



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS E
PROCESSOS INDUSTRIAIS
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

ANTONIO AURÉLIO BARBOSA DE SOUSA

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE POLIANILINA NORBIXINA E POLIANILINA
NORBIXINA COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

TERESINA

2025

ANTONIO AURÉLIO BARBOSA DE SOUSA

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE POLIANILINA NORBIXINA E POLIANILINA
NORBIXINA COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais e Processos industriais.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Vicente Galber Freitas Viana

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Deuziita dos Santos Freitas Viana

TERESINA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Sousa, Antonio Aurélio Barbosa de

S725s Síntese e caracterização de polianilina norbixina e polianilina norbixina com nanopartículas de prata / Antonio Aurélio Barbosa de Sousa. - 2025.
57 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central, 2025.

Orientador : Prof Dr. Vicente Galber Freitas Viana.

Coorientadora : Profa Dra. Deuzuita dos Santos Freitas Viana.

1. Polianilina. 2. Carotinoide do urucum. 3. Norbixina. 4. Nanopartículas.
I.Título.

CDD - 620.1

Elaborado por Tanize Maria Sales CRB 3/1024

ANTONIO AURÉLIO BARBOSA DE SOUSA

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE POLIANILINA NORBIXINA E POLIANILINA
NORBIXINA COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais e Processos industriais.

Aprovada em: 28 / 04 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vicente Galber Freitas Viana (Orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

Prof^a. Dr^a. Deuzuita dos Santos Freitas Viana (Coorientadora)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Prof. Dr. Haroldo Reis Alves de Macêdo (Avaliador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Helder Nunes da Cunha (Avaliador)
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Dedico este trabalho aos meus pais, amigos e mestres.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e processos industriais (PPGEM), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), pela oportunidade de aprendizado, crescimento acadêmico e profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Vicente Galber Freitas Vieira que muito contribuiu para minha formação como pesquisador. Por toda paciência e confiança na conclusão deste trabalho, sempre integrado aos seus orientandos. Aos professores do mestrado Prof^a. Dr^a Deuzuita dos Santos Freitas Viana, Prof. Dr. Gilvan Moreira da Paz e ao Prof. Dr. Helder Nunes da Cunha pelas contribuições em suas respectivas disciplinas e ajuda na coleta de dados.

A Deus pelo seu infinito amor e por sua misericórdia que nos constrange, independente de nossas falhas, derramando suas graças e sempre esperando na sua bondade que trilhemos o caminho da luz, ensinado de forma tão sublime por seu Filho, Jesus Cristo.

Aos meus pais e irmãos que são os responsáveis pela minha formação como pessoa. Neles tive a oportunidade de aprender na prática valores como honestidade, ética e respeito. São meus grandes exemplos e em épocas de uma vida sofrida, nunca recuaram diante das dificuldades, sempre aguerridos procurando dar aos filhos a melhor educação, no sentido amplo da palavra.

Aos meus amigos Samuel, Rosilda, Hertz, Ernane, Mateus, Batista, Paulo, Florêncio aos colegas de trabalho e membros do grupo de pesquisa de engenharia dos materiais: Leandro, Jaciel, Ezequiel, Teresa, Antonio, Simey. Obrigado a todos pelos momentos de conversa, descontração e pelas relevantes contribuições.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin.

RESUMO

A polianilina é um polímero condutor derivado da anilina, obtido por meio de polimerização química em ambiente ácido, utilizando um agente oxidante. Este polímero é composto por anéis benzenóides e quinóides interligados por átomos de nitrogênio na cadeia, exibindo propriedades condutoras quando na forma de sal esmeraldina após a protonação. Esta pesquisa teve como objetivo sintetizar filmes de polianilina base esmeraldina, polianilina em meio Norbixina e polianilina em meio Norbixina com nanopartículas de prata, e caracterizá-los quanto às suas propriedades elétricas para possíveis aplicações tecnológicas. Os materiais sintetizados em pó, incluindo polianilina base esmeraldina, polianilina Norbixina e polianilina Norbixina com nanopartículas de prata (denominados materiais A, B e C, respectivamente), foram analisados pelas técnicas de espectroscopia UV-vis, termogravimétrica, e os filmes finos por análise de corrente contínua e espectroscopia de impedância elétrica. A espectroscopia UV-vis dos materiais em pó apresentou bandas com picos em 328nm e 641nm para o material A, 278nm e 371nm para o material B, e 279nm e 372nm para o material C. As análises térmicas das amostras revelaram maiores perdas de massa em 639,80°C para o material A, 726,53°C para o material B e 776,06°C para o material C. A espectroscopia de impedância eletroquímica indicou que os maiores valores de resistência elétrica em corrente alternada (CA) foram observados nos filmes de PANI Norbixina (AB20) e PANI Norbixina com nanopartículas de prata (AC25). Nos ensaios com tensão elétrica contínua (CC), os referidos filmes também apresentaram valores superiores. Os maiores valores de capacitância da dupla camada, formada entre o eletrodo e o material polimérico, foram 193,6 pF para a amostra PANI (A0), 138,4 pF para a amostra PANI Norbixina (AB15), e 262,8 pF para a amostra PANI Norbixina com nanopartículas de prata (AC25). Os resultados das caracterizações sugerem ter sido sintetizado os materiais em pó pretendidos e as análises dos filmes que aumentavam a composição de Norbixina com redução de base esmeraldina e filmes de composição de Norbixina Nanopartículas de prata com redução de base esmeraldina para análise elétrica apresentaram aumento da resistência elétrica, embora este não esteja diretamente relacionado ao aumento das proporções.

Palavras-chave: polianilina; carotenoide do urucum; norbixina; nanopartículas.

ABSTRACT

Polyaniline is a conductive polymer derived from aniline, obtained by chemical polymerization in an acidic environment, using an oxidizing agent. This polymer is composed of benzenoid and quinoid rings interconnected by nitrogen atoms in the chain, exhibiting conductive properties when in the form of emeraldine salt after protonation. This research aimed to synthesize films of emeraldine-based polyaniline, polyaniline in Norbixin medium and polyaniline in Norbixin medium with silver nanoparticles, and characterize them regarding their electrical properties for possible technological applications. The synthesized powder materials, including emeraldine-based polyaniline, Norbixin polyaniline and Norbixin polyaniline with silver nanoparticles (named materials A, B and C, respectively), were analyzed by UV-vis spectroscopy and thermogravimetry techniques, and the thin films by direct current analysis and electrical impedance spectroscopy. UV-vis spectroscopy of the powder materials showed bands with peaks at 328nm and 641nm for material A, 278nm and 371nm for material B, and 279nm and 372nm for material C. Thermal analysis of the samples revealed higher mass losses at 639.80° C for material A, 726.53° C for material B and 776.06° C for material C. Electrochemical impedance spectroscopy indicated that the highest electrical resistance values in alternating current (AC) were observed in the PANI Norbixin (AB20) and PANI Norbixin with silver nanoparticles (AC25) films. In the tests with direct electrical voltage (DC), these films also presented higher values. The highest capacitance values of the double layer formed between the electrode and the polymeric material were 193.6 pF for the PANI sample (A0), 138.4 pF for the PANI Norbixin sample (AB15), and 262.8 pF for the PANI Norbixin with silver nanoparticles sample (AC25). The characterization results suggest that the intended powder materials were synthesized, and the analyses of the films that increased the composition of Norbixin with emeraldine base reduction and films of Norbixin composition Silver nanoparticles with emeraldine base reduction for electrical analysis showed an increase in electrical resistance, although this is not directly related to the increase in proportions.

Keywords: polyaniline; annatto carotenoid; norbixin; nanoparticles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura de alguns materiais poliméricos conjugados.....	16
Figura 2	Comparação da condutividade elétrica dos polímeros condutores e outros materiais.....	17
Figura 3	Transporte de cargas em polímeros condutores (A) indicando transporte intracadeia de cargas, (B) Transporte intercadeia, (C) Transporte interpartícula e setas mostram o caminho da carga migrando.....	18
Figura 4	Estrutura da Polianilina.....	21
Figura 5	Estrutura molecular da Base Esmeraldina(a), Base Esmeraldina protonada (b) e Sal Esmeraldina dopada(c).....	22
Figura 6	Oxidação da anilina com persulfato de amônia produzindo Polianilina dopada com um ácido genérico HA.....	23
Figura 7	Capsulas com sementes e estrutura molecular da Norbixina.....	24
Figura 8	Reação de saponificação para obtenção da Norbixina.....	25
Figura 9	Preparação de nanopartículas de prata por processo químico.....	26
Figura 10	Fluxograma da síntese química para obtenção da Polianilina Base Esmeraldina.....	28
Figura 11	Fluxograma resumido da extração de Norbixina em pó.....	28
Figura 12	Esquema simplificado para medidas CC.....	32
Figura 13	Esquema simplificado para medidas CA.....	32
Figura 14	(A) Envelope de polipropileno com filme de 0,28cm ² (B) filmes metalizados.....	33
Figura 15	Espectrofotometria UV-vis de Norbixina e valores máximos.....	34
Figura 16	Espectrofotometria UV-vis da Nanopartículas de Prata com bandas e valor máximo.....	35
Figura 17	Espectro dos grupos A, B e C.....	36
Figura 18	Termograma dos materiais poliméricos sintetizados(A) e dTG(B).....	37
Figura 19	Resultados experimentais de corrente por tensão em regime CC para (A) o filme A0, (B) grupo AB e (C) grupo AC.....	39
Figura 20	Gráfico comparativo da condutividade elétrica em CC por porcentagem de materiais dos grupos AB e AC.....	41

Figura 21	(A) Variação da impedância real em função da frequência dos filmes A0, grupo AB e (B) relação dos filmes A0, grupo AC.....	42
Figura 22	(A)Variação do componente imaginária pela frequência da amostra A0 com filmes do grupo AB e (B) amostra A0 e grupo AC.....	44
Figura 23	(A)Diagrama de Nyquist dos diferentes filmes das amostras e grupos A0, (B) grupo AB e (C) grupo AC comparados.....	45
Figura 24	Gráfico Comparativo da condutividade elétrica em CA por porcentagem de materiais do grupo AB e Grupo AC em filmes.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Aplicações de polímeros condutores.....	20
Quadro 2	Os estados de oxidação mais importantes da polianilina.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidades de materiais em massa e percentagem em filmes.....	30
Tabela 2 – Faixas de temperatura e percentual de degradação das amostras.	38
Tabela 3 – Resistencia (R), resistividade (ρ) e condutividade elétrica (σ) dos filmes com diferentes proporções.....	41
Tabela 4 – Valores de Resistência de transferência de carga (R_t), Resistividade (ρ), Capacitância (C) e Condutividade elétrica (σ) em CA dos filmes.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Polianilina Base Esmeraldina
AB	Filme Polianilina em Norbixina
AC	Filme Polianilina em Norbixina com Nanopartículas de prata
AgNPs	Nanopartículas de Prata
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
dTG	Derivada da termogravimétrica
EIE	Espectroscopia de Impedância Elétrica
LED	Diodo Emissor de Luz
NMP	N-metil-2-pirrolidona
PANI	Polianilina
PIC	Polímeros Intrinsecamente Condutores
PPP	Poliparafenileno
PPV	Poliparafenileno vinileno
PPy	Polipirrol
PT	Politiofeno
TG	Termogravimétrica
UV-vis	Espectroscopia Ultravioleta-visível

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
S/cm	Siemens por centímetro
nm	Nanômetro
I	Corrente elétrica
V	Diferença de potencial
E	Campo Elétrico
R	Resistência elétrica
A	Área da seção transversal reta
d	Espessura
ρ	Resistividade elétrica
σ	Condutividade elétrica
Ω	Ohm
C	Capacitância
F	Farad
ω	Frequência Angular
Z^*	Impedância complexa
Z'	Componente real da impedância complexa
Z''	Componente imaginário da impedância complexa
°C	graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Geral	15
1.1.2	Específicos.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	POLÍMEROS CONDUTORES.....	16
2.2	POLIANILINA (PANI).....	20
2.3	NORBIXINA.....	23
2.4	NANOPARTÍCULAS DE PRATA	25
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	27
3.1.1	Síntese da Polianilina Base Esmeraldina.....	27
3.1.2	Obtenção da Norbixina.....	28
3.1.3	Síntese da Polianilina Norbixina.....	28
3.1.4	Produção de Nanopartículas de prata.....	29
3.1.5	Síntese de Polianilina Norbixina com Nanopartículas de prata	29
3.1.6	Produção dos filmes de PANI Base Esmeraldina com PANI Norbixina e filmes de PANI Base Esmeraldina com PANI Norbixina com Nanopartículas.....	30
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS SINTETIZADOS.....	30
3.2.1	Espectrofotometria Ultravioleta-Visível.....	31
3.2.2	Análise Termogravimétrica (TG).....	31
3.2.3	Análise em Corrente Contínua (CC).....	31
3.2.4	Espectroscopia de Impedância Elétrica (EIE).....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1	ESPECTROFOTOMETRIA ULTRAVIOLETA-VISÍVEL.....	34

4.2	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG).....	36
4.3	MEDIDAS DE CORRENTE ELÉTRICA CC EM FUNÇÃO DA TENSÃO APLICADA.....	38
4.4	ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA	42
4.4.1	Análise por diagrama de Nyquist das amostras.....	45
5	CONCLUSÃO.....	49
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A polianilina (PANI), amplamente utilizada como pigmento na indústria têxtil, teve sua estrutura estudada para condução elétrica e está sendo um dos polímeros condutores mais pesquisado, devido também sua estabilidade química, baixo custo, facilidade de polimerização e dopagem para melhoria da condutividade elétrica (Ciric-marianovic, 2013; Tian *et al.*, 2023).

A base esmeraldina é uma das formas estruturais da polianilina, um material polimérico composto por monômeros com quinoides e benzoides, grau de oxidação de 0,5 possuindo como característica elétrica o fato de ser isolante elétrico e apresentar-se na cor azul, o mesmo ao sofrer processo de protonação em seus átomos de nitrogênio por composto ácido torna-se melhor condutor elétrico (Bindal; Karaoglan, 2018).

Algumas dificuldades que a cadeia dos polímeros condutores, incluindo a polianilina, apresentam são possuir rigidez mecânica. Contudo isto foi solucionado através de mudanças na estrutura e/ou criação de compósitos, blendas poliméricas com outros materiais acrescentando novas características térmicas, elétricas, mecânicas e óticas, facilitando bastante o processamento industrial. A partir disso, muitas aplicações tecnológicas se tornaram possíveis como: sensores e biossensores, dispositivos eletrocromicos, baterias e supercapacitores, proteção contra corrosão, transistores, diodos emissores de luz (LEDs), músculos artificiais, fotocatalisadores, absorvedores de ondas eletromagnéticas e borrachas condutoras (Bastos, 2005; Tadesse; Ahmmed; Lübben, 2024).

A síntese da polianilina usando material ácido de origem orgânica natural, como a Norbixina (ácido dicarboxílico) extraído do urucum por processo de saponificação e que possui estrutura conjugada pode trazer benefícios de ordem econômica e ambiental, cuja produção devido a origem tem menos agressividade em seus produtos e resíduos (Fontinele *et al.*, 2018). Ao incorporar nanopartículas de prata aos mesmos ocorre a formação de novos compósitos poliméricos contendo nanopartículas, conferindo propriedades novas (Vimal *et al.*, 2019).

Os estudos científicos e tecnológicos para criação de novos materiais poliméricos condutores buscam trazer soluções eficientes economicamente e de menor impacto ambiental que os materiais usados tradicionalmente na indústria. Estes fatores mencionados justificam o estudo da polianilina, um material polimérico

condutor de fácil síntese química e pouca complexidade para produção industrial com a Norbixina de origem renovável extraída da planta urucuzeiro, além dos mesmos em conjunto com nanopartículas de prata (AgNPs).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Desenvolver materiais poliméricos de polianilina base esmeraldina, polianilina Norbixina e polianilina Norbixina com nanopartículas de prata para possíveis aplicações tecnológicas.

