



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**Síntese de nanopartículas de óxido de ferro
modificadas com aminoácidos para a utilização em
narizes eletrônicos**

Autora: Beatriz Meneses da Silva

Orientadora: Otilie Eichler Vercillo

Coorientador: Mauro Francisco Pinheiro da Silva



Universidade de Brasília

FACULDADE UnB PLANALTINA

CIÊNCIAS NATURAIS

**Síntese de nanopartículas de óxido de ferro
modificadas com aminoácidos para a utilização em
narizes eletrônicos**

Autora: Beatriz Meneses da Silva Orientadora:

Orientadora: Profa. Dra. Otilie Eichler Vercillo

Coorientador: Prof. Dr. Mauro Francisco Pinheiro da Silva

*Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora, como
exigência parcial para a obtenção de título
de Licenciado do Curso de Ciências
Naturais, da Faculdade UnB Planaltina, sob
a orientação da Profa Dra. Otilie Eichler
Vercillo e coorientação do Prof. Dr. Mauro
Francisco Pinheiro da Silva.*

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser minha maior força, mesmo em meio ao caos.

Aos meus pais e minha irmã, por sempre acreditarem em mim, no meu potencial e por nunca me deixarem desistir.

Aos meus amigos, pela amizade sincera e por terem feito o caminho até aqui mais leve.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente à Deus, por ter me dado força e sabedoria para conseguir chegar até aqui, para conseguir realizar esse trabalho e nunca desistir dos meus sonhos e vontades.

À Dra. Otilie E. Vercillo e ao Dr. Mauro F. P. Silva, por terem me orientado, por terem acreditado em mim e por serem referências para mim.

À minha querida irmã, Raphaela Meneses da Silva, por ser o meu maior suporte, por ser minha força, por todos os dias em que estive ao meu lado, me ensinando, me acalutando, me escutando, por todo o amor que me deu e por todo o apoio durante os anos passados na graduação.

Aos meus amados pais, por serem minha fonte de amor e apoio, por serem minhas referências de vida, por não me deixarem desistir mesmo quando tudo o que eu queria era desistir, por terem me ensinado a ter força de vontade e seguir os meus sonhos, por toda a educação que me deram.

Aos meus amigos, Isabela, Dielson, Giovana, Mateus e todos os outros, por terem feito parte de todo o processo, por terem me levantado quando desabei diversas vezes, por todo o carinho e incentivo que me deram.

Aos melhores presentes que a universidade poderia ter me dado, Beatriz Morais, Marta Loyane, Vitória Cristhina e Marcelo Oliveira, por terem se tornado minha família, meus portos seguros, por serem alguns dos meus maiores incentivadores, por terem me ensinado muito sobre companheirismo, amizade e amor, por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

Graças a todos vocês eu pude me tornar uma pessoa melhor e pude chegar onde cheguei.

À todos vocês o meu mais puro e sincero: Muito obrigada!

RESUMO

Nos últimos anos, as nanopartículas magnéticas têm se destacado como materiais de intensa investigação devido à sua notável versatilidade e aplicabilidade em diversas áreas, como sensores, dispositivos de armazenamento de dados, microeletrônica, células fotovoltaicas, processos catalíticos e tratamento de resíduos. Buscando melhorar a seletividade, a quantificação e a sensibilidade dos sensores impedimétricos, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de nanopartículas de óxido de ferro modificadas por aminoácidos com a finalidade de melhoria na criação de sensores de narizes eletrônicos. A metodologia adotada para atingir esse objetivo envolve a preparação das nanopartículas de óxido de ferro, que serão revestidas por diferentes aminoácidos. Para caracterização foi feita por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Em síntese, este trabalho propõe uma abordagem abrangente, integrando síntese, funcionalização e caracterização de nanopartículas de óxido de ferro para atender demandas específicas em sensores impedimétricos de narizes eletrônicos. Espera-se que os resultados obtidos não apenas contribuam para o avanço científico nesse campo, mas também apresentem soluções práticas e eficientes para desafios contemporâneos.

Palavras Chave: Nanopartículas de Óxido de Ferro, sensores, aminoácidos.

ABSTRACT

In recent years, magnetic nanoparticles have stood out as materials of intense investigation due to their remarkable versatility and applicability in diverse areas, such as sensors, data storage devices, microelectronics, photovoltaic cells, catalytic processes and waste treatment. Seeking to improve the selectivity, quantification and sensitivity of impedimetric sensors, this work aims to develop iron oxide nanoparticles functionalized by amino acids with the aim of improving the creation of electronic nose sensors. The methodology adopted to achieve this objective involves the preparation of iron oxide nanoparticles, which will be coated with different amino acids. For characterization, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was carried out. In summary, this work proposes a comprehensive approach, integrating synthesis, functionalization and characterization of iron oxide nanoparticles to attend specific demands in impedimetric sensors for electronic noses. It is expected that the results obtained will not only contribute to scientific advancement in this field, but also present practical and efficient solutions to contemporary challenges

Keywords:. *Iron Oxide Nanoparticles, sensors, amino acids.*

1. Introdução

A magnetita (Fe_3O_4) se destaca como um dos minerais de ferro mais relevantes e em análise no nosso planeta, possuindo uma estrutura cristalina cúbica e características magnéticas singulares. Essas qualidades a tornam um material atraente para diversas aplicações científicas, sendo amplamente utilizada na síntese de nanopartículas de óxido de ferro.

