



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS - ICET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA
RECURSOS AMAZÔNICOS - PPGCTRA

MÁRCIO LARANJEIRA ANSELMO

**Economia circular aplicada à resíduos vegetais: nanopartículas metálicas aplicadas
como catalisadores em sistemas alternativos de energia**

ITACOATIARA - AM

2025

MÁRCIO LARANJEIRA ANSELMO

**Economia circular aplicada à resíduos vegetais: nanopartículas metálicas
aplicadas como catalisadores em sistemas alternativos de energia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA) como pré-requisito para obtenção da titulação de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Frigi Perotti.

ITACOATIARA - AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- A618e Anselmo, Márcio Laranjeira
Economia circular aplicada à resíduos vegetais: nanopartículas metálicas aplicadas como catalisadores em sistemas alternativos de energia / Márcio Laranjeira Anselmo. - 2025.
55 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Paulo José de Sousa Maia.
Coorientador(a): Gustavo Frigi Perotti.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, Itacoatiara, 2025.
1. Nanociência. 2. Libidibia ferrea. 3. célula combustível. 4. Química verde. I. Maia, Paulo José de Sousa. II. Perotti, Gustavo Frigi . III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos. IV. Título
-



MÁRCIO LARANJEIRA ANSELMO

Economia circular aplicada à resíduos vegetais: nanopartículas metálicas aplicadas como catalisadores em sistemas alternativos de energia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, área de concentração Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Recursos Amazônicos.

Aprovado em 28.05.2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



PAULO JOSE DE SOUSA MAIA
Data: 28/05/2025 19:19:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia

Documento assinado digitalmente



MAIRA DE LOURDES REZENDE
Data: 28/05/2025 19:37:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Dra. Maira de Lourdes Rezende

Documento assinado digitalmente



ELSON ALMEIDA DE SOUZA
Data: 28/05/2025 20:54:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Elson Almeida de Souza

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus pai criador, pois sem as suas bênçãos, nada seria possível. Gratidão ao meu orientador **Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia**, da mesma forma e igual importância ao meu coorientador **Prof. Dr. Gustavo Frigi Perotti** pelo apoio e confiança.

Grato por toda equipe do GEQBIO, na pessoa do Jardel Ramos da Encarnação, Joel dos Santos, Everton Martins da Silva, Sulcimilena Mady Flores, bem como a parceria com o LEMAv do Campos II - ICET/UFAM com total apoio do Prof. Dr. Elson Almeida de Sousa e o colaborador Jean Araújo Hauradou, concomitante as parcerias com outros laboratórios do ICET/UFAM com auxílio do Hermes Gomes Lopes, ao Mateus Feitosa Santos e Eldon Carlos dos Santos Colares, que de alguma forma, contribuíram significativamente de forma linear para as realizações dos testes experimentais finais.

Em especial, aos meus pais Ana Lúcia Desidério Laranjeira e Flávio Lavareda Anselmo por toda admiração e confiança ao seu herdeiro, estendendo aos meus irmãos Flávio Laranjeira Anselmo, Ronalde Laranjeira Anselmo, Ednaldo Laranjeira Anselmo, Rodrigo Laranjeira Anselmo e as minhas irmãs Izani Júnia Laranjeira Anselmo, Nandria Laranjeira Anselmo, Izandria Laranjeira Anselmo e em especial a minha eterna mãezinha, a vizinha Benedita Dezidério Laranjeira, a quem a devo por todos os bons princípios da vida. Aos meus amigos e familiares, obrigado pelas palavras doces e de muitas prosperidades que sempre usava como uma célula combustível por dar força nos momentos de cansaços nos mais diversificados feriados, sábados e domingos nos meus momentos de lazer no laboratório da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, campos Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia ICET, Itacoatiara - Amazonas.

Ao Programa PPGCTRA/UFAM, gratidão pelo ensino e colaboração no processo contínuo de toda aprendizagem e conhecimento adquirido nessa jornada de empenho e determinação linear. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), grato pelo apoio significativo ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos, a qual estendo a todos aos meus professores e funcionários do PPGCTRA e principalmente a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo aporte financeiro e compromisso com a ciência.

RESUMO

As pesquisas com nanotecnologia propõem inovações e possibilidades de estudos a solucionar problemas na sociedade, pois uma das principais metas do ponto de vista ecológico é a redução da emissão dos Gases de Efeitos Estufa (GEE). Assim, a Química verde surge justificando o uso de reagentes menos tóxicos, incorporando-os com extratos vegetais e aplicações químicas. Sintetizar, caracterizar e avaliar a eficiência eletrocatalítica frente a oxidação de etanol de nanopartículas metálicas de níquel suportados em materiais carbonáceos é o teor do projeto. Para a síntese fragmentos do fruto *L. ferrea* foram lavados, moídos e secos. 0,75 g do material foi colocado em 100 mL de H₂O e agitação por 24 horas. Na síntese de NiNPs, usou-se 1,4 mL do extrato, foi adicionado 3,6 mL de água H₂O e 50 mL de solução de 0,1 mmol L⁻¹ de NiCl₂ em pHs 7,0, 8,0, 9,0, 10 e 12. Para a adsorção *in-situ* e *ex-situ* massas 0,25 g; 0,50 g; 0,75 g; e 1,0 g foram agitados com 50 mL NiCl₂ 1x10⁻³ mol L⁻¹ por 10 min e adicionando 1,4 mL de extrato e 3,6 mL H₂O nos pH citado. No fitoquímico usou-se hidróxidos alcalinos a 0,1% de NaOH, em tanino usou-se CH₃OH, FeCl₃ a 2% e gelatina a 2%, para saponina NaOH a 0,1 M, em terpenos 0,1 % de (CH₃CO)₂O (m/v), H₂SO₄ a 0,01 % (v/v) e 3 ml de CHCl₃, e alcaloides 2 ml a 1% de HCl aquecido. Foi misturado 50 NiCl₂ a 1x10⁻⁴ mol L⁻¹ com carvão ativado (tucumã e comercial) Marca Vulcan xc-72R, e massas 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g, adicionados 1,4 mL de extrato e 3,6 mL de (H₂O), pH 7,0. Filtrou-se a mistura e leitura no espectrofotômetro Uv/Vis. O material filtrado, foi lavado e seco a 80 °C. Quanto aos resultados, o espectro eletrônico mostra máximos de absorção em 228, 270 e 363 nm, típicos de flavonoides. Em pH 7,0 observou-se picos em 326 nm na 1^a h, deslocado para 308 nm, na 5^a hora. Em pH, 8,0, 1^a hora, comprimento entre 243 nm e 328 nm. Em pH 9,0 a redução dos íons Ni²⁺ com diferentes velocidades. Em pH 10, máximos de absorção em 250, 287 e 325 nm, enquanto pH 12,0, é evidenciado um pico em 213. Na temperatura 25° C ocorreram os melhores resultados com 0,7 (u.a.) e 320 a 350 (nm) comparado a 45 °C e 65 °C. Êxitos com o método de adsorção *in-situ* e *ex-situ*, nas concentrações 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão ativado (comercial e tucumã) destacando as massas de 0,75 g e 1,0 g. Na voltametria, método *ex-situ* as correntes aumentam com o pH (13-14). No *ex-situ*, ao permitir a formação prévia das NiNPs, gera partículas com maior cristalinidade, menor interação e menor definição de picos redox e menor corrente anódica. As curvas do *in-situ*, apresentam maior corrente, em pH (11-13). No método *ex-situ* carvão de tucumã, há corrente de pico em pH 11 mais acentuada, com menor reprodutibilidade, porém resposta eletroquímica significativa em pH 13-14, com picos definidos e altas correntes. Na voltametria cíclica NiNPs ancoradas e velocidade de varredura de 10 mV s⁻¹, a oxidação de etanol é favorecida em pH 13 e 14, com maior densidade de corrente anódica, já em pH 7,0 e 9,0 há atividade inferior, semelhante ao observado com o suporte comercial, pois as maiores respostas anódicas ocorrem em pH 13 e 14. No *ex-situ*, há picos de oxidação definidos para as concentrações de 0,5 a 1,0 mol L⁻¹ de etanol, antecipando a oxidação alcoólica a partir de 0,1 V. Assim, os máximos de corrente entre 0,8 e 1,0 V, indicam eficiência na eletro-oxidação, já no método *in-situ*, destaque para as concentrações de 0,7 e 1,0 mol L⁻¹, que apresentam maior corrente e picos de oxidação definidos, acima de 0,2 V. No *ex-situ*, tucumã obteve-se concentrações baixas (0,1 e 0,3 mol L⁻¹) promovendo antecipação da oxidação alcoólica, com menor intensidade de corrente. Entretanto, a concentração de 0,3 mol L⁻¹, mostra um crescimento de corrente, sem formação de pico de oxidação definido. As concentrações mais elevadas (0,5 a 1,0 mol L⁻¹) apresentam picos de 0,7 e 0,9 V, sendo os de 0,7 e 1,0 mol L⁻¹ mais proeminentes O catalisador NiNPs/AC, C. tucumã *in-situ*, as concentrações de 0,7 e 1,0 mol L⁻¹ se destacam, com antecipação da eletro-oxidação de etanol e picos de oxidação definidos. Portanto, a solução 1,0 mol L⁻¹ etanol obteve melhor corrente na eletrooxidação e estabilidade. Assim, a cronoamperometria se destaca, com as correntes 0,001 mA para Ni/C *ex-situ*, 0,0021 mA para Ni/C *in-situ*, 0,018 mA para Ni/AC *ex-situ* e 0,0134 para Ni/AC *in-situ*.

Palavras-chaves: Nanociência; *Libidibia ferrea*; célula combustível; Química verde.

ABSTRACT

Nanotechnology research proposes innovations and possibilities for studies to solve problems in society, as one of the main goals from an ecological point of view is the reduction of Greenhouse Gas (GHG) emissions. Thus, green chemistry emerges, justifying the use of less toxic reagents, incorporating them with plant extracts and chemical applications. The project aims to synthesize, characterize, and evaluate the electrocatalytic efficiency of nickel nanoparticles supported on carbonaceous materials in the ethanol oxidation process. For the synthesis, fragments of the *L. ferrea* fruit were used were washed, ground and dried. 0,75 g of the material was placed in 100 mL of H₂O and stirred for 24 hours. In the synthesis of NiNPs, 1,4 mL of the extract was used, 3,6 mL of water H₂O and 50 mL of a 0,1 mmol L⁻¹ NiCl₂ solution were added at pHs 0, 8,0, 9,0, 10 and 12. For *in-situ* and *ex-situ* adsorption, masses of 0,25 g; 0,50 g; 0,75 g; and 1,0 g were stirred with 50 mL NiCl₂ 1x10⁻³ mol L⁻¹ for 10 min and adding 1,4 mL of extract and 3,6 ml H₂O at the mentioned pH. In the phytochemical, alkaline hydroxides at 0,1% NaOH were used, in tannin CH₃OH, 2% FeCl₃ and 2% gelatin were used, for saponin 0,1 M NaOH, in terpenes 0,1% of (CH₃CO)₂O (m/v), H₂SO₄ at 0,01% (v/v) and 3 ml of CHCl₃, and alkaloids 2 ml at 1% of heated HCl. 50 NiCl₂ at 1x10⁻⁴ mol L⁻¹ was mixed with activated carbon (tucumã and commercial) Vulcan xc-72R brand, and masses 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g and 1,0 g, 1,4 mL of extract and 3,6 mL of (H₂O), pH 7,0, were added. The mixture was filtered and read on the UV/Vis spectrophotometer. The filtered material was washed and dried at 80 °C. The electronic spectrum showed absorption maxima at 228, 270, and 363 nm, typical of flavonoids. At pH 7,0, peaks were observed at 326 nm in the first hour, shifting to 308 nm in the fifth hour. At pH 8,0, in the first hour, wavelengths ranged from 243 nm to 328 nm. At pH 9,0, the reduction of Ni²⁺ ions occurred at different rates. At pH 10 absorption maxima were observed at 250, 287, and 325 nm, while at pH 12, a peak at 213 nm was observed. At 25°C, the best results occurred with 0,7 (a.u.) and 320 to 350 (nm) compared to 45°C and 65°C. Successes with the *in-situ* and *ex-situ* adsorption method, at concentrations of 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g and 1,0 g of activated carbon (commercial and tucumã), highlighting the masses of 0,75 g and 1,0 g. In voltammetry, *ex-situ* method, the currents increase with pH (13-14). In the *ex-situ* method, by allowing the prior formation of NiNPs, particles with greater crystallinity, less interaction, less definition of redox peaks, and lower anodic current are generated. The *in-situ* curves show a higher current at pH (11-13). In the *ex-situ* tucumã charcoal method, there is a more pronounced peak current at pH 11, with lower reproducibility, but a significant electrochemical response at pH 13-14, with defined peaks and high currents. In cyclic voltammetry with anchored NiNPs and a scan speed of 10 mV s⁻¹, ethanol oxidation is favored at pH 13 and 14, with a higher anodic current density. At pH 7,0 and 9,0, there is lower activity, similar to that observed with the commercial support, as the highest anodic responses occur at pH 13 and 14. In the *ex-situ*, there are defined oxidation peaks for concentrations of 0,5 to 1,0 mol L⁻¹ of ethanol, anticipating alcoholic oxidation from 0,1 V. Thus, the current maximums between 0,8 and 1,0 V indicate efficiency in electro-oxidation, in the *in-situ* method, highlighting the concentrations of 0,7 and 1,0 mol L⁻¹, which present higher current and defined oxidation peaks, above 0,2 V. In the *ex-situ* method, tucumã obtained low concentrations (0,1 and 0,3 mol L⁻¹) promoting anticipation of alcoholic oxidation, with lower current intensity. However, the concentration of 0,3 mol L⁻¹ shows a current growth, without the formation of a defined oxidation peak. The higher concentrations (0,5 to 1,0 mol L⁻¹) present peaks of 0,7 and 0,9 V, with those of 0,7 and 1,0 mol L⁻¹ being more prominent. The NiNPs/AC catalyst, C. tucumã *in-situ*, the concentrations of 0,7 and 1,0 mol L⁻¹ stand out, with anticipation of ethanol electro-oxidation and defined oxidation peaks. Therefore, the 1,0 mol L⁻¹ ethanol solution obtained better electro-oxidation and stability. Thus, chronoamperometry stands out, with currents of 0,001 mA for Ni/C *in-situ*, 0,0021 mA for Ni/C *in-situ*, 0,018 mA for Ni/AC *ex-situ* and 0,0134 for Ni/AC *in-situ*.

Keywords: Nanoscience; *Libidibia ferrea*; fuel cell; Green chemistry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação de tamanho entre estruturas na escala manométrica e micrométrica no contexto da nanociência e nanotecnologia na atualidade	11
Figura 2 - O mundo da nanotecnologia e a sua importância nas mais diversificadas áreas de aplicações de estudos e avanço em pesquisas na atualidade	13
Figura 3 - Esquema sistemático de rotas de obtenção de nanopartículas (NPs) em diferentes estudos e pesquisas científicas na contemporaneidade	14
Figura 4 - O fluxo contínuo da economia circular em uma sociedade sustentável, mostrando atualmente a importância de rota da matéria prima	15
Figura 5 - Sistema nanoparticulado com diferentes escalas de pH, usando extrato aquoso de jucá, cientificamente <i>Libidibia ferrea</i> em nanopartícula de Níquel – NiNP	15
Figura 6 - Imagem representativa ilustrando as características gerais de uma árvore de jucá, cientificamente <i>Libidibia ferrea</i>	16
Figura 7 - Imagem com as características gerais e específicas esquematizada de célula a combustível	18
Figura 8 - Etapas de preparação do extrato aquoso, usando 0,75g de <i>Libidibia ferrea</i>	19
Figura 9 - Desenvolvimento e preparação do sistema nanoparticulado de níquel, usando especificamente 0,75g de jucá, definido na escala de pH: 7,0	20
Figura 10 - Desenvolvimento e preparação do procedimento do método de adsorção <i>in-situ e ex-situ</i> usando 0,75g de jucá, definido na escala de pH:7,0	24
Figura 11 - Potenciostato (AUTOLAB - 302) utilizado nos testes eletroquímicos	24
Figura 12 - Espectro do extrato de jucá (A) e das NiNPs nos pHs: 7,0 (B); 8,0 (C); 9,0 (D); 10,0 (E) e 12,0 (F) nas primeiras 5h. Concentração do extrato aquoso, 0,75 % (m/v)	25
Figura 13 - Análise de espectro eletrônico (UV-visível) pH 7,0 com diferentes temperaturas de síntese de nanopartículas de Níquel NiNPs em 25°C, 45°C e 65 °C	26
Figura 14 - Espectro baseado no método <i>in-situ</i> usando as massas específicas 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão ativado de tucumã na escala de pH 7,0	27
Figura 15 - Espectro baseado no método <i>in-situ</i> , usando as massas específicas 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0g de carvão comercial na escala de pH 7,0	28
Figura 16 - Espectro baseado no método <i>ex-situ</i> , usando as massas específicas 0,25g, 0,50g, 0,75g e 1,0g de carvão comercial na escala de pH 7,0	29
Figura 17 - Espectros eletrônico de suspensão com AgNPs usando extrato aquoso de guaraná com massas específicas em 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão	29
Figura 18 - Biomoléculas isoladas do jucá, cientificamente <i>Libidibia ferrea</i>	30
Figura 19 - Análise de prospecção fitoquímica por meio do método qualitativo, usando o extrato aquoso de jucá, cientificamente <i>Libidibia ferrea</i>	31
Figura 20 - Voltametria cíclica de nanopartículas de níquel ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s ⁻¹ . A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método <i>ex-situ</i> , b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método <i>in-situ</i> , c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método <i>ex-situ</i> e d) adsorvida em carvão ativado de tucumã via método <i>in-situ</i>	33
Figura 21 - Voltametria cíclica (VC) para sistemas contendo nanopartículas de níquel (NiNPs) suportadas em diferentes materiais (Vulcan X2 e carvão ativado de tucumã), sintetizadas pelos métodos <i>ex-situ</i> e <i>in-situ</i>	33
Figura 22 - Voltametria cíclica de NiNPs ancoradas em diferentes materiais carbonáceos em na velocidade de varredura de 10 mV s ⁻¹ , pH 14 e concentrações de etanol 0,1-1,0 mol L ⁻¹ . A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método <i>ex-situ</i> , b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método <i>in-situ</i> , c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método <i>ex-situ</i> e d) adsorvida em carvão ativado de tucumã via método <i>in-situ</i>	34
Figura 23 - Desempenho eletrocatalítico dos catalisadores de NiNPs	34
Figura 24 - Cronoamperometria em diferentes materiais carbonáceos a 1800s, pH 14, potencial aplicado 0,6 V e concentrações de etanol 0,1-1,0 mol L ⁻¹ . A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método <i>ex-situ</i> , b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método <i>in-situ</i> , c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã método <i>ex-situ</i> e d) adsorvida em carvão de tucumã método <i>in-situ</i>	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- Ni²⁺ - Cátion níquel
Ni⁰ - Níquel zero
O - Oxigênio
N - Nitrogênio
V - Volume
Carbono - Carbono
NaOH - Hidróxido de sódio
NiNPs - Nanopartículas de níquel
C=O - Função carbonila
°C - Celsius
Mililitro - mL
Milímetro - mV
 λ - Lâmbda
nm - Nanômetro
NPMs - Nanopartículas metálicas
NPs - Nanopartículas
OH - Grupo hidroxila
 π - Orbital pi ligante
 π^* - Orbital pi antiligante
pH - Potencial Hidrogeniônico
CA - Carvão ativado
ROE - Reações de oxidação de etanol
RPS - Ressonância de *plasmon* de superfície
CaC: Células a combustível
DAFC - Célula a combustível de álcool direto
POAs - Processos Oxidativos Avançados
RPS - Ressonância de *plasmon* de superfície
TEM - Microscopia eletrônica de transmissão
u. a - Unidade adimensional
GEE - Gases de Efeitos Estufa
DAFCs - *Direct Alcohol Fuel Cell*
ISO - Organização Internacional de Normalização
UV-Vis - Espectroscopia de ultravioleta-visível

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2. 1. Nanociência e nanotecnologia	10
2. 2. Rotas de obtenção de nanopartículas	12
2. 3. Economia circular	13
2. 4. Nanopartículas de níquel	14
2. 5. <i>Libidibia férrea</i>	15
2. 6. Métodos de adsorção <i>in-situ</i> e <i>ex-situ</i>	17
2. 7. Células a combustível e eletrocatalisadores	18
3. Objetivos	19
3. 1. Objetivo geral	19
3. 2. Objetivos específicos	19
4. METODOLOGIA	19
4. 1. Preparação do extrato de <i>Libidibia férrea</i>	20
4. 2. Obtenção de nanopartículas de Níquel	20
4. 3. Desenvolvimento do método <i>in-situ</i>	21
4. 4. Desenvolvimento do método <i>ex-situ</i>	21
4. 5. Prospecção fitoquímica dos constituintes fenólicos de <i>Libidibia férrea</i>	22
4. 5. 1. Teste para caracterização de flavonoides	22
4. 5. 1. 1. Reação oxalo bórica (Reação de Taubouk)	22
4. 5. 1. 2. Reação com ácido alcalino	22
4. 5. 2. 3. Reação com cloreto férrico	22
4. 5. 1. Caracterização de tanino	22
4. 5. 2. Caracterização de saponinas	23
4. 5. 3. Caracterização de terpenos	23
4. 5. 4. Caracterização de alcaloides	24
5. Desenvolvimento de estudos eletroquímicos	24
5. 1. Nanopartículas de níquel (NiNPs)	28
5. 2. Procedimento de adsorção <i>in-situ</i>	33
5. 3. Procedimento de adsorção <i>ex-sit</i>	34
6. Caracterização fitoquímica qualitativa - <i>Libidibia ferre</i>	35
7. Experimentos eletrocatalíticos da oxidação de etanol em pH 14	42
7. 1. Voltametria cíclica na variação de concentração de álcool pH 14	43
7. 2. Cronoamperometria com diferentes concentrações na variação de etanol	45
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia trouxe expectativas e inovações para diversos setores industriais e conseqüentemente possibilidades de um amplo e diversificado campo de pesquisa que apontam solucionar problemas sociais (Andrade, 2021), uma vez que, oferece soluções promissoras para diversos obstáculos como o potencial para transformar áreas como a saúde, meio ambiente, produção de alimentos e avanços com energia, sendo que é possível notar que uma das principais metas do ponto de vista ecológico é a redução da emissão dos Gases de Efeitos Estufa (GEE), os quais têm despertado o interesse da comunidade científica ao Desenvolvimento de métodos e alternativas sustentáveis (Arak, 2018).