1.1.2 Específicos

- Obter Norbixina a partir da reação de saponificação da Bixina extraída das sementes de urucum (*Bixa Orellana L.*);
- Produzir nanopartículas de prata;
- Obter filmes dos materiais sintetizados;
- Caracterizar as amostras de polianilina base esmeraldina, polianilina Norbixina e polianilina Norbixina com nanopartículas de prata por meio de técnicas de espectroscopia UV-vis, termogravimetria, espectroscopia de impedância elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

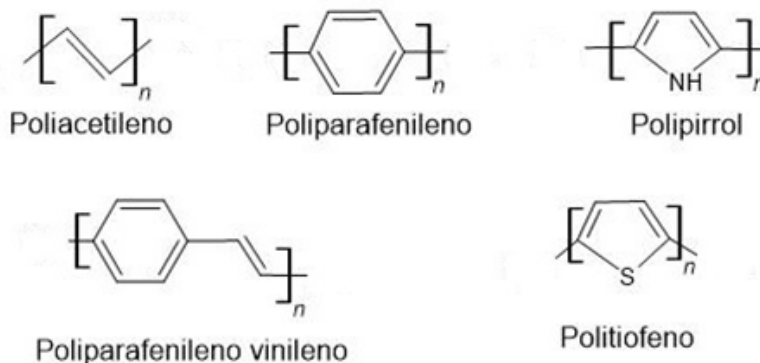
2.1 POLÍMEROS CONDUTORES

Babel; Hiran (2021) definem Polímeros condutores como estruturas longas e com ligações conjugadas na cadeia que ao sofrerem processo de oxidação ou redução permitem melhor condução do fluxo de elétrons.

Por muito tempo, pensava-se que todos os materiais poliméricos eram apenas isolantes, devido às ligações covalentes fortes e direcionais dos átomos de sua estrutura (ligações σ), que não permitiam mobilidade necessária dos portadores de carga para a condução. Isso permaneceu até a década de 1970, quando foi descoberta a possibilidade de usar alguns polímeros conjugados como condutores de eletricidade. A “dopagem” por oxidação do poliacetileno (material conjugado) com iodo, realizada pelos pesquisadores Hideki Shirakawa, Alan MacDiarmid e Alan J. Heeger na Universidade da Pensilvânia, melhora significativamente a condutibilidade elétrica do material (Mattoso, 1996; Folorunso; Olukanmi; Thokozani, 2023).

Os polímeros condutores (Figura 1) geralmente têm como característica o fato de apresentarem, na sua cadeia, um sistema que alterna entre ligações simples e ligações duplas, possibilitando a criação de um fluxo de elétrons como resultado da remoção ou adição, provocado respectivamente, por oxidação ou redução, sem destruição das ligações que estabilizam a macromolécula. Como exemplos destes polímeros tem-se o poliacetileno, poliparafenileno vinileno (PPV), poliparafenileno (PPP), politiofeno (PT), polipirrol (PPy) (Faez *et al.*, 2000).

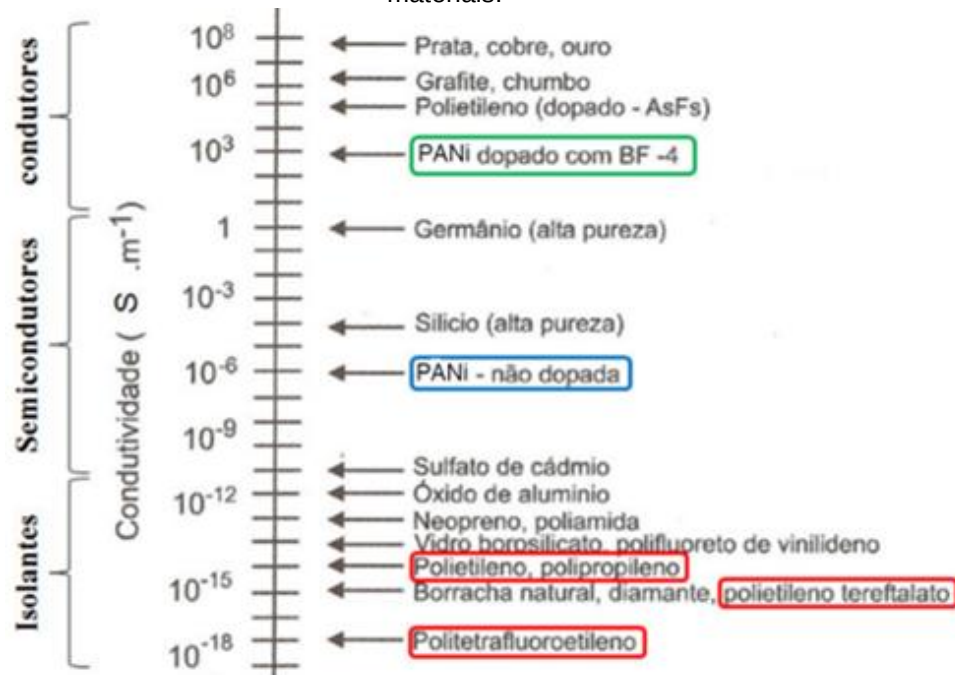
Figura 1 - Estrutura de alguns materiais poliméricos conjugados.



Fonte: Autoria própria (2025).

Os Polímeros condutores apresentam propriedades elétricas, magnéticas e ópticas semelhante aos metais e semicondutores, sendo por esse motivo denominados de Polímeros Intrinsecamente Condutores (PIC), metais orgânicos ou metais sintéticos. Essa última denominação é justificada pelo fato de alguns polímeros conseguirem condutividade próximo a dos metais, como exemplo tem-se a pesquisa de Naarmann e Theophilou da BASF AG na década de 1980 quando com o poliacetileno conseguiram 10^6 S.cm^{-1} próximo condutividade do cobre de 10^7 S.cm^{-1} . É possível observar (Figura 2), a comparação da condutividade elétrica de metais, semicondutores inorgânicos, polímeros isolantes e polímeros condutores intrínsecos (Zahir *et al.*, 2016).

Figura 2 - Comparação da condutividade elétrica dos polímeros condutores e outros materiais.



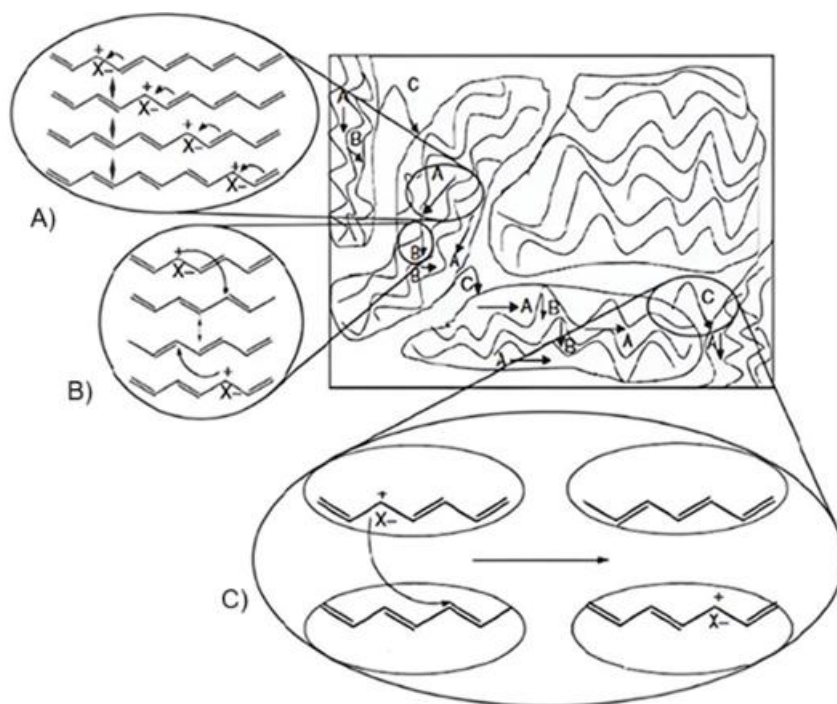
Fonte: Adaptado de Maia *et al.*, (2000).

Materiais poliméricos conjugados no estado neutro geralmente são isolantes, mas ao serem dopados transformam-se em um complexo que tem um cátion (dopagem tipo-p) em que há perda de elétron no orbital π ou ânion (dopagem tipo-n), ganho de elétron no orbital π^* do polimérico e um contra-íon, com esse processo aumentam a condutividade elétrica. Outra característica apresentada é que a dopagem em um polímero condutor pode ser revertida e o grau de dopagem é elevado (aproximadamente 50%) em comparação à dopagem de outros semicondutores como

silício ou germânio (aproximadamente 1%), significando uma elevada densidade eletrônica, cuja mobilidade é pequena devido à baixa cristalinidade do material (Skotheim; Reynolds, 2007).

Para explicar o transporte de carga elétrica no material polimérico (Figura 3), há três processos envolvidos: O transporte intracadeia ou intramolecular (deslocalização de defeitos elétron-buraco ao longo da conjugação do polímero); transporte por efeito *hopping*, que consiste em saltos termicamente ativados onde os portadores saltam de molécula em molécula ou por efeito túnel (transporte intercadeia ou intermolecular) e o transporte interpartículas ou ilhas condutoras (percolação), que ocorre entre “ilhas condutoras”, uma vez que a conjugação π é interrompida devido ao polímero possuir regiões ordenadas e desordenadas (Carolino, 2017; Souza *et al.*, 2017).

Figura 3 – Transporte de cargas em polímeros condutores (A) indicando transporte intracadeia de cargas, (B) Transporte intercadeia, (C) Transporte interpartícula e setas mostram o caminho da carga migrando.



Fonte: Carolino (2017).

Segundo Bianchi *et al.* (2005) filmes de polianilina metalizados com ouro apresentam comportamento ôhmico (equação 1), ou seja, quando submetidos a um campo elétrico produzem um deslocamento de cargas no tempo (corrente elétrica) proporcional a tensão elétrica ou diferença de potencial.

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

R = Resistência Elétrica;

V = Tensão Elétrica aplicada a amostra;

I = Corrente Elétrica.

A resistividade elétrica é uma propriedade intrínseca que depende exclusivamente do tipo de material, sendo independentemente das suas dimensões. Esta grandeza reflete a resistência oferecida pelo material à passagem de corrente elétrica, sendo uma característica de natureza microscópica (equação 2). Sendo inversamente a resistividade (ρ) inversamente proporcional a condutividade (σ) (equação 3).

$$R = \rho \times \left(\frac{L}{A}\right) \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

ρ = Resistividade elétrica;

L = Comprimento da amostra;

A = Área da secção reta da amostra.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (\text{equação 3})$$

O potencial de aplicações tecnológicas destes materiais poliméricos condutores está em diversas áreas (Quadro 1), uma vez que é possível combinar as propriedades mecânicas e de processamento dos polímeros convencionais com o comportamento elétrico, óptico e magnético semelhante ao dos condutores e semicondutores inorgânicos. Tal possibilidade tem sido responsável por atrair a atenção de muitos grupos de pesquisa e empresas (Santos, 2003; Cossiello, 2007; Vargas *et al*, 2018).

Quadro 1 - Aplicações de polímeros condutores.

Aplicação	Fenômeno	Uso
Eletrodos	Transferência de carga	Baterias recarregáveis, sensores, capacitores
Dispositivos eletrocromicos	Variação de cor com aplicação de potencial	Janelas inteligentes
Músculos artificiais	Movimentação mecânica de um filme pela aplicação de potencial	Transdutor mecânico para robótica
LEDs	Emissão de luz	Monitores e mostradores
Protetor antiestático	Eliminação de carga estática	Microeletrônica
Anticorrosivo	Proteção contra corrosão	Tintas
Dispositivos Eletrônicos	Controle do fluxo de carga transportado	Junção PN, transistores de efeito de campo
Células solares	Transformação de energia luminosa em elétrica	Fonte alternativa de energia
Blindagem eletromagnética	Absorção de radiação (diminuição de interferência em equipamentos eletrônicos)	Marinha, aeronáutica e telecomunicações
Sensores	Mudança de cor	Sensores de pH
Medicina	Preenchimento de tecidos danificados	Engenharia de tecidos
Biossensores	Imobilização de moléculas e transdução	Monitoramento de concentração de enzimas

Fonte: Adaptado de Faez *et al.* (2000), Maia *et al.*, (2000), Nogueira (2010).

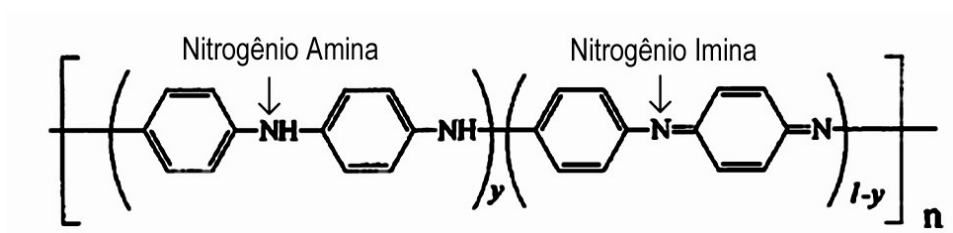
2.2 POLIANILINA

A polianilina (PANI) é um polímero obtido da anilina, a partir da polimerização química em meio ácido, juntamente com um agente oxidante e apresenta propriedades condutoras quando na forma de sal esmeraldina (Ouyang, 2018).

O pesquisador Runge, em meados de 1834, foi o primeiro a descobrir a polianilina enquanto procurava pigmentos para o algodão (tendo durante o século XIX uso exclusivo como pigmento) com nome comercial negro de anilina. Em 1947 Brown

e colaboradores cunham o nome polianilina pela primeira vez, e em 1985, Macdiarmid descobriu o processo de dopagem dela com suas características e propriedades elétricas. A estrutura geral da polianilina (Figura 4), é formada por uma longa cadeia conjugada que possui anéis aromáticos separados por nitrogênio (Ciric-marianovic, 2013).

Figura 4 - Estrutura da polianilina.



Fonte: Adaptado de Masdarolomoor *et al.*, (2019).

A estrutura da polianilina é composta geralmente por espécies reduzidas (y) e oxidada ($1 - y$) repetidas, sendo os valores dos mesmos o que determina os diferentes estados de oxidação (Quadro 2), para $y = 1$ o estado Base Leucoesmeraldina em que está completamente reduzido, $y = 0$ a Base Pernigranilina completamente oxidada, $y = 0,5$ a Base Esmeraldina parcialmente oxidada e a mais estável que ao reagir em meio ácido resulta no sal esmeraldina, forma mais condutora do polímero (Costa Júnior *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2024).