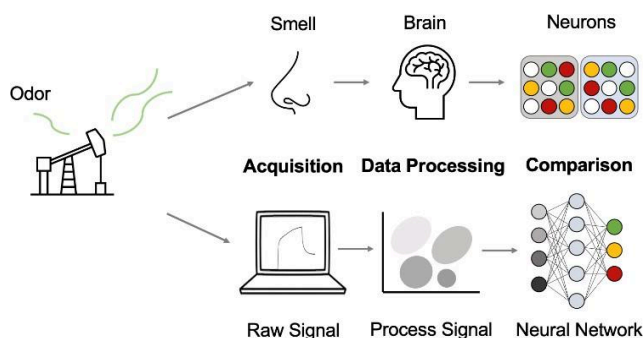
As nanopartículas (NPs) são entidades extremamente diminutas, com tamanhos que variam de 1 a 1000 nanômetros. Elas desempenham um papel fundamental nas inovações tecnológicas mais importantes, refletindo o crescente interesse em seu desenvolvimento devido às suas propriedades físico-químicas que diferem daquelas apresentadas nas formas macroscópicas dos mesmos compostos. Nesse contexto, Willner e Katz (2004) salientam que as nanopartículas exercem uma influência significativa na interação com biomoléculas, criando novos sistemas híbridos que combinam as características altamente seletivas de reconhecimento e catalíticas dos biomateriais com as propriedades intrínsecas das nanopartículas. Assim, Lu, Salabas e Schüth (2007) ressaltam que a síntese, a funcionalização e a utilização de nanopartículas magnéticas são campos de grande relevância, dada a sua promissora aplicabilidade em diversas áreas, o que vem atraindo o interesse da comunidade científica.

A obtenção controlada dessas nanopartículas permite que suas características sejam adaptadas para funções específicas. Sun e Zeng (2002) demonstram que o controle sobre o tamanho das nanopartículas de magnetita pode ter um impacto significativo nas suas propriedades magnéticas e, conseqüentemente, em suas aplicações, o que torna essas nanopartículas um material altamente atrativo para o desenvolvimento de sensores, visando aprimorar tanto a seletividade quanto a sensibilidade. Elas têm sido objeto de extensos estudos devido às variadas possibilidades de aplicação, incluindo a elaboração de sensores impedimétricos para Narizes Eletrônicos.

Os narizes eletrônicos, conhecidos como “*e-noses*”, são aparelhos desenvolvidos para detectar e identificar uma variedade de vapores e gases no ambiente. Eles realizam essa tarefa através de sensores eletrônicos que capturam as moléculas do ar, permitindo a análise da composição química e a concentração dos componentes das amostras examinadas. Essa tecnologia se aplica em diversas áreas, incluindo análise de alimentos, monitoramento ambiental e diagnósticos na área da saúde (Lisboa; Page; Guy, 2009).

O princípio de funcionamento dos narizes eletrônicos é inspirado no sistema olfativo dos mamíferos. Neste sistema, os bulbos olfatórios, localizados no tecido da pituitária nasal, reagem aos odores e enviam impulsos nervosos ao cérebro, que os interpreta. Nos *e-noses*, utiliza-se um conjunto variado de sensores não específicos. Os sinais gerados por esses sensores são então processados e analisados por softwares especializados em reconhecimento de padrões, que geram assinaturas eletrônicas específicas para os vapores analisados (Figura 1).

Figura 1: Comparação entre a olfação humana e eletrônica



Fonte: Chemical Sensor Array, disponível em: <https://academic-accelerator.com/encyclopedia/chemical-sensor-array>

A seleção dos sensores é baseada nos ambientes químicos que se deseja explorar. Assim, o objetivo deste estudo é modificar as nanopartículas de óxido de ferro para aprimorar características específicas, como sensibilidade, precisão, exatidão, reprodutibilidade e seletividade dos sensores impedimétricos.

1.1. Magnetita:

A magnetita (Fe_3O_4) é um mineral óxido de ferro amplamente reconhecido por suas propriedades magnéticas, sua versatilidade e aplicabilidade em áreas científicas e industriais. Com estrutura cristalina cúbica e pertencente ao grupo dos espinélios, a magnetita apresenta uma combinação única de íons de ferro nos estados de oxidação Fe^{2+} e Fe^{3+} , o que confere a ela propriedades magnéticas intrínsecas. Essas características fazem da magnetita um dos poucos minerais naturalmente magnéticos, com destaque para sua cor preta a cinza escura, brilho metálico e dureza entre 5,5 e 6,5 na escala de Mohs (Klein; Dutrow, 2012).

A magnetita tem ganhado destaque no meio científico, onde nanopartículas magnéticas são funcionalizadas para diversas aplicações. Siqueira (2014) desenvolveu uma nova metodologia para a funcionalização de nanopartículas magnéticas com peptídeos, demonstrando o potencial desses materiais em aplicações biomédicas, como no imageamento médico e na terapia direcionada. Essa abordagem inovadora abre caminho para o uso de nanopartículas de magnetita em sistemas de liberação controlada de fármacos e em técnicas de diagnóstico avançado, assim como no uso em sensores impedimétricos de narizes eletrônicos, destacando a importância da magnetita não apenas como um recurso mineral tradicional, mas também como um material de ponta para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras.