Diante disso, uma das possíveis soluções está em volta da ascensão das células a combustível (CaCs), que segundo resultados encontrados, produzem energia de maneira sustentável, enfatizando a busca por tecnologias que possam explorar fontes e alternativas de energia, as quais visam impulsionar o desenvolvimento das células de combustível com alimentação direta de álcool (DAFCs – *Direct Alcohol Fuel Cell*), utilizando o álcool como combustível líquido agregado ao sistema da célula no campo eletroquímico.

Neste viés, a Química verde encontra-se associada à uma perspectiva inovadora que visa utilizar reagentes menos tóxicos, assim como incorporar extratos vegetais para a complexação de moléculas bioativas, ou até mesmo ligantes que tenham características de formar complexos entre metais e o amplo campo de substâncias ativas que podem trazer retornos significativos. Neste cenário, as metas de redução de emissões de Gases de Efeitos Estufa (GEE) no setor de transporte têm motivado a prospecção de projetos no Programa e Desenvolvimento (P&D) voltados ao avanço de células a combustível (CC), apontadas no cenário atual como uma das soluções assertivas e significativas para a descarbonização e ampliação da eficiência no setor de mobilidade urbana na sociedade.

Neste contexto, abordar efetivamente questões relacionadas ao meio ambiente, e da mesma forma, o desenvolvimento de tecnologias de energia ambientalmente corretas, torna-se uma estratégia eficaz para mitigar os problemas ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis para obtenção de energia, vista que, o sistema de células a combustível ainda presente um complexo de entendimento em sua essência, estudos mostram que essa complexidade, pode ser totalmente adaptável por um sistema de síntese.

Neste sentido, como um norte na conexão, a economia circular surge como um locus norteador e econômico, mantendo um fluxo constante de recursos, bem como almejando aumentar o seu valor e contribui ao mesmo tempo para a sustentabilidade (ISO,

2021), implementando entre outros horizontes um sistema com processos produtivos, além de modificações estruturais na cadeia linear que propõem sustentação ecológica e soluções ambientais, em uma escala de tempo, onde por sua vez, possa induzir e ao mesmo tempo a agregar valor com o teor da implementação da alta sustentabilidade (Abdalla, 2018).

A partir desse ponto de pesquisa, a floresta Amazônica oferece uma gama de oportunidades através de sua biodiversidade, que proporciona vegetais e conseqüentemente extratos bioativos que de acordo com o teor da pesquisa, são usados para manipulações propondo assim, interesse terapêutico, farmacológico e nos últimos, anos o avanço com estudos com nanopartículas com várias aplicações (Lima *et al.*, 2019).

Diante dos fatos mencionados, essa proposta almeja contribuir com o avanço das pesquisas relacionadas a alternativas de energia limpa e renovável, além da utilização de matéria prima regional, podendo futuramente, gerar uma nova fonte de renda para as comunidades ribeirinhas que tem vivencias da plantação e produção de frutos vegetais.

Portanto, o objetivo do projeto dar ênfase ao desenvolvimento de estudos com nanopartículas metálicas de níquel NiNPs a partir da síntese verde com possíveis aplicações químicas usando como precursor o extrato do jucá, *Libidibia ferrea*.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

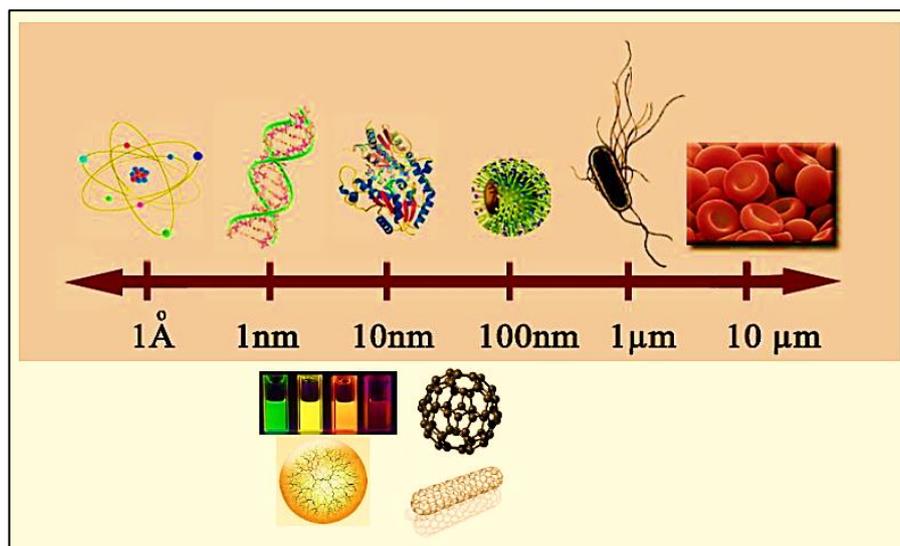
2.1 Nanociência e nanotecnologia

A nanotecnologia fundamentada por Sarkar *et al.* (2019) e Torres *et al.* (2024), é o ramo da ciência que estuda o desenvolvimento de nanoestruturas e investiga as propriedades físico-químicas oferecendo novas funcionalidades nas escalas macro e micro e aprimorando suas características para possíveis aplicações afins (Rodrigues, 2024).

Neste cenário, o advento da nanotecnologia permitiu o desenvolvimento de uma série de nanodispositivos (Sarkar *et al.*, 2019; e Torres *et al.*, 2024) os quais vêm despertando interesse em várias dimensionalidades e aplicações incluindo as áreas biomédicas, ambientais, eletrônicas e magnéticas (Silva *et al.*, 2021 e Lima 2022).

Nesta perspectiva, tornou-se possível a manipulação de sistemas na escala nanométrica, surgindo então os nanomateriais (NM) que compõem a nanociência e a nanotecnologia, gerando produtos cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas.

Figura 1 - Comparação de tamanho entre estruturas na escala manométrica e micrométrica no contexto da nanociência e nanotecnologia na atualidade



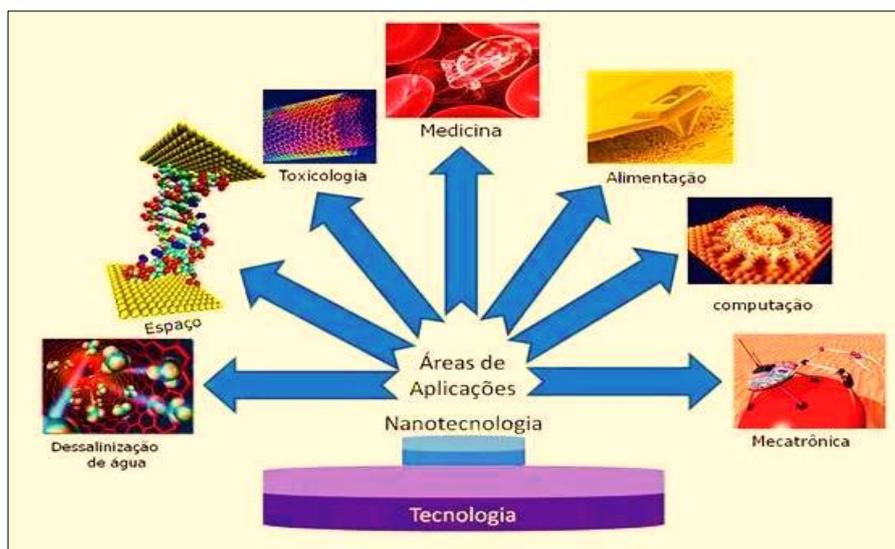
Fonte: De Sousa Marcone, 2015

Diante do exposto, são denominados nanomateriais (NM), os materiais que apresentem pelo menos uma dimensão na escala manométrica, que varia entre 1 a 100 nm. Desta forma, ao comparar os exemplares da Figura 1, os nanomateriais tais como o fulereno (C_{60}), nanotubos de carbono, pontos quânticos e dendrímeros se enquadram na faixa de 1-100 nm, correspondendo à faixa de tamanho de proteínas e vírus. Por outro lado, os NM são cerca de 1000 a 10.000 vezes menores que micro organismos como a bactéria *E. coli* e as células do sangue (Nowack *et al.*, 2007 e Sanfelice *et al.*, 2022).

Concomitante a isso, a nanociência enfatiza os fenômenos que envolvem a manipulação de materiais na escala atômica, molecular e macromolecular que diferem significativamente dos materiais em larga escala. Nesta convergência, a nanotecnologia engloba a produção, caracterização e aplicação dos nanomateriais, cujas características ligadas à forma e tamanho estão na escala manométrica (Marcone *et al.*, 2015).

Além do mais, os principais motivos existentes para se trabalhar com nanopartículas (NPs), encontram-se associadas a diversos fatores externos como a alta área de superfície de contato, além da praticidade de interação com outros sistemas sintéticos, biológicos, derivados ou semissintéticos, aumentando desta forma o leque de opções para futuras aplicações mútuas e multifuncionais abrangendo novas dimensões para possíveis estudos científicos com estudos fundamentados por (Abdussalam-Mohammed 2019) como rege sistematicamente na representatividade na Figura 2.

Figura 2 - O mundo da nanotecnologia e a sua importância nas mais diversificadas áreas de aplicações de estudos e avanço em pesquisas na atualidade



Fonte: Schuster, 2025.

Com ênfase na sua importância, a nanociência e a nanotecnologia têm raízes que remontam a um passado distante, embora sem o conhecimento abrangente que possuímos hoje sobre esses materiais, especialmente em relação às suas rotas de obtenção e bioatividade (Abdussalam-Mohammed, 2019). Analogicamente, os primeiros relatos ou pesquisas de nanopartículas (NPs) estão associados a estudos sobre nanopartículas de Cu, Fe e Au, inicialmente utilizadas no tratamento prévio como a diabetes, asma brônquica, artrite reumatoide, assim como desordens do sistema nervoso (Yadav, Mukesh, 2020).

Com base nessa realidade, estudos arqueológicos realizados no século IV d.C. descrevem achados de nanopartículas utilizadas pelos romanos na fabricação do Cálice de Licurgo (Lycurgus Cup). Neste contexto, e ao longo do tempo, esses achados sobre nano permitiram compreender os efeitos coloridos visualizados sob diferentes condições de iluminação, os quais estão associados à presença de nanopartículas (Bayda *et al.*, 2019).

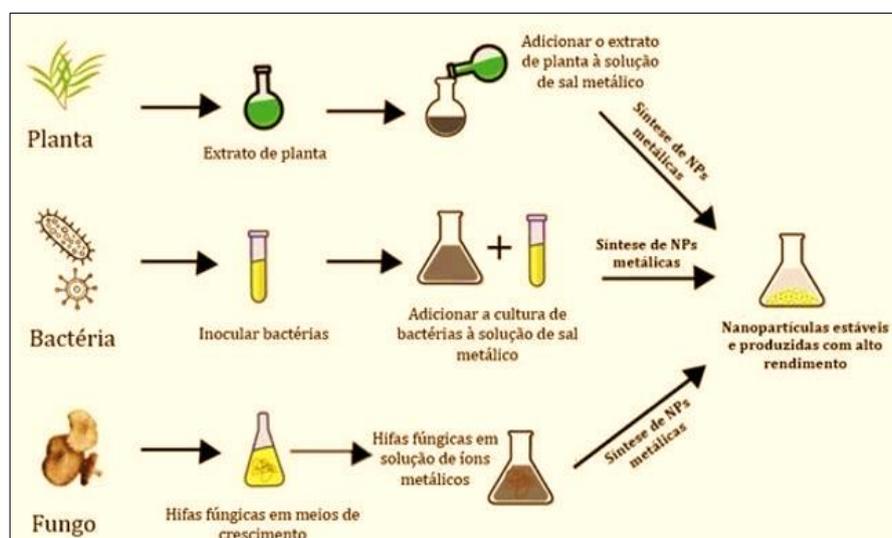
A partir dos trabalhos desenvolvidos, essas descobertas usando produtos naturais inspiram as análises que impulsionam as diversificadas pesquisas com extratos aquosos, devido às reações químicas que transformam a indução por metais no processo de redução com íons metálicos (Ribeiro, 2023; Encarnação, 2023; Dos Santos, 2024).

2.2 Rotas de obtenção de nanopartículas - (NPs)

A síntese de nanopartículas metálicas pode ser desenvolvida por diferentes métodos, mencionando a pirólise, abrasão e redução. A partir dos trabalhos, a utilização desses processos apresenta diversas instabilidades como o alto custo, a baixa taxa de produção, alta demanda de energia, e o uso de produtos que estarão no âmbito das pesquisas e sociedade (Hafeez *et al.*, 2020; Pirtarighat; Ghannadnia; Baghshahi, 2019).

Nestas circunstâncias, quando a proposta possui teores de sustentabilidade e reprodução, contudo, associada à reutilização, problemas são solucionados e instabilidades colocadas à disposição de pesquisadores, propondo soluções dentro de uma abrangência capaz de fornecer e proporcionar conexões viáveis com sistematizações em vários seguimentos, bem como aplicabilidades como é mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Esquema sistemático de rotas de obtenção de nanopartículas (NPs) em diferentes estudos e pesquisas científicas na contemporaneidade



Fonte: Adaptada de Singh *et al.*, 2020.

Nesta dimensionalidade que abrange a obtenção de nanopartículas metálicas mediadas em cada rota, consiste em não utilizar reagentes tóxicos, obedecendo aos princípios legais da Química Verde. Neste método as substâncias presentes nos extratos utilizados têm a função de reduzir o sal metálico utilizado e principalmente conduzir a síntese das nanopartículas em cada condições específicas na formação (Singh *et al.*, 2020).

Baseado em tal concepção, uma das alternativas para compreender esses processos químicos e físicos, destaca-se a Química Verde que consiste na utilização de métodos sustentáveis e menos tóxicos (Alsammarraie *et al.*, 2018). Nesta realidade, a Química Verde faz o uso de três pilares, destacando o uso de solventes verdes, uso de um agente

reductor não perigoso e uso de agente atóxico como estabilizador no sistema de sínteses independente do metal ou extrato aquoso utilizado em análise (Nayak *et al.*, 2016).

Diante do mencionado, a síntese verde pode utilizar meios alternativos para produção de nanopartículas como enzimas, bactérias, fungos e extratos de plantas no processo de sistemas de sínteses (Sandhu e Shukla 2017), como tem sido realizado nos últimos anos, com a tendência de realizar estudos usando extratos vegetais pelo fato de apresentarem misturas com diferentes biomoléculas que proporcionam avanços com nanopartículas e permitem suas aplicabilidades em pesquisas afins (Singh *et al.*, 2020).

2.3 Economia circular

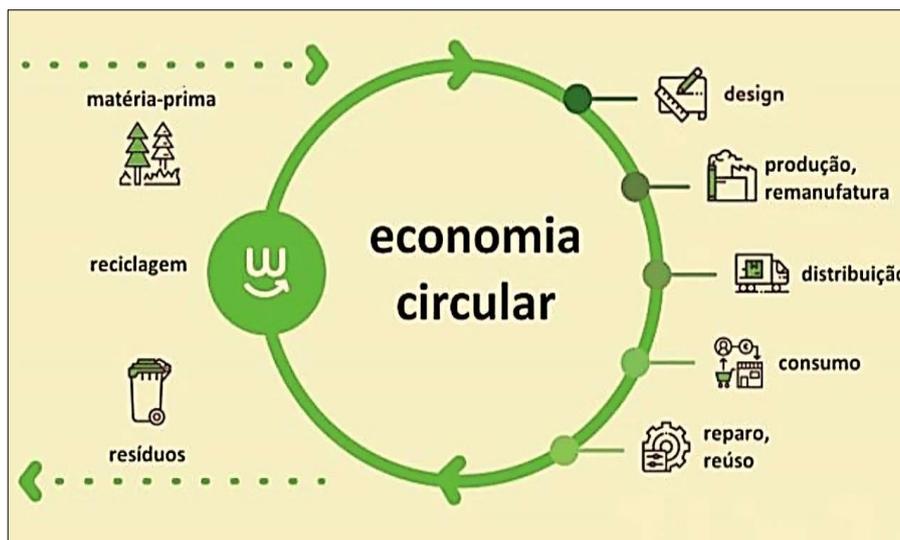
A economia circular, ao determinar a possibilidade de criação de produtos de ciclos múltiplos de uso, reduz a dependência em recursos ao mesmo tempo em que elimina o desperdício. Assim, produtos e serviços desse modelo são elaborados para circular de modo eficiente, como produtos renováveis que retornam para a cadeia social, ao passo que materiais primas por meio de técnicas são recolocados na sociedade (Azevedo 2015).

Consoante a isso, com uma proposta voltada para o futuro, muitos diálogos têm sido realizados visando atender a demanda e Agenda 2030 que dar ênfase na sustentabilidade, principalmente por meio de práticas ecológicas no cotidiano, sendo um dos grandes desafios na atualidade de países como o Brasil nesse processo de evolução sustentável (Romero, 2012; Cavalcante, 2010; Gomes 2022, Renzi; Brazuca, 2013).

A preocupação segundo Piacenti *et al.*, (2021) não é totalmente ligada aos aspectos ambientais, mas também pela necessidade de que se tenha melhor gestão dos recursos produtivos, com finalidade de melhor utilizá-los de forma a evitar escasseies futuramente. Nesta perspectiva, a economia circular é um sistema econômico que mantém um fluxo contínuo de recursos, regenerando, retendo ou aumentando seu valor, ao mesmo tempo em que contribui para a sustentabilidade no contexto global no meio contemporâneo.

Diante dessa realidade, o que se pretende, com este modelo, é a interligação da rede de negócios na transformação desses materiais. Neste contexto, se certo componente de um produto não puder ser recolocado na produção da empresa que o fabricou, poderá ser transformado pelo seu fornecedor ou por terceiro que tenha interesse. Portanto, novos fluxos de receita são gerados como demonstra a funcionalidade na Figura 4.

Figura 4 - O fluxo contínuo da economia circular em uma sociedade sustentável, mostrando atualmente a importância de rota da matéria prima



Fonte: Adaptada de Shen Thor, 2022.

Na Figura 4 observa-se um ciclo reverso pautado na economia circular onde uma determinada matéria-prima chega na indústria, é convertido por meio de processamento, passa pela manufatura, distribuição, consumo, reparo e o reuso e por meio da reciclagem essa matéria-prima pode ser utilizada para a produção de novos produtos e novamente circular a economia (Dos Santos, 2021), visto que essa abordagem surge como uma inovação importante para a implementação de sistemas com processos produtivos mais eficientes, além de promover modificações estruturais na cadeia linear (Abdalla, 2018).

Partindo desta realidade, no processo de compreensão acerca da economia circular, aborda que, todo o produto que seria descartado a toda sorte a natureza, que é considerado como rejeito, pode ser usado para o processo de abastecimento do sistema, bem como funcionar como uma logística de reaproveitamento, que vai desde o produto até a sua forma de comercialização como produto renovável (Borges, 2015 e Defrein *et al.*, 2021).