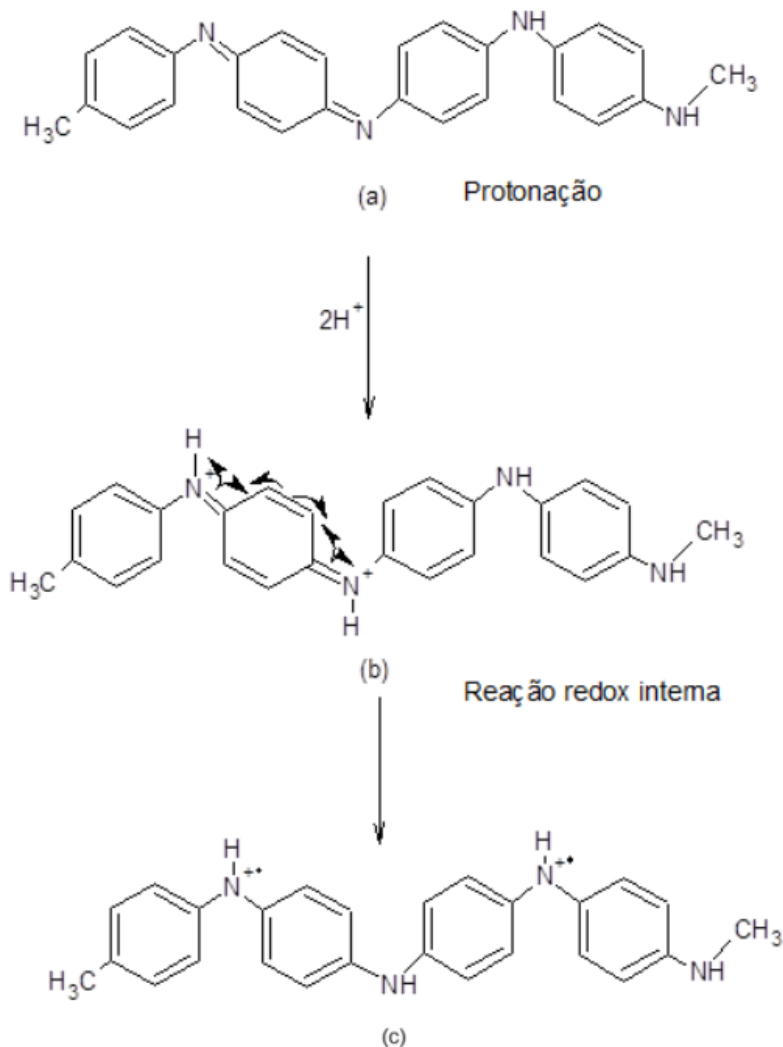
Quadro 2 - Os estados de oxidação mais importantes da polianilina.

Estado de Oxidação	Estrutura	Característica
Leucoesmeraldina		Isolante completamente reduzido
Sal esmeraldina		Condutor parcialmente oxidado
Base Esmeraldina		Isolante parcialmente oxidado
Pernigranilina		Isolante completamente oxidado

Fonte: Adaptado de Lima (2019).

Diferente da maioria dos polímeros que sofrem processo de dopagem e perdem ou ganham elétrons na presença de agente oxidante ou redutores, a polianilina base esmeraldina torna-se condutora por um processo de protonação (Figura 5) em que não há diminuição do número de elétrons na cadeia polimérica (existindo reação interna de oxidação e redução o que provoca mudança na estrutura eletrônica). A reação de protonação geralmente é realizada nos nitrogênios imínicos, produzindo defeitos catiônicos (pólarons e bipólarons) podendo alcançar valores de condutividade elétrica da ordem de 10^2 S.cm^{-1} (Izumi, 2006; Dhand *et al.*, 2015).

Figura 5 - Estrutura molecular da Base Esmeraldina (a), Base Esmeraldina protonada (b) e Sal Esmeraldina dopada(c).



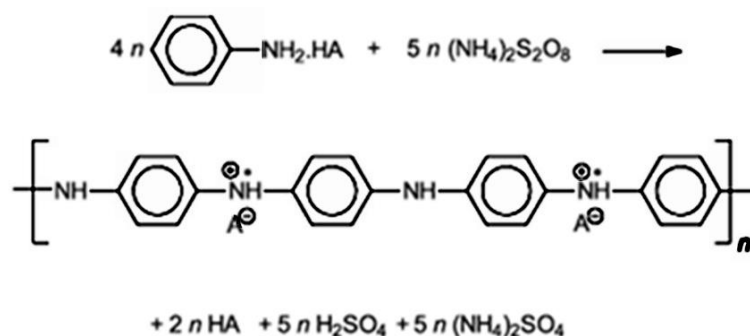
Fonte: Mota (2015).

Os métodos de síntese da polianilina incluem polimerização química, eletroquímica, enzimática e fotoindutiva. Sendo a mais utilizada a PANI sintetizada

quimicamente em forma de pó verde e a produzida por oxidação eletroquímica na forma de filmes finos (Bhadra *et al.*, 2009).

A polimerização química (Figura 6), possui mais vantagem em relação a outras devido a obtenção com alto peso molecular, possibilidade de produção em larga escala e obtenção da polianilina dopada diretamente. Geralmente para essa polimerização por síntese química são usados agentes oxidantes como $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, MnO_2 , Cr_2O_4 , H_2O_2 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, KClO_3 , e meio ácido inorgânico ou poliácidos ou ácidos funcionalizados. Entre estes sistemas, o mais usado é o $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (persulfato de amônia) em solução ácida de HCl (ácido clorídrico) com pH entre 0 e 2, com concentração de monômero variando de 0,01 a 2 M e a razão molar de agente oxidante por monômero entre 2 e 1 (Mattoso, 1996; Guimard; Gomez; Schmidt, 2007).

Figura 6 - Oxidação da anilina com persulfato de amônia produzindo Polianilina dopada com um ácido genérico HA.



Fonte: De Sousa *et al.*, (2003).

2.3 NORBIXINA

A Norbixina é uma molécula orgânica extraída a partir do urucuzeiro (*Bixa orellana* L.) com estrutura de cadeia insaturada, formando um sistema conjugado com alternâncias entre ligações simples e duplas. Possui em suas extremidades grupos carboxila ($-\text{COOH}$) o que confere um grande potencial reacional com compostos pertencentes a diversas funções orgânicas, tais como diálcoois, diaminas ou difenóis, permitindo sua utilização em muitos processos de síntese orgânica, principalmente na obtenção de diferentes classes poliméricas, como poliésteres, poliamidas ou polímeros fenólicos. É encontrada recobrindo a superfície externa de sementes no interior do fruto (Figura 7), que possui espinhos moles no exterior e internamente há normalmente duas valvas dividindo-as, como 10 a 50 pequenas sementes em

tamanho aproximados de sementes de 3 a 4 mm de comprimento (Agner *et al.*, 2004; Silva, 2006; Fontinele *et al.*, 2018).

Figura 7 - Cápsulas com sementes e estrutura molecular da Norbixina.

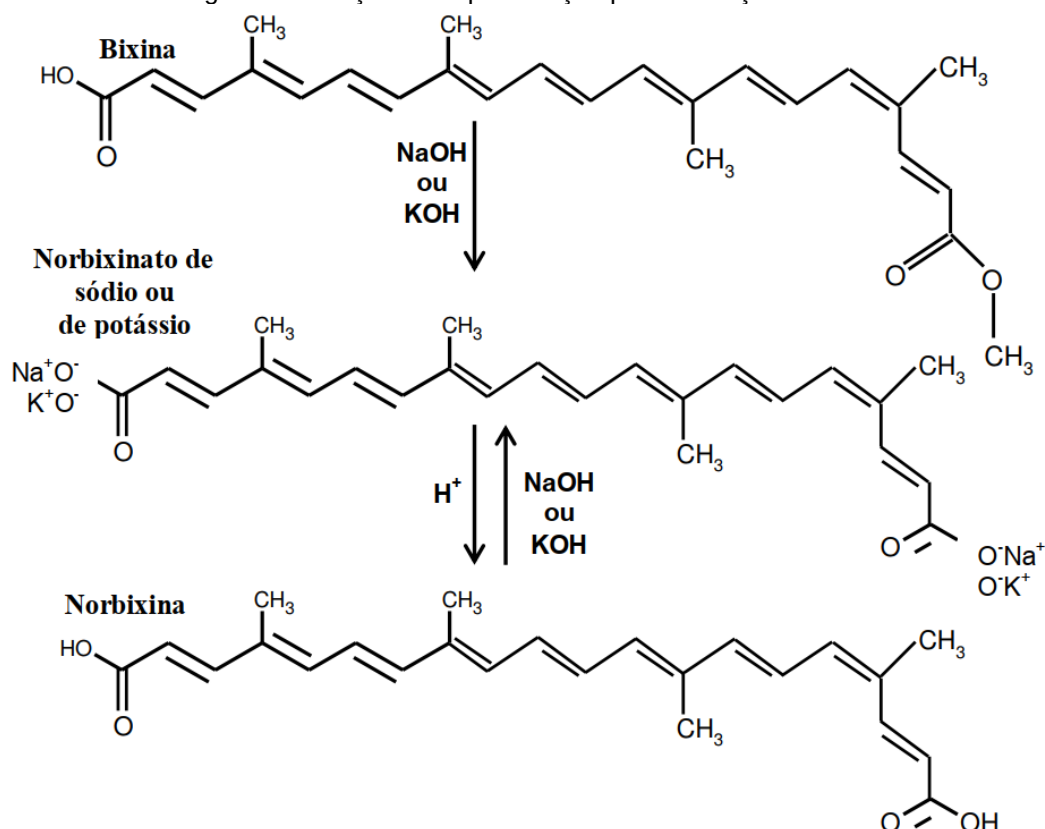


Fonte: Zhang; Zhong (2013).

A molécula 9'-cis-bixina é o principal corante presente nas sementes desta bixácea, com concentrações variando de 70% a 80%. O restante da composição inclui substâncias cujas estruturas estão relacionadas à bixina, como norbixina, orelina, metilbixina, criptoxantina, luteína e zeaxantina. Esses carotenoides são muito utilizados como pigmentos nas indústrias alimentícias, químicas, cosméticas e farmacêuticas devido ao baixo custo de produção e baixa toxicidade (Agner *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2001; Silva, 2006).

O processo de saponificação do éster monometílico (hidrólise alcalina) da Bixina origina o sal hidrossolúvel, sal da Norbixina (Figura 8) que através de precipitação ácida torna-se a Norbixina (ácido dicarboxílico), não solúvel em água (Tocchini; Mercadante 2001).

Figura 8 - Reação de saponificação para obtenção da Norbixina.



Fonte: Adaptado de Stringheta; Silva; Costa, (2018).

2.4 NANOPARTÍCULAS DE PRATA

Nanopartículas são materiais em escala nanométrica que possuem, devido a suas dimensões, propriedades e funções diferentes das características ópticas, magnéticas, eletrônicas e/ou biológicas dos materiais em escala maior (Silveira, 2020).

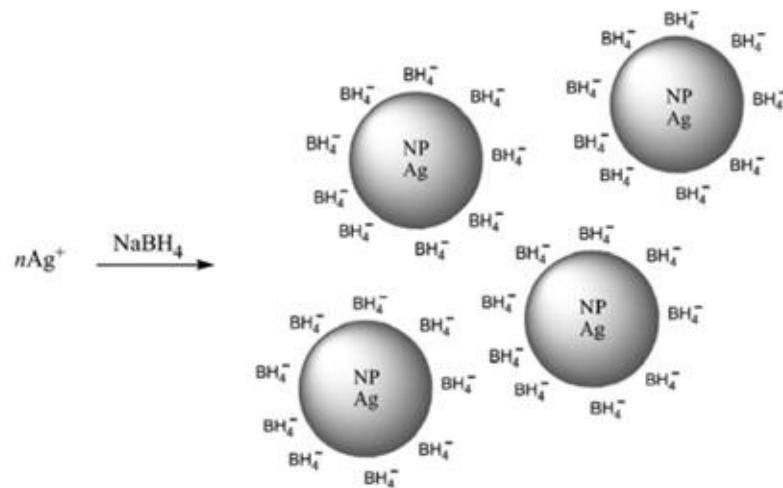
As propriedades físicas, químicas e biológicas, além da reatividade das partículas tem despertado o interesse da comunidade científica, podendo ser utilizadas na fabricação de cosméticos, na medicina e até a recuperação ambiental (Silva, 2020).

De acordo com Khudair; Essa (2024) e Duran; Seabra, (2017), as nanopartículas de prata (AgNPs) estão entre os nanomateriais mais estudados e utilizados na indústria e comércio, devido suas propriedades características como estabilidade química, maleabilidade, flexibilidade, alta condutividade elétrica e térmica, atividade catalítica, baixo custo para produção e ação antimicrobiana frente a bactérias, vírus, fungos e protozoários. A dificuldade no controle de tamanho,

morfologia e a distribuição e composição química justificam o grande número de estudos que englobam a produção destes compostos (Lopes, 2017).

As nanopartículas podem ser produzidas por métodos físicos, químicos e biogênicos (Duran; Seabra, 2017). Os métodos químicos (Figura 9) são baseados na redução de sais do metal desejado na presença de um agente redutor adequado, levando a formação de uma dispersão coloidal de nanopartículas metálicas (Graça, 2015). O processo de formação de nanopartículas utilizando nitrato de prata envolve a redução dos íons de prata em prata metálica por meio do agente redutor boroidreto de sódio, que também atua como estabilizante (Melo Junior et al, 2012).

Figura 9 - Preparação de nanopartículas de prata por processo químico.



Fonte: Melo Junior *et al.*, (2012).

3 METODOLOGIA

As sementes de Urucum para extração da Norbixina foram adquiridas na empresa GDR Insumos Ltda. As sínteses e preparações dos materiais e filmes finos de Polianilina base esmeraldina, Polianilina Norbixina e Polianilina Norbixina com nanopartículas de prata foram realizadas nos laboratórios de Físico-química e de Produtos Naturais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). As caracterizações das amostras por espectroscopia ultravioleta e visível (UV-Vis) e por termogravimetria (TG) foram realizadas no LABMAT (Laboratório de materiais do IFPI). Já a Espectroscopia de Impedância Elétrica (EIE) e a análise de corrente contínua (CC) foram realizadas no laboratório de Física da Universidade Federal do Piauí (UFPI).

3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1.1 Síntese da Polianilina Base Esmeraldina

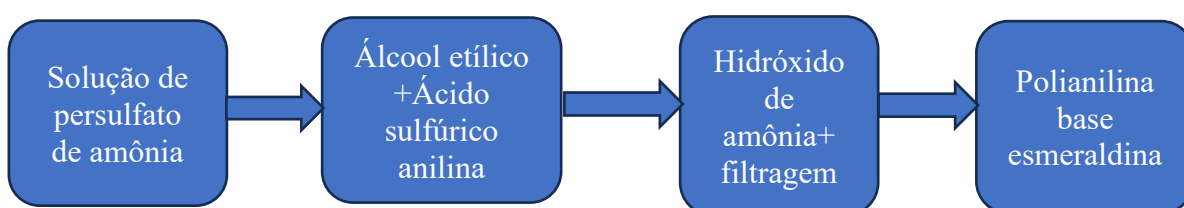
A PANI foi preparada através de uma síntese química, dando ao final do processo o polímero na forma de base esmeraldina. Na primeira etapa da síntese (a polimerização), num béquer (1000 mL) em banho de gelo, foram misturados 40 mL de anilina em 1000 mL de álcool etílico P.A. com 0,5 mol/L de ácido sulfúrico (H_2SO_4) sobre agitação mecânica. Em seguida 23 g de persulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) dissolvido em 20 mL de água destilada foram acrescentados, gota a gota, à primeira mistura num intervalo de 2 horas.

A mistura resultante foi então deixada sob agitação por 24 horas. Após as primeiras duas horas, a solução inicialmente incolor, passou a apresentar uma coloração verde escura indicando a presença do sal de esmeraldina, Polianilina na forma condutora. Ao final das 24 horas foi feita uma filtração a vácuo da mistura em um funil Büchner, com papel Wathman quantitativo. O material filtrado foi lavado com acetona até se obter uma solução residual incolor. Sobre o papel de filtro recolheu-se um pó verde característico do sal de esmeraldina dopado.

