiesel metílico. As amostras foram limpas com água e sabão e solventes para posteriores análises de microscopia.

**Figura 8 – Corpo de Prova Plano**



ABNT 1020

AISI 441

AISI 341

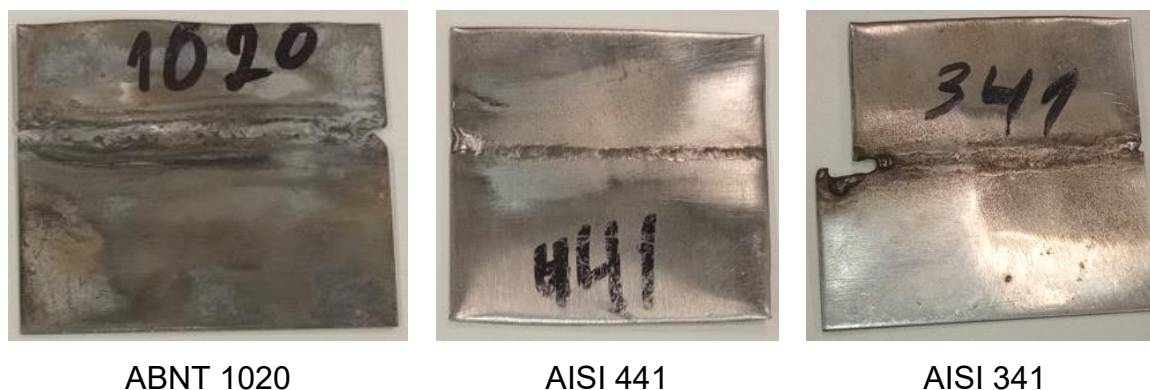
Fonte: Autoria própria (2025).

No aço carbono ABNT 1020 observa-se predominância de corrosão uniforme com indícios de corrosão localizada (pites), associada à presença de água e compostos polares no biodiesel. Embora não haja perfurações, as manchas irregulares sugerem início de pites, a coloração amarronzada é típica de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), formados pela reação do ferro com água e oxigênio dissolvido no biodiesel. Esses produtos podem aderir à superfície, dificultando inspeção visual e exigindo análise microscópica para caracterização.

Nas amostras de aço inoxidável AISI 441 e AISI 341 observa-se pequenas variações de tonalidade e riscos superficiais e ausência de manchas escuras ou depósitos evidentes. A presença de contaminantes como íons cloreto ou compostos polares pode induzir corrosão localizada, mesmo em aços inoxidáveis. Embora não haja evidências visuais de pites, regiões com microdefeitos ou inclusões podem ter sofrido ataque localizado.

A Figura 9 mostra a corrosão das amostras soldadas após 123 dias imersos em biodiesel metílico. As amostras foram limpas com água e sabão e solventes para posteriores análises de microscopia.

**Figura 9 – Corpo de Prova Soldado**



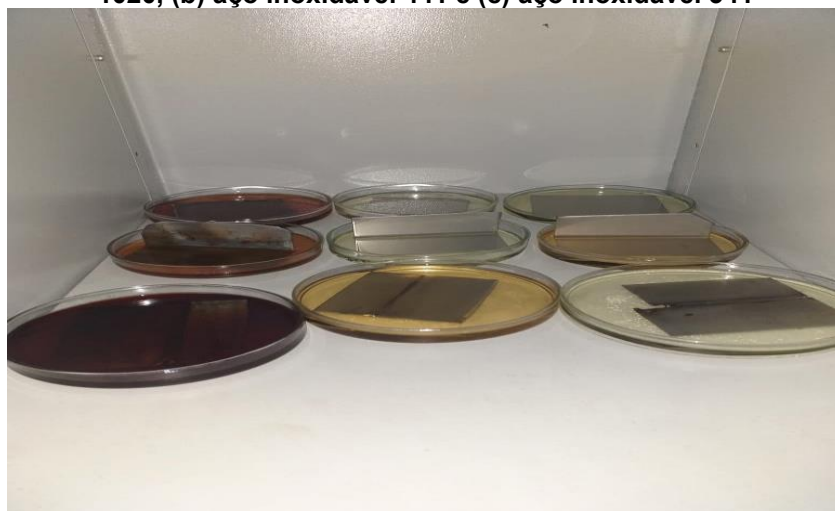
**Fonte: Autoria própria (2025).**

No aço carbono ABNT 1020 sugere que a corrosão ocorreu de forma significativa, especialmente na área da solda, onde há alterações microestruturais e tensões residuais. A linha de solda visível na imagem sugere maior degradação nessa

área, possivelmente por perda de homogeneidade química e formação de zonas anódicas. Depósitos ou resíduos orgânicos aderidos durante a imersão podem criar microambientes com baixa oxigenação, favorecendo corrosão por fresta, especialmente próximo à solda. Nas amostras de aço inoxidável AISI 441 e AISI 341, a coloração amarronzada é típica de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), formados pela reação do ferro com água e oxigênio dissolvido no biodiesel. Esses produtos podem aderir à superfície, dificultando inspeção visual. Regiões soldadas apresentam microestruturas heterogêneas e tensões residuais, tornando-as mais suscetíveis à corrosão localizada e manchas irregulares podem sugerir início de pites.

É possível observar nas Figuras 7, 8 e 9 que o tipo de aço que sofreu um maior ataque e foi corroído foi o aço-carbono 1020. A Figura 10 apresenta as amostras em contato com o biodiesel depois do período de armazenamento na ausência de luz e a temperatura ambiente.