Em síntese, a magnetita é um mineral de grande relevância científica, econômica e tecnológica. Suas propriedades físicas e químicas, aliadas à sua ampla distribuição geológica, fazem dela um objeto de estudo essencial para a compreensão de processos geológicos e para o desenvolvimento de novas tecnologias. O trabalho de Siqueira (2014) exemplifica como a funcionalização de nanopartículas de magnetita pode expandir suas aplicações, especialmente na área biomédica.

1.2. Nanopartículas de óxido de ferro:

As nanopartículas magnéticas de óxido de ferro (Fe_3O_4), também conhecidas como magnetita, têm atraído grande interesse científico e tecnológico devido às suas propriedades magnéticas, químicas e físicas únicas, sendo amplamente estudadas por sua versatilidade e aplicabilidade que vão desde a medicina até a engenharia de materiais. A síntese e caracterização desses materiais, bem como o entendimento de suas propriedades, são fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias.

As propriedades magnéticas das nanopartículas de Fe_3O_4 são influenciadas por fatores como tamanho, forma e cristalinidade. Em escalas nanométricas, a magnetita exibe alta susceptibilidade magnética e baixa coercitividade, o que a torna ideal para aplicações biomédicas (Vinícius-Araújo; Rocha; Bakuzis, 2024).

Kang et al. (1996) investigaram a síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas, destacando a importância do controle das condições de síntese para obter nanopartículas com propriedades magnéticas otimizadas. A magnetita (Fe_3O_4) apresenta

maior magnetização de saturação, o que a torna mais adequada para aplicações que requerem alta resposta magnética.

1.3. Funcionalização das nanopartículas magnéticas com aminoácidos

Os aminoácidos são substâncias orgânicas que se distinguem pela presença de dois grupos funcionais essenciais: uma amina ($-NH_2$) e um ácido carboxílico ($-COOH$), ambos ligados ao mesmo átomo de carbono em uma cadeia carbônica central. A variedade dos aminoácidos resulta das diferenças na estrutura e no comprimento dessa cadeia, o que lhes confere diversas formas, polaridades e habilidades de interação com outros materiais, como as nanopartículas de óxido de ferro. Essas propriedades tornam os aminoácidos moléculas extremamente versáteis, capazes de formar ligações químicas e físicas específicas, o que é crucial para aplicações na funcionalização de superfícies, como acontece com nanopartículas magnéticas.

A funcionalização de nanopartículas magnéticas com aminoácidos não apenas influencia a estabilidade coloidal, mas também modula propriedades como tamanho, morfologia e resposta magnética (Ebrahiminezhad et al., 2012). Os autores destacam que a funcionalização com aminoácidos, como a lisina e a arginina, pode ser realizada durante ou após a síntese das nanopartículas, resultando em uma superfície biocompatível e funcional. Esse processo é particularmente relevante para aplicações biomédicas, como direcionamento de fármacos e hipertermia, onde a interação das nanopartículas com sistemas biológicos é crucial.

Além disso, o estudo demonstra que a escolha do aminoácido utilizado na funcionalização pode alterar significativamente as características das nanopartículas. Por exemplo, a presença de grupos funcionais específicos nos aminoácidos, como grupos amina e carboxila, pode facilitar a ligação de biomoléculas adicionais, como anticorpos ou enzimas, ampliando o potencial de aplicação das nanopartículas. Essa versatilidade é particularmente vantajosa no desenvolvimento de sistemas de entrega de fármacos inteligentes, onde a funcionalização superficial desempenha um papel crítico na eficácia do tratamento.

A modificação de nanopartículas magnéticas com aminoácidos é uma estratégia favorável para modular suas propriedades físico-químicas e biológicas, melhorando a biocompatibilidade e a estabilidade das nanopartículas magnéticas.

2. Objetivo

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento e a síntese de nanopartículas de óxido de Ferro modificadas com aminoácidos para serem utilizadas na em sensores para a preparação de narizes eletrônicos.

2.1. Objetivos específicos

- 1) Sintetizar nanopartículas de óxido de ferro e modificá-las com aminoácidos;
- 2) Realizar as caracterizações físico-químicas por espectroscopia no infravermelho (FTIR);
- 3) Aplicar as nanopartículas modificadas nos sensores impedimétricos.

3. Materiais e métodos

Para a obtenção das nanopartículas foram utilizados reagentes presentes no Laboratório de Nanociência Ambiental e Aplicada (LNAA) da Faculdade UnB Planaltina, utilizando o método de síntese *one-pot*, que consiste na realização do processo em apenas um recipiente.

Para a caracterização das nanopartículas de óxido de ferro foram realizados espectros de infravermelho no Laboratório de Nanociência Ambiental e Aplicada, que conta com o espectrômetro na região do Infravermelho Frontier FT-IR Spectrometer. Os espectros foram obtidos a uma temperatura constante de 22°C em pastilhas de KBr.

Por fim, as nanopartículas revestidas com aminoácidos foram testadas em sensores impedimétricos, possibilitando a avaliação da eficácia.