2. 4 Nanopartículas de Níquel (NiNPs)

Pesquisas com nanopartículas metálicas (NPs) se destacam como possíveis soluções para desafios tecnológicos, pois o monitoramento de parâmetros como controle do tamanho, seja complexo para a sua aplicação. Quanto aos metais usados para a síntese de nanopartículas, destaca-se o níquel, elemento com alta versatilidade podendo se

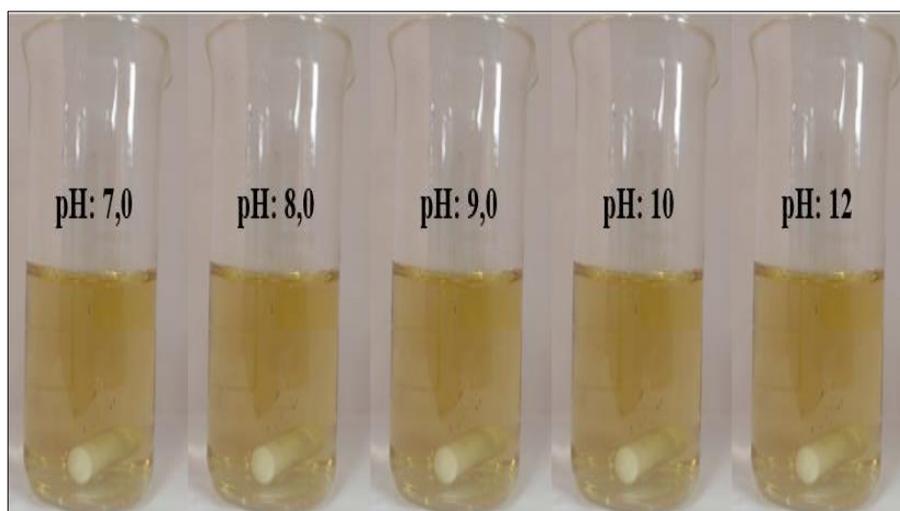
complexar com diversas estruturas incluindo metabólitos secundários de plantas ou vegetais, além da eficiência em revestimento metálicos (Hrishan e Bauju 2011).

Essa decorrência está ligada a natureza periódica do Níquel (Ni), pois é um metal resistente, encontrado na forma de sais solúveis, caracterizado no grupo 10 do bloco d, apresentando os estados de oxidação Ni^{+1} e Ni^{+2} e amplamente utilizado na contemporaneidade, tendo várias aplicações e valor comercial (Pereira *et al.*, 2019).

Nesta área de pesquisa, muitos estudos relatam a síntese de NiNPs de Níquel e suas aplicações tecnológicas em virtude da sua resistência a materiais sólidos como grafite, complexação com sistemas biológicos e entre outros neste campo de pesquisa (Farhadi, 2011). Convergente ao fato, os estudos realizados por Soares, (2024) avaliou o desenvolvimento de eletrocatalisadores de rutênio depositado sobre nanopartículas de níquel para a reação de desprendimento de hidrogênio em eletrólito em meio alcalino.

Paralelo a isso, Paucar (2021) relatou uma atividade degradativa do herbicida utilizando eletrodos de carbono modificados com nanopartículas de níquel com diferentes pH. Da mesma forma e igual importância, estudos realizados por Mendes, (2022) avaliou o desenvolvimento de um eletrodo composto de grafite através da adição de nanopartículas de níquel com testes de estabilidade de pH, para a determinação de atenolol, comprovando a eficácia das nanopartículas de níquel NiNPs frente aos efeitos e mudanças no comportamento de formação de síntese por meio dos sistemas nanoparticulados.

Figura 5 - Sistema nanoparticulado com diferentes escalas de pH, usando extrato aquoso de jucá, cientificamente *Libidibia ferrea* em nanopartícula de Níquel - NiNPs

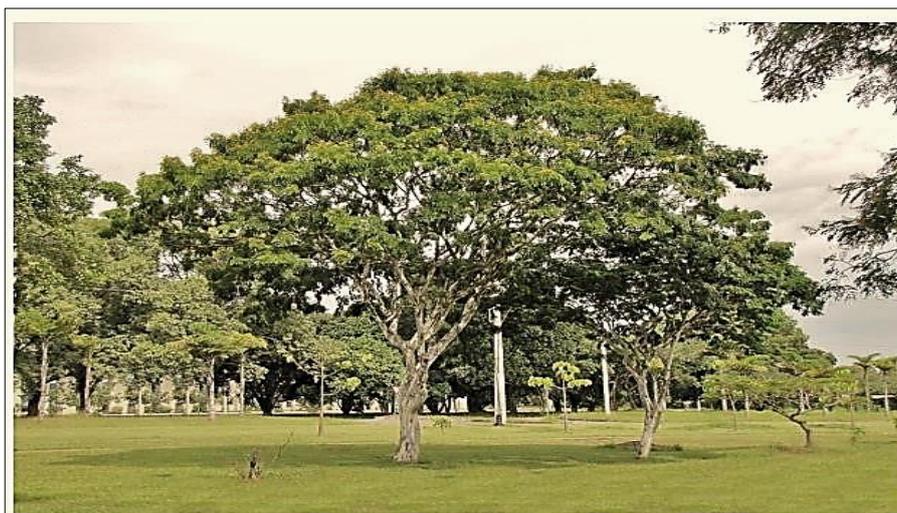


Fonte: O próprio autor, 2025.

2. 5 *Libidibia ferrea*

Libidibia ferrea é uma árvore nativa da região semiárida do Brasil, também encontrada nas regiões Norte, Nordeste e Sudeste (Costa, Guilhon-Simplicio & Souza, 2015; Ferreira & Soares, 2015), destacando-se por suas propriedades ecológicas, econômicas e importância na cultura ambiental (Macêdo *et al.* 2020) Figura 6.

Figura 6 - Imagem representativa ilustrando as características gerais de uma árvore de jucá, cientificamente *Libidibia ferrea*



Fonte: Adaptado de Carvalho, 2023.

Em relação à sua morfologia, é uma planta que apresenta tronco liso e escamoso, casca acinzentada com pontuações lenticelares, seus frutos do tipo vagem ou legume quando maduros são amarronzados e as sementes amarelas (Lima *et al.*, 2024), além de uma planta arbórea que pode atingir até 15 m de altura, possuindo uma copa ampla com a presença de folhas de tamanhos variados e uma espécie emblemática da vegetação xerófila brasileira (Galdino, Mesquita & Kossmann, 2007) o qual proporciona a integração na Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse medicinal ao SUS (RENISUS) devido à alta concentração de metabólitos secundários (Do Egito *et al.*, 2023).

A taxonomia do *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul.) L.P. QUEIROZ é fundamentada como uma angiosperma de porte médio do reino Plantae, filo Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Caesalpiniaceae com folhas bipinadas, flores diclamídias e sementes com pleurograma (Almeida *et al.*, 2021). Além disso, Santos *et al.*, (2018), afirmam que a *Libidibia ferrea* produz anualmente uma determinada quantidade de sementes as quais germinam em condições específicas como: amplitude térmica de 15 a 40 °C e que podem ser armazenadas por até oito meses.

Quanto a prospecção fitoquímica do Jucá *L. ferrea*, existem uma variabilidade de classes de metabólitos, quais podem estar relacionados diretamente com às ações terapêuticas, dentre estes metabólitos destacam-se, os flavonoides, taninos, saponinas, cumarinas, esteroides e outros compostos fenólicos das cascas, assim como, caule, folhas, e, sobretudo, da sua semente propriamente dita (Soares *et al.*, 2015; Bittencourt, 2017).

2. 6 Métodos de adsorção *in-situ* e *ex-situ*

O uso de materiais carbonáceos como grafeno, nanotubos de carbono e carvão ativado é essencial para melhorar a condutividade das nanopartículas metálicas. Esses materiais possuem alta área superficial e excelente condutividade elétrica, sendo essenciais para melhorar o desempenho geral dos sistemas de nanopartículas (Cardoso *et al.*, 2011) incorporando materiais carbonáceos na rede condutora do nanocompósito, melhorando e aumentando a eficiência da transferência de carga (Mittal *et al.*, 2015).

Entre outros contextos, à porosidade do carvão ativado, constituído por um conjunto de camadas de átomos de carbono híbrido sp^2 com ligações de carbono sp^3 onde os espaços entre as camadas constituem a porosidade do material (Wang *et al.*, 2012), com fatores afetando diretamente o processo de adsorção química do adsorvato, e ao mesmo tempo a escala do pH, pois o pH do meio em análise é um dos fatores importantes, afetando não só a estrutura da molécula do adsorvato, como também a carga líquida na superfície do adsorvente (Amaral, 2016, Boas *et al.*, 2019 e Nascimento *et al.*, 2024).

Tal premissa, é reportado por (Mosaviniya *et al.*, 2019) reforçando que o campo de adsorção de nanopartículas em carvão ativado é uma tecnologia importante para uma variedade de aplicações, como remoção de poluentes, catálise e processos de purificação, existindo dois métodos principais para a adsorção de nanopartículas, conhecidos como adsorção *in-situ* e adsorção *ex-situ* usando carvão ativado em sistemas aquosos.

De acordo com Singer *et al.*, (2019) a adsorção *in-situ*, é método da síntese das nanopartículas que ocorre diretamente na superfície do carvão ativado. Nesse processo, Encarnação *et al.*, (2024) ratifica que os precursores metálicos são impregnados em carvão ativado, formando nano partículas por meio de reações químicas ou processos de redução que permanecem aderidas ao suporte. Por outro lado, Martins *et al.*, (2024) contribui afirmando que este método garante forte interação entre nanopartículas e carvão, proporcionando dispersão uniforme e evitando aglomeração de partículas. A vantagem

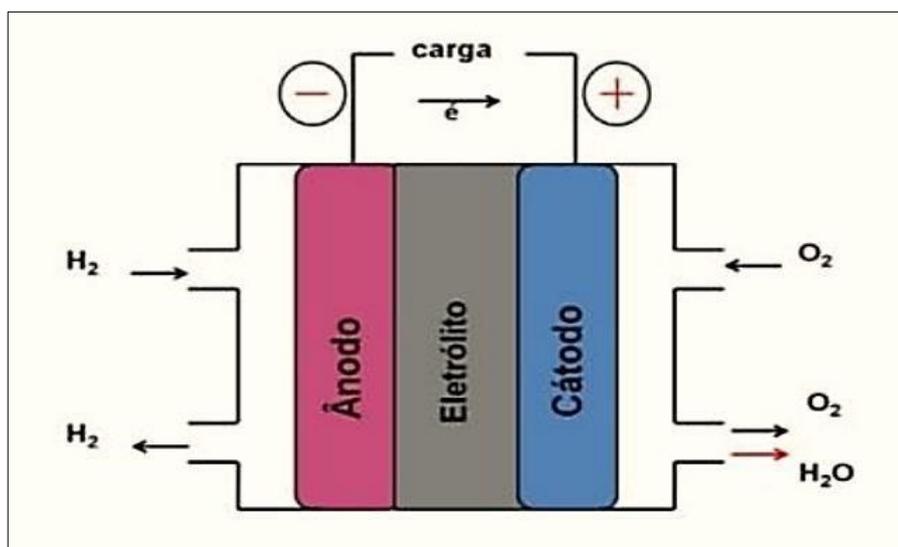
deste método é a distribuição eficiente das nanopartículas, maximizando assim a área superficial ativa do composto (Ferreira *et al.*, 2015, Martins, 2022 & Palazzo, 2022).

No método *ex-situ*, as nanopartículas são sintetizadas individualmente em solução e depois adsorvidas na superfície do carvão. Após a síntese, as nanopartículas são misturadas ao carvão para que sejam adsorvidas às superfícies por meio de interações físicas ou químicas. Essa abordagem segundo Gallan, (2016) permite um controle do tamanho e morfologia das nanopartículas antes da adsorção. Para tal, Singer *et al.*, (2021) relata que a interação entre nanopartículas e carvão vegetal pode ser menos estável em comparação com métodos *in-situ*, ocorrendo aglomeração entre nanopartículas NPs.

2. 7 Células a combustível e eletrocatalisadores

Estudos relatam que as células a combustível são tecnologias utilizadas para avaliar os principais tipos de energia, revolucionando a forma pela quais os países são abastecidos fornecendo alternativas com alto padrão de qualidade e eficiência (Cook, 2020 & Robalino 2021). Neste contexto, o uso de células a combustível, pode ser utilizado para substituir motores de combustão internos e geradores de energia, pois segundo Cook, (2020) são energeticamente eficientes, renovável e principalmente flexíveis para álcool.

Figura 7 – Imagem com as características gerais e específicas esquematizada de célula a combustível



Fonte: Barbosa *et al.*, 2022.

Dentro do contexto histórico, a primeira célula a combustível foi construída em 1801 por Humphrey Davy, realizando estudos em eletroquímica usando carbono e ácido

nítrico. Diante disso, a Célula de Grove, como era chamada, usava um eletrodo de platina imerso em ácido nítrico e um eletrodo de zinco imerso em sulfato de zinco para gerar uma corrente de 12 amperes e uma tensão de corrente de 1,8 volts (Silva *et al.*, 2024). Dessa forma, pesquisas sobre eletroquímica têm evidenciado que células a combustível combinadas com a produção de hidrogênio podem ser usadas para os fornecimentos de combustível, além de aquecimento, resfriamento e produção de eletricidade (Silva, 2020).

Neste sentido, eletrocatalisadores constituem classes específicas de catalisadores que atuam nas superfícies dos eletrodos ou, em muitos casos, correspondem à própria superfície do eletrodo. Esses materiais podem ser classificados como homogêneos ou heterogêneos e podem ser utilizados em diversas aplicações industriais (Zhao, 2020).

Diante dos fatos mencionados, as Células a Combustível Diretas de Etanol (do inglês Direct Ethanol Fuel Cells - DEFC) e de Metanol (do inglês Direct Methanol Fuel Cells - DMFC) têm despertado crescente interesse nos últimos anos devido à tecnologia envolvida e às vantagens apresentadas em relação às formas tradicionais de geração de energia que são desenvolvidas na atualidade (Veiga, 2018 & Silva *et al.*, 2024).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Sintetizar, caracterizar e avaliar a eficiência eletrocatalítica frente à oxidação de etanol de nanopartículas metálicas de Níquel suportados em materiais carbonáceos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter as NiNPs utilizando extrato vegetal de *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul.);
- Realizar métodos de adsorção *in-situ* e *ex-situ* por meio de carvão comercial e resíduos de *tucumã*;
- Avaliar o efeito do suporte utilizado na resposta eletrocatalítica;
- Realizar estudos eletroquímicos da oxidação de etanol por meio das técnicas de voltametria e cronoamperometria.

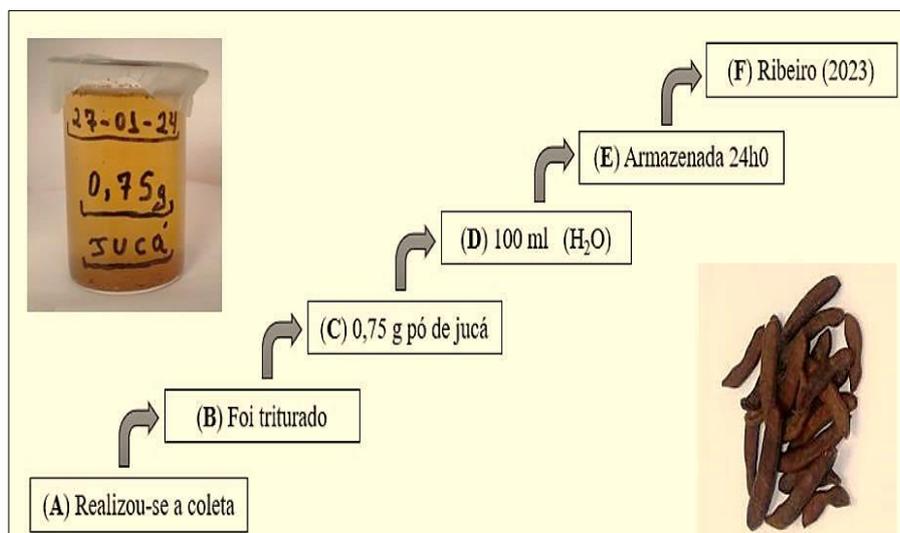
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Preparação do extrato bruto do *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul.)

Os frutos de *Libidibia ferrea* (Mart.) foram coletados no município de Itacoatiara - Amazonas, Brasil (03°08'01.65"S 58°26'19.04" O). O material vegetal foi identificado, um espécime voucher (pecimen de herbário número 564895) foi depositado em um dos laboratórios de pesquisa do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA.

Para a síntese do extrato vegetal fragmentos do material vegetal do fruto de *Libidibia ferrea* foram lavados em água (H₂O) destilada, assim como moídos e secos. Em seguida, massa de 0,75 g desse material foi colocado em 100 mL de água (H₂O) e deixado sob agitação especificamente por 24 horas. Após esse período, o extrato aquoso do vegetal foi filtrado, e, em seguida, mantido em temperatura por 24h, seguindo a fundamentação dos estudos sistemáticos de Ribeiro *et al.*, (2023), como está representado na Figura 8.

Figura 8 - Etapas de preparação do extrato aquoso, usando 0,75g de *Libidibia ferrea*



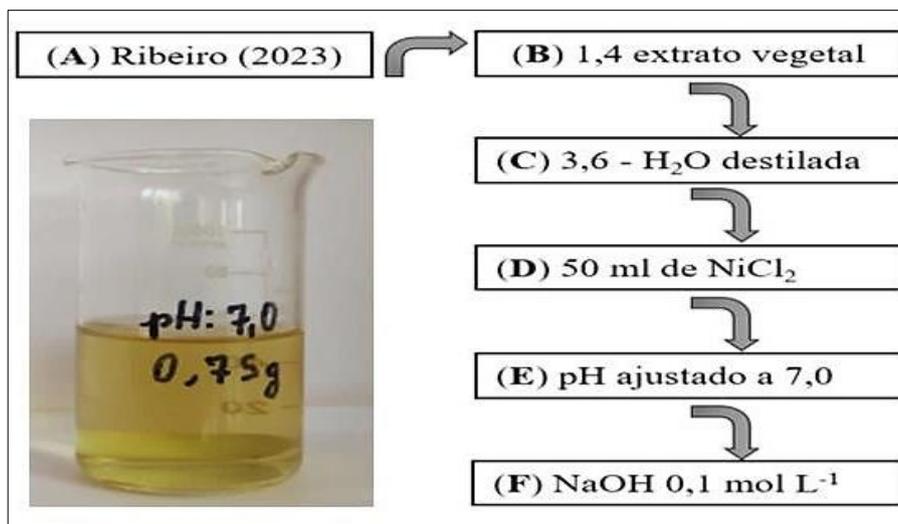
Fonte: O próprio autor, 2024.

4.2 Obtenção de nanopartículas de Níquel - NiNPs.

A síntese das nanopartículas metálicas de níquel foi fundamentada no método de Ribeiro *et al.*, (2023), usando 1,4 mL do extrato vegetal foi adicionado a 3,6 mL de água (H₂O) destilada e 50 mL de solução de 0,1 mmol L⁻¹ de NiCl₂ e em seguida o pH foi ajustado a 7,0, como mostrado na Figura 7. Em seguida colocou na centrífuga a 3000 rpm

por 10 min. Com isso, a camada superior foi separada da camada inferior, redissolvida em água deionizada. Paralelo a isso, a partícula foi centrifugada várias vezes removendo contaminantes que tivessem sido absorvidos na nanopartícula de níquel.

Figura 9 - Desenvolvimento e preparação do sistema nanoparticulado de Níquel, usando especificamente 0,75g de jucá, definido na escala de pH: 7,0

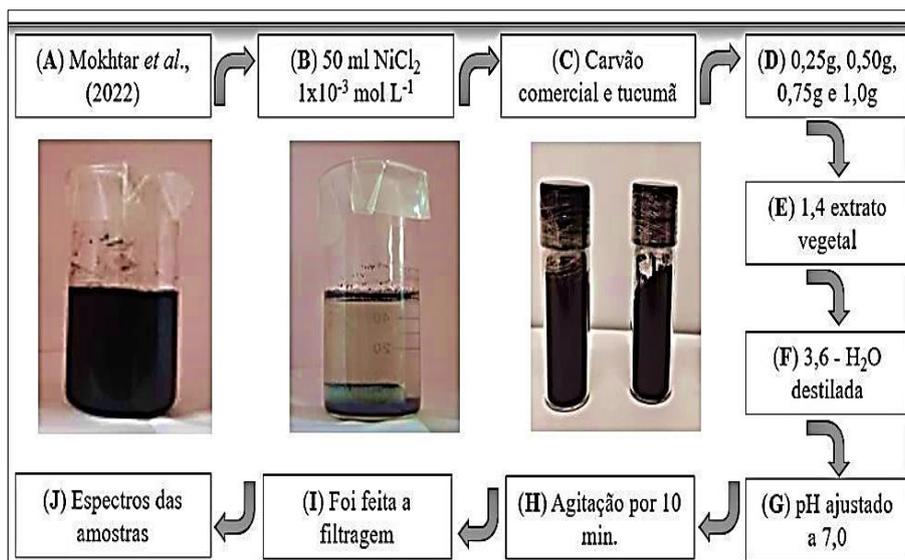


Fonte: O próprio autor, 2024.