**Figura 10 – Amostras após 123 dias de armazenamento do biodiesel em contato com (a) aço 1020, (b) aço inoxidável 441 e (c) aço inoxidável 341**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

Nota-se visualmente que as amostras de aço 1020 imersas no biodiesel forneceram uma coloração mais escura que as demais amostras de aço. A variação de coloração do biodiesel indica a transferência de íons de ferro para a amostra. Apesar de ser um aço relativamente barato, cerca de 6 reais/kg (Aços Apeeram, 2025),

quando comparado aos aços 441 e 341, esse material pode auxiliar na degradação do biodiesel durante o armazenamento. A degradação do biodiesel é acelerada por diferentes fatores no armazenamento: presença de água na mistura, oxigênio, incidência de radiação UV, aumento da temperatura, contaminação microbiológica e contaminação com compostos metálicos (Saluja; Kumar; Sham, 2016).

Diversos compostos são formados a partir da propagação dos radicais livres originados na reação de oxidação, aumentando a acidez do biodiesel. Os hidroperóxidos formados na reação podem ser decompostos resultando na formação de uma variedade de produtos como álcoois cetona, ácidos orgânicos, aldeídos. Ainda, pode haver polimerização de compostos, formando gomas e causando danos aos motores de veículos automotivo. As contaminações metálicas podem ser originadas nos tanques usados na produção, armazenamento e transporte do biocombustível (Jain; Sharma, 2010).

Os processos corrosivos podem ser reações químicas heterogêneas ou reações eletroquímicas, ocorrendo com interações superficiais entre o metal e o meio corrosivo (Gentil, 1994). Tavares et. al. (2023) avaliou o comportamento do aço microligado API X70 em presença de biodiesel produzido com óleo girassol. A influência da acidez do biodiesel foi relacionada a corrosão do aço, obtendo resultados superiores de corrosão para amostras de aço microligado imersas em biodiesel de girassol puro e com adição de ácido oleico durante os primeiros 2 dias.

Ainda, houve uma redução na taxa de corrosão para todas as amostras analisadas durante os 30 dias, podendo estar relacionada com a formação de um filme superficial das amostras de aço, diminuindo assim a taxa da corrosão (Tavares et.al., 2023). Chendynski (2019) obteve uma corrosão quando empregou extrato de amora ao biodiesel com a amostra de aço-carbono, obtendo um efeito contrário ao esperado em relação a adição de extrato com propriedades antioxidantes, degradando de forma mais rápida quando deveria estar inibindo a reação de oxidação. A autora discute que esse comportamento é devido a presença de sedimentos e essas partículas originaram a corrosão da chapa de aço-carbono e

transferência de íons de ferro para a mistura, quantificado por Espectroscopia de raios X de energia dispersiva (EDX).

Conforme cita Tavares (2023), há diferentes técnicas para mensurar as taxas de corrosão: ensaios gravimétricos e eletroquímicos. Nos ensaios gravimétricos, a taxa de corrosão é avaliada pela perda de massa da amostra imersa em meio corrosivo. Já os ensaios eletroquímicos empregam técnicas de polarização ou varreduras de potencial para a quantificação da taxa corrosiva. Neste trabalho será empregada a gravimetria para a determinação da taxa de corrosão. O Quadro 2 mostra a perda de massa avaliada ao final do período de armazenamento.

**Quadro 2 – Média do peso inicial e final das amostras, variação da massa e perda da massa em porcentagem**

Número do ensaio	Tipo de aço	Peso inicial (g) ±0,001	Peso final (g) ±0,001	Variação de massa (g)	Perda de massa (%)
1	aço 1020	39,9143	39,78525	0,1290	0,320
2	inox 341	39,9523	39,93315	0,0192	0,048
3	inox 441	39,9364	39,93525	0,0012	0,003
4	aço 1020	39,8235	39,72445	0,0991	0,249
5	inox 341	39,8483	39,84275	0,0055	0,014
6	inox 441	39,1252	39,12435	0,0009	0,002
7	aço 1020	39,9992	39,60695	0,3923	0,980
8	inox 341	39,1535	38,74425	0,4093	1,045
9	inox 441	39,2387	38,41515	0,8236	2,099

Fonte: Autoria própria (2025).

Pelos ensaios listados no quadro, nota-se que houve a maior perda de massa para os ensaios 7, 8 e 9 correspondendo as amostras de aço 1020, chapa de aço inoxidável 341 e chapa de aço inoxidável 441 soldadas por caldeamento. Não houve diferença significativa na perda de massa entre os tipos de aço utilizados no nível de 95% pelo Teste de Tukey com  $p > 0,05$ , variando de  $0,87 < p < 0,97$ . Entretanto, o tratamento com soldagem por caldeamento resultou numa perda de massa superior as demais amostra com diferença significativa entre os demais tratamentos no nível

de 95% pelo Teste de Tukey com  $p = 0,017$  (chapas lisas) e  $p = 0,015$  (chapas dobradas a  $90^\circ$ ).

A solda autogena, conhecido na indústria amplamente como caldeamento, é um tipo de soldagem em que há a junção das peças metálicas sem o uso de material de adição. A fusão do próprio material das peças é suficiente para formar uma junta (Brandão, 2021). Esse processo é comum em técnicas como soldagem oxiacetilênica, TIG (GTAW) e soldagem por resistência, sendo utilizado principalmente em chapas finas e em materiais de maior dificuldade para soldagem, como alumínio e titânio e aço inoxidável (Lopes, Santos, 2020).

