

ANÁLISE ELETROQUÍMICA DO DECOCTO EXTRAÍDO DE FOLHAS DE *CORYMBIA TORELLIANA* COMO INIBIDOR VERDE DE CORROSÃO NA SUPERFÍCIE DE AÇO RDE. 81086 EM MEIO SALINO

Ruan Pablito Rêgo Fernandes Chaves¹, Cláudio Costa dos Santos², Valdessandro Farias Dantas³.

Resumo: A corrosão, resultante de reações químicas ou eletroquímicas, é um processo espontâneo que compromete a integridade de metais em diversos setores industriais e científicos de diversas áreas. O seu controle é fundamental para preservar a durabilidade e funcionalidade dos materiais metálicos em múltiplas aplicações. O uso de inibidores verdes constitui uma alternativa sustentável para reduzir a corrosão metálica, formando uma barreira protetora sobre a superfície do material. Neste estudo, avaliou-se o potencial inibitório do decocto de *Corymbia torelliana*, obtido por hidrodestilação e liofilização, por meio de técnicas eletroquímicas de polarização linear potenciodinâmica e espectroscopia de impedância eletroquímica. Os resultados demonstraram a eficácia do decocto como inibidor de corrosão. Em meio salino, observou-se aumento do potencial de corrosão, entre $-0,809\text{V}$ e $-0,779\text{V}$, em relação ao meio sem inibidor, $-0,822\text{V}$, e da resistência à polarização na presença do inibidor, $1285\ \Omega$ e $3702\ \Omega$ em relação ao meio sem inibidor, $1050\ \Omega$. A eficiência inibitória do decocto foi confirmada, com desempenho superior nas amostras contendo o inibidor, com valores entre 18,30% e 71,64%. A concentração de 100 ppm apresentou os melhores resultados: potencial de $-0,779\text{V}$, resistência à polarização de $3702\ \Omega$ e eficiência de 71,64%. Com base nisso pode-se afirmar que a utilização do decocto como inibidor influencia nas propriedades anticorrosivas do aço com efeitos inibitórios.

Palavras-chave: *Corymbia torelliana*. Decocto. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica. Inibidor verde de corrosão. Polarização Linear Potenciodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

A *Corymbia torelliana* pertence à família *Myrtaceae*, uma família de plantas com pelo menos 133 gêneros e mais de 3.800 espécies. Esta família inclui os gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Angophora*, que são árvores de madeira de lei mais amplamente plantadas no mundo. *C. torelliana* é nativa das franjas de florestas tropicais na Austrália e tem um mutualismo incomum com abelhas sem ferrão. As abelhas sem ferrão são fortemente atraídas pela resina dos frutos de *C. torelliana* e subsequentemente ajudam a dispersar as sementes, tornando esta espécie de árvore invasora onde foi introduzida para plantações de amenidades fora de sua área natural [1].

Extratos de folhas e casca de *Corymbia torelliana* têm sido rotineiramente usados na medicina popular da Nigéria [2-4]. A partir desses relatos, as propriedades antibacterianas e gastroprotetivas de extratos brutos de cascas e folhas dessa espécie foram averiguadas em laboratório. Os extratos foram eficazes no controle de diversas bactérias, utilizadas em estudos, geralmente, microbiológicos, farmacológicos ou biomédicos. Além disso, atividades antissecretoras e gastroprotetivas de *C. torelliana* foram comprovadas pela redução significativa no índice de úlceras [2,3]. Esses aspectos justificam o uso medicinal da referida espécie e sugerem que os extratos possam representar uma oportunidade terapêutica no tratamento de feridas e úlceras [2,3].

Os óleos essenciais (OEs), que são um produto oriundo do extrato das folhas de *Corymbia torelliana*, são compostos principalmente por terpenoides voláteis produzidos pelo metabolismo secundário de plantas aromáticas. As principais características de um óleo essencial e suas aplicações são nas indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e de perfumaria devido às suas propriedades biológicas como ação antioxidante, antimicrobiana, fitotóxica, neuroprotetora e anti-inflamatória. Destacam-se também pela baixa citotoxicidade.

Existem três variações diferentes do processo de destilação com água/vapor para a extração dos óleos essenciais e decocto de vegetais: destilação com água (hidrodestilação), destilação com água e vapor e destilação a vapor. A extração de OEs geralmente ocorre pela hidrodestilação, usando um extrator tipo Clevenger original ou modificado, sendo esta a técnica mais difundida para o isolamento de óleos voláteis de planta [5-7].

Na hidrodestilação, além do óleo essencial, também se obtém o decocto, um extrato aquoso resultante da decocção das folhas de *Corymbia*. Esse extrato é considerado o subproduto do processo, permanecendo no interior do balão volumétrico junto ao material vegetal após a separação do óleo essencial. Extratos vegetais polares, como o decocto, têm despertado interesse por apresentarem atividades com potencial valor econômico, destacando-se especialmente como inibidores de corrosão [8].

Inibidores de corrosão são substâncias que, em concentrações adequadas, reduzem ou impedem a corrosão de materiais metálicos. Eles são amplamente utilizados como método de proteção e têm sido foco de diversas pesquisas industriais [8].