Na etapa de desdopagem, o pó residual verde foi misturado a 1,0 L de uma solução de hidróxido de amônio 0,1 mol/L de pH em torno de 10. A mistura foi deixada sobre agitação por 24 horas, sendo depois filtrada conforme a filtragem anterior,

diferindo somente pelo fato do material filtrado ser lavado com água destilada ao invés de acetona. Quando a solução residual do filtrado atingiu uma coloração incolor, o material filtrado foi recolhido numa placa de Petri e deixado em uma estufa a 60° C por 4 horas. Então, o material foi deixado em repouso sob vácuo num dessecador por mais 24 horas. Ao final de todo o processo foi obtido um pó azul escuro característico da polianilina na forma de base esmeraldina (material A). Na Figura 10 tem-se as etapas resumidas de síntese em diagrama de blocos.

Figura 10 – Fluxograma da síntese química para obtenção da Polianilina Base Esmeraldina.

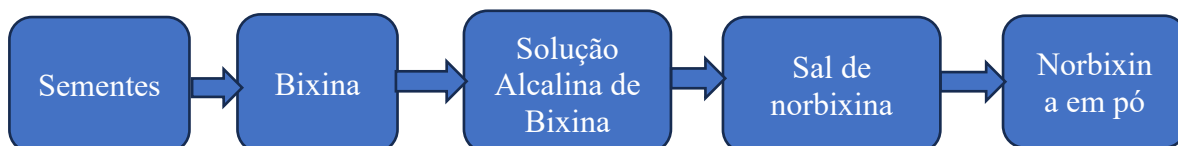


Fonte: Autoria própria (2025).

3.1.2 Obtenção da Norbixina

A síntese de Norbixina (Figura 11) foi produzida a partir da Bixina, com massa de 20 g de sementes de urucum em 80 mL NaOH 5%. A mistura foi realizada com auxílio de um agitador mecânico por 5 minutos e filtrada em algodão para retenção das sementes, o produto resultante sal de Norbixina (Norbixinato de sódio) foi acidificado com uma solução de HCl até a formação da Norbixina, sendo para isso seco à 60 °C por um período de 24 horas.

Figura 11 - Fluxograma resumido da extração da Norbixina em pó.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.1.3 Síntese da Polianilina Norbixina

Em um béquer de 500 mL em banho de gelo realizou-se a preparação de

solução alcoólica com 1,8 g de Norbixina juntamente com 20 mL de anilina. Em seguida 11,5 g de persulfato de amônio ((NH₄)₂S₂O₈) dissolvido em 20 mL de água destilada que foram acrescentados, gota a gota, à mistura num intervalo de 2 horas e, em seguida, agitada mecanicamente por 24 horas. O material foi então filtrado sobre o papel de filtro qualitativo, deixado em uma estufa a 60° C por 4 horas e ao final recolheu-se o pó de Polianilina Norbixina (material B).

3.1.4 Produção de Nanopartículas de Prata

Para a síntese das Nanopartículas de Prata foram utilizados os reagentes nitrato de prata e boroidreto de sódio em pó com solução de água destilada.

Em Erlenmeyer de 250 mL, adicionaram-se 75mL de solução $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ de boroidreto de sódio. O frasco foi então colocado em um banho de gelo durante 15 min. Em seguida, colocou-se uma barra magnética de agitação no frasco e levou-se o conjunto a uma placa de agitação.

Com o auxílio de uma bureta, adicionaram-se, gota a gota, 25 mL de uma solução $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ de nitrato de prata. Essa adição ocorreu num período de aproximadamente 4 min e com taxa de adição de 1 gota s^{-1} . Obteve-se uma solução padrão de cor amarela, Nanopartículas de Prata (AgNPs).

3.1.5 Síntese da Polianilina Norbixina com Nanopartículas de Prata

Realizou-se a preparação de solução de álcool etílico P.A. com 1,8 g de Norbixina juntamente com 20 mL de anilina em um béquer de 500 mL em banho de gelo sob agitação. Em seguida 11,5 g de persulfato de amônia ((NH₄)₂S₂O₈) foram dissolvidos em 20 mL de água destilada acrescentados gota a gota, à mistura anilina Norbixina num intervalo de 2 horas. A solução em agitação de polianilina Norbixina foi adicionado nanopartículas de prata e agitada mecanicamente por 24 horas. O material foi então filtrado sobre o papel de filtro qualitativo, deixado em uma estufa a 60° C por 4 horas e ao final recolheu-se o pó de Polianilina Norbixina com Nanopartículas de Prata (material C).

3.1.6 Produção dos filmes de PANI Base Esmeraldina com PANI Norbixina e filmes de PANI Base Esmeraldina com PANI Norbixina com Nanopartículas

Os filmes de Polianilina Base Esmeraldina, Polianilina Base Esmeraldina com Polianilina Norbixina e Polianilina Base Esmeraldina com Polianilina Norbixina Nanopartículas de prata foram preparados com diferentes proporções usando o método *casting* em que as massas poliméricas (Tabela 1) foram dissolvidas em 40 mL de N-Metil-2-pirrolidona (NMP) em béquer sobre agitação magnética por um intervalo de 30 minutos, seguida por filtragem da solução em funil com papel filtro qualitativo e recolhido em placa de Petri de 5 cm de diâmetro por 1,5 cm de altura para ser colocado em estufa a 60°C por um período de 8 dias, resultando ao final em formação de um filme fino.

Tabela 1 - Quantidades de materiais em massa e percentagem em filmes.

Filmes	PANI Base Esmeraldina (g)	PANI Norbixina (g)	PANI Norbixina AgNPs (g)	PANI Base Esmeraldina (%)	PANI Norbixina (%)	PANI Norbixina AgNPs (%)
A0	0,40	-	-	100	-	-
AB10	0,36	0,04	-	90	10	-
AB15	0,34	0,06	-	85	15	-
AB20	0,32	0,08	-	80	20	-
AB25	0,30	0,10	-	75	25	-
AC10	0,36	-	0,04	90	-	10
AC15	0,34	-	0,06	85	-	15
AC20	0,32	-	0,08	80	-	20
AC25	0,30	-	0,10	75	-	25

Fonte: Autoria própria (2025).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS SINTETIZADOS

Os materiais produzidos foram caracterizados por Espectrofotometria Ultravioleta-Visível (UV-Vis), Análise Termogravimétrica (TG), Análise em Corrente Contínua, Espectroscopia de Impedância Elétrica (EIE), conforme descrito nos itens abaixo relacionados.

3.2.1 Espectrofotometria Ultravioleta-Visível

As análises UV-Vis das amostras em pó da Norbixina, Nanopartículas de Prata, Polianilina Base Esmeraldina (A), Polianilina Norbixina (B) e Polianilina Norbixina Nanopartículas (C) foram realizadas em um espectrofotômetro Ultravioleta-Visível, modelo SHIMADZU UV-1800, com varredura entre 260 nm e 800 nm. Para estas análises foram identificadas as bandas de transição eletrônica das amostras dissolvidas separadamente em N-metil-2-pirrolidona (NMP), obtendo-se assim uma solução desta mistura.

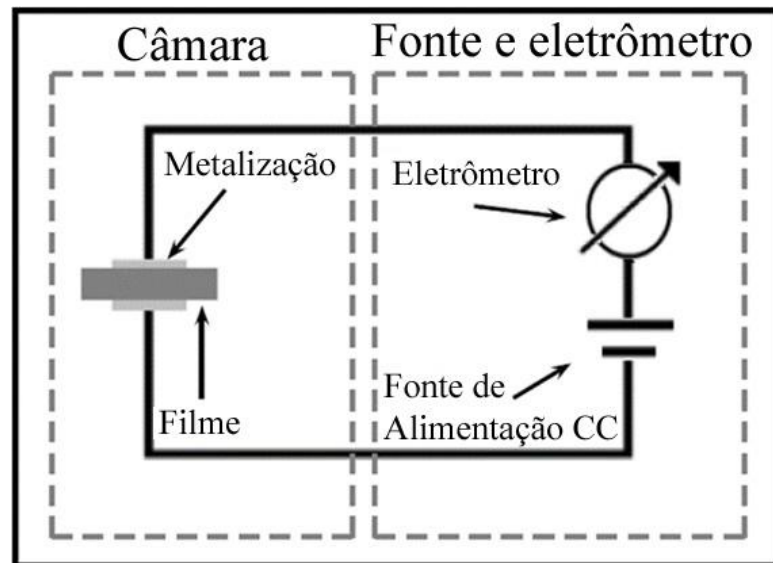
3.2.2 Análises Termogravimétricas (TG)

Para esta análise, foi utilizado um analisador termogravimétrico da SHIMADZU, modelo TGA-51H. Aproximadamente 3,44 mg de cada amostra em pó (A, B e C), foi aquecido da temperatura 23,68 °C até 1000 °C, a uma taxa de aquecimento de 10° C/min, fluxo de nitrogênio de 50 mL/min em cadinho de platina.

3.2.3 Análise em Corrente Contínua (CC)

As medidas de tensão vs. corrente em filmes finos (Figura 12) foram realizadas com o arranjo experimental de uma fonte de alimentação (Keithley 230 Programmable Voltage Source) para aplicações das tensões nas amostras e um eletrômetro (Keithley 6517A Electrometer/High Resistance Meter) para medir corrente. Além de uma câmera de medida onde os filmes foram posicionados para coleta de dados.

Figura 12 – Esquema simplificado para medidas CC.

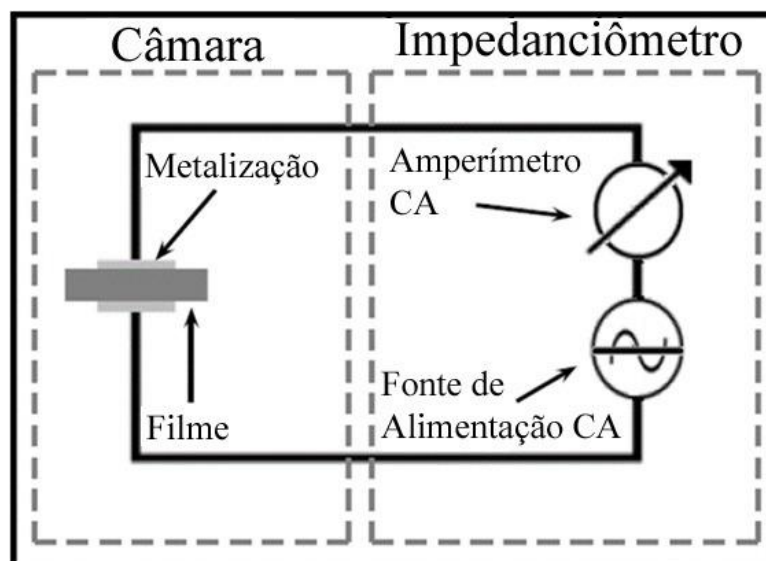


Fonte: adaptado de Maciel (2006).

3.2.4 Espectroscopia de Impedância Elétrica (EIE)

As medidas foram realizadas em um impedanciômetro Solartron modelo SI 1260, aplicando uma tensão alternada de 100 mV, frequência em modo varredura ao longo do tempo entre 0,1 Hz à 10^7 Hz em câmara de amostra onde os filmes foram acomodados seguindo esquema elétrico da Figura 13.

Figura 13 – Esquema simplificado para medidas CA.

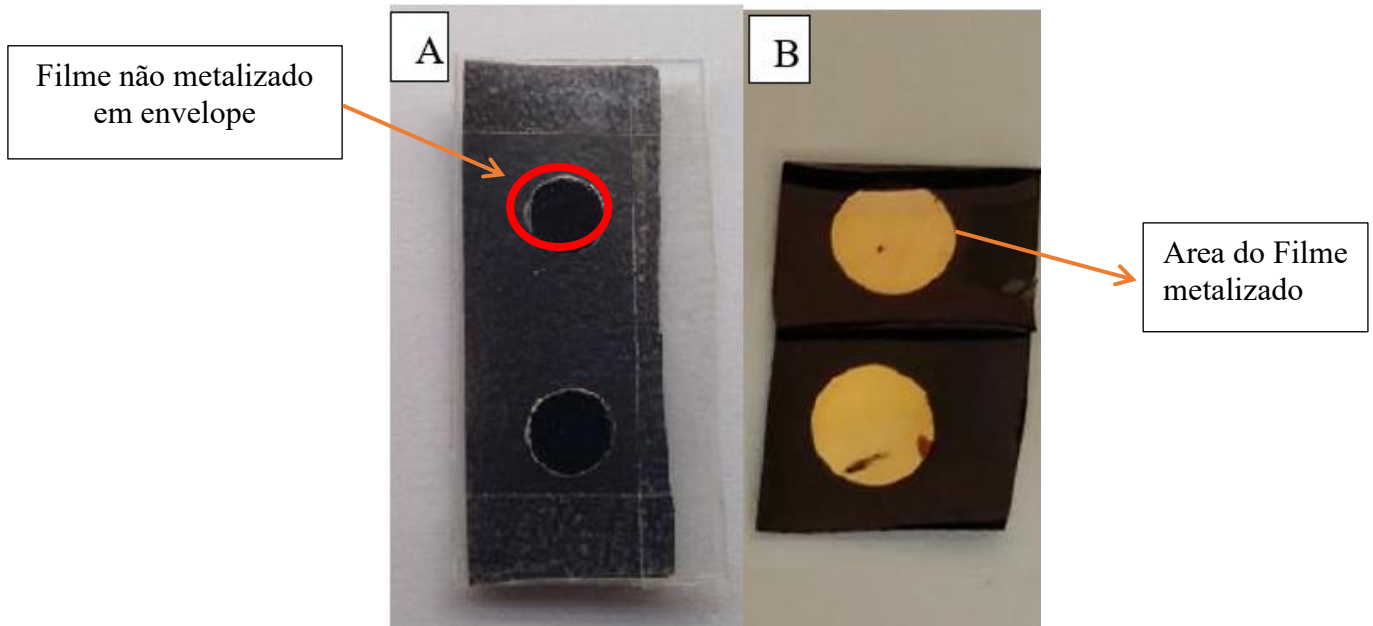


Fonte: Adaptado de Maciel (2006).

Para preparar as amostras de filmes (Figura 14) para medição elétrica foi

realizado o processo de metalização por mascaramento com polipropileno em ambas as faces aplicando-se evaporação em alto vácuo de partículas de ouro, sendo as áreas da secção transversal ($A = 0,28\text{cm}^2$) e espessura ($d = 0,004\text{cm}$) padronizadas.

Figura 14 – (A) Envelope de polipropileno com filme de $0,28\text{cm}^2$ (B) filmes metalizados.



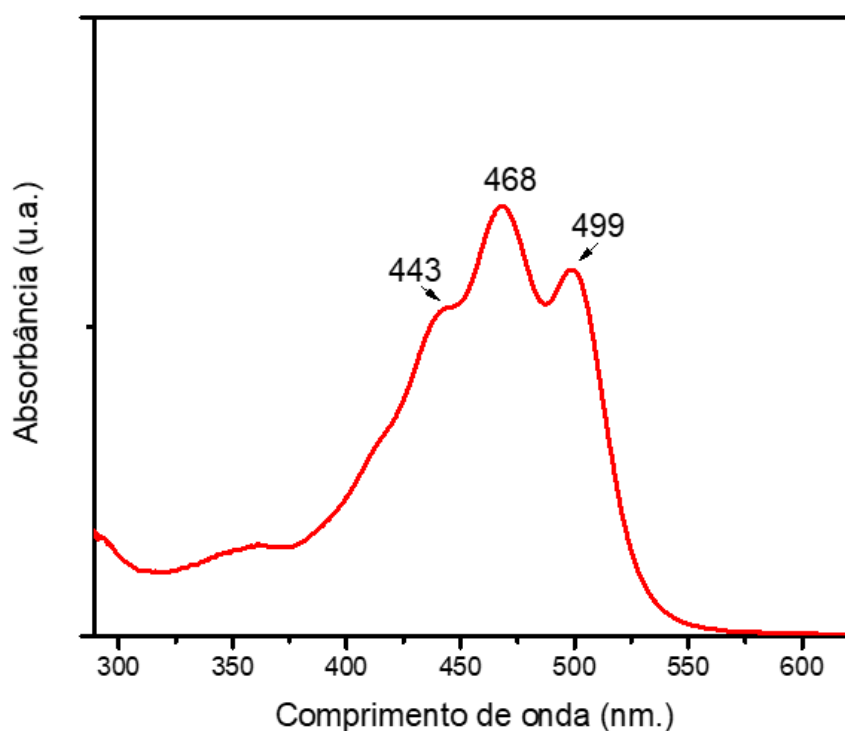
Fonte: Autoria própria (2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESPECTROFOTOMETRIA ULTRAVIOLETA-VISÍVEL

Na espectroscopia UV-Vis (Figura 15) da norbixina, foram identificadas três bandas de absorção com picos em 443 nm, 468 nm e 499 nm. Esses resultados são consistentes com Mota (2015), que relatou valores aproximados, especificamente com máximos de absorção em torno de 430 nm, 460 nm e 490 nm. Devido ao grande sistema conjugado do cromóforo, as bandas fortes acima de 400 nm são uma transição eletrônica dipolo orientado ao longo do eixo da molécula (Yusa-marco *et al.*, 2008; Calogero *et al.*, 2015).