4. 3 Desenvolvimento do método *in-situ*

Para esse procedimento, o nanocompósito NiNPs/C foi preparado no modo *in-situ*. Na síntese *in-situ*, NiNPs/C foi sintetizada em uma única etapa. Assim, diferentes massas do material carbonáceo em (0,25 g; 0,50 g; 0,75 g; e 1,0 g) foram agitados com 50 mL $\text{NiCl}_2 \cdot 1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ por 10 minutos seguido pela adição de 1,4 mL de extrato vegetal e 3,6 ml de água destilada ajustada no pH 7,0. Além disso, toda a mistura reacional foi mantida no escuro. Após esse tempo, a mistura reacional foi filtrada, e em seguida lavado com água destilada até a remoção do excesso da solução de NiCl_2 . O filtrado NiNPs/C foi então seco a 80 °C especificamente por 2 horas, como está representada na Figura 10.

Figura 10 - Desenvolvimento e preparação do procedimento do método de adsorção *in-situ* e *ex-situ* usando 0,75g de jucá, definido na escala de pH:7,0



Fonte: O próprio autor, 2025.

4. 4 Desenvolvimento do método *ex-situ*

Para a síntese *ex-situ*, inicialmente foi preparado as nanopartículas NiNPs, e em seguida adicionou-se carvão ativado nas diferentes massas 0,25 g; 0,50 g; 0,75 g; e 1,0 g. Por fim, procedeu com a síntese do nanocompósito de Nanopartículas de NiNPs/C, que foi separado, lavado com água destilada e secos em estufa por 2 horas a 80 °C.

4. 5 Prospecção fitoquímica dos constituintes fenólicos - *Libidibia ferrea*.

As triagens fitoquímicas dos metabólitos secundários presentes no extrato aquoso brutos da espécie vegetal *Libidibia ferrea* foram realizadas de acordo com Matos, (2009).

4. 5. 1 Teste para caracterização de Flavonoides

Para caracterizar a presença de flavonoides, usou-se a fundamentação de Matos (2009) por meio de um método qualitativo sistematicamente descrito a seguir.

4. 5. 1. 1 Reação oxalo-bórica: O extrato aquoso e extrato etanólico foram coletados com auxílio de uma pipeta (8 mL) da solução do extrato, e foram adicionados ao resíduo 3 mL de solução de ácido bórico 3% em etanol 75% e 1 mL de solução de ácido oxálico 10% em etanol 75%. Consequentemente a solução foi evaporada dentro de uma

cápsula de porcelana com o auxílio de um banho maria até secar e prolongou-se o aquecimento por mais 5 minutos. Em seguida, após esfriar foi adicionado o éter etílico (3 ml) e após a evaporação foi levado para a análise em câmara ultravioleta. Para tal, a formação atribuída de coloração amarelo esverdeado indica a presença de flavonoides.

4. 5. 1. 2 Reação com hidróxidos alcalinos: Em um tubo de ensaio foi adicionado 1 mL do extrato aquoso e a este foram adicionados 9 mL água destilada. Além disso, foi separado 5 mL da solução final em outro tubo de ensaio, e adicionadas 25 gotas de solução de hidróxido de sódio à 0,1 M. após isso, observou-se a coloração, comparando com o outro tubo de ensaio, pois se ocorresse o aparecimento de coloração amarela na solução, ressalta destacar a indicação da presença de flavonoides com hidroxilas fenólicas livres.

4. 5. 1. 3 Reação com cloreto férrico: Em um tubo de ensaio foram adicionados com 1 mL do extrato vegetal e 9 mL de água destilada, desta solução foram transferidos 5 mL da solução obtida para um outro tubo. Na sequência, em um dos tubos foi adicionado uma gota de cloreto férrico a 2%, deixando o segundo tubo ao lado, sem a adição de nenhum reagente. Após essa etapa, observou-se soluções contendo flavonas com coloração verde-claro, flavonóis e flavanonas de verde-escuro e chalconas de amarelo.

4. 5. 2 Caracterização de Taninos: Para a identificação de taninos, solubilizou-se 20 mg de extrato em 2 mL de metanol, em seguida adicionou-se 4 mL de água destilada e fez-se filtração utilizando funil e papel filtro. Posteriormente, a amostra foi dividida em dois tubos de ensaio, sendo 3 mL em cada. A primeira reação consistiu em acrescentar cinco gotas de cloreto férrico a 20% ao primeiro tubo de ensaio. Para a segunda reação, adicionaram-se duas gotas de ácido clorídrico aos extratos e em seguida foram gotejadas algumas gotas de solução de gelatina a 2% no segundo tubo. A formação de coloração azul claro indica a presença de taninos hidrolisáveis e verde escuro, taninos condensados, visto que a precipitação com gelatina indica a presença positiva de taninos no extrato.

4. 5. 3 Saponinas: O extrato aquoso foi adicionado separadamente em tubos de ensaio, cerca de 2 mL em cada tubo. Assim, os extratos foram solubilizados com clorofórmio, passando por filtração e foram adicionados em cada um dos tubos de ensaio 2 mL de água destilada. Após isso, a mistura foi submetida à agitação manual por 3 minutos a formação de espuma constante indica a presença de saponinas, além disso, para

avaliar a presença confirmatória das saponinas, com uma pipeta Pasteur adicionou-se 2 gotas de NaOH a 0,1M na solução contendo o extrato aquoso e agitou-se manualmente por 3 minutos, como a espuma persistiu, indica-se que o extrato apresentou saponinas.

4. 5. 4 Terpenos: Foram separados três tubos de ensaio, transferiu-se 2 mL do extrato para cada um dos tubos. Em seguida, adicionou-se 1 mL da solução de anidrido acético 0,1% (m/v), 1 mL de ácido sulfúrico 0,01% (v/v) e 3 mL de clorofórmio, sendo posteriormente levados para resfriar. Após a diminuição da temperatura foi adicionado ao meio mais 1 mL de anidrido acético e mais 1 mL de ácido sulfúrico. A formação de um complexo de coloração azulada indica a presença de terpenos.

4. 5. 5 Alcaloides: O extrato foi misturado com 2 ml de HCl a 1% e aquecido suavemente. Os reagentes de Mayer e Wagner foram adicionados à mistura. A turvação do precipitado (material floculado) resultante evidenciou a presença de alcaloides.

4. 5. 6 Desenvolvimento dos estudos e testes eletroquímicos

Para esta etapa experimental, os eletrodos foram modificados a partir da mistura entre os catalisadores metálicos e complexo em diferentes razões mássicas em solventes apropriados, considerando a solubilidade do material, e 20 μ L de Nafion®. Após isso, a solução foi colocada no banho ultrassônico por 20 minutos e posteriormente foram adicionadas alíquotas de 25 μ L da mistura sobre a superfície do eletrodo.

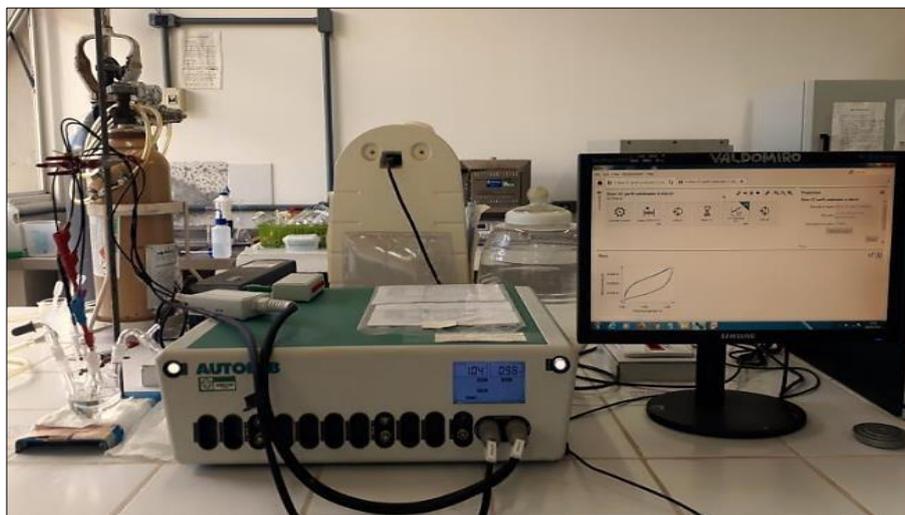
5. 1. Avaliação dos catalisadores frente à reação de (ROE)

O estudo de ROE foi realizado por voltametria cíclica e impedância na presença de etanol, eletrólito suporte, em condições similares às da VC na ausência de etanol, em meio básico. Para tal, a atividade electrocatalítica de oxidação do etanol é refletida pela magnitude do pico de corrente anódica na varredura direta. Com isso, estes testes foram realizados nas melhores condições de testes experimentais em pH previamente definidos.

A atividade electrocatalítica do eletrodo modificado frente à oxidação e degradação da deltametrina foi analisada por voltametria cíclica em função da magnitude do pico de corrente anódica e corrente catódica com auxílio de um Potenciostato/Galvanostato AUTOLAB 302N. Desta forma, a célula electroquímica é composta especificamente por

um eletrodo de trabalho (EW), um contra eletrodo de platina (CE) e um eletrodo de referência reversível observado especificamente na Figura 11.

Figura 11 - Potenciostato/Galvanostato (AUTOLAB - 302) utilizado nos testes eletroquímicos



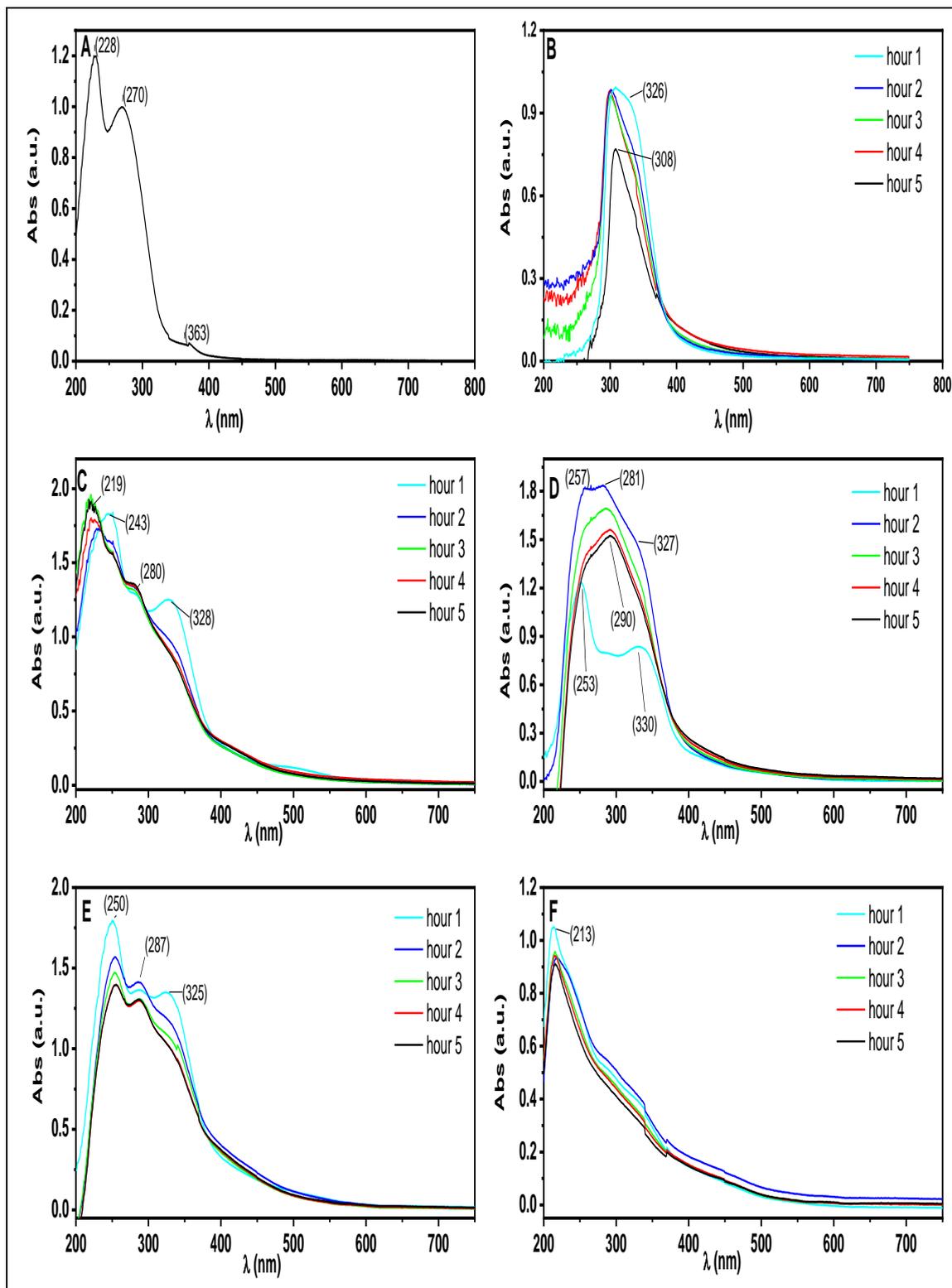
Fonte: O próprio autor, 2025.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Nanopartículas de níquel (NiNPs)

A Figura 12 apresenta os espectros eletrônicos obtidos durante a síntese de nanopartículas de níquel (NiNPs) mediada por extrato de jucá (concentração de 0,75% (m/V) ao longo das primeiras 5 horas, em diferentes condições de pH (7, 8, 9, 10 e 12).

Figura 12 - Espectro do extrato de jucá (A) e das NiNPs nos pHs: 7,0 (B); 8,0 (C); 9,0 (D); 10,0 (E) e 12,0 (F) nas primeiras 5h. Concentração do extrato aquoso, 0,75 % (m/v)



Fonte: O próprio autor, 2024.

Para o extrato de jucá, Figura 12A, o espectro eletrônico mostra máximos de absorção em 228, 270 e 363 nm, típicos de compostos fenólicos, flavonoides e outras biomoléculas redutoras presentes no extrato, que tange atribuições nas transições

eletrônicas $\pi \rightarrow \pi^*$ dos grupos CO e CN presentes nos flavonóides (Lima *et al.* 2021; Hao *et al.* 2017; Carvalho *et al.* 2020; Nistor *et al.* 2022 e Sousa *et al.* 2024). Assim, esses picos confirmam a presença de grupos funcionais capazes de reduzir íons metálicos e estabilizar nanopartículas em um sistema nanoparticulado em diferentes condições de pH.

Neste cenário, em (pH 7,0), Figura 12B, observa-se o aparecimento de picos em 326 nm na 1ª hora de reação, sendo, neste contexto, deslocado para menores comprimento de onda, analogicamente em 308 nm, na 5ª hora de análise. Diante dos fatos, esses picos, dão ênfase na formação das NiNPs, ressaltando que a menor absorbância em comparação com os outros pHs, sugere uma condição de síntese menor eficiente em pH neutro.

Para a Figura 12C, na 1ª hora de síntese observamos os picos de absorção em 243 nm e 328 nm, sendo este último referente a formação das NiNPs. Após 3ª síntese, ocorre o deslocamento da banda de maior energia, atribuída a transição eletrônica dos flavonoides para 219 nm e o aparecimento da banda em 280 nm e a redução da banda em 328 nm.

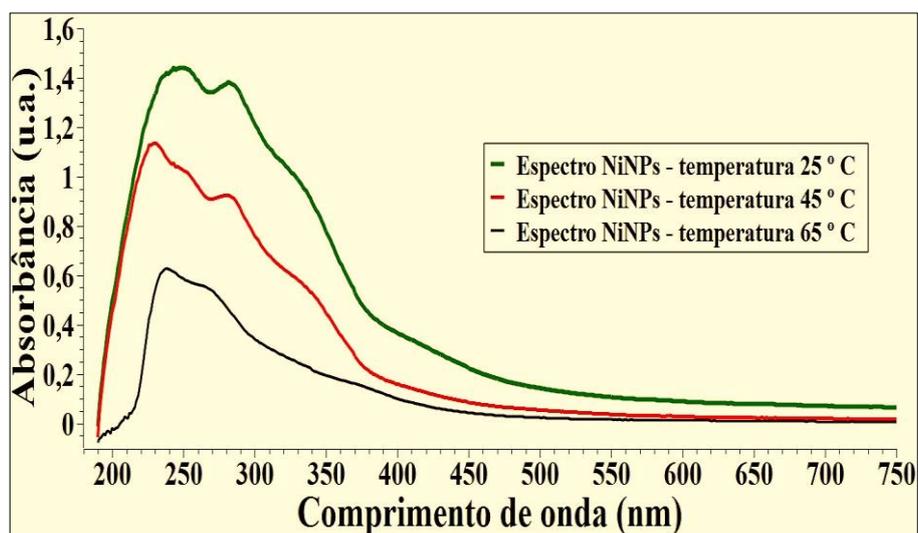
Na Figura 12D, observamos o alargamento do espectro, bem como o aumento da absorção a partir da 1ª hora. Esse alargamento pode indicar maior variação no tamanho das partículas, ou seja, polidispersidade. Por outro lado, em pH 9, a redução dos íons Ni^{2+} ocorre em diferentes velocidades, o que resulta entre outros contextos na formação respectiva e simultânea de partículas com menores e maiores dimensionalidade.

Em consonância ao fato, essa heterogeneidade causa neste cenário sobreposições das bandas de absorção e, conseqüentemente, o alargamento do pico. Além disso, e outros contextos, a maior largura e intensidade dos picos também sugerem uma maior quantidade de partículas em formação, refletindo em um processo de síntese dinâmico e eficiente.

No pH 10,0 observamos as bandas com máximos de absorção em 250, 287 e 325 nm. Diante desse cenário, houve um pequeno deslocamento dos picos em comparação com os outros pHs, mas com a manutenção do padrão de crescimento ao longo das 5 horas. Por fim, em pH 12,0 (F), temos apenas um pico evidente em 213 nm, com baixa intensidade ao longo do tempo, indicando que em pH muito alcalino, a eficiência de formação das nanopartículas é consideravelmente reduzida, possivelmente devido à desnaturação de compostos bioativos ou à rápida precipitação de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ hidróxidos de níquel o processo de reação na condição específica do teste experimental com NiNPs segundo Barbosa (2019) e reescrita por (Dąbrowski *et al.*, 2022 & Silva, 2024).

Além do mais, também avaliamos o efeito da temperatura na síntese de nanopartículas de níquel NiNPs, como é observado na Figura 13.

Figura 13 - Análise de espectro eletrônico (UV-visível) pH 7,0 com diferentes temperaturas de síntese de nanopartículas de Níquel NiNPs em 25°C, 45°C e 65 °C



Fonte: O próprio autor, 2025.

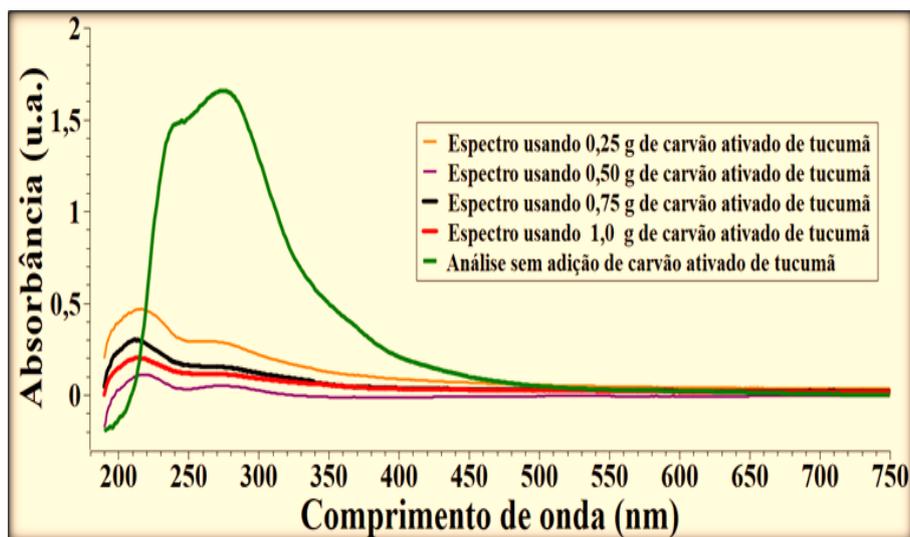
A formação de nanopartículas metálicas de níquel a 25 °C entre 310 a 370 nm é mais acentuada do que a 45 °C e 65 °C devido aos fatores que favorecem a nucleação em temperaturas mais baixas. Assim, em 25 °C, a energia térmica disponível é limitada, o que desacelera o crescimento das partículas e intensifica a taxa de nucleação, resultando em maior quantidade de núcleos menores e homogêneos Sousa, (2024). Além do mais, a supersaturação da solução é mais fácil de alcançar em temperaturas mais baixas, promovendo uma nucleação rápida antes que o crescimento das partículas se torne predominante no sistema em conforme (Souza, 2025 & Scarpati, 2025).