A corrosão é um processo espontâneo de deterioração causado por reações químicas ou eletroquímicas na superfície do metal em contato com o meio corrosivo, podendo comprometer sua durabilidade e desempenho. Esse fenômeno afeta diversos setores, incluindo as indústrias química, petrolífera, naval, de transportes, telecomunicações, medicina, odontologia e até o patrimônio artístico. Por isso, o combate à corrosão é essencial para garantir a integridade e longevidade dos materiais metálicos em diversas aplicações [8].

Com base nestas informações, este trabalho tem o objetivo de analisar e avaliar a eficiência do decocto extraído como subproduto da extração de óleo essencial, por meio do método da hidrodestilação de folhas de *Corymbia torelliana* e sua utilização e importância como inibidor verde contra corrosão na superfície do metal

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Área de ocorrência natural e descrição botânica

A taxonomia das espécies do gênero *Corymbia* tem sido alvo de controvérsias ao longo dos anos. Até 1995, muitas dessas espécies eram classificadas dentro do gênero *Eucalyptus*, contudo, após estudos taxonômicos, *Corymbia* foi formalmente considerado um gênero [2]. Assim, a espécie até então conhecida como *Eucalyptus torelliana*, foi reclassificada como *Corymbia torelliana* [9].

A *Corymbia torelliana* cresce em encostas de serras, em solos derivados de rochas arenosas e metamórficas, com boa drenagem e retenção de água [2]. É uma das poucas espécies de eucaliptos com ocorrência em áreas de florestas tropicais [2]. Nota-se que a espécie possui maior adaptação ao clima quente, com boa rusticidade e crescimento, até mesmo em regiões secas [2].

Na descrição de aspectos botânicos, estudos citam que a espécie possui casca persistente, escamosa ou marchetada, de cor cinza a pardo-escura, lisa e verde na região superior do tronco e dos ramos [10]. A ramagem é oblíqua, o que confere copa fechada e densa. As folhas juvenis são alternas, sem aroma típico, largo-ovaladas ou ovalado-lanceoladas, muitas vezes peltadas. Apresentam coloração verde amarelada, de tonalidade clara. Normalmente, o seu comprimento é de 10 cm a 17 cm e largura, 5 cm a 8 cm, com pecíolo de cerca de 2 cm. As folhas maduras são alternas, ovaladas, verde-escuras na face de cima, com 12 cm a 19 cm de comprimento. Os botões florais apresentam formato ovoide, com ápice cônico, curto e com cor marrom-escura. As flores são branca-róseas, sendo vistosas e numerosas. Os frutos são ovoide-esféricos, sendo acinzentados, lenhosos, deiscentes e com valvas inclusas. As sementes são elípticas, não aladas, marrom-avermelhadas e com hilo ventral. A madeira caracteriza-se por apresentar cerne com coloração que varia de castanho-clara a marrom, [2,10]. Em geral, a madeira pode ser utilizada como matéria prima para dormentes, postes, produção de carvão vegetal e serrarias [2]. Possui copa e tronco com aspectos ornamentais, o que torna a espécie interessante também sob ponto de vista paisagístico [10]. As flores, folha e frutos da *Corymbia torelliana* podem ser vistos por meio, respectivamente, da Figura 1a, 1b e 1c.

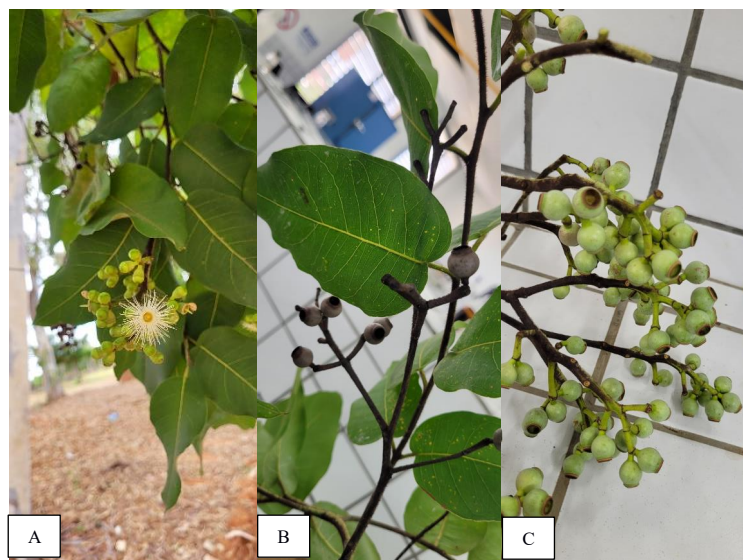


Figura 1. Aspectos botânicos da *Corymbia torelliana*: (a) Flor, (b) Folhas, e (c) Frutos. (Autoria própria)