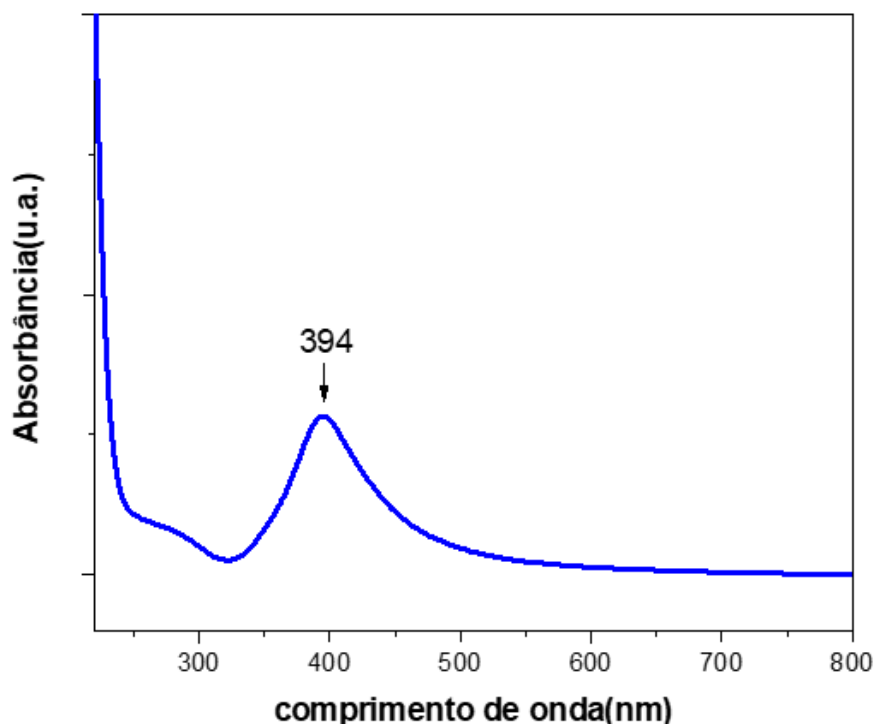
Figura 15 - Espectrofotometria UV-Vis de Norbixina e valores máximos.



Fonte: Autoria própria (2025).

Na espectroscopia UV-Vis das Nanopartículas metálicas de prata em solvente NMP (Figura 16) tem-se a presença de banda de absorbância centrada na região do visível de 394 nm. De acordo com Oliveira (2014), o espectro UV-Vis identificador das Nanopartículas de Prata apresenta bandas aproximadamente entre 300 e 400nm.

Figura 16 - Espectrofotometria UV-Vis das Nanopartículas de Prata com bandas e valor máximo.

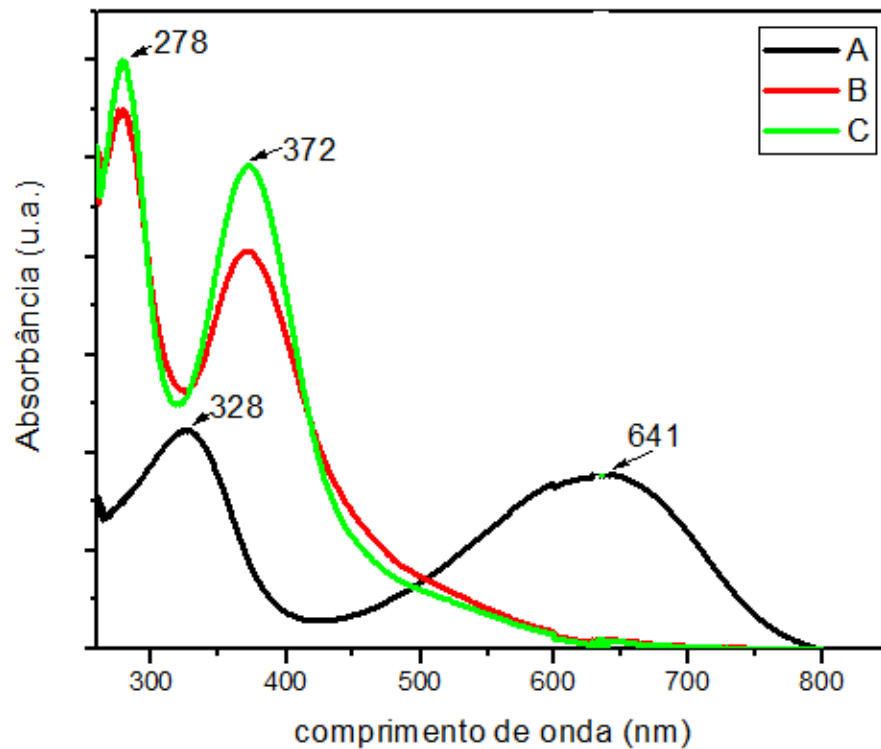


Fonte: Autoria própria (2025).

A caracterização UV-vis da Polianilina Base Esmeraldina (material A) na forma de pó (Figura 17) apresenta duas bandas de absorção característica com valores máximo de absorção em 328 nm e 641 nm. O primeiro pico de absorção (328 nm) refere-se às transições $\pi - \pi^*$ em anéis benzenoides e o segundo (641 nm) a transferência de carga das transições das ligações duplas conjugadas no interior da cadeia ($n - \pi^*$ de grupos quinino-imina) (Mota, 2015; Goulart, 2019).

A Polianilina Norbixina (material B) e Polianilina Norbixina com Nanopartículas de prata (material C) apresentaram perfil semelhante a PANI base esmeraldina, porém com dois picos máximos em 278 nm e 372 nm, com isso sugere-se que a Norbixina usada na síntese provocou deslocado nos picos.

Figura 17 – Espectro dos materiais A, B e C.

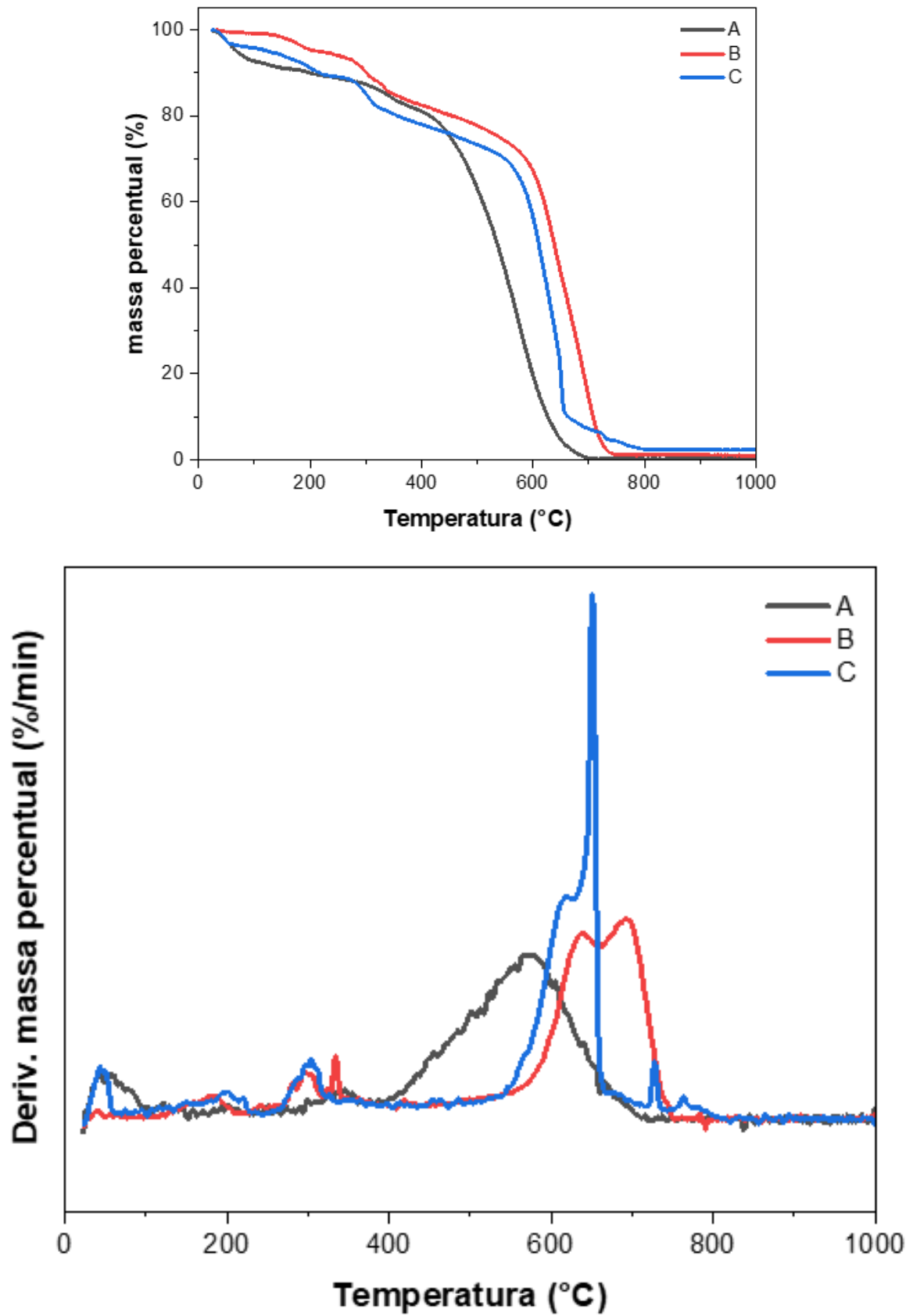


Fonte: Autoria própria (2025).

4.2 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TG)

A partir da análise das curvas termogravimétricas e da derivada termogravimétrica (Figura 19) pode-se observar os intervalos de reação, de degradação, e a temperatura onde registra-se as máximas velocidades de degradação ($T_{\max}$) dos materiais PANI Base Esmeraldina (A), PANI Norbixina (B) e PANI Base Esmeraldina com Nanopartículas de prata (C), compará-los e tirar conclusões sobre quais são mais estáveis termicamente.

Figura 18 – Termograma dos materiais poliméricos sintetizados (A) e dTG (B).



Fonte: Autoria própria (2025).

A amostra de PANI Base Esmeraldina apresenta pelo menos dois eventos de decomposição. O primeiro ocorre na faixa de 25,5 °C a 110,1 °C correspondendo a liberação de umidade e resíduos de baixa massa molecular. O segundo acontece de 395,8 °C a aproximadamente 709,1 °C. Enquanto a PANI Norbixina apresentou perda inicial de massa em 266,3 °C a 384,9°C devido a água, como a perdas mais acentuadas de degradação no segundo evento 473,1 °C a 754,2 °C. Sugere-se que as perdas mais significativas sejam degradação das cadeias poliméricas. Quanto a PANI Norbixina nanopartículas de prata verificou-se um evento inicial em 25,5 °C a 62,7 °C devido a perda de massa de água e componentes voláteis e o evento de degradação maior ocorreu em 266,3 °C a 384,9 °C e 473,1 °C a 809,4 °C ficando com massa residual de 19,7 % (Tabela 2).

Tabela 2 – Faixas de temperatura e percentual de degradação das amostras.

Amostras	Etapa	Faixa de temperatura (°C)	Tmax (°C)	Degradação (%)
PANI Base Esmeraldina (A)	I	25,5-110,1	57,9	3,5
	II	395,8-709	573,4	68,21
	III	-	-	-
PANI Norbixina (B)	I	266,3-384,9	334,2	6,6
	II	473,1-754,2	694,5	83,4
	III	-	-	-
PANI Norbixina com Nanopartículas de prata(C)	I	25,5-62,7	43,8	2,2
	II	266,3-384,9	304,4	15,3
	III	473,1-809,4	650,9	80,3

Fonte: Autoria Própria, (2025).

4.3 MEDIDAS DE CORRENTE ELÉTRICA CC EM FUNÇÃO DA TENSÃO APLICADA

Foram realizadas medidas de corrente elétrica com tensão variando de -5V a 5V nos filmes finos das amostras A0, AB10, AB15, AB20, AB25 e AC10, AC15, AC20, AC25. Ao analisar os dados dos filmes de PANI e fazer regressão linear (Figura 19) verificam-se gráficos lineares indicando serem materiais ôhmicos. A menor resistência encontrada entre todos os grupos de filmes ocorreu na Polianilina Base Esmeraldina (amostra A0), entre as amostras do grupo AB, o filme AB20 apresentou maior resistência elétrica, sendo seguido em ordem decrescente no mesmo grupo por AB10, AB25, AB15. Já entre o grupo AC o de maior resistência é AC25, seguido por AC10, AC20, AC15. Sobre o decaimento da condutividade com o aumento da proporção de Polianilina Norbixina ou Polianilina Norbixina com nanopartículas de prata, uma

explicação seria a de incorporar-se nos filmes uma quantidade maior de Norbixina que possui forte caráter isolante, tornando a condutividade da blenda menor (Castro, 2020). Supõe-se também que durante o processo de síntese dos materiais as cadeias poliméricas formadas podem ter tido comprimentos menores devido o ácido ser franco em comparação a outros usados, resultando em comportamento menos condutor da PANI sintetizada em Norbixina e PANI sintetizada em Norbixina com nanopartículas de prata.

Figura 19 – Resultados experimentais de corrente por tensão em regime CC para (A) o filme A0, (B) grupo AB e (C) grupo AC.