3.1. Síntese das Nanopartículas de Óxido de Ferro.

Para realização do processo de síntese de nanopartículas de Óxido de Ferro revestidas por aminoácidos foi necessário realizar adaptações em relação aos reagentes. Utilizando-se 3,51g (0,013 mol) de cloreto de ferro hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e 3,29g (0,0118 mol) de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dissolvendo-os em 150 mL de água deionizada, ficando em agitação em atmosfera inerte à aproximadamente 70°C. Após 30 min, 4,5g

(0,0258 mol) de arginina, 4,8g (0,328mol) de lisina, 4,8g (0,029mol) de fenilalanina ou 3,6g (0,0297 mol) de cisteína, foi dissolvida em 18 mL de água destilada e adicionada à mistura em agitação por mais 30 min. Em seguida foram adicionados à mistura 15 mL de NH_4OH (35%) e permaneceu em agitação por mais 1h30min. Após a finalização da síntese, foi necessário esperar o resfriamento das NP's para a realização da lavagem feita três vezes com água destilada e em seguida foram colocadas na estufa a 50°C para secar por aproximadamente 24 horas.

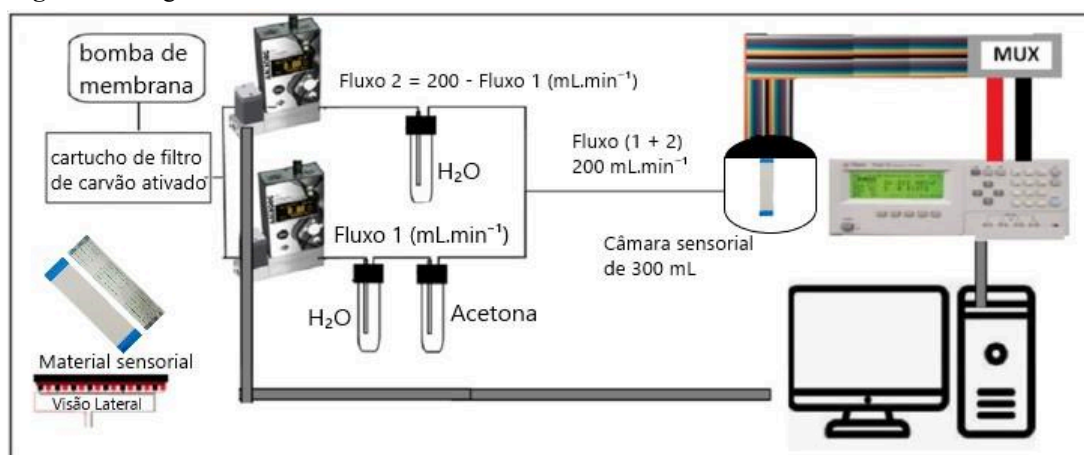
3.2. Teste em sensores eletrônicos

A execução dos testes em sensores de Narizes Eletrônicos (e-noses) foi realizada em etapas.

Primeiramente, prepararam-se os sensores utilizando cinco cabos flat. Para isso, foram depositadas quatro gotas de nanopartículas, previamente dispersas em água destilada, sobre os contatos dos cabos flat 40 pinos. Após a preparação dos sensores, foram selecionadas três garrafas de vidro, devidamente limpas e esterilizadas. As garrafas 1 e 2 foram preenchidas com água destilada, enquanto a garrafa 3 foi preenchida com acetona (VOC).

Para realização dos testes foi utilizado o nariz eletrônico tal como na figura 2. O instrumento opera em um fluxo total de $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. O fluxo de amostra e o fluxo de ar diluente foram somados para garantir o mesmo fluxo de $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. Cada sensor foi lido durante um segundo, sob frequência de 10 kHz. Foram medidas quatro concentrações de cada VOC, em cada medida. A saber: 2,72 ppm, 13,52 ppm, 27,15 ppm e 67,88 ppm. As medidas foram realizadas alternadamente com vapores de água pura e vapores de cada concentração medida. As medidas foram realizadas em quintuplicata.

Figura 2: Imagem ilustrativa do nariz eletrônico



Fonte: imagem produzida pelo Prof. Dr. Mauro Francisco Pinheiro da Silva

3.3. Caracterização por FTIR

Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica analítica fundamental para a identificação e caracterização de compostos químicos. Segundo Pavia et al. (2016), a FTIR baseia-se na absorção de radiação infravermelha pela amostra, resultando em transições vibracionais dos átomos dentro das moléculas. Essa técnica permite identificar grupos funcionais específicos presentes na amostra ao analisar as frequências vibracionais características. A forma como o equipamento lê e identifica esses compostos é baseada na interação de uma onda infravermelha com a molécula orgânica, provocando uma radiação que é convertida em energia de vibração molecular. O espectro resultante, que aparece em formas de bandas, representa a intensidade de absorção em função do número de ondas.

A relevância da caracterização por FTIR em análises orgânicas se deve ao fato de que cada grupo funcional, com diferentes quantidades e intensidades de ligações, apresenta posições distintas ao longo do espectro. As aplicações são vastas, abrangendo a identificação de compostos orgânicos e inorgânicos, análise de polímeros, estudos de interações moleculares, controle de qualidade e análise ambiental. Conforme ressaltado por Pavia et al. (2016), a FTIR tem se mostrado uma ferramenta indispensável na investigação da estrutura molecular e nas interações entre moléculas. Sua capacidade de fornecer informações detalhadas sobre frequências vibracionais específicas torna a FTIR um método analítico versátil e poderoso, essencial em várias disciplinas científicas e industriais.

3.4. Análise estatística

A análise estatística é uma ferramenta crucial em ciência e pesquisa, utilizada para coletar, organizar, analisar e interpretar dados complexos. Ela permite extrair padrões significativos, compreender relações e embasar decisões informadas em diversas áreas do conhecimento. No contexto específico de sensores eletrônicos, a estatística é aplicada para agrupar dados coletados, facilitando um processamento mais eficaz dos produtos.