No que se refere a produtos florestais não madeiráveis, extratos de folhas e casca de *Corymbia torelliana* têm sido rotineiramente usados na medicina popular da Nigéria [2,3,4]. A partir desses relatos, as propriedades antibacterianas e gastroprotetivas de extratos brutos de cascas e folhas dessa espécie foram averiguadas em laboratório. Os extratos foram eficazes no controle de *Staphylococcus aureus* UCH 2010, *Pseudomonas aeruginosa* UCH 2125, *Escherichia coli* UCH 2007, *Klebsiella species* UCH 2694, *Proteus mirabilis* CHO 2014

[3] e seis estirpes de *Helicobacter pylori* (ATCC 4504, ATCC 47619, A2, TI8984, 019A e A6) [2]. Além disso, atividades antissecretoras e gastroprotetivas de *C. torelliana* foram comprovadas pela redução significativa no índice de úlceras [2,3]. Esses aspectos justificam o uso medicinal da referida espécie e sugerem que os extratos possam representar uma oportunidade terapêutica no tratamento de feridas e úlceras [2,3]. A atividade antibacteriana de folhas e casca de *Corymbia torelliana*, para tratamento de tosse associadas à tuberculose e outras infecções do trato respiratório, foi também testada e comprovada em laboratório [2].

Esses estudos revelam, além de uma nova área potencial de valor terapêutico de *Corymbia torelliana*, o papel de ésteres como princípios ativos antibacterianos em preparações etnobotânicas no desenvolvimento de novas e efetivas drogas [2].

2.2 Hidrodestilação e liofilização

A hidrodestilação é um método antigo e versátil no qual o material vegetal permanece em contato com a água em ebulição. O vapor força a abertura das paredes celulares e ocorre a evaporação do óleo que está entre as células da planta. Este vapor, que consiste na mistura de óleo e água, passa por um condensador, onde ocorre seu resfriamento e, como os componentes voláteis e a água são imiscíveis, ocorre a formação de duas fases líquidas que podem ser separadas. O rendimento da extração pode variar conforme fatores fisiológicos e estruturais da planta, sendo, em alguns casos, necessário fragmentar o material vegetal para facilitar a liberação dos óleos localizados nos tricomas glandulares [5-7].

A liofilização é uma técnica de secagem a vácuo por congelamento, onde em um primeiro momento o produto é congelado sob pressão atmosférica. A água em forma de gelo no produto é removida por sublimação reduzindo a pressão empregada pelo vácuo e, em seguida, ela é removida por dessorção, onde o gelo é aquecido progressivamente fazendo com que o sólido seja convertido para o estado gasoso sem passar pelo estado líquido [11-14].

Esse processo permite a remoção de água de produtos e amostras sem comprometer suas propriedades químicas e físicas, preservando sua integridade e garantindo maior durabilidade, pois resistem intactos por muitos anos (a legislação brasileira permite 2 anos de validade). O método oferece inúmeras vantagens, principalmente quando comparado a outras formas de secagem, como preservação de estruturas delicadas, maior estabilidade de produtos, facilidade de reidratação, e redução de peso e volume [11-15].

2.3 Polarização Linear Potenciodinâmica (PLP)

A técnica de polarização linear potenciodinâmica (PLP) é um método eletroquímico aplicado na investigação de processos corrosivos, pois permite avaliar e caracterizar a cinética de reações eletroquímicas que ocorrem em superfícies metálicas. Esta técnica se baseia na aplicação de um intervalo de potencial, entre ± 10 e ± 30 mV, em torno do potencial de corrosão (E_{corr}). Essa perturbação do sistema eletroquímico permite a obtenção da resposta em forma de corrente, possibilitando a obtenção das curvas de polarização. A análise dessas curvas permite a extrapolação das curvas de Tafel, por quais se é possível a determinação de parâmetros eletroquímicos fundamentais, tais como o E_{corr} , a densidade de corrente de corrosão (j_{corr}) e a taxa de corrosão do material. Esta técnica monitora as taxas de corrosão com uma precisão igual ou maior do que os métodos convencionais de perda de massa. Usando o método de extrapolação de Tafel, é possível medir taxas de corrosão extremamente baixas. A rápida determinação das taxas de corrosão com gráficos de Tafel mostra-se muito vantajosa para a avaliação de inibidores e a comparação de ligas [16-18]. Esses dados são essenciais para a avaliação da resistência à corrosão de ligas metálicas em diferentes meios, bem como para o estudo da eficácia de inibidores e revestimentos protetores. Durante a varredura linear do potencial, a corrente elétrica na célula é medida continuamente. A varredura é realizada de forma que o eletrodo atue inicialmente como cátodo e, em seguida, como ânodo. Dessa forma é possível analisar seu comportamento de forma mais ampla [16].