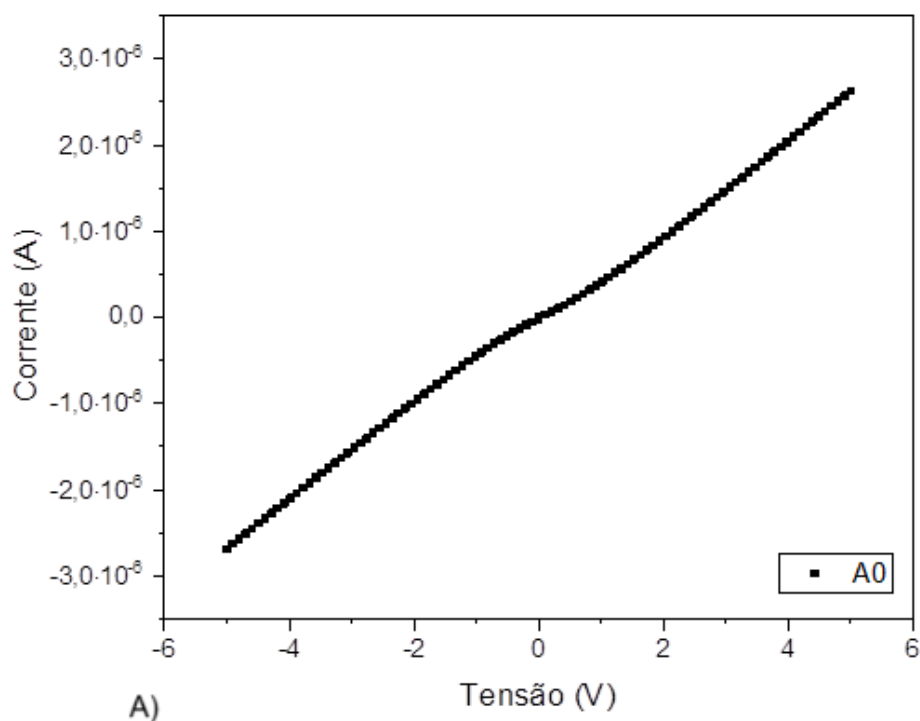
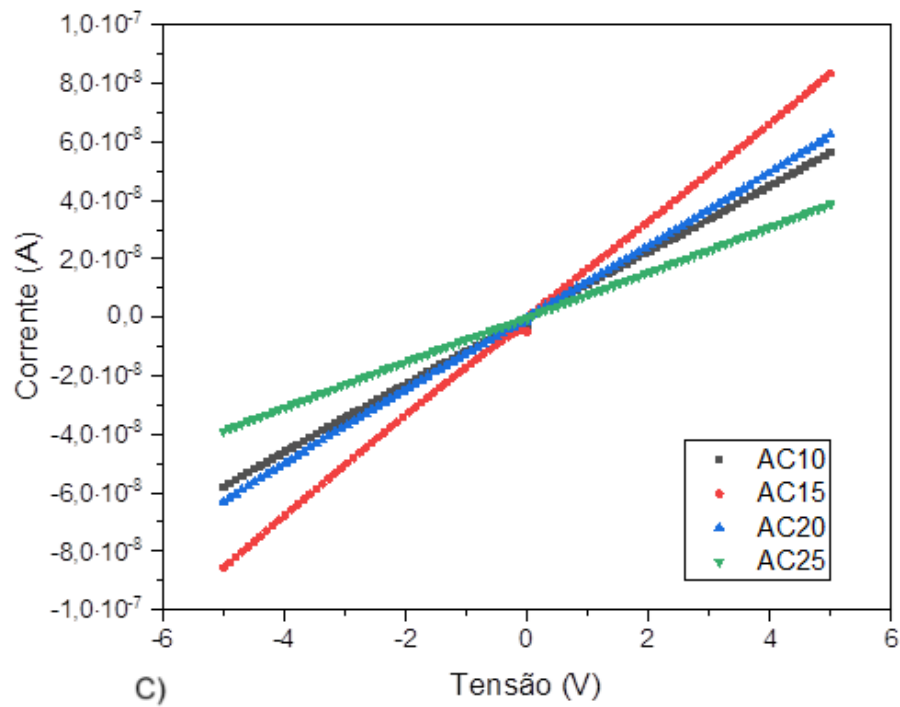
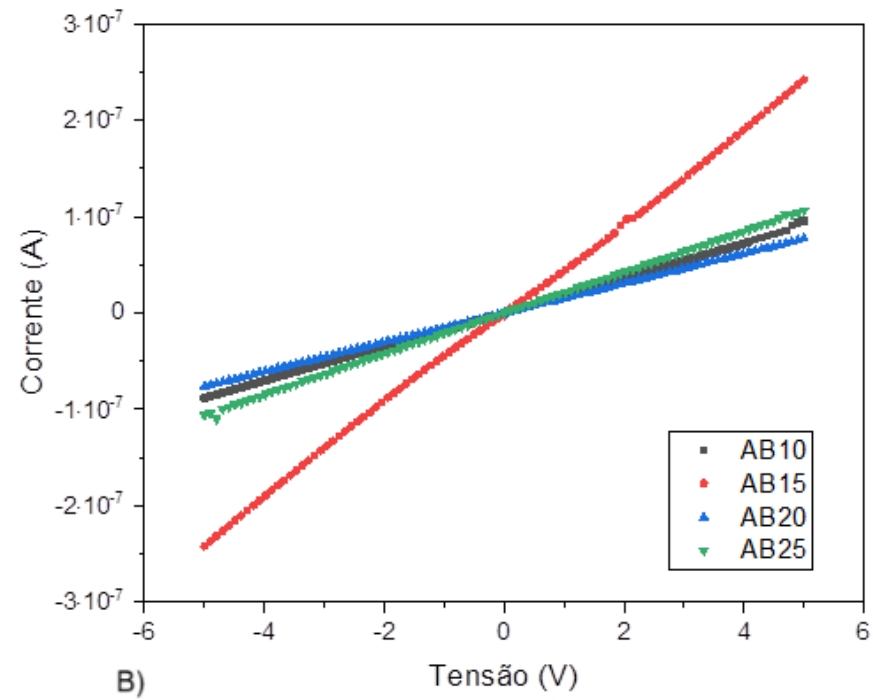


Figura 19 - Continuação



Fonte: Autoria própria (2025).

Usando as equações 1 e 2 (pag. 19), e a relação inversa da resistividade elétrica e condutividade elétrica, obtém-se a resistividade e condutividade elétrica dos grupos de materiais (Tabela 3).

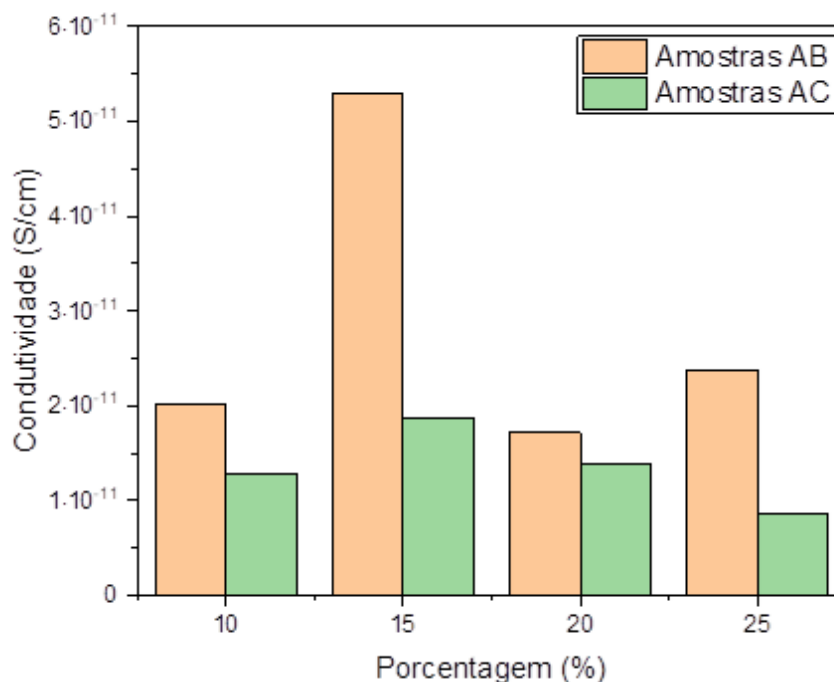
Tabela 3 – Resistencia (R), resistividade (ρ) e condutividade elétrica (σ) dos filmes com diferentes proporções.

Amostra	$R(\Omega)$	$\rho (\Omega.cm)$	$\sigma (S/cm)$
A0	$0,19 \times 10^7$	$0,17 \times 10^{10}$	$57,47 \times 10^{-11}$
AB10	$5,68 \times 10^7$	$4,98 \times 10^{10}$	$2,01 \times 10^{-11}$
AB15	$2,11 \times 10^7$	$1,89 \times 10^{10}$	$5,29 \times 10^{-11}$
AB20	$6,53 \times 10^7$	$5,83 \times 10^{10}$	$1,71 \times 10^{-11}$
AB25	$4,70 \times 10^7$	$4,19 \times 10^{10}$	$2,38 \times 10^{-11}$
AC10	$8,79 \times 10^7$	$7,85 \times 10^{10}$	$1,27 \times 10^{-11}$
AC15	$5,96 \times 10^7$	$5,33 \times 10^{10}$	$1,88 \times 10^{-11}$
AC20	$8,05 \times 10^7$	$7,18 \times 10^{10}$	$1,39 \times 10^{-11}$
AC25	$12,97 \times 10^7$	$11,58 \times 10^{10}$	$0,86 \times 10^{-11}$

Fonte: Autoria própria (2025).

Ao fazer a comparação das condutividades elétricas em função das proporções de massa nas amostras dos grupos AB e AC obtém-se o gráfico de barras (Figura 20) em que há uma melhora da condutividade elétrica em corrente contínua nos filmes compostos por Polianilina Base Esmeraldina com Polianilina Norbixina em relação as amostras de Polianilina Base Esmeraldina com Polianilina Norbixina nanopartículas de prata.

Figura 20 – Gráfico comparativo da condutividade elétrica em CC por porcentagem de materiais dos grupos AB e AC.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.4 ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELÉTRICA

A Figura 21-A mostra os espectros de impedância dos filmes A0 e do grupo AB para diferentes proporções em massa. As curvas da componente real da impedância em função da frequência mostram um patamar característico do material, observado apenas em baixas frequências. O filme de Polianilina Base Esmeraldina apresenta um valor aproximado de $Z' = 1,64 \times 10^6 \Omega$ o que indica uma alta resistência elétrica.

Observa-se que à medida que aumenta a quantidade de Polianilina Norbixina nos filmes o valor da impedância real aumenta para todas as amostras. Quando os filmes de Polianilina são formados com diferentes proporções de Polianilina base esmeraldina / Polianilina Norbixina obtém-se valores mais altos de impedância equivalente na ordem de grandeza 10^7 , ou seja, consegue-se aumentar o valor da componente real dos filmes em mais de uma ordem de grandeza. No entanto os filmes do grupo AB com 20% de PANI Norbixina apresentaram valores do componente real maior que os filmes com 10%, 25%, 15% (Figura 21-A). As comparações das amostras dos filmes A0 e AC, feita sobre impedância real versus frequência mostram que o grupo AC assim como o grupo AB sofre aumento dos valores à medida que se aumenta as proporções de Polianilina Norbixina mesmo que essas estejam com a adição de nanopartículas de prata (Figura 21-B).

Figura 21 – (A) Variação da impedância real em função da frequência dos filmes A0, grupo AB e (B) relação dos filmes A0, grupo AC.

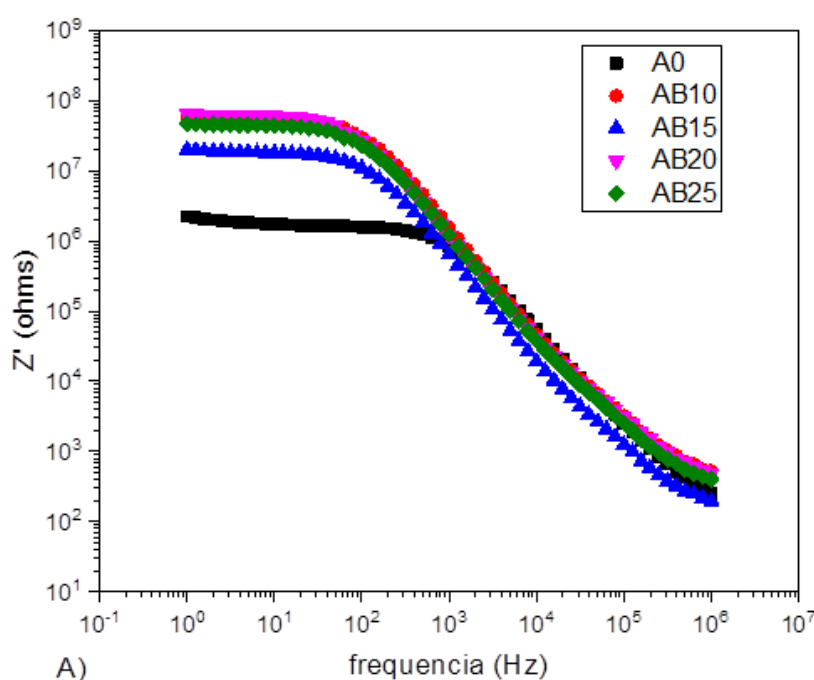
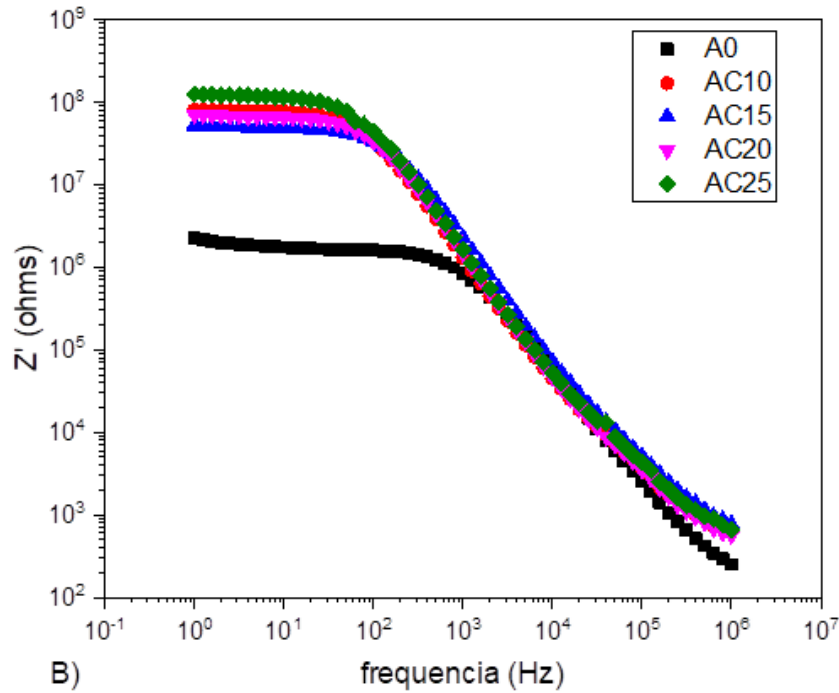