Conforme aborda Gentil (1994, p. 66), o aquecimento de aços inoxidáveis ferríticos ou austeníticos aumenta a possibilidade de corrosão intergranular, reduzindo a resistência mecânica. Logo, o aço está sensibilizado ou sensibilizado quando é submetido a  $400-900^\circ\text{C}$  para aços austeníticos e  $925^\circ\text{C}$  para os ferríticos.

O ferro perde sua passivação facilmente em exposição à atmosfera, porém em misturas superiores a 11% de cromo, a passivação é de maior estabilidade à oxidação como em aços inoxidáveis. Os aços inoxidáveis apresentam cromo em sua composição em quantidades superiores a 10,5%, sendo que esse elemento em solução sólida no ferro forma uma película passivadora sobre as superfícies.

As ligas austeníticas são não-magnéticas possuindo ótimas condições de soldabilidade e estampabilidade. Os aços inoxidáveis martensíticos são resistentes à corrosão atmosférica, com fragilidade e dureza elevada, fator dependente do teor de carbono, sendo aplicados em cutelaria, instrumental cirúrgico e odontológico e peças de turbinas aeronáuticas, materiais que requerem resistência ao desgaste e corte (Pinto, 2006; Moraes, 2006).

Yaakob et al. (2014) cita que polietileno e polipropileno são materiais plásticos não adequados para o armazenamento de biodiesel, assim como aqueles contendo cobre. Teflon, Viton, plásticos fluorados e nylon são compatíveis para armazenamento de biodiesel. Os materiais compatíveis incluem alumínio, aço-carbono, aço inoxidável e fibra de vidro.

Corrosão por Pite ou Puntiforme: caracteriza-se por um ataque localizado na superfície metálica, resultando na formação de pequenas cavidades denominadas pites. Essas cavidades apresentam fundo com formato anguloso e profundidade superior ao diâmetro, o que evidencia um processo de corrosão intenso, concentrado e de caráter mais destrutivo. Corrosão Alveolar: ocorre quando o ataque se distribui de forma mais ampla sobre a superfície metálica, originando sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos. Diferentemente da corrosão por pite, essas cavidades possuem fundo arredondado e profundidade geralmente inferior ao diâmetro, indicando um processo menos agressivo, porém ainda significativo.

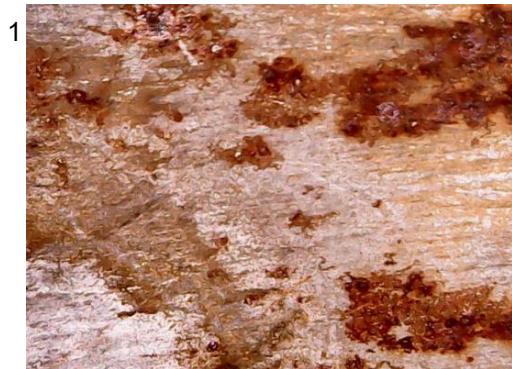
Os resultados obtidos demonstram que o biodiesel B100 pode acelerar processos corrosivos, favorecendo o desgaste progressivo da superfície metálica e comprometendo, a longo prazo, a integridade estrutural e a durabilidade dos materiais utilizados em sistemas de armazenamento e condução de combustíveis.

## 4.2 Microscopia

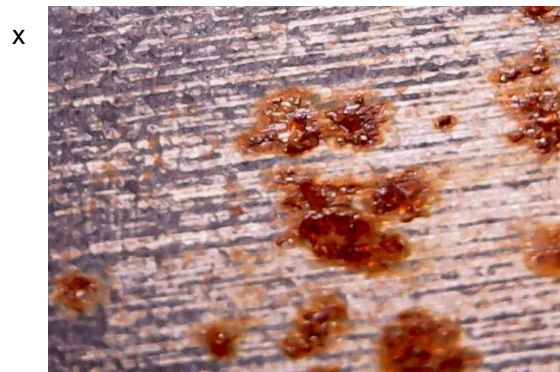
Nas amostras de aço-carbono houve formação de corrosão predominantemente generalizadas, formação de manchas escuras, pontos de oxidação distribuídos, indicando ataque uniforme. Possível presença de pites iniciais (pitting) em regiões mais reativas. A Figura 11 mostra diferentes imagens fornecidas por microscopia óptica digital portátil das amostras de aço-carbono.

**Figura 11 – Imagens obtidas por microscopia das amostras retiradas após 123 dias imersas em biodiesel metílico a temperatura ambiente e na ausência de luz.**