2.4 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

A Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) é uma ferramenta utilizada em investigações de mecanismos das reações eletroquímicas, identificações de processos que acontecem na interface metal/eletrolito, tais como adsorção, resistência à transferência de carga, difusão etc. Métodos eletroquímicos baseados em correntes alternadas podem ser usados para obter informações sobre os mecanismos de corrosão e para estabelecer a eficácia dos métodos de controle de corrosão, como inibidores e revestimentos. Em um circuito de corrente alternada, a impedância determina a amplitude da corrente para uma dada tensão. A impedância é o fator de proporcionalidade entre a tensão e a corrente. Nessa técnica, a resposta de um eletrodo a sinais de potencial alternado de frequência variável é interpretada com base em modelos de circuito da interface eletrodo/eletrolito [16]. O princípio desta técnica consiste em aplicar um sinal alternado de pequena amplitude a um eletrodo inserido em um eletrólito e comparar a perturbação criada por esse sinal com a resposta elétrica do eletrodo. Para tal, são medidas as amplitudes e mudanças de fase entre a corrente e o potencial. É uma técnica que trabalha no domínio de frequência utilizando um analisador de resposta de frequência. O conceito básico envolvido em EIE é que uma

interface pode ser vista como uma combinação de elementos de circuito elétricos passivos, isto é, resistência, capacitância e indutância.

O uso da EIE envolve vantagens como o fornecimento de informações sobre a cinética dos processos e mecanismo dos processos de corrosão, precisão e reprodutibilidade em ambientes de alta resistividade, caracterização morfológica da corrosão e acompanhamento do estado de filmes de passivação ao longo do tempo. Dessa forma, em estudos de corrosão, se torna uma técnica indispensável [19].

3. METODOLOGIA

3.1 Obtenção do óleo essencial e do decocto

As 540g de folhas do eucalipto de folha larga (*Corymbia torelliana*), utilizadas no presente estudo, foram coletados no campus leste da UFERSA em Mossoró-RN (5° 12' 17.496" S 37° 19' 27.522" W). O método utilizado para a extração do óleo essencial e obtenção do decocto foi a hidrodestilação com aparelho Clevenger a partir das folhas frescas e maceradas. O tempo total do processo de extração foi aproximadamente duas horas após ebulição. Após separação do hidrolato, o óleo essencial das folhas de *C. torelliana* foi tratado com sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) e mantido sob refrigeração e abrigo da luz até o momento da análise. O decocto foi congelado e liofilizado para posterior análise como inibidor de corrosão. Os equipamentos e processo da hidrodestilação e obtenção do decocto podem ser vistos, respectivamente, por meio da Figura 2a, 2b, 2c e 2d.

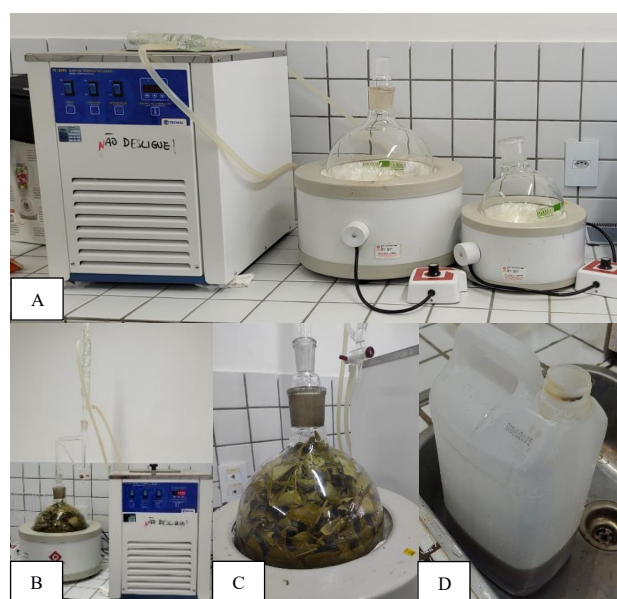


Figura 2. Sistema de destilação de óleo essencial tipo Clevenger: (a) Equipamentos, (b) Sistema de hidrodestilação, (c) Material em extração, (d) Decocto. (Autoria própria)

3.2 Liofilização

O processo de secagem por liofilização foi realizado utilizando um liofilizador de bancada Liobras L101. Inicialmente, as amostras foram dispostas em bandejas de aço inoxidável e pré-congeladas em um freezer a -50°C por 24 horas, garantindo a completa solidificação da água e a formação de cristais de gelo adequados para a sublimação. Subsequentemente, as bandejas foram transferidas para o liofilizador, onde a secagem primária foi conduzida por 3 dias a uma pressão mantida abaixo de $500\ \mu\text{Hg}$ [15]. Os equipamentos usados no processo de liofilização são apresentados na Figura 3a, 3b, 3c e 3d.

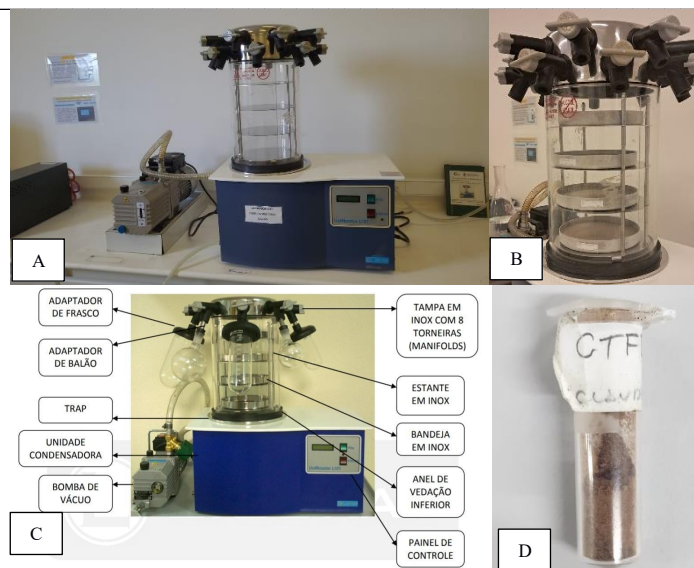


Figura 3. Sistema de liofilização do decocto da *Corymbia* tipo Liobras L101: (a) Liofilizador, (b) Estante e bandejas em inox com material congelado, (c) Identificação das partes do equipamento, (d) Decocto liofilizado. (Autoria própria)