Em contrapartida, em temperaturas mais elevadas, como 45 °C e 65 °C, o aumento da energia térmica acelera o crescimento das partículas existentes, reduzindo a formação de novos núcleos e resultando em nanopartículas maiores e menos uniformes. Nessa especificidade, Scarpati, (2025) contribui afirmando que a cinética do processo é fundamental para entender essa dinâmica, pois a taxa de colisões efetivas entre os reagentes, diretamente influenciada pela temperatura, controla o equilíbrio entre nucleação e crescimento, impactando o rendimento, bem como a estabilidade mútua das nanopartículas de NiNPs no processo respectiva de formação Cahuanayma, (2024).

6. 2 Método de adsorção *in-situ*

Apesar do processo adsorptivo por materiais carbonáceos, em especial, carvão ativado, seja aplicado na sua grande maioria para descontaminação efluentes, este método de imobilização foi aplicado nesse trabalho para comportar as NiNPs em seus poros. Dessa forma, o nanocompósito esperado terá o aumento nas propriedades elétricas, em comparação com a NiNPs livre. Desta forma, o processo realizado apresentou os seguintes resultados que praticamente não identificou NiNPs no sistema, visualizado na Figura 14.

Figura 14 – Espectro baseado no método *in-situ* usando as massas específicas 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão ativado de tucumã na escala de pH 7,0



Fonte: O próprio autor, 2024.

Com base nesse comportamento, é possível observar a eficiência do carvão ativado de tucumã na adsorção de nanopartículas de níquel NiNPs utilizando o método *in-situ*. Nesta natureza, o comprimento de onda na faixa de 320 a 360 nm, com absorvância próxima de 1,8 u.a. evidencia a presença da nanopartícula sem adição do carvão ativado.

Quando adicionado as quatro diferentes massas de carvão ativado ao sistema, os resultados mostram um processo de adsorção positiva, destacando as massas de 0,75 g e 1,0 g, que apresentaram os melhores efeitos adsorptivos. Esses resultados justificam a comparação com as menores massas de 0,25 g e 0,50 g, demonstrando que maiores quantidades de carvão ativado de tucumã promovem uma adsorção eficaz das NiNPs.

Neste contexto, o procedimento usado na etapa do processo *in-situ* oferece suporte significativo para a formação de materiais com características morfológicas específicas. Neste viés, estudos realizados por Oliveira Júnior *et al.*, (2023) e destacados por Encarnação (2023) confirmam que, no método *in-situ*, a formação de NiNPs ocorre dentro

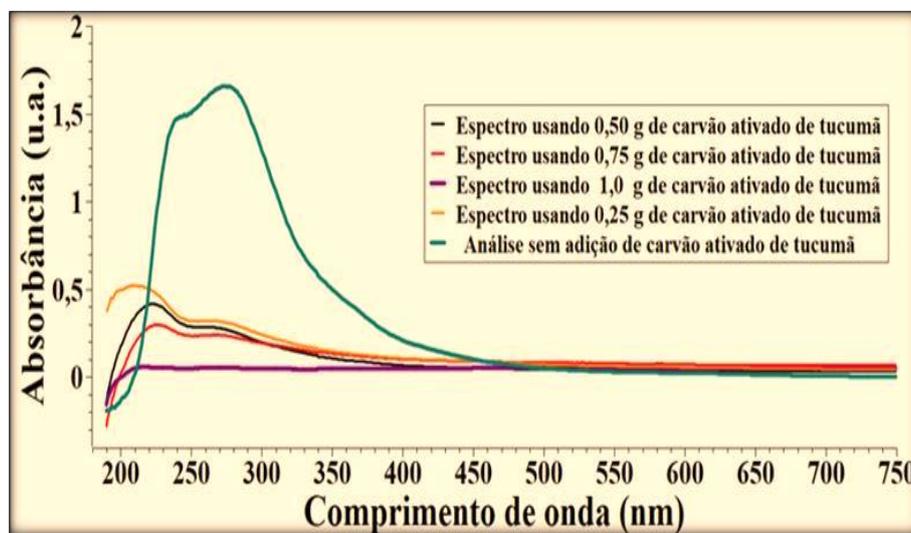
dos poros do material. Neste sentido, pesquisas de Kasperiski *et al.*, (2018) e desenvolvidas por Encarnação (2023) fundamentam que adsorventes como carvão de produtos naturais paralelo ao carvão ativado comercial são eficazes para remoções.

Diante dessa dimensionalidade, o carvão ativado de tucumã demonstrou alta eficiência na adsorção de nanopartículas NiNPs, fornecendo subsídios para futuras investigações. Além disso, esses materiais poderão posteriormente ser utilizados como possíveis catalisadores em processos de estudos eletroquímicos em células a combustível.

6.3 Processo de adsorção *ex-situ*.

A Figura 14 mostra que a remoção das NiNPs foi significativa, uma vez que a região de formação dessas nanopartículas, encontra-se sem picos formados, predominando somente a região onde se encontram o grupo orgânico dos flavonoides em 200 a 250 nm. Neste sentido, a eficiência do carvão ativado se dá por ser um ótimo adsorvente com poros e área superficial bem desenvolvida, além de possuir uma variedade de elementos químicos em sua superfície, como oxigênio (O), nitrogênio (N) e hidrogênio (H).

Figura 14 - Espectro baseado no método *ex-situ*, usando as massas específicas 0,25g, 0,50g, 0,75g e 1,0g de carvão ativado de tucumã na escala de pH 7,0

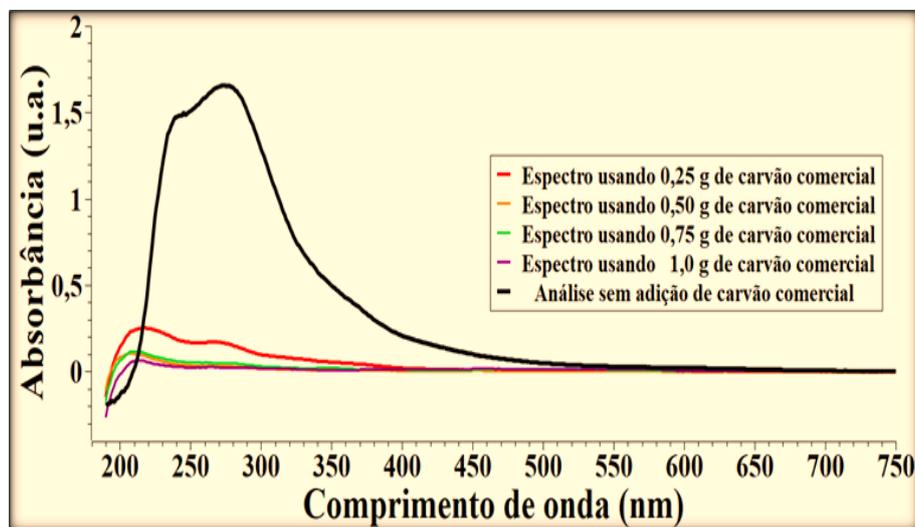


Fonte: O próprio autor, 2024.

As metodologias utilizadas no processo *ex-situ* e *in-situ* possivelmente levarão a formação de materiais com diferentes características morfológicas, já que no processo *ex-situ* as nanopartículas, possivelmente formadas, estarão na superfície do carvão ativado, enquanto no processo *in-situ* possivelmente a formação das nanopartículas, estão dentro

dos poros do carvão ativado conforme (Oliveira-Júnior *et al.*, 2023 & Encarnação, 2023). Neste contexto, outra comparação é observada nos testes de adsorção na Figura 15.

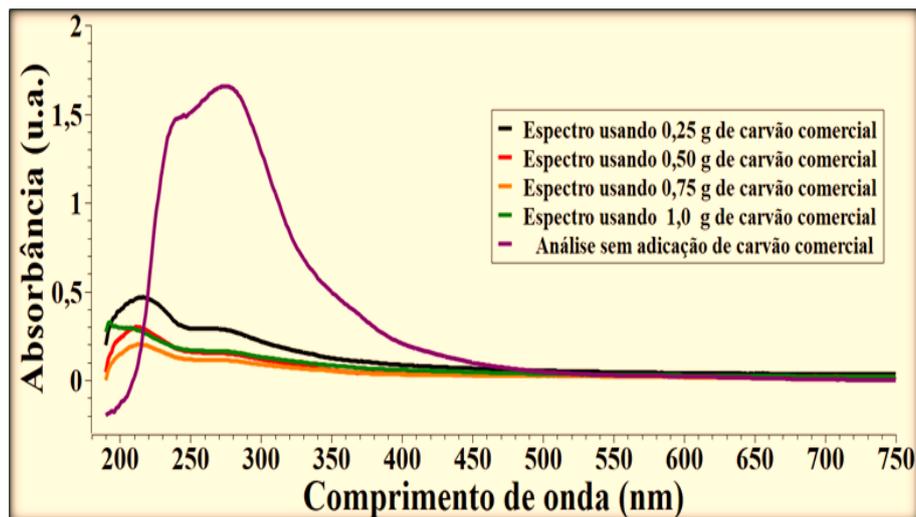
Figura 15 - Espectro baseado no método *in-situ*, usando as massas específicas 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0g de carvão comercial na escala de pH 7,0



Fonte: O próprio autor, 2024.

Analogicamente, quando comparado as análises frente a adsorção com o uso de carvão comercial, utilizando o método *in-situ* as massas referenciadas estão em volta de 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g do carvão comercial, consistindo como os melhores resultados em comparação as amostras de espectrofotômetro nas amostras com nanopartículas, dando pertinência linear sem absorvância (u.a.) e comprimento de onda λ (nm), visto que a massa de 0,25 g apresenta possíveis biomoléculas com uma absorvância baixa próximo de 0,5 (u.a.) e comprimento de onda constatada entre 240 (λ) 270 (nm) no espectro de Uv-visível. Sendo assim, testes observados na Figura 16, mostram a complementação das análises.

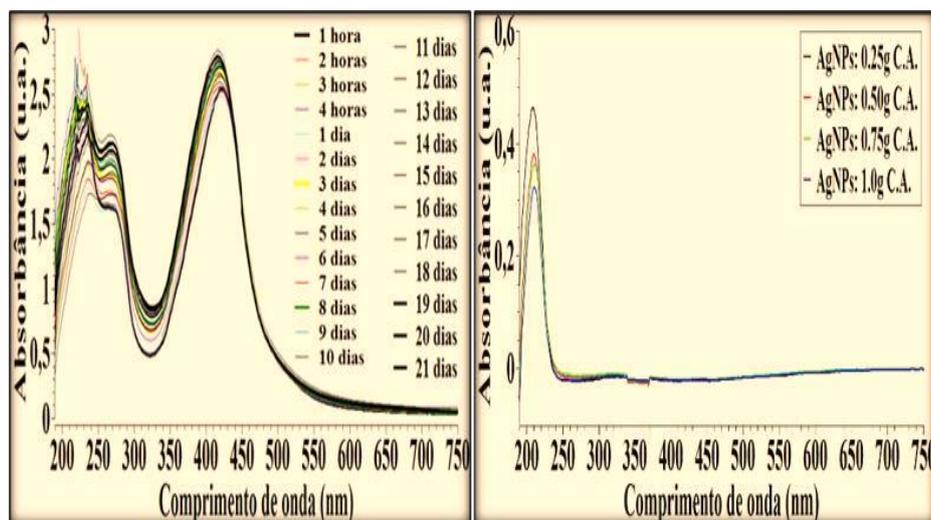
Figura 16 - Espectro baseado no método *ex-situ*, usando as massas específicas 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão comercial na escala de pH 7,0



Fonte: O próprio autor, 2024.

Quanto as conformidades da Figura 16 que expõe a reação do espectro *ex-situ*, a eficácia está em torno das 4 análises que tangem as massas com 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão ativado comercial. Nesta representação, mesmo com o processo positivo em relação a adsorção, a melhor ocorrência de impregnação entre os resultados é exposta na linearidade da massa com 1,0 g, pois é nítido notar picos de absorbância (u.a.) e comprimento de (λ) onda nm na (Uv-visível) das outras massas, obtendo a massa 0,25 g com uma eficiência acima em relação a absorbância, assim como uma banda em torno de 260 a 290 nm em comparação as outras três amostras de espectrofotômetro (Uv -Visível).

Figura 17 - Espectros eletrônico de suspensão com AgNPs usando extrato aquoso de guaraná com massas específicas em 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g e 1,0 g de carvão



Fonte: Adaptada de Encarnação, 2023.

Neste viés, os espectros apresentados na Figura 17, são reportados no trabalho de Encarnação (2023) ao nortear a escolha do uso de carvão ativado em meio a soluções com outros vegetais como o guaraná (*Paullinia cupana*), comprovando adsorção de nanopartículas de prata, via ao método citado, onde as condições sem adição de carvão ativado admiti a formação de bandas nas regiões de espectro entre 400 nm e 500 nm mostrando a presença de (AgNPs) e após adição das massas de carvão, essas regiões com essa intensidade no comprimento de onda λ (nm), desaparecem confirmando à adsorção.

Neste contexto, o método da adsorção descrita por Ignatowicz *et al.*, (2022) e conforme os achados de (Piekarski *et al.*, 2022) dependerá do adsorvente, do adsorvato e ao mesmo tempo, das condições aquosas de cada sistema em análise (Dąbrowski *et al.*, 2022), admitindo neste contexto, quanto maior a quantidade de massa de carvão ativado de tucumã e/ou carvão ativado comercial no processo, melhor é o procedimento na adsorção, agregando valor ao carvão, material este proveniente de resíduo vegetal.

Portanto, de acordo com os resultados de adsorção *in-situ* e *ex-situ* do presente estudo ratifica-se a viabilidade, a eficiência e agregação do carvão ativado de tucumã, convergente ao carvão ativado comercial no processo de adsorção de nanopartículas de níquel (NiNPs), pois as evidências comprovam as reações quanto as impregnações das nanopartículas (NPs) por meio do método na escolha, tornando um material barato, e muita das vezes, um subproduto para fins aplicações para a sociedade no cenário atual.

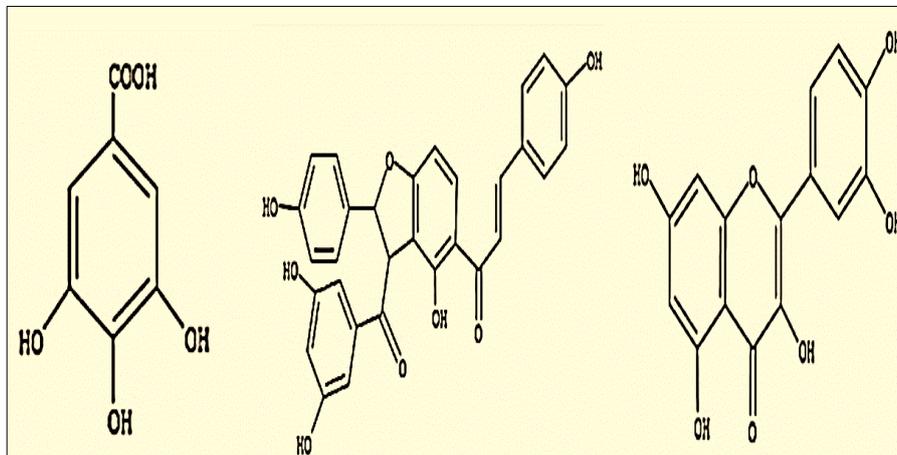
Neste contexto, a formação de picos ou bandas que ainda permaneceram após a aplicação do carvão ativado, no comprimento de (λ) onda, que não corresponde a nanopartículas, estão inteiramente ligadas há existências dos mais diversificados elementos químicos na superfície do sistema que formam ou que dão estruturas as biomoléculas no sobrenadante do extrato vegetal *Libidibia ferrea* (Pournaghi *et al.*, 2020).

Diante do fato mencionado, essa tal premissa é explicada em volta da natureza periódica do níquel, que parte das cargas (Ni^{2+}) a (Ni^0) em reações explicadas em acervos de (Kalaichelvi, 2017) e citações de Brito *et al.*, (2022) ratificando que o Níquel (Ni^{2+}) consegue complexar até dois grupamentos orgânicos em um sistema nanoparticulado.

Neste âmbito, Muchon Feliciano *et al.*, (2022) concluiu em seus estudos com plantas vegetais, que possivelmente os compostos estão inteiramente complexados com o níquel, devido às reações subsidiadas pela carga $(^{2+})$ especificamente por ser um meio aquoso, e ter a atribuição da molécula de água (H_2O) fazendo ligação de (H) hidrogênio ao redor do níquel, e ao mesmo tempo, com os compostos majoritários presentes no extrato

do vegetal, destacando respectivamente composto como a catequina, taninos hidrolisáveis e taninos condensados, tendo em sua maioria condensados, devido o extrato ser aquoso.

Figura 18 - Biomoléculas isoladas do jucá, cientificamente - *Libidibia ferrea*



Fonte: Adaptada de Dandaro, 2022.

Entretanto, em razão da existência de grupamentos orgânicos que de alguma forma, dão origem a natureza na formação de alguns constituintes, tem-se a essência de carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H) e em algumas estruturas o nitrogênio (N) (Juang; Wu; Tseng, 2002), que conforme Américo *et al.*, (2020) e Macêdo *et al.*, (2020) são elementos responsáveis pelos picos que formam bandas com comprimento de (λ) onda evidenciados em torno de 220 a 270 (nm) em inúmeros trabalhos com síntese de NPs.

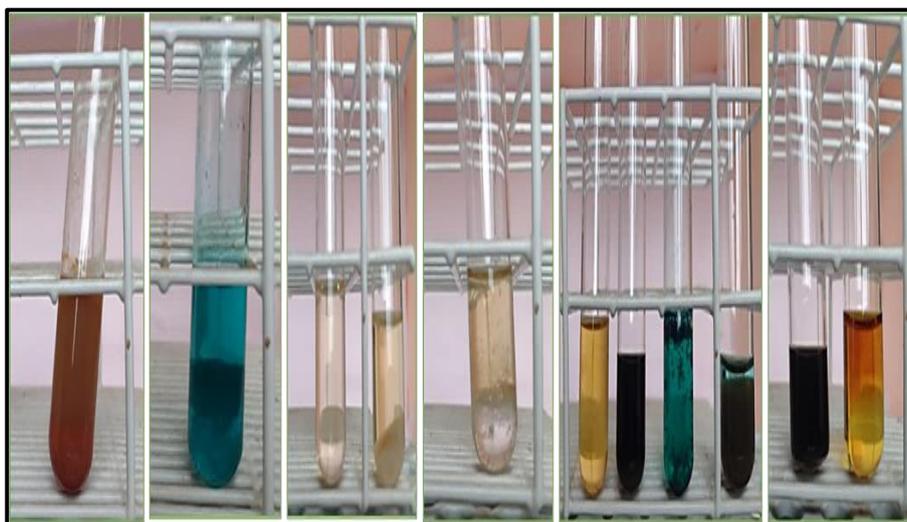
Para tal, Kobayashi *et al.*, (2015) contribui afirmando que taninos, fenóis, catequina e quinonas são encontrados facilmente em testes de caráter fitoquímicos Prazeres *et al.*, (2019) o que indica que esses compostos podem estar presentes no sobrenadante, independentemente do solo, clima e principalmente a espécie da planta (Nascimento *et al.*, 2015), bem como biomoléculas que no comprimento de onda constatadas na Uv-visível dificilmente segundo Galvão *et al.*, (2015) são adsorvidas devido suas estruturas cíclicas e serem constituídas de alguns carbonos insaturados

Com outra ótica científica, Ferreira *et al.*, (2019) fundamenta que, o carvão ativado ainda não realiza as adsorções em sua totalidade, porém são eficientes na remoção ou adsorção de nanopartículas como comprovam literaturas com estudos significativos com Ag, Au, Cu e Pt nos mais diversificados extratos aquosos usados nas pesquisas e avanços em sistemas nanoparticulados com extratos aquosos com proveniência de vegetais.

6. 4 Caracterização fitoquímica qualitativa - *Libidibia ferrea*

Na figura 19 apresenta o produto das reações decorrentes da determinação do perfil químico proveniente do extrato aquoso do jucá, cientificamente *Libidibia ferrea*.

Figura 19 – Análise de prospecção fitoquímica por meio do método qualitativo, usando o extrato aquoso de jucá, cientificamente *Libidibia ferrea*



Fonte: O próprio autor e colaboradores, 2024.

Neste contexto, apresentou diferentes classes de metabólitos secundários de interesse farmacológicos dentre estes destacam-se: Flavonoides, Flavonas, Taninos condensados, Taninos Hidrolisáveis, Saponinas, Terpenos e Alcaloides. Consoante ao fato, o estudo realizado por Bittencourt., (2017) constatou que os taninos e catequinas são os metabólitos majoritários da espécie visto que estes compostos podem ser classificados como oligômeros e polímeros formados através da síntese de policondensação de duas ou mais unidades de flavan-3-ol e flavan-3,4-diol sendo estes resultados similares e corroborados pelos estudos fitoquímicos de Soares e colaboradores., (2015).