- a) Imagem da frente da chapa lisa do aço 1020



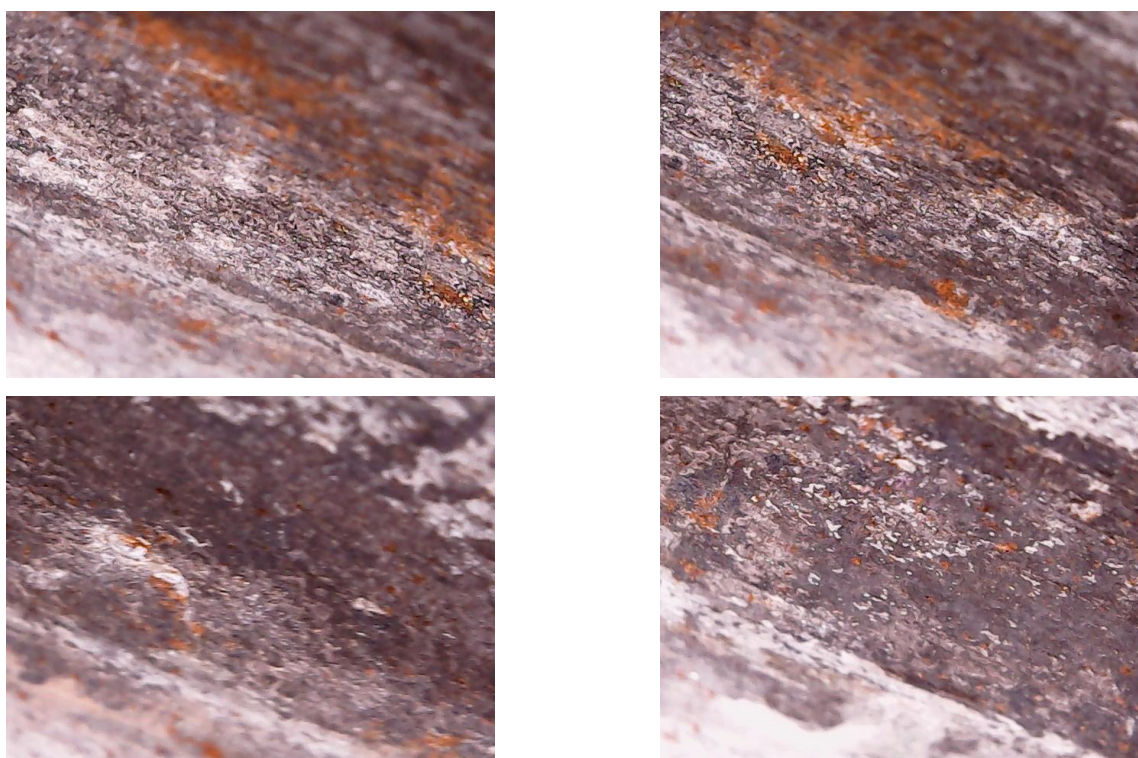
b) Imagem do verso da chapa lisa do aço 1020



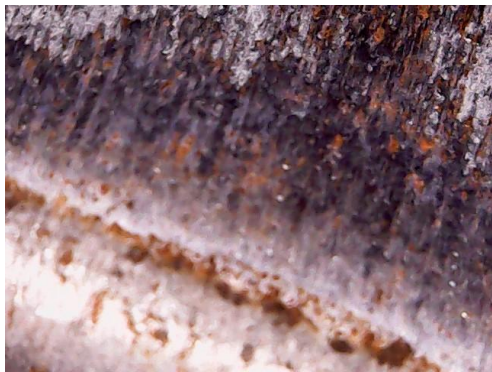
Fonte: Aatoria própria (2025).

Na amostra de chapa 1020 lisa a superfície frontal apresentou corrosão localizada do tipo pite, enquanto na face posterior evidenciou corrosão alveolar, ambas resultantes da exposição ao biodiesel. Na região de crista e vale da chapa dobrada, observou-se maior concentração de pites de corrosão indicando zonas de maior susceptibilidade ao ataque corrosivo. Por sua vez as amostras caldeadas, a degradação ocorreu predominantemente nas proximidades da solda e da zona termicamente afetada (ZTA), sugerindo influência direta do gradiente térmico e das tensões residuais sobre o mecanismo corrosivo em ambos os lados.