3.3 Técnicas eletroquímicas

Os ensaios de corrosão foram realizados por meio de um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT2024 e feitos em meio de NaCl 3,5%, com o auxílio de uma célula eletroquímica composta de três eletrodos: Ag/AgCl (Prata/Cloreto de Prata), como eletrodo de referência, platina, como contra eletrodo, e aço RDE. 81086 com área aproximada de 0,20 cm², para cada caso, como eletrodo de trabalho.

A avaliação da resistência à corrosão do aço RDE. 81086 nos meios com concentração de 0, 50, 100 e 200 ppm do decocto foi realizada utilizando as técnicas de PLP, no intervalo de varredura de 300 mV abaixo e 300 mV acima em relação ao potencial de circuito aberto, e EIE em potencial de circuito aberto, à temperatura ambiente, no intervalo de frequência de 10000 Hz a 6 mHz. O tempo de imersão para estabilização da corrente em todos os experimentos foi de 10 minutos. Previamente às análises, o eletrodo de trabalho foi polido com papel de carbeto de silício em granulação decrescente de 800 e 1200 mesh, em seguida, submetidos a desengraxe químico por imersão em solução de NaOH 20% (m/v) e, por último, ativados em solução de HCl 20 % (v/v). Os materiais e equipamentos usados para obtenção dos perfis de EIE e PLP, podem ser vistos na Figura 4a, 4b, 4c e 4d.

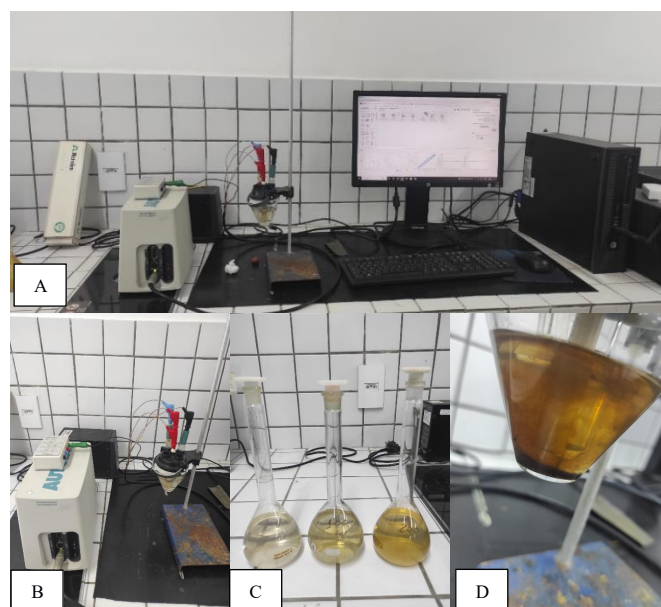


Figura 4. Processo de impedância: (a) Aparato experimental, (b) Potenciostato, (c) Concentrações em ppm, (d) Meio eletrolítico em análise. (Autoria própria)

As resistências as transferências de carga ou resistência a polarização (R_p), e as suas eficiências inibitórias a corrosão para os meios analisados nas concentrações a 0, 50, 100 e 200 ppm foram calculadas por meio da Equação 1 [20].

$$n_i(\%) = \frac{R_p^o - R_p}{R_p} \times 100 \quad (1)$$

Onde R_p^o e R_p são os valores de resistência à polarização com e sem inibidor ($\Omega \text{ cm}^2$), respectivamente, e n_i (%) é a eficiência de inibição (%) [20].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores experimentais de E_{corr} , j_{corr} , taxas de corrosão e declives de Tafel anódico (β_a) e catódico (β_c) dos ensaios PLP nas concentrações estudadas.

Tabela 1. Dados eletroquímicos obtidos dos ensaios de PLP. (Autoria Própria)

Concentração / ppm	$E_{\text{corr}} / \text{mV}$	$j_{\text{corr}} / \mu\text{A cm}^{-2}$	Taxa de corrosão / mm ano^{-1}	$ \beta_a / \text{V dec}^{-1}$	$ \beta_c / \text{V dec}^{-1}$
0	-822	11,00	0,128	0,207	0,128
50	-809	3,50	0,040	0,104	0,103
100	-779	3,08	0,036	0,092	0,100
200	-782	3,30	0,038	0,091	0,096

A Figura 5 apresenta as curvas PLP obtidas para as concentrações de decocto de 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm e 200 ppm. A obtenção dos valores de E_{corr} e j_{corr} se deu pelo método de extrapolação das curvas de Tafel.