Quanto aos flavonoides Galvão *et al.*, (2015) utilizando a técnica de Cromatografia em Camada Delgada identificaram a presença dos compostos. flavonoides, derivados cinâmicos, açúcares redutores e taninos hidrolisáveis nos frutos e nas cascas do caule, estes achados também foram reportados nos estudos de Vasconcelos *et al.*, (2011) com importantes precursores da síntese de moléculas bioativas de interesse farmacológico e estudos orgânicos, reiterado por De Melo *et al.*, (2024) que o jucá, além de oferecer

metabolitos secundários á pesquisas com teores químicos e biológicos, proporciona testes com intuito de conhecer cientificamente sua taxonomia com respostas no campo orgânico.

Por sua vez, Prazeres *et al.*, (2019) constatou-se que o extrato de *Libidibia ferrea* é rico em terpenos, alcaloides, flavonoides e taninos. Para tal, a corroboração descrita por Simões., (2007) apontam resultados similares e apresentam outros metabólitos como as Saponinas, sendo moléculas solúveis em água e apresentam em seu esqueleto carbônico, estruturas de glicosídeos formados por uma aglicona geralmente lipofílica que se encontra ligada por meio de ligações glicosídicas a uma ou mais cadeias de açúcares hidrofílicos.

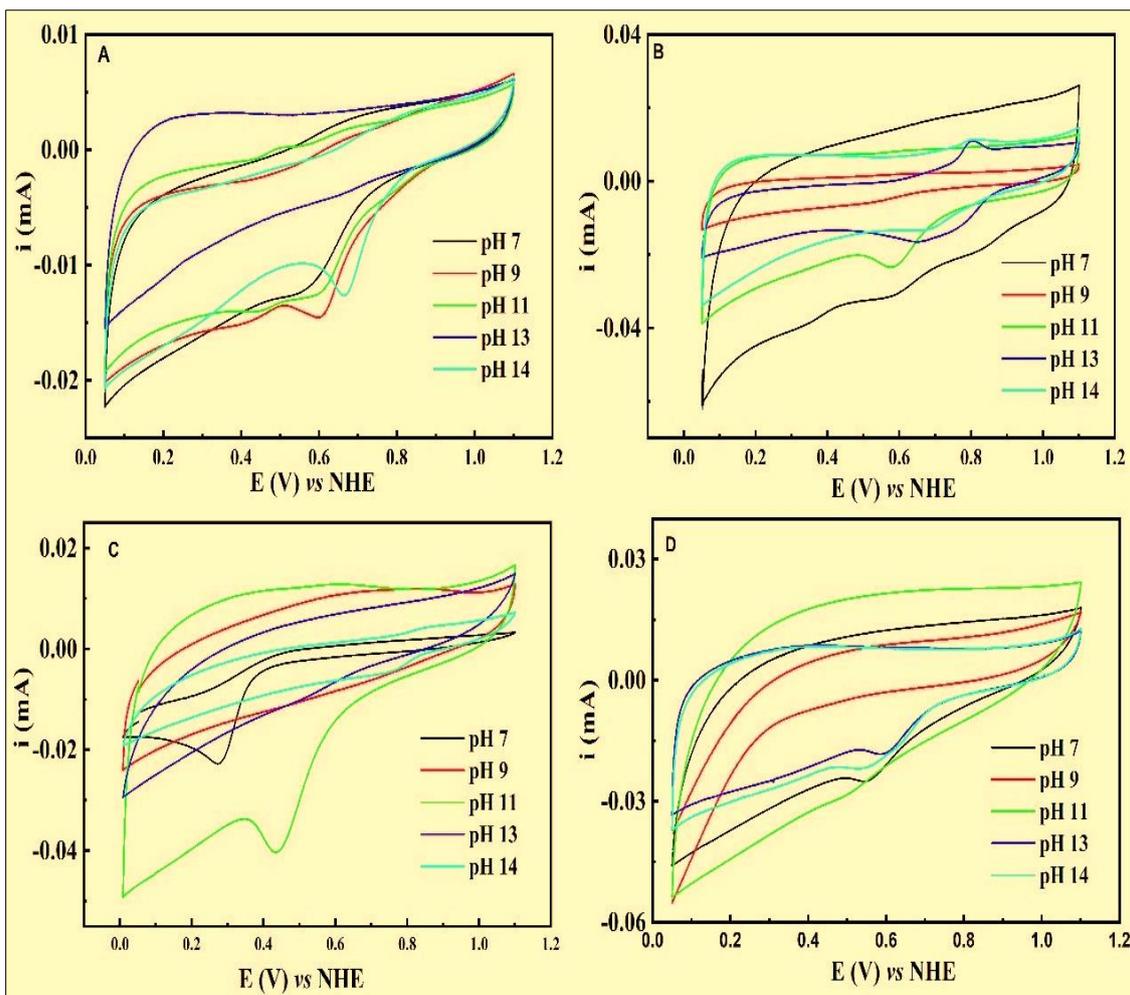
Assim sendo, Kobayashi *et al.*, (2015) constatou-se que compostos fenólicos como os terpenos, alcaloides e flavonoides apresentaram-se majoritariamente presentes nos extratos assim como as saponinas e os alcaloides, estes resultados vão de encontro com os obtidos por Nascimento *et al.*, (2018) com as mesmas dimensões de pesquisas.

7. Experimentos eletroquímicos

7.1 Estudo eletroquímico da influência do pH e voltametria cíclica

A Figura 20 mostra curvas de voltametria cíclica (VC) de nanopartículas de níquel (NiNPs) adsorvidas em diferentes tipos de suporte de carbono e preparadas por métodos distintos (*ex-situ* e *in-situ*), avaliadas em diferentes valores de pH (7 a 14). Além disso, a análise das curvas permite discutir a influência do ambiente eletroquímico (pH), da natureza do suporte e do método de preparação na atividade eletrocatalítica do material.

Figura 20 - Voltametria cíclica em NiNPs ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s^{-1} . A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan XC-72 via método *ex-situ*, b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan XC-72 via método *in-situ*, c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *ex-situ* e d) adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *in-situ*



Fonte: O próprio autor, 2025.

Para o sistema NiNPs/Vulcan XC-72 Método *ex-situ* observa-se que os perfis de todos os pHs tem a formação de espécies químicas oxidativas a partir do potencial de 0,6 V, onde a resposta para isso se dá através da região de oxidação do Ni que se encontra entre o potencial de 0,6 a 1,1 V. Isso é coerente com a literatura, onde se destaca que NiNPs exibem atividade eletrocatalítica, devido à formação de espécies químicas Ni(OH)₂/NiOOH que participam de reações redox reversíveis importantes para a oxidação de álcoois ou eletrólise da água (Zhao *et al.*, 2019 & He, Grasseschi *et al.*, 2020).

Ademais, o método *ex-situ*, ao permitir a formação prévia das nanopartículas, pode gerar partículas com maior cristalinidade, porém menor interação com o suporte, o que pode explicar a menor definição de picos redox e menor corrente anódica comparada às demais. Na Figura B, as curvas obtidas pelo método *in-situ* apresentam maior corrente, especialmente em pH 11–13, indicando melhor integração entre NiNPs o suporte de carbono. Isso ocorre porque a formação simultânea e a adsorção favorecem o contato

íntimo entre o metal e o carbono, aumentando a transferência de carga e área ativa eletroquímica (Galetti *et al.*, 2010, Masoom *et al.*, 2019 & Li, Nanqi *et al.*, 2023).

A presença de picos redox mais pronunciados em pH (11–13) indica a conversão entre Ni (II) e Ni (III), típica de sistemas ativos em processos de oxidação. Tais comportamentos são consistentes com estudos de NiNPs suportadas em carbono comercial para aplicações em baterias e supercapacitores (Hameed *et al.*, 2019, Lu, Shun *et al.* 2023).

No sistema NiNPs/carvão de tucumã, no método *ex-situ*, observa-se a corrente de pico em pH 11 mais acentuada do que nos demais, embora com menor reprodutibilidade (perfil com flutuações em torno de 0,3 – 0,5 V). Segundo De Souza *et al.*, (2023) isso pode estar relacionado à heterogeneidade do carvão ativado de tucumã, que possui grupos funcionais superficiais variados, influenciando a ancoragem das nanopartículas NiNPs.

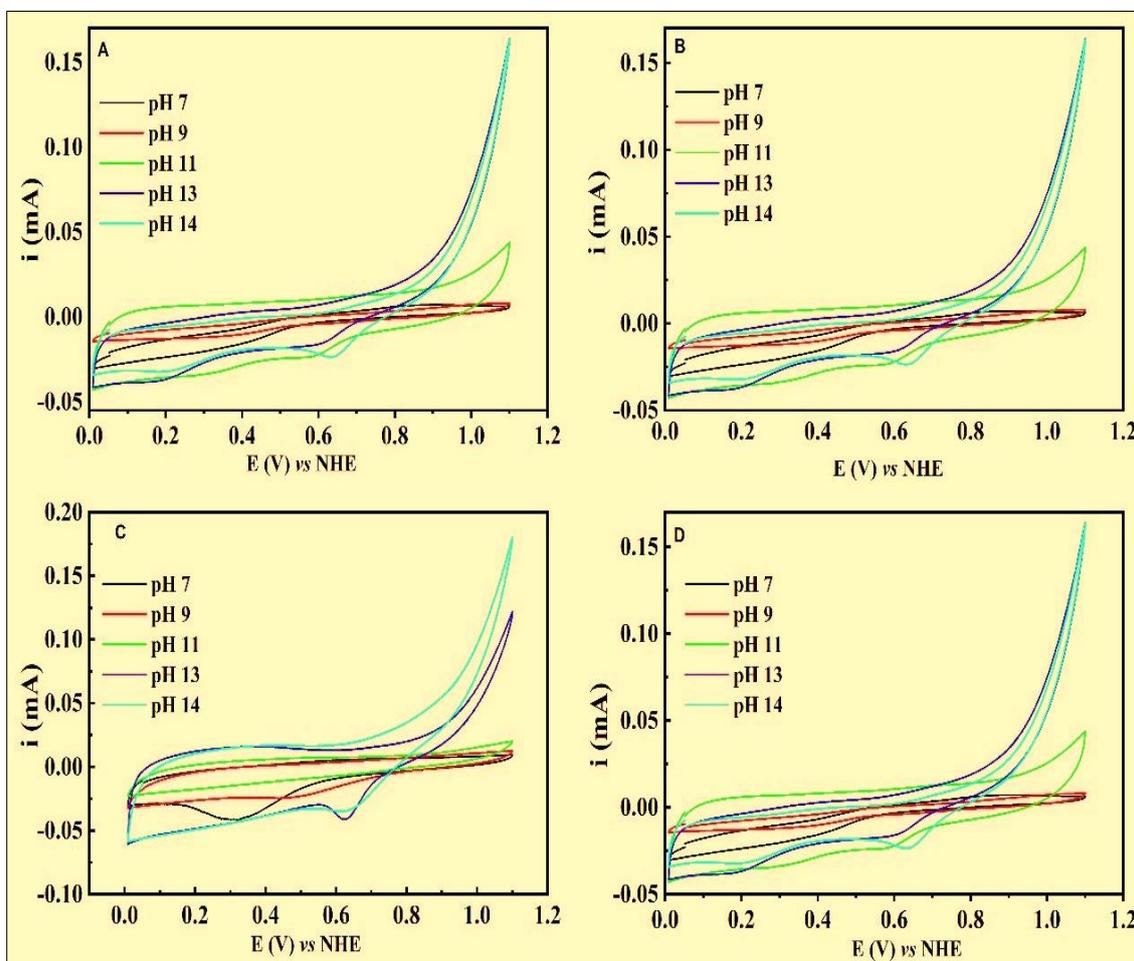
Por outro lado, a menor estabilidade do sinal pode indicar menor uniformidade na deposição das partículas quando se utiliza o método *ex-situ*, refletindo em baixa homogeneidade de sítios ativos (Do Nascimento *et al.*, 2024 & Seixas *et al.*, 2025).

No sistema da Figura 20-D, observa-se uma resposta eletroquímica significativa em pH 13–14, com picos mais bem definidos e correntes mais altas, sugerindo que o método *in-situ*, aliado ao uso de carvão de tucumã, resulta em melhor dispersão das NiNPs e maior atividade catalítica, assim como os grupos oxigenados presentes na superfície do carvão ativado de tucumã podem atuar como sítios de nucleação para a formação de NiNPs, facilitando a formação de estruturas com alto teor ativo (Da Silva *et al.*, 2025).

7. 2 Voltametria cíclica na oxidação de etanol

A Figura 21 apresenta curvas de voltametria cíclica (VC) para sistemas contendo nanopartículas de níquel (NiNPs) suportadas em diferentes materiais Vulcan XC-72 e carvão ativado de tucumã, sintetizadas pelos métodos *ex-situ* e *in-situ*. Para tal, os testes foram realizados na presença de etanol $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, em diferentes valores de pH (7 a 14). Como meta, o objetivo é analisar a influência do suporte, do método de síntese e do pH na atividade catalítica para a oxidação eletroquímica do etanol na célula a combustível.

Figura 21 - Voltametria cíclica de nanopartículas de níquel (NiNPs) ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s^{-1} . A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan XC-72 via método *ex-situ*, b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan XC-72 via método *in-situ*, c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *ex-situ* e d) adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *in-situ*, na concentração de etanol 1 mol L^{-1} e velocidade de varredura de 10 mV s^{-1} nos testes



Fonte: O próprio autor, 2025.

Dessa forma, na Figura 21 A, observa-se o comportamento eletroquímico dos eletrodos com NiNPs adsorvidas em Vulcan XC-72 por método *ex-situ*. A oxidação de etanol é favorecida em pH 13 e 14, apresentando maior densidade de corrente anódica, o que está de acordo com literatura que demonstra a maior eficácia catalítica de Ni em meios alcalinos fortemente básicos. Por outro lado, em pH 7 e 9, observa-se atividade significativamente inferior, resultado da menor formação da espécie NiOOH, cataliticamente ativa na oxidação de álcoois no processo experimental eletroquímico.

Além disso, na Figura 21B, referente ao mesmo suporte comercial, contudo, via método *in-situ*, a tendência de aumento da atividade com o pH se mantém, todavia, as

correntes observadas são ligeiramente superiores em comparação ao método *ex-situ*, sugerindo entre outros contextos, uma melhor dispersão e ancoragem das nanopartículas de NiNPs quando estas são formadas diretamente no suporte (De Souza *et al.* 2014).

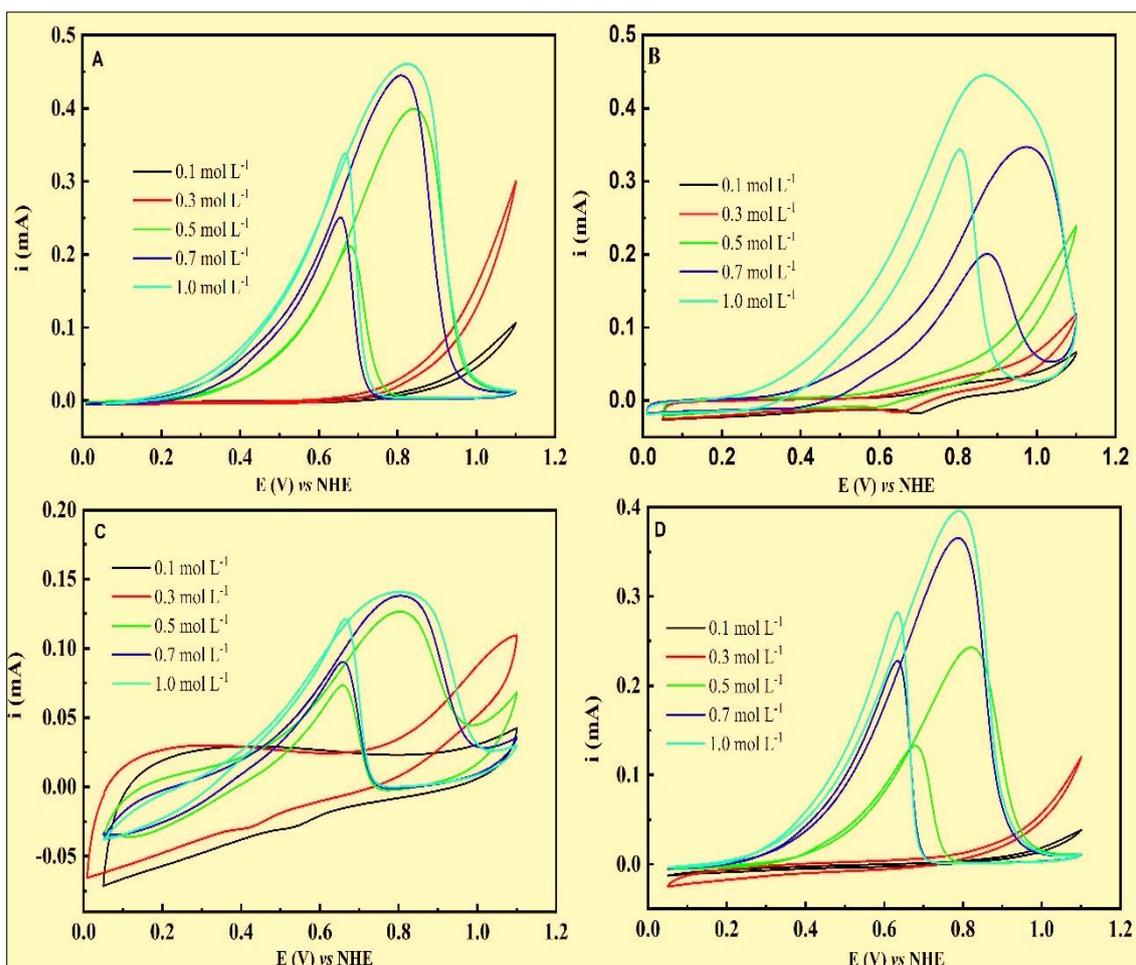
A Figura 21C apresenta os resultados obtidos para os eletrodos preparados com carvão ativado de tucumã via *ex-situ*. Diante dessa realidade, e de maneira semelhante ao observado com o suporte comercial, as maiores respostas anódicas ocorrem em pH 13 e 14, visto que, o suporte de tucumã também demonstrou ser eficaz na ancoragem das NiNPs, indicando seu potencial como alternativa sustentável aos carvões comerciais.

Por fim, na Figura 21D, com carvão de tucumã e método *in-situ*, observam-se os melhores resultados globais em termos de corrente anódica, especialmente em pH 14, reforçando que tanto o suporte quanto o método de preparo influenciam diretamente na atividade catalítica. Entretanto, os dados sugerem que a sinergia entre a estrutura porosa do carvão ativado de tucumã e a formação *in-situ* das NiNPs proporciona maior área superficial ativa e melhor acessibilidade aos centros catalíticos nos sistemas de reações.

7.3 Voltametria cíclica com variação de concentração de álcool - pH 14

No voltamograma cíclico Figura 22 apresenta-se com eletrocatalisadores de Ni suportados em carvão ativado (tucumã e comercial) em contato com diferentes concentrações de etanol, no intervalo de potencial de 0,05 a 1,1 V vs. ERH, com velocidade de varredura a 10 mV em consonância ao potenciostato (AUTOLAB - 302).

Figura 22 – Voltametria cíclica de NiNPs ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s⁻¹, pH 14 e concentrações de etanol 0,1-1,0 mol L⁻¹. A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan XC-72 via método *ex-situ*, b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan XC-72 via método *in-situ*, c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *ex-situ* e d) adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *in-situ* na adsorção nos testes eletroquímicos realizados



Fonte: O próprio autor, 2025.

A avaliação do desempenho catalítico dos materiais foi conduzida em eletrólito alcalino (pH 14) contendo etanol em concentrações de 0,1 a 1,0 mol L⁻¹, com uma velocidade de varredura de 10 mV s⁻¹. Os voltamogramas cíclicos obtidos (Figura 22) evidenciam dois picos de oxidação característicos ao longo das curvas, sendo o primeiro observado na varredura direta e o segundo na varredura reversa. O declínio da corrente após o primeiro pico está associado à formação de espécies oxidadas na superfície do catalisador como óxidos de níquel Ni(OH)₂ / NiOOH, que bloqueiam temporariamente os sítios ativos para a oxidação do etanol, conforme descrito na literatura (Parreira *et al.*, 2013). Consoante a isso, o segundo pico, na varredura reversa, reflete o fator de reativação dos sítios catalíticos e subsequente a oxidação das espécies intermediárias de etanol como acetaldeído (CH₃COH) e ácido acético (CH₃COOH) nas reações (Cunha *et al.*, 2011).