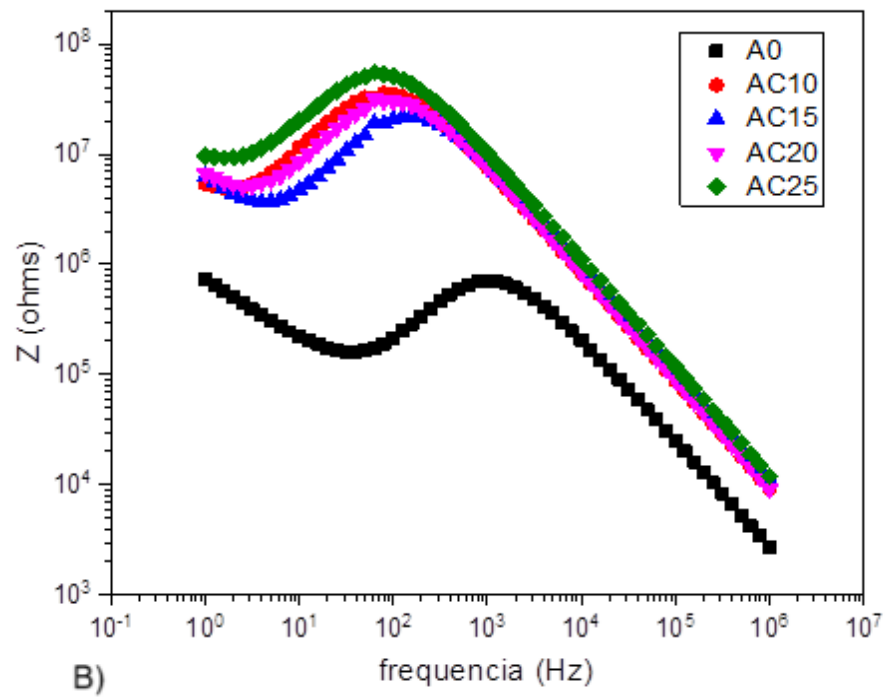
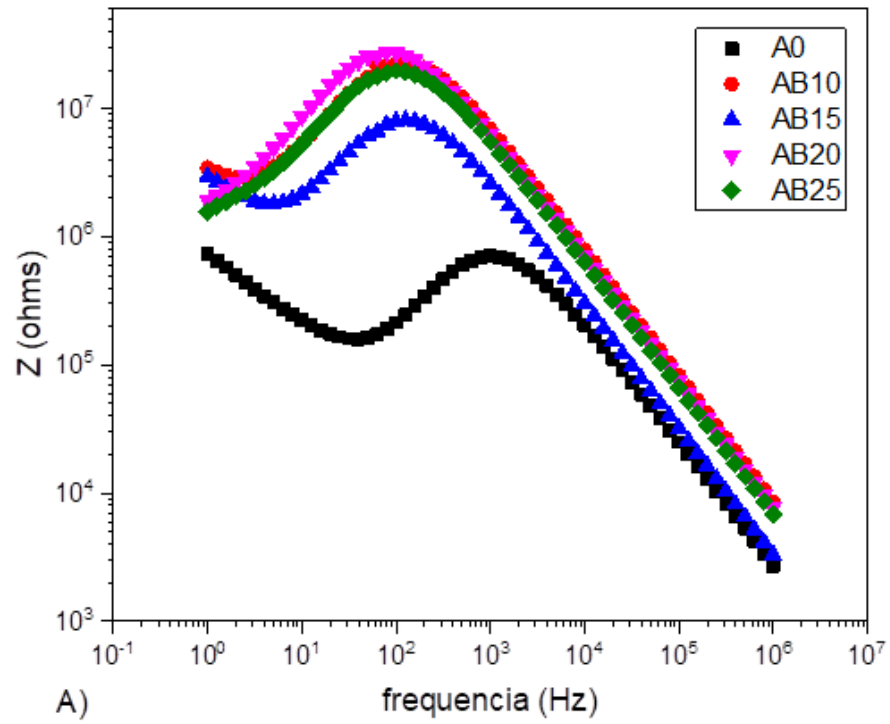
Figura 21 - Continuação



Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 22-A e 22-B tem-se o gráfico da componente imaginária em função da frequência dos filmes A0, Grupo AB e Grupo AC com diferentes proporções em massa. A impedância imaginária é caracterizada pelo aparecimento de um pico com uma frequência particular, acompanhada de uma mudança para frequências mais baixas à medida que aumenta a quantidade de Polianilina Norbixina nos filmes do grupo AB e o mesmo ocorrendo no grupo AC com o aumento da proporção de Polianilina Norbixina nanopartículas de prata.

Figura 22 - (A) Variação da componente imaginária pela frequência da amostra A0 com filmes do grupo AB e (B) amostra A0 e grupo AC.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.4.1 Análise por diagrama de Nyquist das amostras

Ao analisar o efeito do aumento da porcentagem de massa em Polianilina Norbixina e Polianilina Norbixina nanopartículas nos filmes A0, grupo AB e AC. Tem-se até certo ponto o aumento no raio do semicírculo do diagrama de Nyquist, significando um aumento no valor da impedância do material. As Figuras 23-A, 23-B e 23-C apresentam os resultados experimentais de impedância da amostra A0 com semicírculo menor (maior condutividade elétrica) que as amostras do grupo AB e grupo AC que possuem semicírculo maior.

Figura 23 – (A) Diagrama de Nyquist dos diferentes filmes A0, (B) grupo AB e (C) grupo AC comparados.

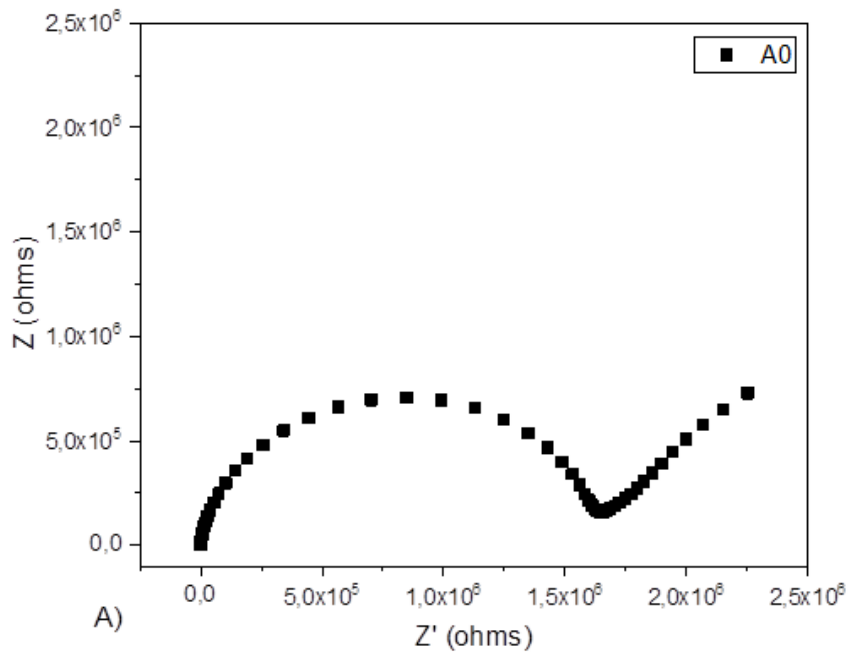
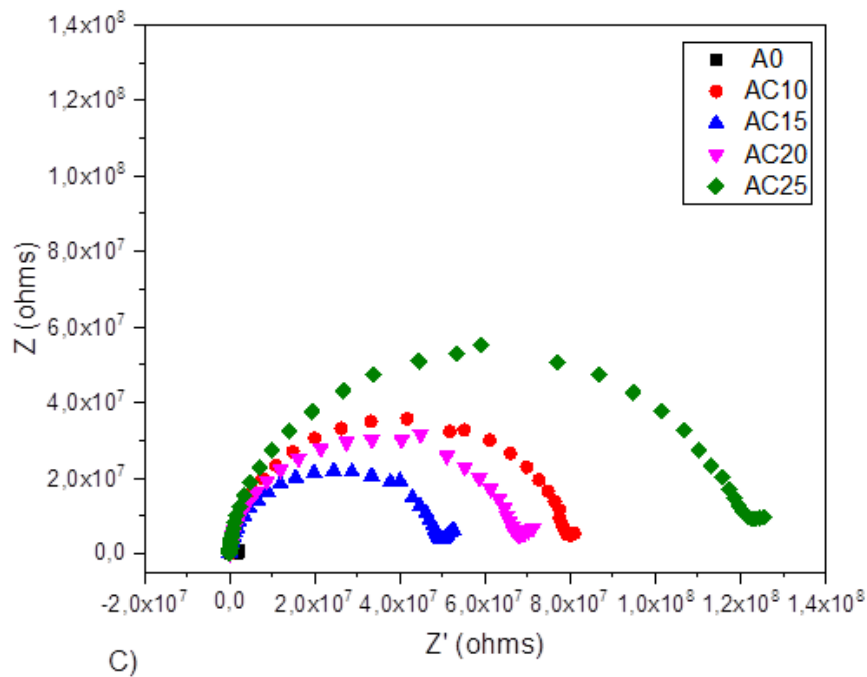
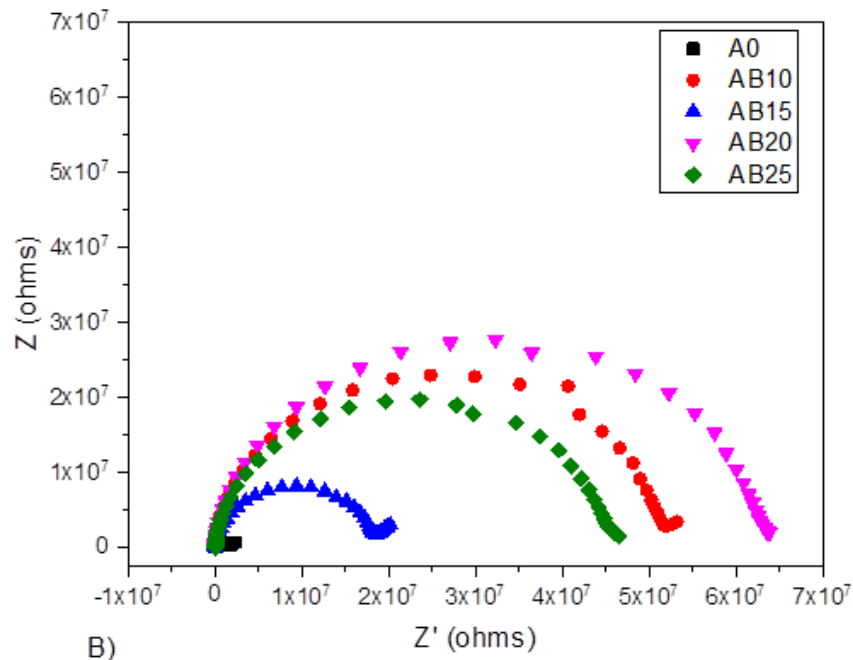


Figura 23 – Continuação.



Fonte: Autoria própria (2025).

No diagrama de Nyquist a frequência no pico máximo de impedância imaginária correspondente permite determinar para cada amostra o valor da resistência de transferência de carga e/ou capacitância da dupla camada (Equação 4). Além de com as medidas de espessura dos filmes ($d=0,004\text{cm}$), área da secção transversal ($S=0,28\text{cm}^2$), ser possível o cálculo de valores para condutividade e resistividade (Tabela 4).

$$\omega = \frac{1}{(R \times C)} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde tem-se:

ω = frequência angular

R = resistência de transferência de carga.

C = capacitância da dupla camada formada entre o eletrodo e o polímero.

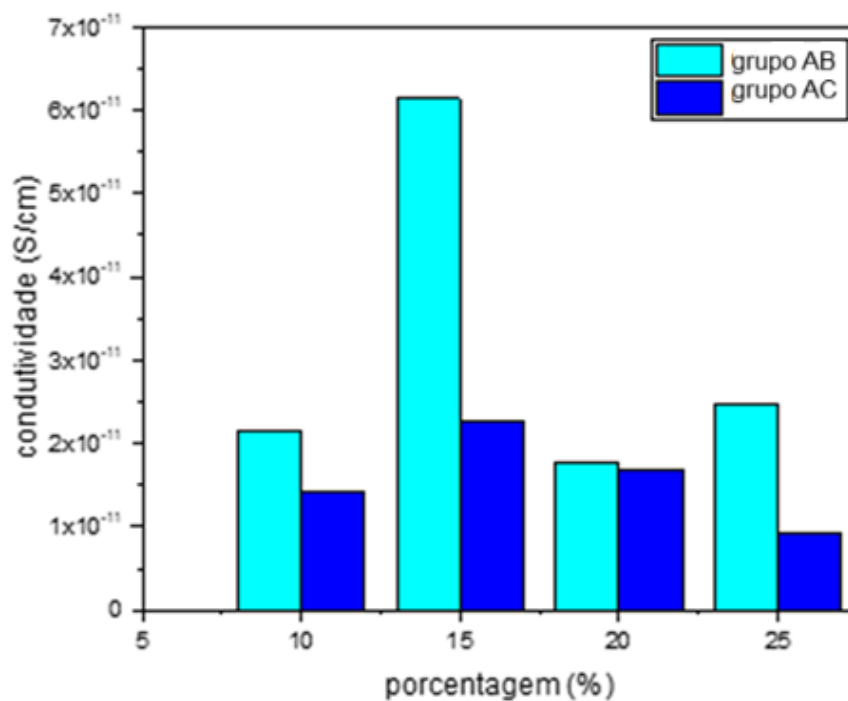
Tabela 4 - Valores de Resistência de transferência de carga (R_t), Resistividade (ρ), Capacitância (C) e Condutividade elétrica (σ) em CA dos filmes

Amostra	R_t (Ω)	f (Hz)	ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	σ (S/cm)	C (F)
A0	$0,16 \times 10^7$	1000	$0,15 \times 10^{10}$	$68,10 \times 10^{-11}$	$19,36 \times 10^{-11}$
AB10	$5,22 \times 10^7$	125,89	$4,66 \times 10^{10}$	$2,15 \times 10^{-11}$	$4,85 \times 10^{-11}$
AB15	$1,83 \times 10^7$	125,89	$1,63 \times 10^{10}$	$6,13 \times 10^{-11}$	$13,84 \times 10^{-11}$
AB20	$6,28 \times 10^7$	79,43	$5,60 \times 10^{10}$	$1,78 \times 10^{-11}$	$6,38 \times 10^{-11}$
AB25	$4,54 \times 10^7$	100	$4,05 \times 10^{10}$	$2,47 \times 10^{-11}$	$7,01 \times 10^{-11}$
AC10	$7,89 \times 10^7$	79,43	$7,04 \times 10^{10}$	$1,42 \times 10^{-11}$	$5,08 \times 10^{-11}$
AC15	$4,96 \times 10^7$	158,49	$4,43 \times 10^{10}$	$2,26 \times 10^{-11}$	$4,04 \times 10^{-11}$
AC20	$6,66 \times 10^7$	100	$5,94 \times 10^{10}$	$1,68 \times 10^{-11}$	$7,58 \times 10^{-11}$
AC25	$12,11 \times 10^7$	63,09	$10,81 \times 10^{10}$	$9,24 \times 10^{-12}$	$262,8 \times 10^{-11}$

Fonte: Autoria própria (2025).

A comparação das condutividades em função das proporções de massa nas amostras AB e amostras AC resultou em gráfico de barras (Figura 24), onde encontra-se uma melhora da condutividade elétrica em corrente alternada nos filmes compostos por Polianilina Base Esmeraldina com Polianilina Norbixina (AB) quando comparados ao grupo AC de Polianilina Base Esmeraldina com Polianilina Norbixina nanopartículas.

Figura 24 - Gráfico Comparativo da condutividade elétrica em CA por porcentagem de materiais do Grupo AB e Grupo AC em filmes.



Fonte: Autoria própria (2025).

5 CONCLUSÃO

Foram produzidas por síntese química os materiais Polianilina Base Esmeraldina, Polianilina Norbixina, Polianilina Norbixina com Nanopartículas de Prata, e método *casting* para construção de filmes finos. A produção de diferentes amostras possibilitou a comparação de propriedades físicas por meio de caracterização por espectroscopia UV-Vis, termogravimetria, análise elétrica em corrente contínua e espectroscopia de impedância elétrica.

O espectro de UV/Vis do material extraído das sementes de urucum possibilitou confirmar que a extração de Norbixina havia sido realizada de forma exitosa, pois foram identificadas as três bandas de absorção na região visível características dos carotenoides em 443 nm, 468 nm e 499 nm. A espectroscopia das Nanopartículas apresentou pico de absorção máxima em 394 nm confirmando ser o material nanopartículas de prata pela banda. E a análise por essa caracterização mostrou que a Polianilina Norbixina e Polianilina Norbixina Nanopartículas, comparada a Polianilina Base Esmeraldina estão deslocadas em bandas para valores de menor comprimento de onda.

As curvas TG que avaliam a estabilidade térmica das amostras Polianilina Norbixina e Polianilina Norbixina nanopartículas, apresentam perfil de perda de massa ocorrendo em dois e três estágios de degradação respectivamente, indicando a eliminação de produtos com diferentes massas, formados a partir da quebra das ligações duplas da cadeia carbônica dos carotenoides.