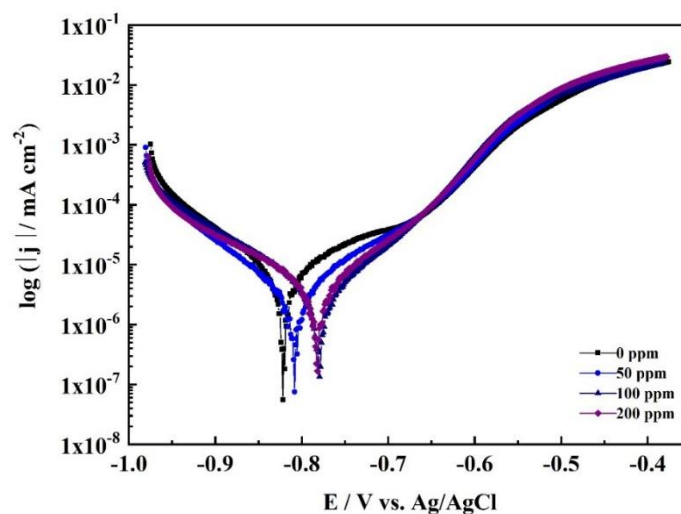


Figura 5. Comparação das curvas de polarização das concentrações 0 ppm; 50 ppm; 100 ppm e 200 ppm. (Autoria própria)

Com base nos dados termodinâmicos anódicos e catódicos obtidos através dos testes polarização linear potenciodinâmica (PLP), foi possível avaliar o rendimento do decocto como inibidor de corrosão avaliando o potencial de início da reação de corrosão e a velocidade do processo corrosivo no aço para cada concentração. Na Tabela 1 acima encontram-se os dados termodinâmicos e cinéticos obtidos do processo.

A Figura 5 mostra que na presença do inibidor, as curvas PLP exibem E_{corr} mais positivos, cujos valores se encontram na Tabela 1, em comparação à curva sem inibidor. Além disso, no ramo anódico, observou-se uma região de corrente constante para os eletrólitos contendo o inibidor, sugerindo a formação de um filme de passivação, possivelmente um óxido protetor, que aumenta a resistência à corrosão do aço. Esses dados indicam que a corrosão do substrato se inicia mais tardiamente no eletrólito contendo 100 ppm (-779 mV) do decocto, seguido dos eletrólitos contendo 200 e (-782 mV) e 50 ppm (-809 mV) do decocto. Em todos os casos, os E_{corr}

nos eletrólitos com presença de inibidor foram mais positivos em comparação ao eletrólito sem inibidor (-822 mV), indicando que neste, a corrosão se inicia mais precocemente.

Os valores de j_{corr} , Tabela 1, corroboram com o comportamento observado a partir dos E_{corr} . Os resultados indicam menor cinética de corrosão do substrato no meio contendo 100 ppm ($3,10 \mu\text{A cm}^{-2}$) de decocto, seguido dos meios à 200 ppm ($3,30 \mu\text{A cm}^{-2}$) e 50 ppm ($3,50 \mu\text{A cm}^{-2}$). O meio sem inibidor apresentou o maior valor de j_{corr} ($11 \mu\text{A cm}^{-2}$), indicando maior cinética de corrosão. Os valores para os meios com inibidor foram menores ($3,470 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$, $3,079 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ e $3,290 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ para 50, 100 e 200 ppm, respectivamente), com o menor valor em 100 ppm, refletindo a menor taxa de corrosão. Assim, o inibidor mostrou maior eficiência nessa concentração.

As taxas de corrosão apresentados na Tabela 1 referentes aos eletrólitos sem inibidor ($0,128 \text{ mm ano}^{-1}$) e com 100 ppm ($0,036 \text{ mm ano}^{-1}$), 200 ppm ($0,038 \text{ mm ano}^{-1}$) e 50 ppm ($0,040 \text{ mm ano}^{-1}$) do inibidor estão em concordância com os dados de j_{corr} apresentados no parágrafo anterior.

Em relação aos declives de Tafel, a Tabela 1 mostra que nos meios contendo presença de decocto, há uma redução dos valores de β_a e β_c em relação ao meio isento de decocto, sugerindo um mecanismo de inibição misto. Esse tipo de mecanismo indica que a substância inibidora atua promovendo redução das reações catódicas e anódicas do sistema eletroquímico.

A Tabela 2 apresenta os valores de R_p e n_i (%) obtidos por análise dos resultados dos ensaios de EIE nas concentrações estudadas.

Tabela 2. Dados obtidos de R_p e n_i a partir da EIE. (Autoria Própria)

Concentração / ppm	$R_p / \Omega \text{ cm}^2$	$n_i / \%$
0	1050	-
50	1285	18
100	3702	72
200	2152	51

A Figura 6 apresenta os diagramas de Nyquist obtidos, por meio da técnica de EIE, para as concentrações de 0, 50, 100 e 200 ppm.