A análise estatística também envolve a descrição detalhada dos dados através de medidas estatísticas como médias e desvios padrão, além da análise exploratória por meio de gráficos como histogramas e boxplots, que revelam distribuições e identificam padrões não óbvios. Além de compreender padrões, a estatística permite inferir conclusões para

populações maiores através de técnicas como testes de hipóteses e intervalos de confiança, validando modelos estatísticos para prever tendências futuras e entender relações causais complexas. Essa capacidade de análise robusta e interpretação precisa torna a estatística uma ferramenta essencial na tomada de decisões em ciências naturais, sociais, econômicas, saúde e engenharia, contribuindo para avanços significativos em diversas áreas do conhecimento.

Para o tratamento dos dados, foram usados diversos softwares especializados. A coleta de dados foi realizada utilizando o medidor de LCR de precisão Tonghui modelo TH2816B. Para minimizar erros causados por variações nos dados, foram considerados apenas os últimos seis dados coletados.

4. Resultados e discussões

Ao realizar o processo de síntese, foi possível observar tanto o rendimento quanto a coloração das nanopartículas. Conseguiu-se notar que houve uma estabilidade nos rendimentos das nanopartículas, exceto pela nanopartícula revestida com cisteína, sendo assim: 1,986g de np de Fe_3O_4 ; 2,024g de np revestida com fenilalanina; 1,905g de np revestida com arginina; 1,907g de np revestida com lisina; 3,875g de np revestida com cisteína.

Os resultados das sínteses se mostraram promissores, apresentando rendimentos satisfatórios em todas as sínteses e variando a coloração entre marrom e preto (Figura 3). É possível observar que, diferente das nanopartículas revestidas com fenilalanina, lisina e a nanopartícula pura, a coloração das nanopartículas revestidas com arginina e cisteína apresentam uma tonalidade marrom escuro.

Figura 3: Nanopartículas de óxido de ferro



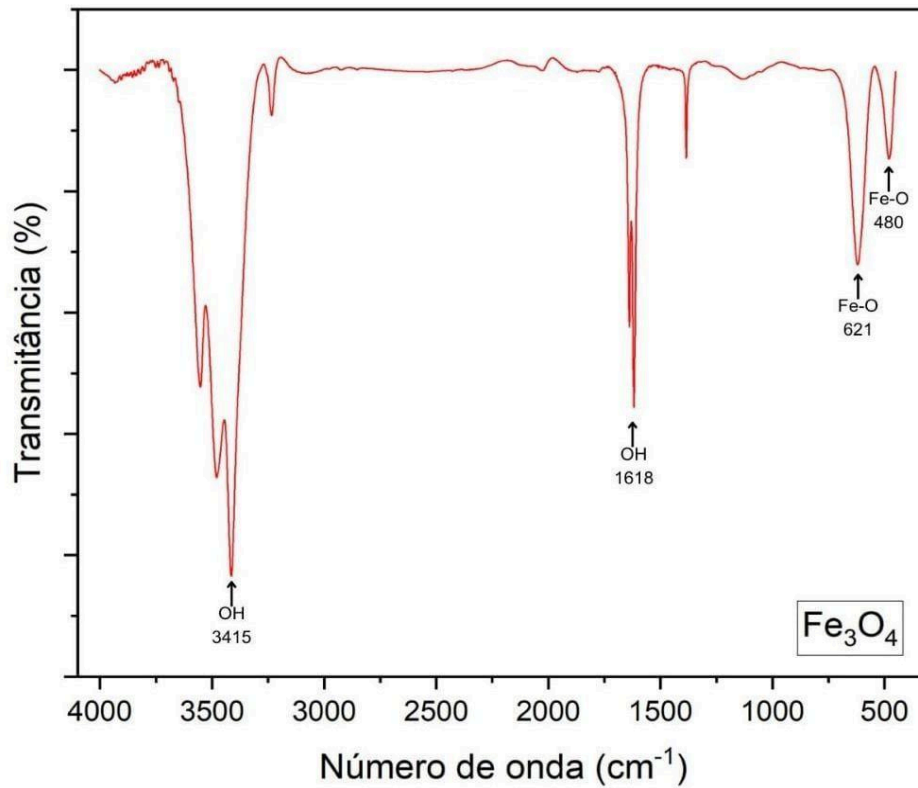
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.1. Caracterização

4.1.1. Caracterização por Infravermelho

Após realizar os testes no infravermelho para as amostras de cada nanopartícula sintetizada, foram obtidos os seguintes espectros.