c) imagem da frente da chapa dobrada a 90° do aço 1020



d) Imagem do verso da chapa dobrada a 90° do aço 1020

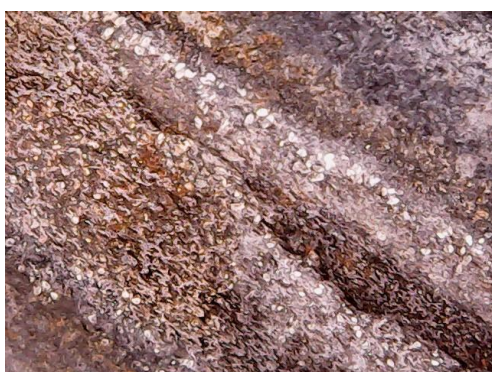


e) Imagem da frente da chapa soldada do aço 1020





f) Imagem do verso da chapa soldada do aço 1020

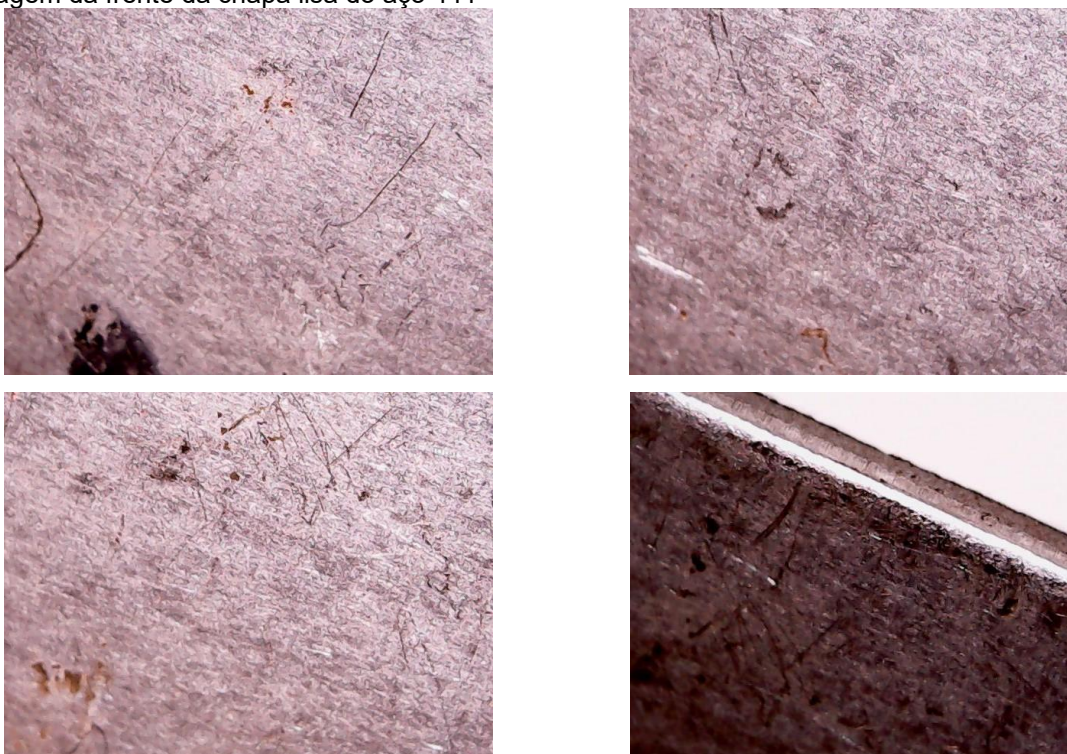


Os corpos de prova (aço 1020, aço inox 441 e aço inox 341) foram submetidos à imersão em biodiesel, armazenados na ausência de luz e à temperatura ambiente por um período determinado. Após esse tempo, as superfícies foram analisadas por microscopia óptica digital portátil. Com base em literatura técnica e normas como a ASTM G, ASTM G31 e NACE SP0108 observou-se:

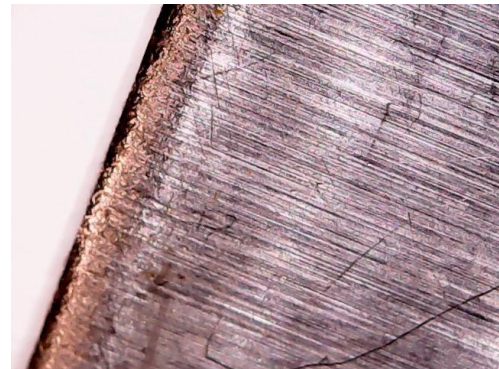
Aço Inox 441 (Ferrítico): corrosão predominantemente localizada (pitting), presença de pequenas cavidades ou pontos brilhantes cercados por áreas escurecidas, indicando ruptura localizada da camada passiva. Esse comportamento está associado à composição química do aço, apesar de conter teor significativo de cromo. Não possui níquel em sua estrutura, o que reduz sua estabilidade frente a ambientes altamente reativos, como o biodiesel metílico.

A ruptura da camada passiva permite o início de reações eletroquímicas pontuais, promovendo a formação de pites e microcavidades, típicas da corrosão localizada. Esse tipo de ataque, embora superficial, pode evoluir de forma acelerada em condições prolongadas de exposição, comprometendo a integridade superficial e durabilidade do material.

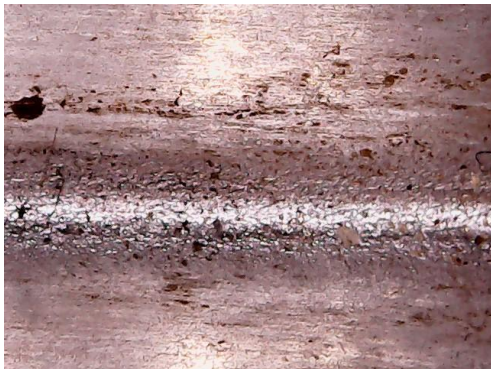
g) Imagem da frente da chapa lisa do aço 441