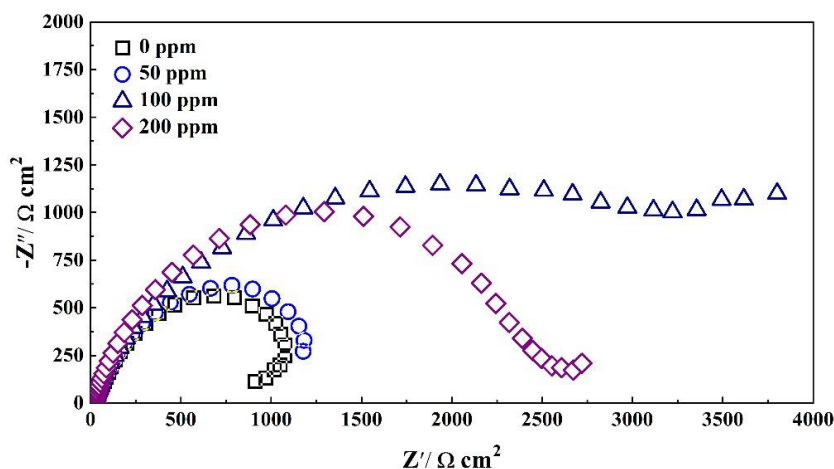


Figura 6. Diagramas de Nyquist obtidos para as concentrações de 0, 50, 100 e 200 ppm na temperatura de 25°C .

A Figura 6 indica a formação de um único arco capacitivo para o substrato nos meios com decocto à 0 e 50 ppm e dois arcos capacitivos nos meios com decocto à 100 e 200 ppm, indicando que nestes é provável a formação de filmes de passivação sobre a superfície do eletrodo, possivelmente constituído por um óxido protetor, resultado indicado de forma semelhante às curvas PLP. Tal formação contribui para o aumento do R_p . Os valores de R_p mostrados na Tabela 2 indicam que no meio à 100 ppm de decocto, o substrato apresentou módulos maiores ($3702 \Omega \text{ cm}^2$) em relação aos meios à 200 ppm ($2152 \Omega \text{ cm}^2$) e 50 ppm ($1285 \Omega \text{ cm}^2$) de decocto. No meio sem presença de inibidor, o substrato apresentou menor valor de R_p , com um módulo de $1050 \Omega \text{ cm}^2$.

Os valores de n_i apresentados na Tabela 2 mostram que a eficiência inibitória está relacionada à concentração do inibidor, uma vez que em todas as concentrações analisadas, foi possível a obtenção de uma eficiência superior a 0, com destaque para a concentração de 100 ppm, cujo valor de n_i (72 %) foi maior em relação às concentrações de 200 ppm (51 %) e 50 ppm (18 %). Os dados obtidos por EIE estão em concordância com os apresentados pelas

curvas PLP e indicam que o decocto estudado apresenta ação inibitória à corrosão para o substrato de aço RDE. 81086, com destaque para a concentração de 100 ppm, onde foram visualizados os melhores resultados.

Por fim, observa-se que o aumento da concentração do inibidor nem sempre leva ao aumento da eficiência inibitória, pois como foi observado nos testes de polarização e impedância, quando se aumentou a concentração de inibidor, após os 100 ppm, a resistência do meio a polarização reduziu, o que possivelmente está associado ao mecanismo de ação do inibidor na superfície do eletrodo, que em concentrações mais elevadas, ocorre maior interação entre as próprias moléculas do inibidor, diminuindo sua adesão à superfície do eletrodo e, consequentemente, a eficiência da formação da camada protetora contra a corrosão.

3. CONCLUSÕES

Os parâmetros experimentais adotados neste estudo demonstraram-se eficazes tanto para a extração do óleo essencial quanto do decocto das folhas de *Corymbia torelliana*, bem como para a análise da atividade inibitória de corrosão em aço RDE. 81086 imerso em meio salino a 3,5%. O decocto foi avaliado como inibidor de corrosão nas concentrações de 50, 100 e 200 ppm.

Verificou-se que, nas concentrações analisadas, o uso do decocto influenciou significativamente a resistência à corrosão do aço. Em comparação com o meio salino isento de inibidor, o aço imerso nos eletrólitos contendo o decocto apresentou E_{corr} mais positivos, com destaque para a concentração de 100 ppm, que resultou no valor de potencial mais nobre, indicando menor tendência à corrosão.

De forma semelhante, os valores de j_{corr} e taxa de corrosão foram menores nos meios contendo o inibidor, indicando que a cinética do processo corrosivo foi reduzida pela presença do decocto. Os menores valores desses parâmetros apresentados pelo eletrodo no meio à 100 ppm confirmaram o resultado indicado pela análise dos E_{corr} .

Os β_a e β_c apresentaram valores reduzidos para o substrato nos meios contendo decocto em comparação ao meio sem decocto, indicando um mecanismo de inibição mista. Os dados de R_p corroboraram com os parâmetros cinéticos obtidos pelas curvas PLP, indicando que nos meios com decocto o aço se apresentou mais resistente à polarização, com destaque para o meio à 100 ppm. Por fim, todos os eletrólitos com concentração de decocto apresentaram graus de eficiência superiores a zero, sendo a concentração de 100 ppm aquela em que o decocto apresentou maior η . Esses resultados mostraram que o grau de inibição à corrosão do substrato está relacionado com a concentração de decocto no meio.