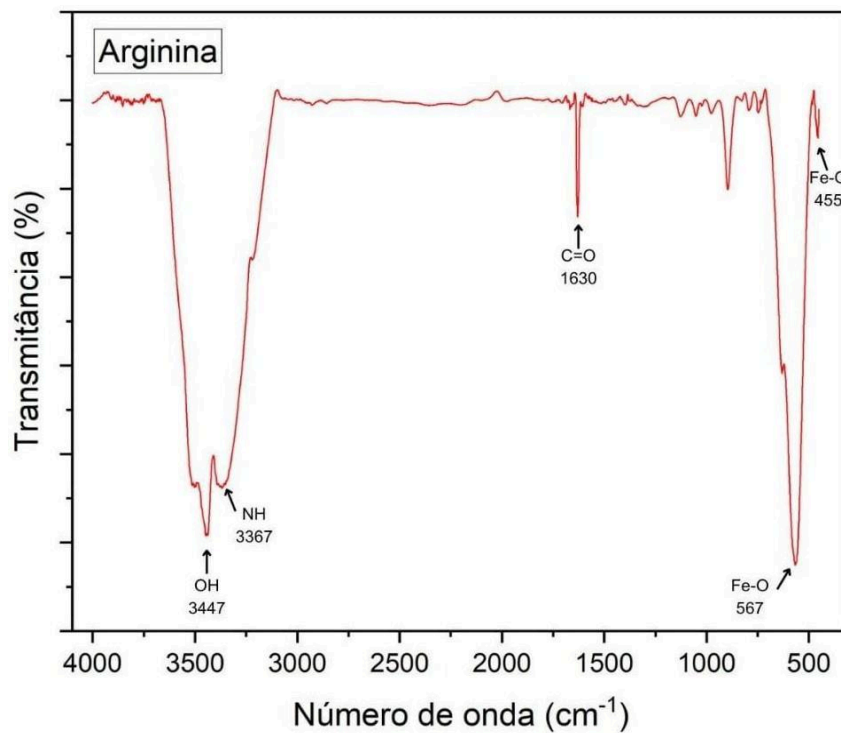
Figura 4: Espectro de infravermelho da nanopartícula de óxido de ferro pura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

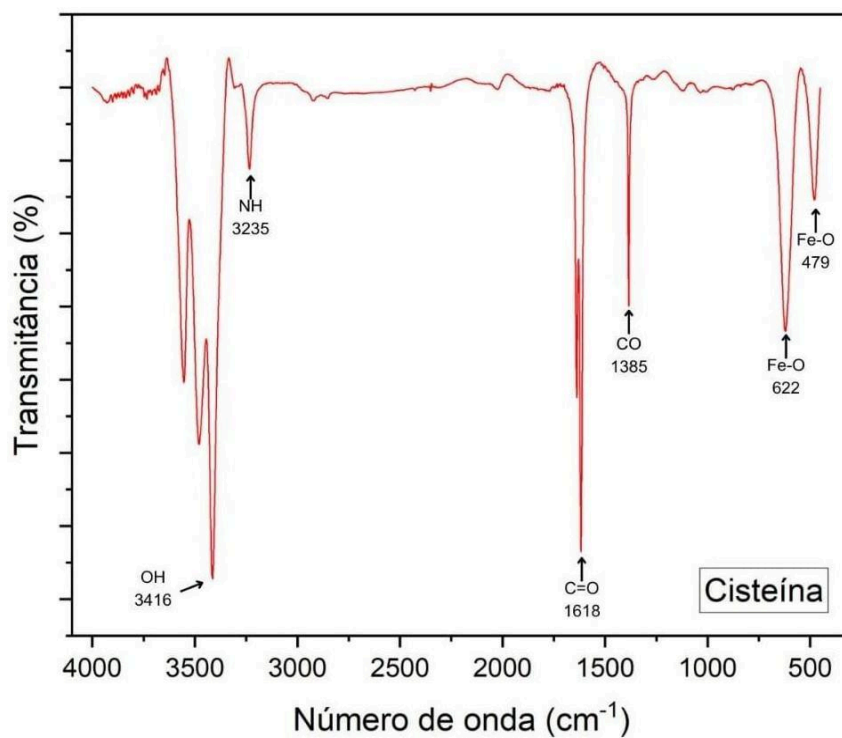
O espectro da nanopartícula de óxido de ferro (figura 4) mostra bandas características de sua oxidação, as curvaturas indicadas entre 480 cm^{-1} e 621 cm^{-1} , onde indica a ligação entre ferro e oxigênio e os pontos entre 1618 cm^{-1} e 3415 cm^{-1} indica a ligação do grupo hidroxila.

Figura 5: Espectro do infravermelho da nanopartícula de óxido de ferro modificada com arginina



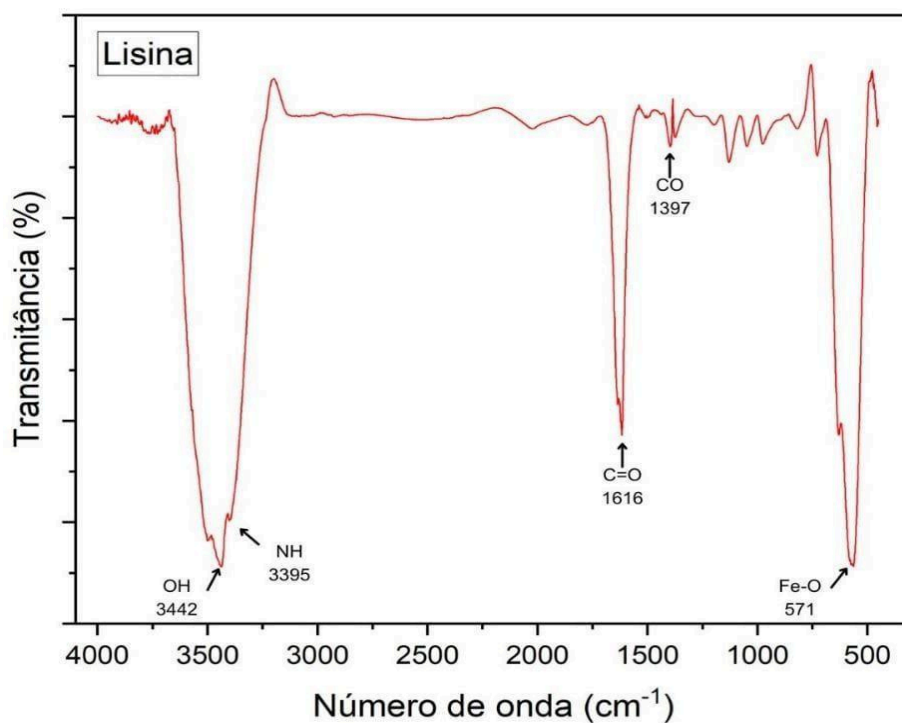
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 6: Espectro do infravermelho da nanopartícula de óxido de ferro modificada com cisteína