h) Imagem do verso da chapa lisa do aço 441



i) Imagem da frente da chapa dobrada a 90° do aço 441



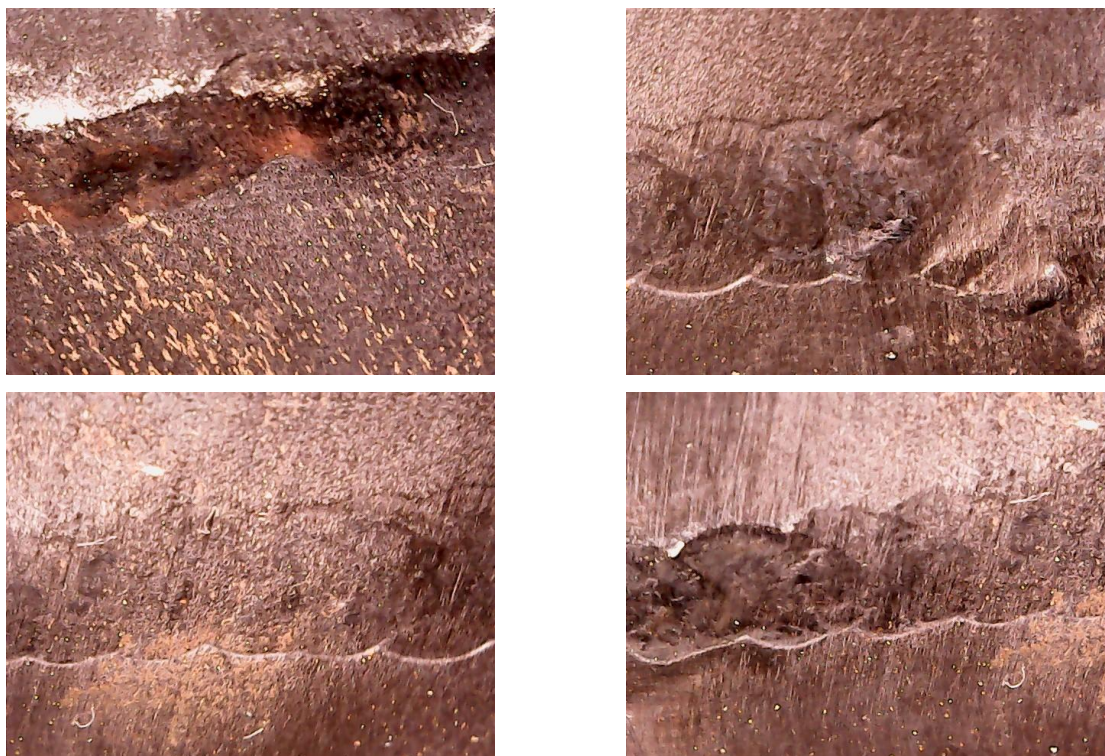
j) Imagem do verso da chapa dobrada a 90° do aço 441



k) Imagem da frente da chapa soldada do aço 441



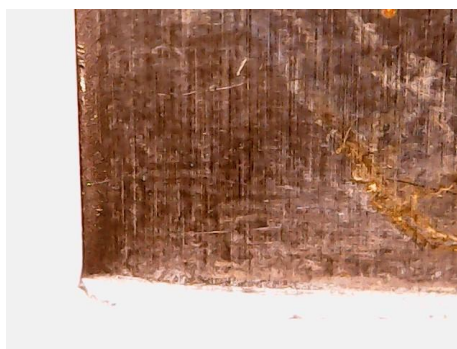
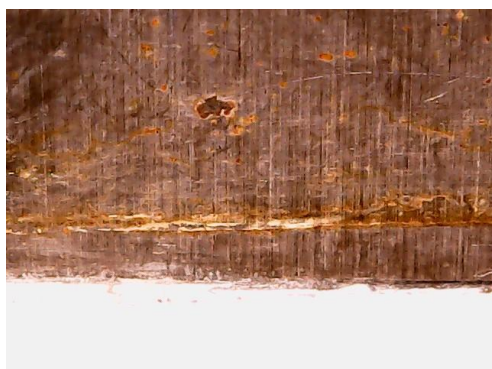
l) Imagem do verso da chapa soldada do aço 441



Aço Inox 341 (Austenítico): corrosão predominantemente por pite e possível corrosão intergranular. Áreas com pontos de corrosão mais profundos, possível ataque próximo às bordas ou regiões soldadas. Esse comportamento pode estar relacionado á precipitação de carboneto de cromo (CR<sub>3</sub>C<sub>2</sub>) nas fronteiras de grão, especialmente em regiões submetidas a calor intenso durante o processo de soldagem.

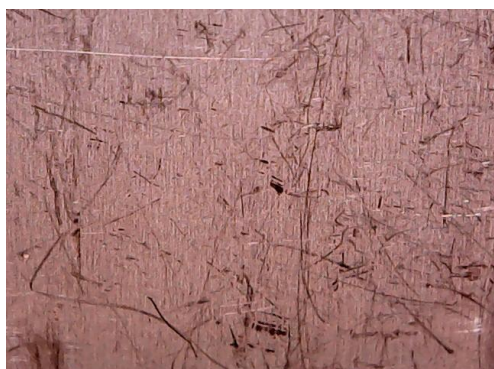
Essa precipitação tende a empobrecer a zona adjacente em cromo, reduzindo a capacidade de formação da camada passiva protetora e tornando o material mais suscetível ao ataque intergranular. Além disso, a presença de biodiesel metílico — um meio com compostos oxigenados e acidez elevada — intensifica o processo corrosivo, favorecendo a formação de pites e a propagação da corrosão ao longo dos contornos de grãos, o que compromete a integridade estrutural do aço.