Na Figura 22A, referente ao catalisador NiNPs/C (carvão Vulcan XC-72) sintetizado via método *ex-situ*, observam-se picos de oxidação bem definidos para as concentrações de 0,5 a 1,0 mol L⁻¹ de etanol, com antecipação da oxidação alcoólica a

partir de aproximadamente 0,1 V. Assim, os máximos de corrente ocorrem entre 0,8 e 1,0 V, indicando eficiente eletro-oxidação nessas concentrações analisadas via a célula.

Na Figura 22B, referente ao mesmo suporte carbonáceo, mas com NiNPs sintetizadas via método *in-situ*, há destaque para as concentrações de 0,7 e 1,0 mol L⁻¹, que apresentam maior corrente e picos de oxidação mais definidos, iniciando acima de 0,2 V. Para fins de entendimento mútuo, esse comportamento sugere melhor integração entre o suporte e as partículas metálicas formadas *in-situ*, favorecendo a atividade catalítica.

Neste contexto, a Figura 22C, que representa o catalisador NiNPs adsorvido em carvão ativado de tucumã via método *ex-situ*, observa-se que as concentrações mais baixas (0,1 e 0,3 mol L⁻¹) promove apenas o crescimento de corrente na varredura anódica, mas sem formação de pico de oxidação definido. Em contraste, as concentrações mais elevadas (0,5 a 1,0 mol L⁻¹) apresentam picos no potencial de 0,8 V, sendo as concentrações 0,7 e 1,0 mol L⁻¹ com maior corrente, isso ocorre devido a espécies oxidativas se adsorverem na superfície do Ni na varredura anódica (De Souza *et al.* 2014 & Da Silva *et al.*, 2025).

Diante disso, na Figura 22D, para o catalisador NiNPs/AC (carvão de tucumã) preparado *in-situ*, as concentrações de 0,7 e 1,0 mol L⁻¹ novamente se destacam, com antecipação da eletro-oxidação de etanol e picos de oxidação bem definidos. Com base no entendimento eletrocatalítico, esse comportamento mostra a eficácia do método *in-situ* na dispersão e ancoragem das nanopartículas no suporte, especialmente em sistemas com maior disponibilidade de substrato orgânico, agregadas as composições do sistema.

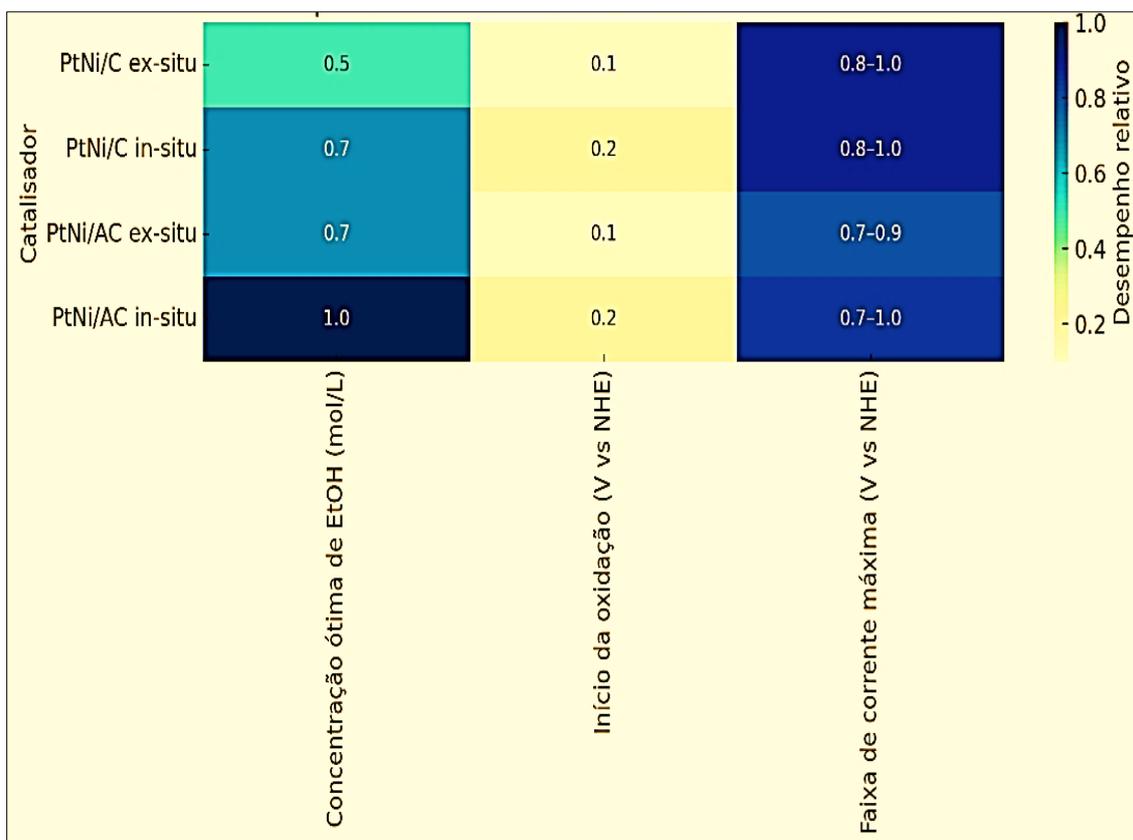
Diante da dimensionalidade, observamos que a eletro-oxidação do etanol, tem início em potenciais que variam entre 0,1 a 0,2 V, dependendo tanto do tipo de catalisador empregado quanto da concentração de etanol no meio reacional. De maneira geral, os eletrodos preparados pelo método *in-situ* Figuras (B e D) apresentaram picos de corrente mais intensos e bem definidos, indicando um desempenho eletrocatalítico superior em comparação aos obtidos por método *ex-situ*. Esse comportamento eletroquímico sugere uma melhor interação entre as nanopartículas e os suportes carbonáceos durante a síntese *in-situ*, resultando numa dispersão mais eficiente e maior número de sítios ativos para a reação e possivelmente para se alcançar melhores desempenhos (Da Silva *et al.*, 2025).

Por fim, relacionado à influência da concentração de etanol, observou-se que valores mais elevados, 0,7 e 1,0 mol L⁻¹, favoreceram um aumento expressivo na intensidade de corrente, indicando maior atividade catalítica. Isso pode estar relacionado à maior disponibilidade de moléculas de etanol para reação na interface eletrodo/eletrolito e assim promovendo uma oxidação mais eficiente com óticas de oxidações definidas.

No que diz respeito aos materiais de suporte, destaca-se o carvão ativado obtido do tucumã, principalmente quando associado ao método *in-situ*. Neste viés, esse material apresentou desempenho comparável e em alguns casos superior ao carvão comercial do tipo Vulcan, ressaltando o seu potencial como uma alternativa viável, de menor custo e consequentemente sustentável, para possíveis aplicações em sistemas de células a combustível do tipo etanol direto no processo eletroquímico (Da Silva *et al.*, 2025).

Na Figura 23, como uma forma de comparação, apresentamos a ilustração do tipo (heatmap) que mostra o desempenho dos catalisadores baseados em Ni quanto a três aspectos da análise. Assim, temos (1) Concentração ótima de EtOH onde cada catalisador apresentou maior atividade. Em seguida, (2) Início do processo de oxidação e potencial onde a oxidação começa e respectivamente, (3) a faixa de corrente máxima e intervalo de potencial com maior densidade de corrente na célula de teste experimental.

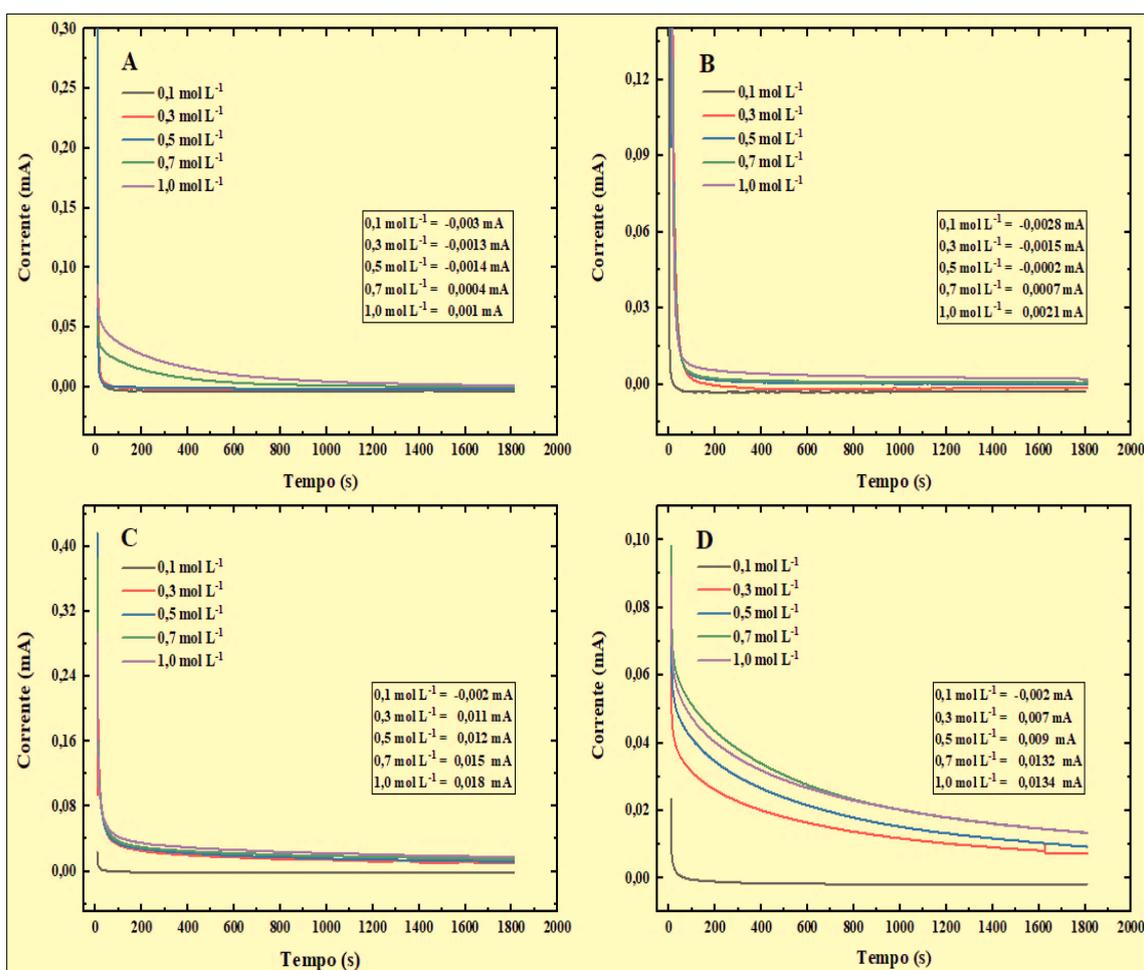
Figura 23 - Desempenho eletrocatalítico dos catalisadores de NiNPs: (I) Concentração ótima de EtOH onde cada catalisador apresentou maior atividade; (II) Início do processo de oxidação potencial onde a oxidação começa e (III) Faixa de corrente máxima intervalo de potencial com maior densidade de corrente na célula



Fonte: O próprio autor, 2025.

7.4 Cronoamperometria com diferentes concentrações e variação de etanol

Figura 24 – Cronoamperometria em diferentes materiais carbonáceos a 1800s, pH 14, potencial aplicado 0,6 V e concentrações de etanol 0,1-1,0 mol L⁻¹. A) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método *ex-situ*, b) NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método *in-situ*, c) NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã método *ex-situ* e d) adsorvida em carvão de tucumã método *in-situ*



Fonte: O próprio autor, 2025.

A análise da estabilidade dos eletrocatalisadores é fundamental para a previsão de sua durabilidade e desempenho em aplicações reais. Conforme destacado por Baruah *et al.*, (2024), testes de longa duração como a cronoamperometria oferecem informações relevantes sobre a taxa de deterioração do material e sua viabilidade em operação contínua.

Entre as concentrações avaliadas, a solução com 1,0 mol L⁻¹ de etanol proporcionou os melhores resultados em termos de eletro-oxidação e estabilidade. Ao final dos 1800 s de cronoamperometria, os valores de corrente residual foram de 0,001 mA para

o catalisador Ni/C obtido por método *ex-situ* (FigA), 0,0021 mA para Ni/C *in-situ* (Fig B), 0,018 mA para Ni/AC *ex-situ* (FigC) e 0,0134 mA para Ni/AC *in-situ* (FigD).

Dessa forma, os catalisadores suportados em carvão ativado de tucumã, obtido pelo método *ex-situ*, demonstraram desempenho superior em termos de estabilidade eletroquímica e atividade catalítica, evidenciando o potencial desse material como suporte alternativo e sustentável para aplicações em células a combustível do tipo etanol direto.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos fatos mencionados, é nítido ressaltar que os testes realizados por meio da técnica de espectroscopia (UV - Visível) identificou nanopartículas de níquel (NiNPs), dentro de uma escala nanométrica, onde por sua vez, foi possível observar sua estabilidade, tendo na mesma importância, o sistema nanoparticulado em virtude das faixas dos espectros, delineando a potencialidade da reatividade de compostos orgânicos participantes na formação de nanopartículas de Níquel nas condições dos experimentos.

Neste sentido, a investigação dos efeitos dos parâmetros físico-químicos na síntese de nanopartículas por meio de extrato aquoso de jucá foi conduzida em pH (7, 8, 9, 10 e 12) com temperaturas de 25 °C, 45 °C e 65 °C e entre outros fatores do sistema nanoparticulado, podendo verificar o comportamento quanto a sua absorvância e comprimento de onda tanto das análises de nanopartículas, quanto aos efeitos causados pelos metabólitos secundários, em razão da complexão na redução do Ni^{+2} para Ni^0 originando estabilidade do sistema nanoparticulado, por meio do *Libidibia ferrea* NiNPs.

Nestas conformidades, os métodos de adsorção *in-situ e ex-situ* foram essenciais para aferir a capacidade do carvão vegetal com intuito de verificar o quanto o uso de carvão vegetal tem ganhado dimensões no que tange os métodos adsorptivos destacando assim significância nas adsorções tanto para carvão ativado de tucumã quanto ao carvão comercial no testes realizados com as massas 0,25 g, 0,50 g 0,75 g e 1,0 g de cada carvão.

Na mesma linearidade, ressalta-se os estudos fitoquímico dando ênfase para grupamentos orgânicos polifenóis insaturados com classes de metabólitos distintos identificados em escalas nanométricas e que de alguma forma estão envolvidos na interação que envolve o teor da formação de nanopartícula, assim como a estabilidade devido as reações com os processos químicos pré-existentes no meio reacional, dando ênfase aos flavonoides, e ressaltando os testes positivos, para taninos condensados e hidrolisáveis, saponinas, terpenos, alcaloide e entre outros comprovados em acervos.

Outro ponto positivo a ser destacado, está relacionado aos processos de estudos eletroquímicos, visto que foi identificado os efeitos de reação da corrente usando os catalisadores pré-definidos, bem como os resultados frente aos processos de variação de oxidação, conexos aos resultados alcançados na ciclagem e na cronoamperometria, mostra curvas de voltametria cíclica (CV) de nanopartículas de níquel (NiNPs) adsorvidas em diferentes tipos de suporte de carbono e preparadas por métodos distintos (*ex-situ* e *in-situ*), avaliadas em diferentes valores de pH (7 a 14), caracterizando perfis de corrente elevadas com o aumento do pH, principalmente em meio alcalino definido pH (13 e 14).

Desta forma, a voltametria cíclica ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s^{-1} , assim como a voltametria cíclica de nanopartículas de níquel (NiNPs) ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s^{-1} , na concentração de etanol 1 mol L^{-1} , paralelo a voltametria cíclica de NiNPs ancoradas em diferentes materiais carbonáceos na velocidade de varredura de 10 mV s^{-1} , pH 14 e concentrações de etanol $0,1-1,0 \text{ mol L}^{-1}$, mostraram-se significativos quanto às diferenças nos processos contínuos de reação e varredura.

Além disso, permitiu a formação prévia das nanopartículas, gerando partículas com maior cristalinidade, mas menor interação com o suporte, o que pode explicar a menor definição de picos redox e menor corrente anódica, assim como indicando melhor integração entre NiNPs e o suporte de carbono e apresentando maior densidade de corrente anódica, paralelo a ilustração (heatmap), indicando concentração ótima de EtOH onde cada catalisador apresentou maior atividade; e o início do processo de oxidação potencial onde a oxidação começa e a faixa de corrente máxima intervalo de potencial com a maior densidade de corrente no processo eletroquímico analisado nos testes experimentais.

Além do mais, a Cronoamperometria de NiNPs ancoradas em diferentes materiais carbonáceos em 1800s, pH 14, potencial aplicado 0,6 V e concentrações de etanol $0,1-1,0 \text{ mol L}^{-1}$, com NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método *ex-situ*, NiNPs adsorvida em carvão comercial vulcan x2 via método *in-situ*, NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *ex-situ* e NiNPs adsorvida em carvão ativado de tucumã via método *in-situ* nos testes eletroquímicos resultando em valores distintos que oferecem informações relevantes sobre a taxa de deterioração do material e sua viabilidade.

Entretanto, ainda há muito a ser investigado, pois quando envolve experimentos com produtos naturais, estudos revelam resultados nos mais diversificados eixos da pesquisa científica, tal qual instigam possibilidades de aplicações e busca de resultados.

Portanto, a oxidação de etanol é favorecida em meios alcalinos, com desempenho superior quando utilizadas NiNPs preparadas *in-situ*, especialmente sobre carvões alternativos como o de tucumã, ou seja, esses resultados indicam um caminho promissor para o desenvolvimento de eletrocatalisadores mais sustentáveis e de baixo custo para aplicação em dispositivos de conversão energética com proveniência de produtos vegetais.

REFERÊNCIAS

ARAKI, KOITI. Inovações fruto da nanotecnologia invadem a sociedade [Entrevista]: pesquisador revela diversidade de setores produtivos que aplicam conhecimentos desenvolvidos pela nanociência. **Jornal da USP**, São Paulo: Instituto de Química, Universidade de São Paulo. 2018.

ANDRADE, Matheus Amorim de Oliveira. **Políticas de inovação no Brasil e a nanotecnologia: uma análise sobre sua efetividade e propostas de mudança**. 2021.

AMÉRICO ÁVLDS, NUNES KM, DE ASSIS FFV, DIAS SR, PASSOS CTS, MORINI AC, DE ARAÚJO JA, CASTRO KCF, DA SILVA SKR, BARATA LES, MINERVINO AHH. Efficacy of Phytopharmaceuticals From the Amazonian Plant *Libidibia ferrea* for Wound Healing in Dogs. **Front Vet Sci**. 2020 Jun v.12; n (7), p-244.

ABDALLA, FERNANDO ANTÔNIO; SAMPAIO, ANTÔNIO CARLOS FREIRE. **Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular**. Entorno Geográfico, n. 15, p. 82-102, 2018.

ABDUSSALAM-MOHAMMED, WJJOER. Review of therapeutic applications of nanotechnology in medicine field and its side effects. **Journal of Chemical Reviews**, v. 1, n. 3, p. 243-251, 2019.

AMARAL, Pauline Aparecida Pera do *et al*. **Avaliação da utilização de carvão ativado em pó superfino (S-CAP) associado a membrana de microfiltração (MF) na remoção de atrazina de água de abastecimento**. 2016.

ALMEIDA, A. P. S.; RODRIGUES, D. A.; CASTELO, P. A. R. Determinação das Propriedades Químicas de Madeiras da Amazônia Meridional. **Scientific Electronic Archives**, v. 8, n. 1, p. 2015.

ALSAMMARRAIE FK, WANG W, ZHOU P, MUSTAPHA A, LIN M. Green synthesis of silver nanoparticles using turmeric extracts and investigation of their antibacterial activities. **Colloids and Surfaces B. Biointerfaces**, v. 171, p. 398-405, 2018.

AZEVEDO, Juliana Laboissière. A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: **Anais. Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2015.

BABALOLA, BJ (BABALOLA, BUKOLA JOSEPH; SHONGWE, MB SHONGWE, MXOLISI BRENDON; ROMINIYI, AL (ROMINIYI, AZEEZ LAWAN; JEJE, SO (JEJE, SAMSON OLAITAN; OLUBAMBI, PAOLUBAMBI, PETER APATA Um estudo de pós de níquel nanocristalino desenvolvidos por meio de moagem de bolas de alta energia. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, p. 3657-3665, 2019.

BAYDA, Samer *et al*. A história da nanociência e da nanotecnologia: das aplicações físico-químicas à nanomedicina. **Molecules**, v. 25, n. 1, p. 112, 2019.

BAYDA S, ADEEL M, TUCCINARDI T, CORDANI M, RIZZOLIO F. The History of

Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*. 2019 v.27, n. 25, p. 112.

BARUAH, S.; KUMAR, A.; PEELA, N. R. The promotional effect of Ag in activated carbon supported Pt-Ag nanoalloy electrocatalyst towards alkaline ethanol oxidation reaction: A kinetic study. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 953, n. 118015, ISSN 1572-6657, 2024.