Assim, os resultados demonstram que o decocto apresentou desempenho eficaz e relevante como inibidor de corrosão do aço, com concentração ótima de inibição próxima à 100 ppm, caracterizando-a como a condição mais eficiente entre as testadas. É esperado que seus resultados contribuam cientificamente para o desenvolvimento de pesquisas futuras em abordagens similares. Como sugestão para trabalhos e pesquisas futuras, pode-se estudar o mecanismo de ação do inibidor na superfície do eletrodo, a composição química do decocto com suas propriedades e componentes químicos, além de novos testes de corrosão no aço RDE 81086 por meio de técnicas eletroquímicas para concentrações próximos a 100 ppm, a fim de identificar a concentração ótima da substância para a inibição e sua eficiência máxima.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NOBAKHT, Motahareh; GRKOVIC, Tanja; TRUEMAN, Stephen; WALLACE, Helen; KATOULI, Mohammad; QUINN, Ronald; BROOKS, Peter. Chemical constituents of kino extract from *Corymbia torelliana*. *Molecules*, Basel, v. 19, n. 11, p. 17862–17871, 4 nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules191117862>.
- [2] REIS, Cristiane Aparecida Fioravante; ASSIS, Teotônio Francisco de; SANTOS, Alisson Moura; PALUDZYSZYN FILHO, Estefano. *Corymbia torelliana*: estado da arte de pesquisas no brasil. Colombo: Embrapa, 2014
- [3] ADENIYI, B. A.; ODUFOWOKE, R. O.; OLALEYE, S. B. Antibacterial and gastroprotective properties of *Eucalyptus torelliana* [Myrtaceae] crude extracts. *International Journal of Pharmacology*, v. 2, n. 3, p. 362-365, 2006
- [4] LAWAL, T. O.; ADENIYI, B. A.; MOODY, J. O.; MAHADY, G. B. Combination studies of *Eucalyptus torelliana* F. Muell leaf extracts and Clarithromycin on *Helicobacter pylori*. *Phytotherapy Research*, London, n. 26, p. 1393-1398, 2012a
- [5] BUSATO, Nathália Viégas; SILVEIRA, Jeniffer Cristina; COSTA, Andréa Oliveira Souza da; COSTA JUNIOR, Esly Ferreira da. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. *Ciência Rural*, [S.L.], v. 44, n. 9, p. 1574-1582, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20121330>

[6] OLIVEIRA, Mozaniel Santana de. **ESTUDO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADES BIOLÓGICAS DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Piper divaricatum*, *Syzygium aromaticum* e *Siparuna guianensis***. 2018. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Pará Instituto de Tecnologia Programa de Pós-Graduação, Belém, 2018.

[7] SILVEIRA, Jeniffer Cristina et al. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 15, p. 2038-2052, 2012.

[8] GENTIL, Vicente. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2017. 1191 p.

[9] HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. Systematic studies in the eucalypts 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). *Telopea*, Wales, v. 6, p. 185-504, 1995.

[10] LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. *Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 352 p.

[11] REY, Louis; MAY, Joan C. *Lyophilization of pharmaceutical and biological products*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. ISBN 9781420083059.

[12] REY, Louis; MAY, Joan C. *Freeze Drying/Lyophilization of Pharmaceutical and Biological Products*. 3. ed. Boca Raton: Informa Healthcare, 2010. 206 p.

[13] HUI, Yiu H. *Food drying science and technology: microbiology, chemistry, applications*. Lancaster: DEStech Publications, 2008. ISBN 9781932078560.

[14] GABARDO, José; GABARDO, Maria Cristina Lopes. *Operações unitárias na indústria de alimentos*. São Paulo: Blucher, 2012. ISBN 9788521207022.

[15] **LIOBRAS – Equipamentos Científicos Ltda.** *Manual de instruções: liofilizadores L101*. São Carlos: Liobras, 2012. 57 p. (Manual técnico).

[16] POPOV, Branko N.. Evaluation of Corrosion. **Corrosion Engineering**, [S.L.], p. 1-28, 2015. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-62722-3.00001-x>.

[17] BARD, Allen J.; FAULKNER, Larry R.. **ELECTROCHEMICAL METHODS: fundamentals and applications**. 2. ed. [S.L.]: John Wiley & Sons, Inc., 2001

[18] WOLYNIEC, Stephan. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**. São Paulo: Edusp, 2002.

[19] RIBEIRO, D.V.; SOUZA, C.A.C.; ABRANTES, J.C.C.. Use of Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to monitoring the corrosion of reinforced concrete. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 529-546, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952015000400007>.

[20] ABDALLAH, M.; HEGAZY, M. A.; ALFAKEER, M.; AHMED, H.. Adsorption and inhibition performance of the novel cationic Gemini surfactant as a safe corrosion inhibitor for carbon steel in hydrochloric acid. **Green Chemistry Letters And Reviews**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 457-468, 2 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17518253.2018.1526331>.