m) Imagem da frente da chapa lisa do aço 341



n) Imagem do verso da chapa lisa do aço 341





o) Imagem da frente da chapa dobrada a 90° do aço 304



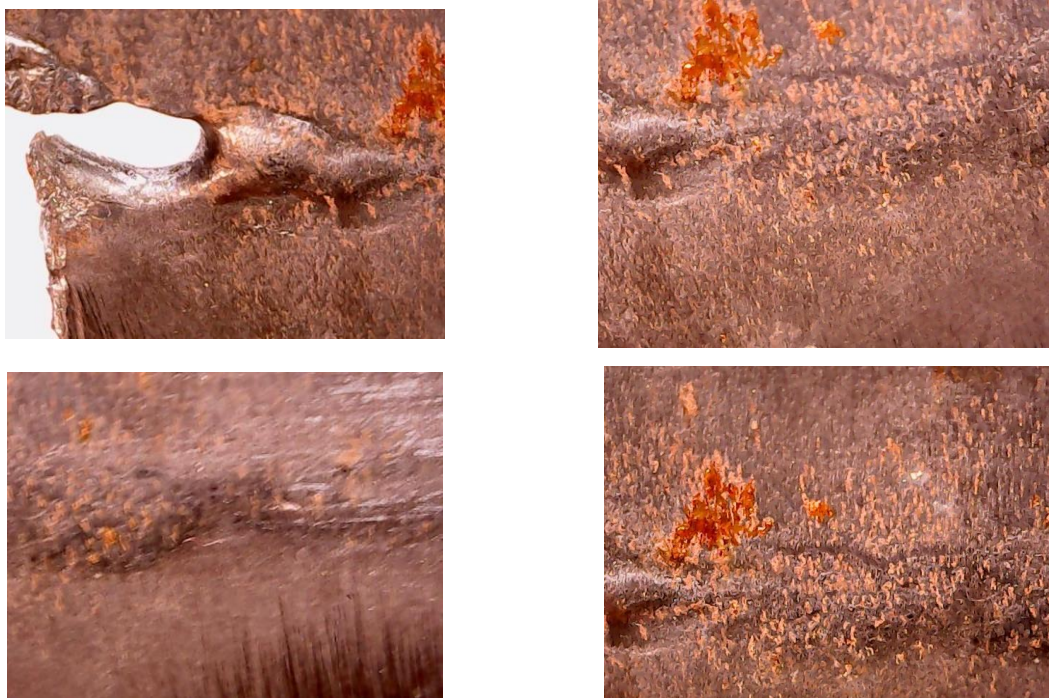
p) Imagem do verso da chapa dobrada a 90° do aço 304



q) Imagem da frente da chapa soldada do aço 341



r) Imagem do verso da chapa soldada do aço 341



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As amostras de aço com o tratamento de soldagem por caldeamento apresentaram valores superiores de perda de massa por corrosão decorrente da imersão em biodiesel metílico por 123 dias. Houve diferença significativa entre os demais tratamentos no nível de 95% pelo Teste de Tukey com  $p = 0,017$  (chapas lisas) e  $p = 0,015$  (chapas dobradas a  $90^\circ$ ). Não houve diferença significativa na perda de massa entre os tipos de aço utilizados no nível de 95% pelo Teste de Tukey com  $p > 0,05$ , variando de  $0,87 < p < 0,97$ . Apesar de ser um aço relativamente barato e economicamente atrativo, esse material pode auxiliar na degradação do biodiesel durante o armazenamento. As imagens de microscopia mostraram que houve corrosão localizada por tipo pite e corrosão alveolar nas amostras.

O aço carbono ABNT 1020 apresentou maior suscetibilidade à corrosão, evidenciada por manchas irregulares e alteração da superfície, com predominância de corrosão uniforme e indícios de corrosão localizada, especialmente nas regiões soldadas, onde as tensões residuais e a heterogeneidade microestrutural intensificaram o ataque. Em contraste, os aços inoxidáveis AISI 341 e AISI 441 demonstraram melhor resistência ao meio, mantendo aparência macroscópica íntegra, embora a literatura e as condições experimentais indiquem possibilidade de ocorrência de pites ou corrosão intergranular em áreas críticas, como zonas termicamente afetadas pela soldagem.

A presença de traços de água, ácidos graxos livres e compostos polares no biodiesel contribuiu para a formação de ambientes corrosivos, confirmando que, mesmo em meios orgânicos, a integridade dos materiais pode ser comprometida ao longo do tempo. Esses resultados reforçam a importância da escolha adequada do material para aplicações envolvendo biodiesel, bem como da avaliação de processos de fabricação, como soldagem e conformação, que podem alterar a resistência à corrosão. Análises microscópicas complementares serão fundamentais para confirmar os mecanismos identificados e quantificar a extensão do ataque, fornecendo subsídios para estratégias de mitigação e seleção de materiais em sistemas de transporte e armazenamento de biocombustíveis.

## REFERÊNCIAS

ASTM G1 – Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.

ASTM G31 – Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.

NACE SP0108 – Corrosion Control in Organic Media.

AMBROZIN, Alessandra Regina Pepe. CORROSÃO METÁLICA ASSOCIADA AO USO DE COMBUSTÍVEIS MINERAIS E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Química Nova**. São Carlos, p. 1910-1916. abr. 2025.

AçoInox. Disponível em: <[https://acoinox.pt/aco-inox-aisi-441-composicao-quimica-caracteristicas-e-aplicacoes/#google\\_vignette](https://acoinox.pt/aco-inox-aisi-441-composicao-quimica-caracteristicas-e-aplicacoes/#google_vignette)>. Acesso em: 12.12.2024

AGST Draht & Biegetechnik GmbH. AISI 321 | 1.4541 | X6CrNiTi18-10 | Aço inoxidável austenítico. Disponível em: <<https://www.agst.de/4541?lang=pt>>. Acesso em: 12.04.2025.

AMBROZIN, Alessandra Regina Pepe; KURI, Sebastião Elias; MONTEIRO, Marcos Roberto. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. **Química Nova**, v. 32, p. 1910-1916, 2009.

ANGILELLI, K. B; MANTOVANI, A. C. G; CHENDYNSKI, L. T. **Mathematical modeling of biofuel synthesis and storage**. EDUEL, 2022. ISBN 978-65-89814-44-3.