BARBOSA, Isabella Tereza Ferro. **Liberação controlada de bioativos suportados por nanopartículas de pseudoboemita obtidas pelo processo sol-gel**. 2019.

BLABER, M.G., HENRY, A., BINGHAM, J.M., SCHATZ, G.C., & DUYNE, R.P. LSPR imaging of silver triangular nanoprisms: correlating scattering with structure using electrostatics for plasmon lifetime analysis. **The Journal of Physical Chemistry C**, v. 116, n. 1, p. 393-403, 2012.

BITTENCOURT, PAULO SENNA TAYLOR. **Perfil químico, atividade antiinflamatória e antioxidante das cascas dos frutos de *Libidibia ferrea***. 103f. Dissertação de Mestrado em Química, Universidade Federal do Amazonas, 2017.

BRITO, FERNANDO ANTÔNIO GOMES. **Impactos das nanopartículas de níquel em *Pistia stratiotes*: absorção, toxicidade e mecanismos de tolerância**. 48 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2022

BOAS, Otávio Cristiano Vilas *et al.* **Desenvolvimento de eletrodos de carvão ativado para aplicação em capacitores eletroquímicos de eletrólitos aquosos**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação.

BORGES, S. S. **Economia Circular ajuda a pensar em novo processo produtivo. Aposta em novo ciclo traz inovação ao design, aumento da vida de produtos e menor geração de resíduos**. In: Portal Fiesp, 2015.

BRUZACA, Ruan Didier; SOUSA, Monica Teresa Costa. Da sustentação do mercado à sustentabilidade ambiental: teorias, políticas e práticas na realidade da Amazônia brasileira. **Veredas do Direito**, v. 10, n. 19, p. 133-133, 2013.

CARVALHO, S. M. C. Viability of *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz var. *ferrea*) seeds by tetrazolium test. **J. Seed Sci.**, Londrina, v. 39, n. 1, p. 7-12, Mar.2017.

CAHUANA AYMA, Fabián *et al.* **Síntese de vidros borofosfato: uso como materiais antimicrobianos e crescimento de nanopartículas de cobre em catalisadores esféricos**. 2024. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAVALCANTI, Clóvis. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos avançados**, v. 24, p. 53-67, 2010.

COSTA, LEIDYANA MORAES; GUILHON-SIMPLICIO, FERNANDA; SOUZA, T. P.

Libidibia ferrea (Mart. ex Tul.) LP Queiroz var. *ferrea*: pharmacological, phytochemical and botanical aspects. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v. 4, p. 48-53, 2015.

COOK, Andrew W.; WALDIE, Kate M. Molecular electrocatalysts for alcohol oxidation: insights and challenges for catalyst design. **ACS Applied Energy Materials**, v. 3, n. 1, p. 38-46, 2019.

CUNHA, E. M.; RIBEIRO, J.; KOKOH, K.B.; ANDRADE, A.R. Preparation, characterization and application of PtRuSn/C trimetallic electrocatalysts for ethanol oxidation in direct fuel cell. **International Journal Hydrogen Energy**, v. 36, p. 11034-11042, 2011.

DE SOUZA MARCONE, Glauciene Paula. Nanotecnologia e nanociência: Aspectos gerais, aplicações e perspectivas no Contexto do Brasil. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 7, n. 2, p. 1-1, 2015.

DE MELO, Karolynne Rodrigues *et al.* Desenvolvimento de forma farmacêutica semissólida à base de de *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul.) como alternativa para cicatrização de feridas. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, n. 5, p. e4116-e4116, 2024.

DEFREIN, Bruna. **Uso de processos industriais alternativos para promover a economia circular na indústria química: estudo de caso na indústria de fertilizantes**. 2021.

DE SOUZA, Mayra Paula *et al.* Adsorção do corante alaranjado de metila em carvão ativado obtido da casca do cupuaçu. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 14, p. e17121444394-e17121444394, 2023.

DE SOUZA, Elson A. *et al.* Ethanol electro-oxidation on partially alloyed Pt-Sn-Rh/C catalysts. **Electrochimica Acta**, v. 147, p. 483-489, 2014.

Da Silva, EM, Pinheiro, MAV, Anselmo, ML *et al.* Catalisadores de Pt e PtSn suportados em carvão ativado de biomassa amazônica para eletro-oxidação de etanol. **Res. Chem. Intermed.** v. 51, p. 2843–2861, 2025.

DIONÍZIO, Thaís Petizero *et al.* Copper (II) schiff base complex with electrocatalytic activity towards the oxygen reduction reaction and its catalase activity. **Electrocatalysis**, v. 12, n. 2, p. 137-145, 2021.

DOS SANTOS, DAYANE VN; SANTOS, DIEGO P. DOS. Correlacionando estatísticas de molécula única com a estrutura de nanocluster plasmônico e propriedades de campo próximo. **Química Nova**, v. 42, p. 1029-1037, 2019.

DOS SANTOS, Nilda; DA COSTA MATOS, Gleimíria Batista. Rede de Economia Solidária: um estudo sobre as ações de desenvolvimento sustentável do Centro de Tecnologia Alternativa. **Conjecturas**, v. 21, n. 3, p. 609-625, 2021.

DO NASCIMENTO, Rafael Alves *et al.* Removal of Ciprofloxacin and Norfloxacin from Aqueous Solution with Activated Carbon from Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) Bark. **Molecules**, v. 29, n. 24, p. 5853, 2024.

ENCARNAÇÃO, JARDEL RAMOS DA. **Perfil eletroquímico e atividade alelopática de AgNPs por extrato aquoso de guaraná.** 68. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara (AM) 2024.

FARHADI, S.; KAZEM, M.; SIADATNASAB, F.; NiO nanoparticles prepared via thermal decomposition of the bis(dimethylglyoximate) nickel (II) complex: A novel reusable heterogeneous catalyst for fast and efficient microwave-assisted reduction of nitroarenes with ethanol. **Polyhedron**, 30, 606-613, 2011.

FERREIRA, Magda Rhayanny Assunção; SOARES, Luiz Alberto Lira. *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) LP Queiroz: A review of the biological activities and phytochemical composition. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 5, p. 140-150, 2015.

FERREIRA, Thiago Péricles Martins *et al.* **Obtenção e caracterização de revestimentos antimicrobianos de silicone com nanopartículas de prata (PDMS/AgNPs) para uso em embalagens ativas, utensílios e equipamentos via solution blow spraying-SBSp.** 2015.

FELICIANO, RAYAN PEREIRA; MUCHON, ALEXANDRE MENDES; ALMEIDA, ALEX MAGALHÃES DE. uso de extrato de plantas na identificação de elementos metálicos em meio aquoso: uma abordagem analítica. **Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências e Educação**, [S. L.], V. 8, N. 3, P. 2061–2068, 2022.

GALAN, Crislaine Rodrigues. **Impregnação de carvão ativado com nanopartículas de cobre por um método de síntese verde utilizando extrato de folhas de moringa oleifera para remoção de nitrato da água.** 2016.

GALETTI, Agustín E. *et al.* Ni catalysts supported on modified ZnAl₂O₄ for ethanol steam reforming. **Applied Catalysis A: General**, v. 380, n. 1-2, p. 40-47, 2010.

GALDINO, G.; MESQUITA, M. R.; FERRAZ, I. D. K. Descrição morfológica da plântula e diásporos de *Caesalpinia ferrea* Mart. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 02, p. 747- 749, jul. 2007.

GALVÃO, MARCOS AURÉLIO MORAES. **Estabelecimento de método por UV/Vis para o controle de qualidade dos frutos e das cascas do caule de *Libidibia ferrea* (Mart. Ex Tul.) L.P. Queiroz.** 80f. Dissertação de Mestrado em Inovação Terapêutica, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

GRASSESCHI, DANIEL; SANTOS, DIEGO P. DOS. Nanomateriais plasmônicos: parte i. fundamentos da espectroscopia de nanopartículas e sua relação com o efeito sers. **Química Nova**, v. 43, n. 10, p. 1463-1481, 2020.

GOMES, Francisco Vladimir Silva et al. Representatividade ecológica e extensão total de áreas protegidas pelas unidades de conservação no estado do Ceará, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e64481, 2022.

HAFEEZ, R. SHAHEEN, B. AKRAM, H. S. ZAIN-UL-ABDIN AND S. MAHSUD Green synthesis of cobalt oxide nanoparticles for potential biological applications, **Mater. Res. Express**, v.7, 2020

HAMEED, RM Abdel; MEDANY, Shymaa S. Improved electrocatalytic kinetics of nickel hydroxide nanoparticles on Vulcan XC-72R carbon black towards alkaline urea oxidation reaction. **International journal of hydrogen energy**, v. 44, n. 7, p. 3636-3648, 2019.

HUANG, CHIA-CHI; CHEN, WENLUNG. A SERS method with attomolar sensitivity: a case study with the flavonoid catechin. **Microchimica Acta**, v. 185, n. 2, p. 1-8, 2018.
IGHALO, J. O.; A. G. ADENIYI. Adsorption of pollutants by plant bark derived adsorbents: An empirical review. **Journal of Water Process Engineering**, v.35, 2020.

ISO, I.; IEC, N. Iso/iec. **IEEE International Standard-Systems and software engineering-Vocabulary**, p. 1-541, 2017.

KASPERISKI, F. M.; LIMA, E. C.; UMPIERRES, C. S.; REIS, G. S. dos.; THUE, P. S.; LIMA, D. R.; DIAS, S. L. P.; SAUCIER, C.; DA COSTA, J. B. Production of porous activated carbons from *Caesalpinia ferrea* seed pod wastes: Highly efficient removal of captopril from aqueous solutions. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 919 – 929, 2018.

KRISHNAN, K. Anoop; SREEJALEKSHMI, K. G.; BAIJU, R. S. Nickel (II) adsorption onto biomass based activated carbon obtained from sugarcane bagasse pith. **Bioresource technology**, v. 102, n. 22, p. 10239-10247, 2011.

KOBAYASHI, Y.; ALMEIDA, V.; BANDEIRA, T.; ALCÂNTARA, B.; SILVA, A.; BARBOSA, W. L.; SILVA, P.; MONTEIRO, M.; ALMEIDA, M. Avaliação fitoquímica e potencial cicatrizante do extrato etanólico dos frutos de Jucá (*Libidibia ferrea*) em ratos Wistar. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 52, n. 1, p. 34-40, 13 abr. 2015.

LI, Nanqi *et al.* Liquid biofuels for solid oxide fuel cells: A review. **Journal of Power Sources**, v. 556, p. 232437, 2023.

LIMA, ANA TEREZA DE ABREU. **Nanopartículas magnéticas: efeitos da forma e tamanho finito de amostras cristalinas e análise da influência do porta-amostras nas medidas das propriedades magnéticas de sistemas de partículas interagentes**. 104 f. Tese (Doutorado em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2022.

LIMA, A.K.O A. A. VASCONCELOS, J. SOUSA J'UNIOR, S. K. S. ESCHER, G. NAKAZATO, AND P. TAUBE J'UNIOR, "Green synthesis of silver nanoparticles using amazon fruits, **International Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, vol. 15, pp. 179–188, 2019.

LU, Shun *et al.* Rational engineering design of nickel hydroxides for urea oxidation reaction: A mini-review. **Electrochemistry Communications**, v. 157, p. 107599, 2023.

MARTINS, Danilo *et al.* Nanocompósitos poliméricos. **Nanotecnologia aplicada a polímeros**. Blucher, p. 133-170, 2022.

MASOOM NATAJ, Seyedeh Molood; ALAVI, Seyed Mehdi; MAZLOOM, Golshan. Catalytic performance of Ni supported on ZnO-Al₂O₃ composites with different Zn content in methane dry reforming. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 94, n. 4, p. 1305-1314, 2019.

MENDES, Kassio Ferreira; IONOUE, Miriam Hiroko; TORNISIELO, Valdemar Luiz. **Herbicidas no ambiente: Comportamento e destino**. Editora UFV, 2022.

MOREIRA, CINDY SILVA; ALLEONI, LUÍS REYNALDO FERRACCIÚ. Adsorption of Cd, Cu, Ni and Zn in tropical soils under competitive and non-competitive systems. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 301-307, 2010.

MOSAVINIYA, Mohsen *et al.* Facile green synthesis of silver nanoparticles using Crocus *Hausknechtii* Bois bulb extract: Catalytic activity and antibacterial properties. **Colloid and Interface Science Communications**, v. 33, p. 100211, 2019.

NAYAK D, ASHE S, RAUTA PR, KUMARIM, NAYAK B. Bark extract mediated green synthesis of silver nanoparticles: Evaluation of antimicrobial activity and antiproliferative response against osteosarcoma. Materials Science & engineering. C, **Materials for Biological Applications**. v. 58, p. 44-52 2016.

NASCIMENTO, J. É. C., REATGUI, W. D. S., ARAÚJO, L. S. D., RIBEIRO, M. E. D. S., MAIA, D. C. D. S., GIACOMIN, L. L., & BARATTO, L. C. Avaliação do potencial antioxidante e anti-*Helicobacter pylori* in vitro de extratos de plantas medicinais utilizadas popularmente na região amazônica. **Revista Fitos**, s.1, v. 11, n. 2, p. 140-152, jan. 2018.

NASCIMENTO, P. L. A.; NASCIMENTO, T. C. E. S.; GOMES, J. E. G.; SILVA, M. D. S.; SOUZA, S. A.; SILVA, T. M. S.; FALCÃO, R. A.; MOREIRA, K. A. Antioxidant and antimicrobial properties of ethanolic extract of *Libidibia ferrea* pods. **Revista Fitos**, v. 9, n. 3, p. 207-216, 2015.

NOWACK, B.; BUCHELI, T. D. Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. **Environmental Pollution**, v. 150, p. 5-22, 2007.

OLIVEIRA JÚNIOR, JOSÉ AUGUSTO. **Avaliação da casca da vagem de *Libidibia Ferrea* (Fabaceae) como adsorvente de cromo aplicado a um efluente de curtume sintético**. 2023. 158 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2023.

PARREIRA, L.S.; SILVA, J.C. DA; D'VILLA-SILVA, M.; SIMÕES, F.C.; GARCIA, S.; GAUBEUR, I.; CORDEIRO, M.A.L.; LEITE, E.R.; SANTOS, M.C. PtSnNi/C nanoparticle electrocatalysts for the ethanol oxidation reaction: Ni stability study. **Electrochimica Acta**, v. 96, p. 243-252, 2013.

PALAZZO, Ana Eliza Castro Sobreira. **Síntese, caracterização e estudo de nanocompósitos com matriz polimérica de PMMA e nanopartículas de CeO₂**. 2022.

PAUCCAR HUARHUA, M. A. Degradación anódica del herbicida Paraquat utilizando electrodos de carbón vítreo modificados con nanopartículas de níquel y paladio. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (2021).

PRAZERES, LADY DKT *et al.* Antioxidant and Antiulcerogenic Activity of the Dry Extract of Pods of *Libidibia ferrea* Mart. ex Tul. (Fabaceae). **Oxidative medicine and cellular longevity**. 2019.

PEREIRA, Deydeby Illan dos Santos *et al.* **Desenvolvimento e avaliação do uso de eletrodos porosos de níquel para produção de hidrogênio eletrolítico**. 2019.

PIRTARIGHAT, S.; GHANNADNIA, M.; BAGHSHAHI, S. Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of *Salvia spinosa* grown in vitro and their antibacterial activity assessment. **Journal of Nanostructure in Chemistry**, v. 9, p. 1-9, 2019.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos avançados**, v. 26, p. 65-92, 2012.

ROBALINHO, Eric; DOS SANTOS, Karolaine Aguiar. Célula a combustível tipo PEMFC: energia renovável e eficiente. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13, n. 3, 2021.

RODRIGUES, M. L. **Nanopartículas poliméricas naturais e sintéticas contendo látex da *Euphorbia tirucalli*: produção, caracterização e ação antinociceptiva**. 2024.

ROLIM Lidiane Cruz. Estudo da Adsorção do níquel em solução aquosa utilizando o talo do cacho da pupunheira (***Bactris Gasipae***) como bioissorvente de baixo custo. 2016.

SANFELICE, Rafaela C. *et al.* **Introdução à nanotecnologia**. São Paulo: Blucher, 2022.

SARKAR, S.; SARKAR, S.C. Application of nanotechnology in Medicine. In: SARKAR, S.; SARKAR, S.C. (eds.) **Research Trends in Medical Sciences**. New Delhi: Akinik Publications, 2019, capítulo 4, p.49-72.

SANDHU, S. S.; SHUKLA, H.; SHUKLA, S. Biosynthesis of silver nanoparticles by endophytic fungi: Its mechanism, characterization techniques and antimicrobial potential. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 14, p. 683-698, 2017.

SIMÕES, C. M. O. **Farmacognosia da Planta ao Medicamento**. 6 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC, 1102 p. 2007.

SILVA, Lays SR *et al.* Effect of temperature on the ethanol electrooxidation at Pt/Ni-rich Pt/Ni/C catalyst in acidic and alkaline media. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 857, p. 113754, 2020.

SINGH A, GAUTAM PK, VERMA A, SINGH V, SHIVAPRIYA PM, SHIVALDKAR S, SAHOO AK, Samanta SK. Green synthesis of metallic nanoparticles as effective alternatives to treat antibiotics resistant bacterial infections: A review. **Biotechnol Rep (Amst)**. V.25, n. 31, 2020.

SOUZA, Fernanda Kelly Alves de. **Aumento da biodisponibilidade da curcumina utilizando um sistema de liberação controlada de fármaco baseado em quitosana e nanopartículas verdes de óxido de ferro (Fe₃O₄)**. 2025.

SOUZA, Katiusse Soares de. **Mapeamento da reação de síntese de nanopartículas de óxido de molibdênio a partir do precursor de acetato de molibdênio (II)**. 2024. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOARES, LUIZ ALBERTO LIRA. *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) LP Queiroz: a review of the biological activities and phytochemical composition. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 5, p. 140-150, 2015.

SOARES, Julia Safranski. **Desenvolvimento de eletrocatalisadores de rutênio depositado sobre nanopartículas de níquel para a reação de desprendimento de hidrogênio em eletrólito alcalino**. 2024.

SUZAKI, R. Y. P.; BORBA, E. C.; KLEN, F. R. M.; SILVA, DA A. E.; Estudo da remoção de Ni (II) em coluna e leito fixo utilizando a macrófita Lemna Minor L; curvas e ruptura experimental e teóricas. **X Encontro Brasileiro sobre adsorção** – Guarujá/ SP, 2014.

SMILJANIĆ, Milutin *et al.* Titanium oxynitride-supported Ru nanoparticles as exceptional electrocatalysts for alkaline hydrogen evolution reaction. **Chemical Engineering Journal**, p. 164204, 2025.

SCHUSTER, Gustavo Regus *et al.* Nanotecnologia na medicina: avanços, aplicações e desafios na administração direcionada de medicamentos. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 25, p. e18998-e18998, 2025.

SCARPATI, Mauricio de Lima. **Anisotropia de nanopartículas bimagnéticas à base de ferrita de cobalto: um estudo do comportamento térmico da coercividade e irreversibilidade**. 2025.

TEIXEIRA, WANDERSON SR et al. Nanomateriais Plasmônicos: parte. **Scielo Preprints**, p. 1-33, 2021.

TORRES, Alef Ney Nunes da Silva *et al.* **Explorando a potencialidade da Aloe vera na síntese verde de nanopartículas de cobre**. 2024.

VEIGA, Faili Cintia Tomsen. **Processamento e caracterização microestrutural e elétrica de mono célula a combustível óxido sólido (SOFC) a base de aluminatos de cálcio**. 2018.

YADAV, Mukesh *et al.* Potencial cardioprotetor e hepatoprotetor do flavonoide cítrico naringina: Situação atual e perspectivas futuras para benefícios à saúde. **Asian J. Biol. Life Sci** , v. 9, n. 1, p. 1-5, 2020.

ZHAN, CHAO *et al.* Plasmon-mediated chemical reactions on nanostructures unveiled by surface-enhanced Raman spectroscopy. **Accounts of chemical research**, v. 52, n. 10, p. 2784-2792, 2019

ZHAO, Q. LIU, Q. LI, L. CHEN, L. MAO, H. WANG, S. CHEN, **Two-dimensional** electrocatalysts for alcohol oxidation: A critical review, *Chem. Eng. J.* 400 (2020)

ZHAO, GEGE *et al.* Magnetic nanoparticles metal-organic framework composites as sustainable environment adsorbents. **Journal of Nanomaterials**, v. 2019, n. 1, p. 1454358, 2019.

WIESZCZYCKA, K.; FILIPOWIAK, K.; WOJCIECHOWSKA, I.; AKSAMITOWSKI, P. Novel ionic liquid-modified polymers for highly effective adsorption of heavy metals ions. **Separation and Purification Technology**, v. 236, 2020.