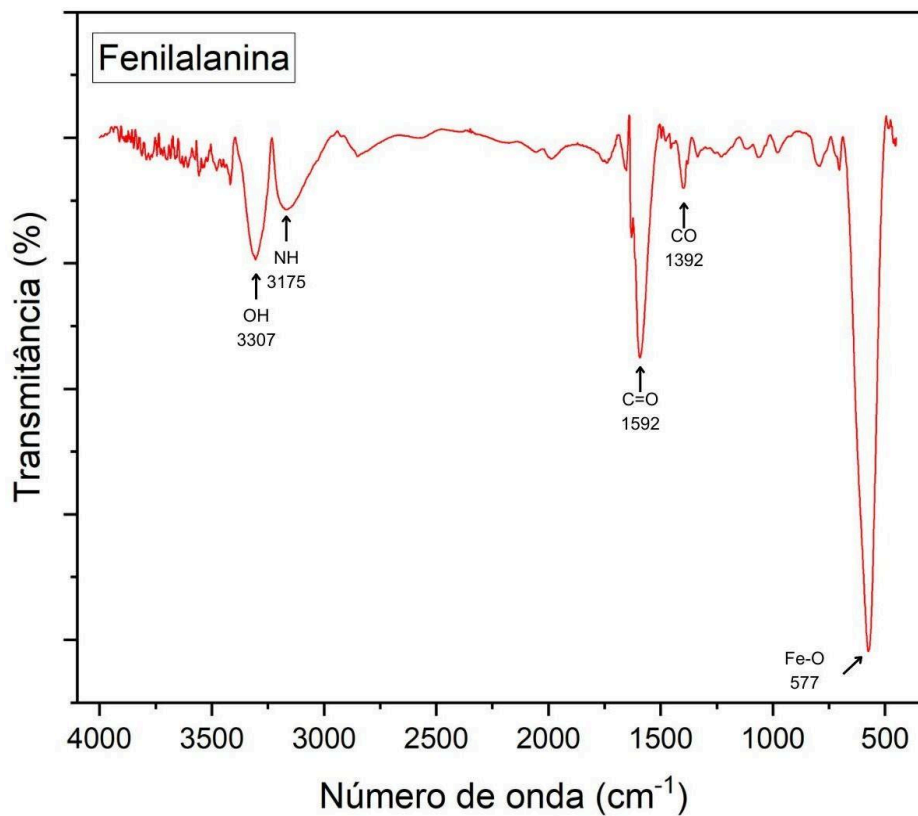
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 7: Espectro do infravermelho da nanopartícula de óxido de ferro modificada com lisina



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 8: Espectro do infravermelho da nanopartícula de óxido de ferro revestida com fenilalanina



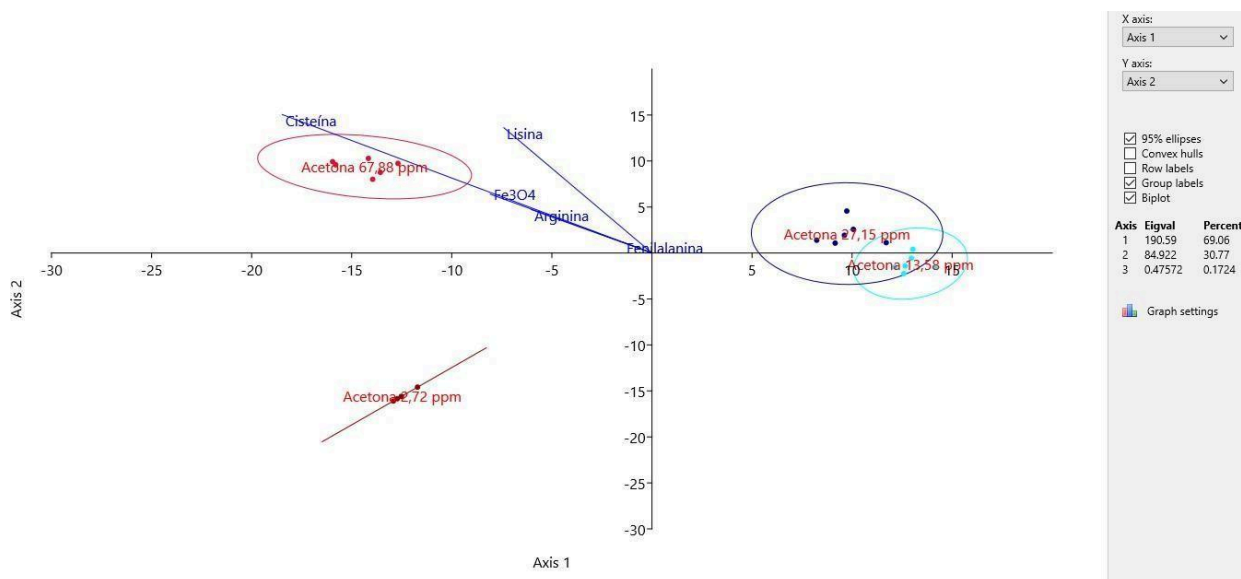
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