BRANDÃO, José Eduardo SA. **Tecnologia da Soldagem**. Sociedade Mineira de Cultura–Editora PUC Minas, 2021.

BRASIL. Lei Nº 11.097, DE 13 de janeiro de 2005, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos– Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; Diário Oficial da União, Brasília, 14 de janeiro de 2005

BRASIL. Lei Nº 13.033, DE 24 de setembro de 2014, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis –Regulamentação sobre as especificações do óleo diesel de uso rodoviário. Diário Oficial da União, Brasília, 25 de setembro de 2014(a)

BRASIL. RESOLUÇÃO, ANP Nº. 45, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 25.8. 2014–DOU 26.8. 2014(b)

BRASIL. RESOLUÇÃO, ANP Nº. 798, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis de 01.08. 2019–DOU 02.08. 2019

BRASIL. LEI Nº 14.993, DE 8 DE OUTUBRO DE 2024.Presidência da República, Casa Civil, Secretaria Especial para Assuntos Jurídicos -Dispõe sobre a promoção da mobilidade sustentável de baixo carbono e a captura e a estocagem geológica de dióxido de carbono; institui o Programa Nacional de Combustível Sustentável de Aviação (ProBioQAV), o Programa Nacional de Diesel Verde (PNDV) e o Programa Nacional de Descarbonização do Produtor e Importador de Gás Natural e de Incentivo ao Biometano.Diário Oficial da União, Brasília, 8 de outubro de 2024. Disponível em:<[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L14993.htm)>.

Acesso em: 10.12.2024

CARBÓ, Héctor Mario. Aços inoxidáveis: aplicações e especificações. São Paulo: **ArcelorMittal Brasil**, v. 29, 2008.

CURSARU, D.L.; BRANOIU, G.; RAMADAN I.; MICULESCU, F.; Degradation of automotive materials upon exposure to sunflower biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v.54, p.149–158, 2014

CHENDYNSKI, Leticia Thaís. **Influência de metais e ligas metálicas na reação de oxidação do biodiesel em mistura com extratos naturais**. 2019. 81 p. Tese - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CLEMENTE, Marco Aurélio Jeanegitz. **Estudo da influência de íons metálicos e extratos naturais de folhas, flores e frutos na reação de oxidação do biodiesel**. 2023. 58 f. Tese (Doutorado em Química) – Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

CNPE - CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. RESOLUÇÃO CNPE nº 3/2023.

LOPES, F. E.; SANTOS, F. S. **Estudo sobre a evolução dos processos de união na indústria automobilista**. 2020. 85 p. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FREITAS, J., FRANÇA, F. R., SILVA, M. S., TOMS, R. J., & SILVA, G. F. D. Evaluation of antioxidant activity of natural extracts on the oxidative stability of cottonseed biodiesel. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 36, p. 905-911, 2019.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**, 3ª edição, Livros técnicos e científicos, editora SA. Rio de Janeiro, 1994.

JAIN, Siddharth; SHARMA, M. P. Stability of biodiesel and its blends: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 14, n. 2, p. 667-678, 2010.

KLEIN, Renan Francisco Bohrer et al. Ensaio de corrosão acelerado para avaliação do metal formador de tanques de armazenagem de biodiesel. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 19, p. 0-0, 2022.

MORAES, Fernando Cruz de. **Influência da microestrutura dos aços inoxidáveis (austeníticos, ferríticos e martensíticos) na proteção contra a corrosão por filmes de polianilina.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NURTIFRI, I.; MANIAM G. P.; HINDRYAWATI, N; YUSOFF, M. M.; GANESAN, S. Potential of feedstock and catalysts from waste in biodiesel preparation: A review. **Energy conversion and Management.** v. 74, p. 395-402, 2013.

PINTO, Daniel Fraga. Comportamento em corrosão sob tensão de um aço inoxidável ferrítico AISI 444 soldado com aço inoxidável austenítico AISI 316LSi, em meios contendo cloretos. 2006.

RODRIGUES, Luciano Monteiro; DOS SANTOS, Carlos Henrique Reis; VELOSO, Rodrigo Ribeiro; LEMOS, Marianne Vieira; DOS SANTOS, Claudinei; CABRAL, Ricardo de Freitas. Estudo da microestrutura e da microdureza dos aços 1020 e 1060. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 1, n. 2, p. 39–44, 2014. DOI: 10.47385/cadunifoa.v1.n2.263. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/263>. Acesso em: 22 fev. 2025.

SALUJA, Rajesh Kumar; KUMAR, Vineet; SHAM, Radhey. Stability of biodiesel—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 866-881, 2016.

SAVADA, Felipe Y. et al. Predictive model for determining the mass of BHA and BHT to be added in commercial biodiesel. **Química Nova**, v. 45, n. 4, p. 365-373, 2022.

SORATE, K. A.; BHALE, P. V. Biodiesel properties and automotive system compatibility issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** v.41, p.777–798, 2015.

SOUZA, Sergio Augusto. **Composição química dos aços.** Editora Blucher, 1989.

TAVARES, Tamara da Silva. **Estudo da resistência à corrosão das ligas não ferrosas: alumínio 6061 e cobre eletrolítico em contato com biodiesel de canola.** 2023. 77 p. Dissertação ( Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

YAAKOB, Zahira et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136-153, 2014.



Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.  
[Recebido/Received: Abril 30, 2023; Aceito/Accepted: Agosto 29, 2023]