A Espectroscopia de impedância elétrica apresentou como resultados das amostras dos grupos AB e AC em comparação a amostra A0 um aumento na oposição a passagem de corrente elétrica, ou seja, tornar maior o percentual de polianilina Norbixina e/ou polianilina Norbixina nanopartículas reduz a condutividade em todas as amostras. Sugere-se que a Norbixina como substituto do ácido inorgânico (ácido sulfúrico) na reação de síntese da nova polianilina tenha produzido uma cadeia polimérica com propriedades menos condutora. Constatou-se também que a impedância imaginária de cada filme possui um pico com uma frequência particular, e ocorre mudança para frequências mais baixas à medida que aumenta a quantidade de Polianilina Norbixina nos filmes do grupo AB, o mesmo ocorrendo no grupo AC com o aumento da proporção de Polianilina Norbixina nanopartículas de prata.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a obtenção dos filmes de polianilina base esmeraldina, Polianilina Norbixina e polianilina Norbixina nanopartículas de prata, sugere-se as seguintes aplicações:

- A análise da influência da temperatura na resistência elétrica dos filmes;
- O comportamento elétrico dos filmes polianilina base esmeraldina, Polianilina Norbixina e Polianilina Norbixina AgNPs como dielétrico de capacitores;
- Estudo dos materiais na criação de sensores resistivos, através da análise da relação resistência elétrica compressão ou estiramento mecânico.

REFERÊNCIAS

- Agner, A. R.; *et al.* Absence of carcinogenic and anticarcinogenic effecters of annatto in the rat liver medium-term assay. **Food and Chemical Toxicology**, v.42, p.1687-1693, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/8360226_Absence_of_carcinogenic_and_anticarcinogenic_effects_of_annatto_in_the_rat_liver_medium-term_assay Acesso em: 15 fev. 2024.
- Babel, V.; Hiran, B. L. A review on polyaniline composites: Synthesis, characterization, and applications. **Polymer Composites**, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350582528_A_review_on_polyaniline_composites_Synthesis_characterization_and_applications Acesso em: 15 fev. 2024.
- Bastos, N. M. S. **Síntese e caracterização de novos polímeros orgânicos condutores derivados da polianilina**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goytacazes. RJ. 73p. 2005. Disponível em: <https://biblioteca.sophia.com.br/terminalri/9688/acervo/detalhe/9648?guid=1747785605966&returnUrl=%2Fterminalri%2F9688%2Fresultado%2Flistar%3Fguid%3D1747785605966%26quantidadePaginas%3D1%26codigoRegistro%3D9648%239648&i=9> Acesso em: 20 nov. 2024.
- Bhadra, S.; *et al.* Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. **Progress in Polymer Science** (Oxford), v. 34, n. 8, p. 783–810, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670009000355> Acesso em: 13 abr. 2024.
- Bianchi, R. F.; *et al.* Electrical studies on the doping dependence and electrode effect of metal-PANI-metal structures. **Journal of Physics D: Applied Physics**, 38(9), 1437–1443, 2005. Disponível em: <https://colab.ws/articles/10.1088%2F0022-3727%2F38%2F9%2F017> Acesso em: 15 abr. 2024.
- Bindal, C.; Karaoglan N. Synthesis and optical characterization of benzene sulfonic acid doped polyaniline. **Eng. Sci. Tech., International Journal**. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098618311984> Acesso em: 10 abr. 2024.
- Calogero, G. *et al.* Vegetable-based dye-sensitized solar cells. **Chemical Society Reviews**, 44(10), 3244–3294, 2015. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/cs/c4cs00309h> Acesso em: 15 abr. 2025.
- Carolino, A. S. **Estimativa do Percentual de Cristalinidade de Polímeros Semicristalinos derivados da Anilina através dos Padrões de Difração de Raios X**. Dissertação de Mestrado em Física. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. Amazonas. 2017. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-presidente-antonio-carlos/resistencia-dos-materiais-ii/dissertacao-adriano-s-carolino/20466868> Acesso em: 20 nov. 2024.

Castro, C. O. A. **Caracterização elétrica de blendas polianilina/norbixina na forma de filmes finos e influência da temperatura na condutividade elétrica.** Trabalho de conclusão de curso de licenciatura em física. Universidade Federal do Piauí. Teresina Piauí, 75f. 2020.

Ciric-Marianovic, G. Recent advances in polyaniline research: Polymerization mechanisms, structural aspects, properties and applications. **Synthetic Metals**, 177, 1–47. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379677913002798> Acesso em: 16 mai. 2024.

Cossiello, R. D. F. **Eletroluminescência e morfologia de polímeros: meh-ppv e blendas com copolímeros iônicos de saa.** Tese do Doutorado em química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_71a97cc5aa11ac10ae9bfdf2312826c6/Details Acesso em: 20 abr. 2024.

Dhand, C. *et al.* Polyaniline-based biosensors. **Nanobiosensors in Disease Diagnosis**, v. 4, p. 25–46, 2015. Disponível em: <https://www.dovepress.com/polyaniline-based-biosensors-peer-reviewed-fulltext-article-NDD> Acesso em: 25 jun. 2024.

De Sousa *et al.* Tratamento dos Resíduos Gerados na Síntese de Polianilina em Escala Pré-Piloto. **Química Nova**. Campinas-SP. Brasil. v.26, n.6, p.938-942, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/q3Wb88CHmpHTTBH6Xy3kvnJ/> Acesso em: 25 jun. 2024.

Duran, N.; Seabra, A. B. Biogenic Synthesized Ag/Au Nanoparticles: Production, Characterization, and Applications. **Current Nanoscience**, 14(2), 82–94, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/321661657_Biogenic_Synthesized_AgAu_Nanoparticles_Production_Characterization_and_Applications Acesso em: 14 mai. 2024.

Faez, R.; Freitas *et al.* Polímeros Condutores. **Química nova na escola**. n.11, p.13-18, 2000. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc12/v12a03.pdf> Acesso em: 15 nov. 2024.

Folorunso O., Olukanmi, P., Thokozani, S., Conductive polymers' electronic structure modification for multifunctional applications, **Materials Today Communications**, Volume 35, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492823009996> Acesso em: 16 jul. 2024.

Fontinele, Leonardo Pinheiro *et al.* Norbixin extracted from urucum (*Bixa orellana* L.) for the formation of conductive composites with potential applications in electrochemical sensors, **Surfaces and Interfaces**, Volume 13, Pages 92-100, 2018.

Goulart, Bruno Henrique Fermino. **Síntese e caracterização da polianilina por diferentes métodos**. trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12351> Acesso em: 03 mar. 2024.

Graça, R. R. **Licaria puchury-major (MART.) kosterm: biossíntese de nanopartículas de prata dos extratos vegetais com atividade antimicrobiana**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 117f. 2015. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5099> Acesso em: 15 mar. 2025.

Guimard, N. K.; Gomez, N.; Schmidt, C. E. Conducting polymers in biomedical engineering. **Polymers in Biomedical Applications**, v. 32, n. 8–9, p. 876–921, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223570220_Conducting_polymers_in_biomedical_engineering Acesso em: 23 set. 2024.

Izumi, C. M. S. **Caracterização espectroscópica da polianilina em diferentes ambientes químicos**. Tese de Doutorado em Química, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 128 f. 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46132/tde-11012007-083700/pt-br.php> Acesso em: 15 abr. 2024.

Costa Júnior, Lindembergue Pereira et al. polimerização da anilina com argila montmorilonita modificada e avaliação da condutividade do nanocompósito produzido. **cientec-revista de ciência, tecnologia e humanidades do ifpe**, v. 10, n. 1, 2019. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/polimerizacao-da-anilina-com-argila-montmorilonita-1gud0p0awj.pdf> Acesso em: 13 abr. 2024.

Khudair, Hind M.; Essa, Abbas F. Structural properties of prepared polyaniline/silver nanocomposite. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2024. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2922/1/210005/3265328/Structural-properties-of-prepared-polyaniline?redirectedFrom=fulltext> Acesso em: 25 abr. 2024.

Lima, L.R. P.; Oliveira, T. T. de; Nagem, T. J.; Pinto, A. S.; Stringheta, P. C.; Tinoco, A. L. A.; Silva, J. F. Bixina, norbixina e quercetina e seus efeitos no metabolismo lipídico de coelhos. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 38, n.4, p. 196-200, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/bjvras/a/CG8khXNGmzY7HpDvXS7RNSd/> Acesso em: 13 nov. 2024.

Lima, A. R. F. de **Preparação e caracterização de compósitos híbridos multifuncionais de polianilina/yvo4 dopado com Terras raras**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/33807> Acesso em: 12 abr. 2025.

Lopes, J. R. **Síntese de nanopartículas de prata (NPsAg) em soluções aquosas de fibroína de seda e gelatina**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP., 115, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/981631> Acesso em: 15 jan. 2025.

Maciel, A. C. **Propriedades elétricas de sólidos desordenados**: aplicação em estrutura metal/polímero/metal. Universidade Federal do Piauí. Dissertação de mestrado, 2006.

Maia, Daltamir J. *et al.* Síntese de polímeros condutores em matrizes sólidas hospedeiras. **Revista Química nova**. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/yjz9Nz3nfKfq7D8Yx4bsrTw/> Acesso em: 23 nov. 2024.

Mattoso, L. H. C. Polianilinas: Síntese, Estrutura e Propriedades. **Química Nova**, v. 19, n. 4, p. 388–399, 1996. Disponível em: http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1996/vol19n4/v19_n4_09.pdf Acesso em: 19 jul. 2024.

Masdarolomoor, Fatemeh, *et al.* novel approach to the synthesis of polyaniline possessing electroactivity at neutral ph. **synthetic metals**, 250: 121-130, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379677918305873> Acesso em: 13 jul. 2024.

Melo Junior *et al.* Preparação de nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química Nova**, 35(9), 1872–1878, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/wfctywf33BdvbMBYmCxPg/> Acesso em: 15 nov. 2024.

Mota, G. S. **Estudo das propriedades elétricas dos filmes de polianilina dopada com norbixina**. Dissertação de Mestrado. Engenharia dos Materiais, Instituto Federal do Piauí, Teresina, 73f. 2015.

Nogueira, F. A. R. **Síntese e caracterização de derivados de polipirrol para aplicação em dispositivos eletroquímicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió. Al. 95p. 2010. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/1097/1/DISSERTACAO%20FINAL%20FRED.pdf> Acesso em: 4 mai. 2024.

Oliveira, J. F. A., **Funcionalização de nanopartículas de prata com antibióticos beta-lactâmicos**: uma alternativa a resistência bacteriana. Dissertação de mestrado. Campinas, 2014. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/135957/funcionalizacao-de-nanoparticulas-de-prata-com-antibioticos> Acesso em : 24 nov. 2024.

Ouyang, Jianyong. Recent Advances of Intrinsically Conductive Polymers. **Acta Phys. -Chim. Sin.** 34(11), 1211-1220, 2018. Disponível em: <https://www.whxb.pku.edu.cn/EN/10.3866/PKU.WHXB201804095> Acesso em: 16 jan. 2024.

Santos, L. F. **Estudos de processos de Transporte em Dispositivos Poliméricos Emissores de Luz**. Tese de Doutorado, Instituto de Física de São Carlos, São Carlos, 2003. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-17012008-163101/en.php>
Acesso em: 20 nov. 2024.

Scotter, M. J. Characterisation of the coloured thermal degradation products of bixin from annatto and a revised mechanism for their formation. **Food Chem.**, 53(2), 177-185. 1995. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0308814695907856> Acesso em: 26 jul. 2024.

Skotheim, T. A., Reynolds, J. R., Handbook of conducting polymers. Conjugated polymers: processing and applications, **CRC Press, Boca Raton**, 2007. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b12346/handbook-conducting-polymers-2-volume-set-john-reynolds-terje-skotheim> Acesso em: 24 jun. 2024.

Silva, K. D. C. **Síntese e caracterização de nanopartículas estabilizadas com goma de cajueiro: atividade catalítica, atividade antibacteriana e avaliação da toxicidade.** Tese em química, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2020.

Silveira, E. S. **Desenvolvimento, avaliação da atividade Leishmanicida e toxicológica de nanossistema de cumarina(1,2-benzopirona).** tese de doutorado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/56080/1/2020_tese_essilveira.pdf Acesso em: 12 mar. 2024.

Souza, A. F. *et al.* Proteção contra corrosão da liga de alumínio 2024–T3 por filme de polipirrol eletrodepositado em ácido p-tolueno sulfônico. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 36, n. 1, p. 34, 2017. Disponível em: <http://www.sbvacu.org.br/rbav/index.php/rbav/article/view/1059> Acesso em: 22 fev. 2024.

Silva, M. L. A. DA. **Extração de corantes de urucum (Bixa Orellana L.) utilizando sistema de recirculação de solventes.** dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2006. Disponível em: <https://ppgcta.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2006/Manoel%20da%20Silva.pdf> Acesso em: 13 nov. 2024.

Silva, P. L. **Nanopartículas de prata para utilização como agente antimicrobiano em blendas de amido e poli (álcool vinílico).** 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/40237> Acesso em: 7 abr. 2024.

Stringheta, P. C., Silva, P. I., & Costa, Annatto/Urucum— Bixa orellana. **Exotic Fruits**, A. G. V., p 23–30, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323620567_AnnattoUrucum-_Bixa_orellana Acesso em: 13 abr. 2024.

Sun, Dandan *et al.* An all-fiber system biosensor for trace β -lactam antibiotics detection enhanced by functionalized microfiber and fiber bragg grating, **Journal of Colloid and Interface Science**, Volume 658, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979723024396> Acesso em: 5 jul. 2024.

Tadesse, M.G.; Ahmmed, A.S.; Lübben, J.F. Review on Conductive Polymer Composites for Supercapacitor Applications. **Journal of Composites Science**. 2024, 8, 53 Disponível em; <https://www.mdpi.com/2504-477X/8/2/53> Acesso em: 20 fev. 2024.

Tian *et al.*, performance PANI/MnO₂ coral-like nanocomposite anode for flexible and robust electrochromic energy storage device, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, Volume 253, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024823000600> Acesso em: 13 abr. 2024.

Tocchini, L.; Mercadante, A. Z. **Extração e determinação, por clae, de bixina e norbixina em coloríficos**. Ciênc. Tecnol. Aliment. N.21, p 310-313, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/hcQnyVwcr9gkXBJHrxFpfcrl> Acesso em: 25 jan. 2024.

Vargas, Vanessa M.M. *et al.* A Polianilina no Cenário Ambiental: Uma Abordagem Sobre Fotocatálise Heterogênea. **Química Nova**, v. 41, p. 315-325, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Zbmm99ZPdz9yjMKXH5HVZRr/> Acesso em: 21 jan. 2024.

Vimal, Tripti; *et al.* Investigation of thermodynamical, dielectric and electro-optical parameters of nematic liquid crystal doped with polyaniline and silver nanoparticles, **Journal of Molecular Liquids**, Volume 290, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732219309481> Acesso em: 13 jul. 2024.

Yusa-Marco, D. J.; *et al.* Characterization of clouring compounds in annatto (*Bixa orellana* L.) used in historic textiles by means of uv-vis spectrophotometry and FT-IR spectroscopy. **Arché**, n. 3, p. 154-158, 2008. Disponível em: <https://riunet.upv.es/entities/publication/50c61bac-7679-452f-b559-46cd4a59e6f7> Acesso em: 26 nov. 2024.

Zahir, H. *et al.* Design fabrication and characterisation of polyaniline and multiwall carbon nanotubes composites-based patch antenna. **IET Microw. Antennas Propag.**, 10: 88-93. 2016. Disponível em: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1049/iet-map.2015.0211> Acesso em: 14 fev. 2024.

Zhang, Y.; Zhong, Q. Probing the binding between norbixin and dairy proteins by spectroscopy methods. **Food Chemistry**, n. 139. p 611-616, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23561152/> acesso em: 15 fev. 2024.