É possível observar os picos característicos de Fe-O nas nanopartículas revestidas com os aminoácidos em torno de 622cm^{-1} e 455 cm^{-1} , as vibrações de alongamento C=O e C-O podem ser vistas em 1630 cm^{-1} e 1385cm^{-1} , respectivamente, enquanto as vibrações do grupo amina (NH) encontram-se entre 3395cm^{-1} e 3175cm^{-1} , evidenciando a incorporação do aminoácido (Figuras 5,6, 7 e 8).

4.2. Análise estatística

Foi empregada a análise discriminante linear (LDA), que é uma técnica multivariada, mas com o objetivo de classificar os dados com base nos grupos da variável resposta, sendo amplamente utilizada para fins de classificação.

Figura 9: Teste em Análise de Discriminantes Lineares (LDA) com suas concentrações e elipses de confiança em 95%



Fonte: feito pelo autor (2024)

Após a realização dos testes, os sensores foram capazes de diferenciar entre quatro concentrações de acetona (2,72 ppm, 13,52 ppm, 27,15 ppm e 67,88 ppm) no estado gasoso, apresentando linearidade paralela ao eixo 2 na análise de discriminantes lineares (Figura 9). Esses resultados indicam que o material possui potencial para aplicação em eletrodos de olfação.

5. Considerações finais

Mediante a metodologia adotada foi possível proceder com sucesso as sínteses das nanopartículas de óxido de ferro revestidas com diferentes aminoácidos tornando viável a realização dos testes nos sensores impedimétricos do nariz eletrônico.

A metodologia utilizada mostrou-se eficaz tanto em tempo, quanto na facilidade de aplicação, sendo possível adaptar o procedimento tornando o processo de síntese com diferentes aminoácidos válido para futuras aplicações.

A realização da caracterização das nanopartículas foi executada por meio da técnica de espectroscopia do infravermelho (FTIR), onde foi possível identificar os grupos orgânicos de cada aminoácido, constatando assim a funcionalização das nanopartículas com aminoácidos.

Os resultados dos testes nos sensores impedimétricos utilizando diferentes concentrações de acetona revelaram-se animadores, tornando assim possível prosseguir com os estudos utilizando diferentes solventes, alterando de modo gradativo as concentrações, em ppm e ppb, para que as mesmas possam se assemelhar à concentração encontrada no processo de respiração humana, para posterior uso em detecção de doenças.

A realização de outros testes de caracterização como raman, raio-x, XPS e microscopia para melhor aumentar a diversidade de caracterização da síntese realizada também serão feitos.

Novos equipamentos para coleta de dados mais precisos serão utilizados, tornando os dados mais precisos e com análises mais aprofundadas a serem feitas.

6. Referências bibliográficas

DEER, William Alexander, HOWIE, Robert Andrew, ZUSSMAN, Jack. **Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução**. 2ª. ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. 2000. p. 574-584

EBRAHIMINEZHAD, Alireza et al. Impact of amino-acid coating on the synthesis and characteristics of iron-oxide nanoparticles (IONs). **Bulletin of the Korean Chemical Society**, v. 33, n. 12, p. 3957-3962, 2012.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Barbara. **Manual de ciência dos minerais**. 23ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 16, p. 413-414.

KANG, Young Soo et al. Synthesis and characterization of nanometer-size Fe₃O₄ and γ -Fe₂O₃ particles. **Chemistry of Materials**, v. 8, n. 9, p. 2209-2211, 1996.

LISBOA de Melo, Henrique; PAGE, Thierry; GUY, Christophe. Gestão de odores: fundamentos do Nariz Eletrônico. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, p. 9-18, 2009.

KATZ, Eugenii; WILLNER, Itamar. Integrated nanoparticle–biomolecule hybrid systems: synthesis, properties, and applications. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 43, n. 45, p. 6042-6108, 2004.

LU, An-Hui; SALABAS, Elena Lorena; SCHÜTH, Ferdi. Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 46, n. 8, p. 1222-1244, 2007.

PAVIA, Donald L.; LAMPMAN, Gary M.; KRIZ, George S.; VYVYAN, James R. **Introdução à espectroscopia**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016.

SIQUEIRA, Eliane Gonçalves de. Desenvolvimento de uma nova metodologia para a funcionalização de nanopartículas magnéticas com peptídeos. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2014.

SUN, Shouheng; ZENG, Hao. Size-controlled synthesis of magnetite nanoparticles. **Journal of the American Chemical Society**, v. 124, n. 28, p. 8204-8205, 2002.

VINÍCIUS-ARAÚJO, Marcus; ROCHA, João Victor Ribeiro; BAKUZIS, Andris F. Nanopartículas Magnéticas à Base de Óxido de Ferro: Propriedades Magnéticas e Aplicações na Medicina. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 46, n. suppl. 1, p. e20240187, 2024.